

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**



ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

1

Донецк – 2015

УДК 004.3+004.9+004.2+51.7+519.6+519.7

ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА, № 1, – Донецк: ДонНТУ, 2015.

Представлены материалы по вопросам приоритетных направлений научно-технического обеспечения в области информатики, кибернетики и вычислительной техники.

Материалы предназначены для специалистов народного хозяйства, ученых, преподавателей, аспирантов и студентов высших учебных заведений.

Редакционная коллегия

Главный редактор: Павлыш В.Н., д.т.н., проф.

Зам. глав. ред.: Андрюхин А.И., к.т.н., с.н.с.

Ответственный секретарь: Завадская Т.В., к.т.н., доц.

Члены редакционной коллегии: Аверин Г.В., д.т.н., проф. Аноприенко А.Я., к.т.н., проф.

Григорьев А.В., к.т.н., доц., Грунский И.С., к.т.н., проф., Зинченко Ю.Е., к.т.н., Миненко

А.С., д.т.н., проф., Скобцов Ю.А., д.т.н., проф., Шелепов В.Ю., д.т.н., проф.,

Карабчевский В.В., к.т.н., доц. Федяев О.И., к.т.н., доц.

Рекомендовано к печати ученым советом ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» Министерства образования и науки ДНР. Протокол № 9 от 18 декабря 2015 г.

Журнал зарегистрирован в Министерстве образования и науки ДНР № 307 от 06.08.2015

Контактный адрес редакции

ДонНТУ, ул. Артема, 58, Донецк, 83001

Тел.: +380 (62) 301-08-56. Эл.почта: infkybdonntu@gmail.com

Интернет: <http://infcyb.donntu.org>

© Донецкий национальный технический университет
Министерство образования и науки ДНР, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Основные направления совершенствования профессиональной подготовки в области компьютерных наук и технологий Аноприенко А.Я.....	5
Статистические компьютерные оценки характеристик многомерных операций и объектов. I. Андрюхин А.И.....	16
КМОП-реализации рефлексивных систем вероятностной логики. Андрюхин А.И, Подтынный С.Д.....	25
Сравнительный анализ систем управления контентом сайтов для дистанционного обучения Анохина И.Ю.....	35
Discrete map for traffic simulation Belkov D.V., Edemskaya E.N.	44
Изобретение как метод автоматизации процесса обучения методикам проектирования в семиотической модели САПР Григорьев А.В.....	51
Применение теста Фукса - Ковалевской - Пенлеве для решения модельной задачи о напорной фильтрации газовой смеси в сплошной среде (на примере пневмообработки угольного пласта). Добровольский Ю.Н.....	67
Исследование влияния параметров модели оптимизации распределенной корпоративной информационной системы на критерий эффективности Землянская С.Ю.....	76
Построение моделей для комплексной оценки состояний сложных систем на основе феноменологического анализа опытных данных Звягинцева А.В.....	82
Автоматизация расчета функционального зонирования при проектировании гражданских зданий Карабчевский В.В., Руденко М.П.....	92
Контроль различия в цвете для сохранения качества изображения в модифицированном алгоритме трассировки лучей Мальчева Р.В., Юнис М., Завадская Т.В.....	97
The mathematical modeling and automatic control of pneumohydrodynamic treatment process on underground rock massifs V.N. Pavlysh, L.A. Lazebnaya, Ismail Haser Dayeh, E.V. Perinskaya.....	104
Анализ алгоритма самоорганизации нейронной сети типа «неокогнитрон» при распознавании образов Федяев О.И., Труханов Т.И.....	109
Обзор современных систем учета и анализа потребления ресурсов и энергии Харитонов А.Ю.....	117
Сегментация изображений с помощью смешанного и экспоненциального алгоритмов роя частиц Эль-Хатиб С.А.	126
Content.....	134

Введение

Docendo discimus (Обучая – учимся)

В будущем году Донецкому техническому университету исполняется девяносто пять лет. ДПИ (в настоящее время ДонНТУ) – известнейший символ Донбасса, нашей родины. В настоящее время университет переживает сложный период своей истории. Задача нашего университета в это сложное время вести образовательную, просветительскую и научную деятельность не хуже, а по возможности и лучше, чем это делали наши коллеги, отцы и деды на протяжении всего времени существования вуза, несмотря на все те беды, потрясения и трудности, которые уже не раз бывали в истории нашего университета.

Нам приходится принимать на себя решение все новых проблем и искать ответы на все более сложные вызовы, которые ставит жизнь перед ДонНТУ. Мы будем решать их во что бы то ни стало и *impavide progrediamur!* (Будем идти вперед без колебаний! – девиз естествоиспытателей).

Все проходит и меняется, и жизнь ставит перед нами новые масштабные задачи, требующие активного созидания и творчества. Сейчас мы должны не только иметь и уметь передать студентам необходимые знания и навыки, но и должны постоянно учиться и учить студентов мыслить системно, т. е. уметь понимать и стратегически обобщать прошлое и настоящее, а также – видеть и предвидеть будущее.

Наш век компьютерных технологий требует системных решений не только для эффективной обработки огромных массивов информации, порождаемым веком цифровых технологий, но и для того, чтобы успевать за теми темпами изменений и развития, которые характерны для современных компьютерных наук и технологий.

Новое время требует новых подходов к научной и учебной работе, обеспечивающих переход на новый качественный уровень. На протяжении 20-ти предыдущих лет основной формой публикации научных, научно-технических и научно-методических результатов на факультете были сборники научных работ. Теперь мы переходим к преимущественно журнальной форме публикаций, являющейся более адекватной современным реалиям науки и техники.

Вашему вниманию предлагается первый номер журнала, который получил название «Информатика и кибернетика» и выпуск которого будет осуществляться в основном на базе ресурсов факультета компьютерных наук и технологий ДонНТУ.

Напомним, что информатика (от слов информация и автоматика) — это наука о методах, процессах и системах сбора, хранения, обработки, передачи, анализа и оценки информации на базе компьютерных технологий. Термин информатика, ставший общепринятым в континентальной Европе, впервые ввёл в научный оборот немецкий специалист Карл Штейнбух в статье «*Informatik: Automatische Informationsverarbeitung*» («Информатика: Автоматическая обработка информации») в 1957 году. А в 1959 году появился аналогичный англоязычный термин «*Computer science*» («Компьютерные науки»), который предложил Луи Фейн (Louis Fein) в одной из своих публикаций научном журнале «*Communications of the ACM*». Оба термина обозначают примерно одно и то же, но мы предпочли вынести в название журнала именно информатику, как более ранний и более емкий термин. Аналогично в название вынесено и слово кибернетика, обозначающее науку об общих закономерностях процессов управления и связи в организованных системах: в компьютерах, машинах, живых организмах и в обществе.

Надеемся, что материалы журнала будут способствовать росту интереса исследователей к указанной выше научной тематике, а также более интенсивному научному обмену и сотрудничеству в области информатики и кибернетики.

Проф. А.Я. Аноприенко

УДК 378.14

Основные направления совершенствования профессиональной подготовки в области компьютерных наук и технологий

А.Я. Аноприенко

Донецкий национальный технический университет
anoprien@gmail.com

Аноприенко А.Я. Основные направления совершенствования профессиональной подготовки в области компьютерных наук и технологий. Рассматривается и обобщается 40-летний авторский опыт в подготовке профессионалов в области компьютерной инженерии и рассматриваются наработанные за прошедшие десятилетия и апробированные в учебном процессе направления и пути совершенствования данной подготовки. Рассматриваются некоторые педагогические и психологические рекомендации, а также отдельные вопросы мотивирования студентов и использования различных соревновательных стимулов. Особое внимание (с многочисленными примерами) уделяется использованию компьютерного моделирования как объекта разработки и как средства обучения для повышения эффективности образовательного процесса. В этом же контексте рассматривается использование Интернет-технологий и опыт создания уникального портала магистров ДонНТУ. Поиск и использование в учебном процессе закономерностей имеет также большое значение для совершенствования профессиональной подготовки в области компьютерных наук и технологий, сравнимое со значением периодической системы элементов Д.И. Менделеева в изучении химии.

Введение

Профессиональная подготовка в области компьютерных наук и технологий в Донецком национальном техническом университете (ДонНТУ) ведется уже более 50-ти лет. За это время подготовлены тысячи профессионалов, сделавших успешную карьеру как непосредственно в Донбассе, так и в более чем 70-ти странах мира. Вопросы совершенствования профессиональной подготовки компьютерщиков постоянно находились в центре внимания автора и неоднократно докладывались на многочисленных форумах, конференциях и семинарах [1-4].

В данной публикации анализируется и обобщается 40-летний авторский опыт в подготовке профессионалов в области компьютерной инженерии и рассматриваются наработанные за прошедшие десятилетия и апробированные в учебном процессе направления и пути совершенствования данной подготовки.

Инженерное образование практически во всех случаях отличается заметно повышенной сложностью по сравнению с гуманитарными и некоторыми другими направлениями подготовки. Особенно это актуально для компьютерных наук и технологий, где объекты изучения отличаются не только повышенным уровнем сложности, но и беспрецедентной динамикой развития. Достаточно красноречиво об этом, в частности, свидетельствует такой факт: смена поколений микропроцессорной и другой компьютерной техники происходит, как правило, с периодичностью в 3-5 лет. При этом каждое последующее поколение зачастую отличается в

разы большей сложностью, чем предыдущее. Так, например, в соответствии с законом Мура сложность микропроцессоров на протяжении последних десятилетий удваивается каждые 2 года. Сложность различных видов программного обеспечения удваивается с периодичностью от 2-х до 6-ти лет [5]. Соответственно, организация учебного процесса должна адаптироваться к этим темпам как путем систематического обновления учебных материалов, так и постоянной работой по выделению в них фундаментальной составляющей и выявлению наиболее общих закономерностей.

Далее рассматриваются следующие апробированные автором направления и пути совершенствования профессиональной подготовки в области компьютерных наук и технологий:

1. Следование ряду рекомендаций педагогического и психологического характера, описанных далее в разделе «Общие наблюдения и рекомендации».
2. Мотивирование и использование различных соревновательных стимулов.
3. Использование компьютерного моделирования как объекта разработки и как средства обучения для повышения эффективности образовательного процесса.
4. Общее повышение эффективности, а также апробация и накопление результатов на базе технологий Интернет.
5. Поиск и использование закономерностей.

Общие наблюдения и рекомендации

В разных вариантах и зачастую с разным авторством в педагогике упоминается древняя мудрость, гласящая, что «ученик – это не сосуд, который нужно наполнить, а факел, который надо

зажечь» (поиски истоков этой мудрой мысли уводят нас, как минимум, в античность, где ее авторство приписывается древнегреческому философу и моралисту Плутарху). При этом в полной версии данного высказывания присутствует очень важное дополнение: «Для того, чтобы сделать это, учитель сам должен быть горящим факелом».

В случае компьютерных наук и технологий это особенно важно ввиду чрезвычайно интенсивного и объемного потока инноваций и стремительного развития систем, что приводит к быстрому устареванию любой конкретной информации и к довольно низкой эффективности попыток «просто наполнить сосуд». В этой ситуации для студента особенно важно «научиться учиться», т.к. делать это придется, скорее всего, на протяжении всей последующей профессиональной карьеры.

В идеале для максимально эффективного и быстрого профессионального обучения в учебном процессе крайне желательно использовать новейшее оборудование, которое не успевало бы устареть на протяжении хотя бы тех лет, которые потребуются выпускнику для окончательного профессионального становления. Но в реальной жизни, особенно в компьютерных технологиях, это труднореализуемо. Особенно в той ситуации, в которой, как известно, оказались украинские вузы: последние десятилетия были крайне осложнены недостаточным финансированием высшей школы в Украине, резким замедлением темпов обновления учебного оборудования и другими проблемами аналогичного характера.

Частично это компенсировалось все большей доступностью для студентов приобретения в личную собственность все более совершенного компьютерного оборудования. Но, естественно, дефицит такого оборудования в учебных лабораториях отнюдь не способствует достижению максимальной эффективности образовательной деятельности.

Однако, как показывает практика, даже в таких условиях при правильном и творческом подходе к учебному процессу можно демонстрировать весьма высокую результативность. Можно уверенно утверждать, что за прошедшие десятилетия в ДонНТУ накоплен опыт подготовки профессиональных компьютерщиков высочайшего класса, ни в чем не уступающих выпускникам наиболее престижных и преуспевающих университетов.

Естественно, главными условиями успеха являются высокий уровень профессионализма и самоотдачи преподавателей, а также целеустремленность самих студентов и их готовность преодолевать любые сложности на пути к профессиональному становлению.

Очень важным является также стремление преподавателя заинтересовать студента своим предметом (а не просто загрузить заданиями своего

курса до предела, а иногда и запредельно), увлечь и повести за собой, что, к сожалению, удается далеко не каждому. Типичной, к сожалению, зачастую становится ситуация, когда студент не чувствуя достаточной мотивации к изучению конкретного предмета, вынужден уделять ему непропорционально много времени, которое тратится на выполнение заданий, чрезмерно объемных и перегруженных излишними, не имеющими принципиального значения, деталями. Преподаватель, не сконцентрировав внимание студента на главных и принципиальных вопросах курса, в то же время перегружает его массой излишней и неусваиваемой студентом информации, тем самым заводя его в такие дебри, что «за деревьями лес становится уже не виден». У студента наступает стадия фрустрации, когда надежда на понимание излагаемого материала теряется полностью, а посещение занятий теряет всякий смысл. Если в какой-либо учебной группе количество таких студентов возрастает и достигает половины и более, то это очень тревожный сигнал преподавателю, требующий существенных изменений и в изложении материала, и в организации учебного процесса.

В действительности, самое ценное, что наставник и преподаватель может дать обучаемому, это вселить в него уверенность в своих силах и зажечь в нем огонь познания. Если же все происходит с точностью до наоборот, то учебный процесс не только превращается в пустую трату времени, но и наносит ощутимый вред обучаемому. С этой точки зрения очень ценной является предоставляемая студенту возможность выбора преподавателя, что обеспечивается во многих ведущих университетах мира. В украинских реалиях нехватка и хроническая перегруженность преподавателей профильных дисциплин делала такую практику, к сожалению, или чрезвычайно труднореализуемой или невозможной. Но даже в таких условиях необходимый результат, все-таки, вполне достижим. Все в конечном итоге зависит от преподавателя!

Мотивирование студентов

Хороший студент – это практически всегда хорошо мотивированный студент. Эффективная мотивация – это и наука, и искусство. В общем случае, сколь бы сложными ни были занятия и сколь бы требовательным ни был преподаватель, студент должен быть глубоко заинтересован в посещении занятий и в усвоении соответствующих знаний и навыков.

Процесс в идеале должен быть организован так, чтобы занятия было заведомо гораздо выгоднее и интереснее посещать, чем не посещать. С этой точки зрения важными (кроме естественной очевидности и пользы такой стратегии поведения) являются разного рода бонусы, которые в явном и неявном виде может получить студент, регулярно посещающий занятия и активно на них

работающий, и которых в принципе лишаются те, кто без уважительной причины минимизирует свои встречи с преподавателем. Автор в этой связи практикует объявление на первом же занятии о возможности получения активными и интенсивно работающими студентами таких бонусов в виде дополнительных плюсов в журнале, которые в совокупности с регулярным посещением занятий ведут к получению в той или иной форме т.н. «автоматов» и/или становится возможной упрощенная форма сдачи экзаменов по курсу.

Очень эффективными могут быть различные элементы соревновательности, но только если они тщательно продуманы и на практике показывают свою действенность. Характерным примером такого рода может быть практиковавшееся автором в 2003-2006 гг. использование в курсе «Интернет-технологии» возможностей сайта neuron.ru, организованного на базе ресурсов Московского государственного университета имени М. Ломоносова. Данный ресурс (NEYRON) – это по сути интеллектуальная онлайн-игра в стиле «Что? Где? Когда?», но обладающая рядом ценных для учебного процесса возможностей: широкий набор вопросов самого различного характера, на которые в большинстве случаев трудно ответить без поиска в Интернет, дает студентам возможность интенсивно совершенствовать свои поисковые навыки, так как очки даются и за правильность, и за скорость ответа. Важно также, что на данном ресурсе студенты регистрируются как студенты конкретного вуза, что позволяет организовать захватывающее соревнование как между отдельными участниками, так и между вузами.

На протяжении трех лет в качестве одного из элементов самостоятельной работы по курсу «Интернет-технологии» магистрантам ДонНТУ зачитывались особые достижения на данном ресурсе. В итоге они добились тотального доминирования среди тысяч других студентов из десятков стран и сотен университетов. Так как за три года все вершины были достигнуты, то учебные бонусы за достижения в этой интеллектуальной онлайн-игре выдаваться перестали. Но и сегодня, по прошествию 10-ти лет, ДонНТУ находится в первой десятке лидирующих вузов (среди более чем 500-т зарегистрированных), а студенты, когда-то участвовавшие в этой беспрецедентной «битве вузов» или продолжающие участвовать, будучи уже выпускниками, испытывают чувство гордости за свои достижения и умеют быстро находить в Интернет практически все то, что большинству других пользователей, не прошедших такую школу интенсивной тренировки, дается далеко не всегда.

Еще одним хорошим проверенным средством вовлечения студентов в интенсивный учебный и исследовательский процесс является также использование какой-либо парадоксальной и/или проблемной ситуации. Например, известен так

называемый пример Румпа, который при вычислениях на самых разных компьютерах на протяжении уже нескольких десятилетий продолжает во многих случаях выдавать совершенно неправильный, практически абсурдный результат. Эксперименты с таким примером, и подобными ему, позволяют достаточно глубоко вникнуть в особенности организации вычислений в компьютерных системах и понять те недостатки, которые еще по-прежнему до конца не преодолены, несмотря на весь тот колоссальный прогресс, который мы наблюдаем в последние десятилетия [6].

Компьютерное моделирование

Современный компьютер при умелом использовании является уникальным образовательным инструментом. Главная его ценность заключается на сегодня в 2-х возможностях: в глобальном доступе буквально «на кончиках пальцев» в считанные секунды к колоссальным массивам информации, а также – в возможности наглядно и удобно моделировать все что угодно и как угодно. В сочетании с доступом в Интернет, где на сегодня накоплены и продолжают накапливаться самые различные интерактивные моделирующие системы, программы и совсем простые на первый взгляд приложения, моделирование может существенно изменить содержание учебного процесса и заметно повысить его эффективность [7].

В процессе профессиональной подготовки в области компьютерных наук и технологий важно не только и не столько быть умелым пользователем уже существующих моделей, но и разрабатывать свои. Польза при этом как минимум тройная: во-первых, многообразие моделей и технологий их реализации позволяет формировать практически неограниченное множество заданий самой различной сложности; во-вторых, студент естественным образом вовлекается в постижение всей глубины и сути моделируемых систем и процессов, имеет возможность наглядно увидеть результаты своего труда и проявить при этом все свои творческие способности; в-третьих, из удачных разработок такого рода постепенно формируется фонд самых разнообразных моделей для последующего использования в учебном процессе.

Такого рода учебная деятельность полностью соответствует новейшим подходам к организации инженерного образования, в числе которых, например, CDIO (Conceiving, Designing, Implementing and Operating), когда учебный процесс максимально включается в контекст инженерной деятельности, включающей планирование, проектирование, производство и применение, т.е. полный жизненный цикл инженерных процессов, продуктов и систем [8-10]. Следует отметить, что в свое время компьютерные науки и технологии в ДонНТУ начинались именно

с компьютерного моделирования [1]: 12 апреля 1961 года самое первое занятие с использованием компьютера было посвящено моделированию динамических систем на аналоговой вычислительной машине МН-7. Такие машины широко использовались в учебном процессе почти до начала 80-х годов. Впоследствии их сменили более совершенные аналоговые вычислительные комплексы АВК-31 [11], а в дальнейшем – и программные цифровые модели, имитирующие использование аналоговых вычислительных комплексов на практически любых современных компьютерных системах [12]. Традиции компьютерного моделирования получили в ДонНТУ интенсивное развитие и в дальнейшем, как в научных исследованиях, так и в учебном процессе. Одним из наиболее значимых результатов в этом контексте можно считать разработку и реализацию концепции универсальных моделирующих сред [13].

В качестве наиболее ярких и характерных примеров, разработанных и реализованных автором совместно со студентами или при участии студентов, можно также привести следующие работы и технологии:

Разработка и использование в учебном процессе наглядных компьютерных моделей функционирования микропроцессоров [14].

Разработка и реализация концепции когнитивного компьютерного моделирования [15-16], которая в дальнейшем эволюционировала в концепцию ноографики и ноомоделирования [17].

Разработка моделей компьютерных систем и их различных подсистем для исследования эффективности различных вариантов их организации, в том числе различных архитектур кэш-памяти [18].

Моделирование процессов обработки информации в интегрированных цифровых навигационных системах [19-20].

Разработка тренажерных систем различного назначения и их модельного обеспечения [21-23].

Реинжиниринг систем управления и моделирования сложных технологических процессов [24-25].

Создание фотореалистичных трехмерных моделей [26-27].

Разработка графических оболочек и сред для систем моделирования, в частности, для сетевого стимулятора [28].

Разработка концепции и реализация для использования в учебном процессе когнитивных альбомов [29].

Разработка и реализация портала компьютерного моделирования с уникальным комплексом интерактивных моделей, посвященных археомоделированию [30-33].

Реализация систем моделирования для мобильных пользователей [23, 34].

Моделирование клеточных автоматов, в том числе инновационных типов на базе различных вариантов гиперкодов [35].

Использование трехмерного интерактивного моделирования угольных шахт, в том числе для создания тренажеров по безопасности и охране труда [36-37].

Более детальная информация по перечисленным примерам приведена в публикациях по указанным ссылкам: тексты большинства из них доступны через Интернет и имеются в электронном архиве ДонНТУ.

Использование Интернет

Появление Интернет и формирование «Всемирной информационной паутины» WWW к рубежу тысячелетий создали предпосылки для существенных изменений в организации учебного процесса. Новые информационные технологии начали играть роль «Великого уравнивателя»: все меньшее значение стал иметь тот факт, где учится студент, в столице или на периферии, в ведущем большом университете или в относительно компактном и малоизвестном, – во всех случаях объемы и качество доступной информации и учебных материалов начали постепенно уравниваться. Очень многое стало зависеть в основном от того, насколько хороший компьютерный инструментарий и насколько устойчивый и широкополосный доступ в Интернет предоставляется обучаемому, а также от того, насколько широко и умело он им пользуется. Изменения начались настолько глубокие, что многие заговорили о грядущей революции в обучении [38].

В ДонНТУ активное использование возможностей Интернет в учебном процессе началось со второй половины 90-х годов [39-40].

В частности, с 2000 года для магистрантов практически всех специальностей ДонНТУ был введен курс «Интернет-технологии», основной акцент в котором был сделан на повышении эффективности пассивного (например, для целевого поиска информации) и активного (для профессионального роста и распространения собственной профессиональной информации) использования современных сетевых информационных технологий [41-42].

За полтора десятилетия сформировался уникальный портал магистров, содержащий результаты работы многих тысяч магистрантов, прошедших обучение в рамках данного курса. В настоящее время данный портал настолько активно используется, что тематические сайты каждого из магистров имеют минимум по несколько ежедневных посещений, а портал в целом обеспечивает до 80-ти процентов всех посетителей информационных ресурсов ДонНТУ [43]. Одним из главных результатов функционирования данного портала является, то, что в настоящее время само понятие магистр в русскоязычном пространстве

ассоциируется в первую очередь с ДонНТУ [41, 43].

На базе данного портала реализован также ряд значимых коллективных студенческих проектов [44]. Например, модульная система инженерных расчетов и моделей на базе технологий JavaScript, на базе которой организован специальный раздел на портале магистров ДонНТУ [45].

Поиск закономерностей

Как уже отмечалось, сложность и многообразие компьютерных систем и технологий растет экспоненциально. В целом может быть выделено 6 основных скоростей роста, которые в работе [5] предложено обозначать через L_j , где j принимает целочисленное значение и может изменяться от 1 до 6-ти. По сути j соответствует десятичному порядку роста соответствующих показателей компьютерных систем и технологий за характерный период в 20 лет. Например, закону Мура с удвоением каждые 2 года соответствует $j=3$, что означает рост в тысячу раз за 20 лет. Росту производительности компьютерных систем соответствует $j=5$, что означает увеличение в 100 тысяч (10 в 5-й степени) раз за период в 20 лет.

При таких темпах роста успевать учебному процессу за фактическим развитием и усложнением объектов изучения крайне сложно. Чрезвычайно актуальным в этой ситуации является знание базовых закономерностей такого роста и усложнения. Широко известен так называемый закон Мура и некоторые другие эмпирические закономерности.

С начала 90-х годов автор также периодически проводил исследования в данном направлении [46], которые значительно интенсифицировались с началом нового тысячелетия. В частности, были выявлены и исследованы закономерности кодо-логической и алгоритмической эволюции [47-49], суть которых сводится к тому, что нынешний двоичный (бинарный) этап развития компьютерных технологий, характерный для последних столетий и на базе которого произошла нынешняя компьютерная революция, является лишь одной из стадий развития. Данной стадии предшествовал добинарный (монокодовый и монологический) этап [50-51], а следующим будет постбинарный этап [52].

С 2009 года поиск закономерностей развития компьютерных систем и технологий значительно углубился и расширился, что позволило получить целый ряд важных и интересных результатов, представленных в работах [53-60]. В большинстве случаев речь идет о самых различных процессах экспоненциального роста, включая в качестве частного случая закон Мура и подобные ему.

Один из наиболее характерных примеров экспоненциального роста в компьютерных технологиях приведен на рисунке 1, который можно считать своего рода периодической таблицей роста производительности компьютерных

систем: по горизонтальной оси размечены четырехлетние периоды, за которые производительность всех классов компьютерных систем растет примерно в 10 раз.

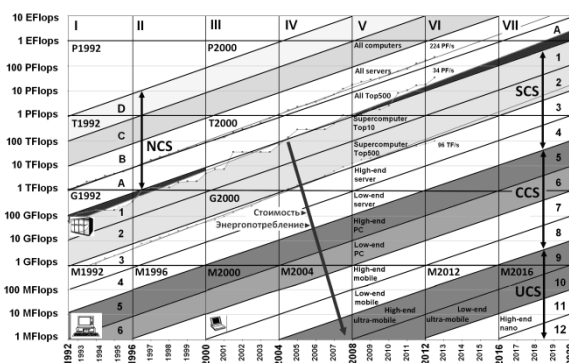


Рисунок 1 – Периодическая система роста производительности различных классов компьютерных систем с начала 90-х годов до 2020 года (детальнее см. в работе [5])

Всего выделено 12 классов систем, начиная с суперкомпьютеров и заканчивая перспективным классом нанокompьютеров. Вертикальная шкала является логарифмической и соответствует производительности компьютерных систем, которая может изменяться в диапазоне от Мегафлопс (MFLOPS – аббревиатура соответствующая миллионам операций с плавающей запятой в секунду) для систем самого малого класса до Эксафлопс для самых производительных суперкомпьютерных систем (соответствует тысяче миллиардов Мегафлопс).

Существенным дополнением к представленной на рисунке 1 периодической системе роста производительности являются закономерности изменения стоимости и распространенности различных классов компьютерных систем (рис. 2).

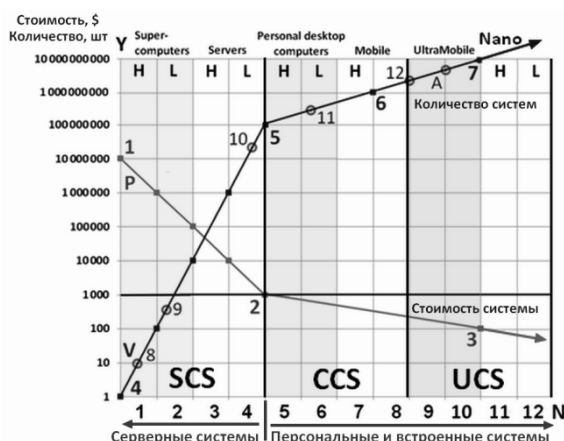


Рисунок 2 – Закономерности изменения стоимости (нисходящая ломаная) и распространенности (восходящая ломаная) различных классов компьютерных систем

Представленные на рисунке 2 графики изменения стоимости (нисходящая ломаная Р 1-2-3, для которой значения оси Y соответствуют долларовой эквиваленту) и примерных объемов ежегодного производства (восходящая ломаная V 4-5-6-7, для которой значения оси Y соответствуют объемам производства в шт.) для различных классов компьютерных систем имеют одну точку перелома (при переходе от 4-го класса к 5-му), которая определяется переходом от серверных систем к клиентским и встроенным системам. Графики представляют усредненные значения соответствующих величин, реальный разброс которых может составлять плюс/минус порядок соответствующего значения (детальнее см. в работе [57]).

На рис. 2 в качестве примеров обозначены объемы производства различных классов компьютерных систем в 2010 году: 8 – Top10 суперкомпьютеров, 9 – Top500 суперкомпьютеров, 10 – 20 миллионов серверов, 11 – 350 миллионов настольных персональных компьютеров, 12 – 1,8 миллиарда мобильных устройств (90% которых могут быть отнесены к ультрамобильным в виде смартфонов и других устройств). Символом А обозначены 6 миллиардов ARM-процессоров, что в 20 раз больше общего количества произведенных в 2010 году 80x86-процессоров, большинство из 300 миллионов которых были использованы в серверных и настольных персональных системах. Большинство ARM-процессоров (со сложностью порядка 100 тысяч транзисторов против миллиарда в 80x86-процессорах) использованы во встроенных компьютерных системах, объем производства которых приблизился в 2010 году к 20 миллиардам. Для классов компьютерных систем 5-10 действует правило массового производства: удвоение общего производства приводит к снижению стоимости на 10-15 %. В ближайшем будущем в рамках развития «Интернета вещей» ожидается появление «разумной пыли» – десятков и сотен миллиардов беспроводных сенсорных нанокомпьютерных систем классов 11 и 12.

Закономерностей, подобных представленной на рис.1 к настоящему времени выявлено десятки. И все они выстраиваются в довольно изящную систему [54-57].

В целом выявленная система закономерностей достаточно цельно и полно описывает системодинамику ноотехносферы [5] (т.е. всей современной совокупности «разумных технологий») и в дальнейшем может быть обобщена применительно к развитию техносферы в целом.

В определенной степени эффект от учета такого рода закономерностей в организации разного рода учебных материалов для студентов компьютерных специальностей можно сравнить с эффектом периодической системы элементов Дмитрия Ивановича Менделеева в изложении основ современной химии.

Выводы

Рассмотренные примеры и направления совершенствования профессиональной подготовки в области компьютерных наук и технологий можно считать достаточно адекватными ответами на те вызовы, которые обусловлены беспрецедентно высокими темпами развития компьютерных систем на протяжении последних десятилетий. Естественно, что данная работа может и должна продолжаться, расширяться и углубляться, так как замедления наблюдаемых темпов развития пока не отмечается и не ожидается в обозримом будущем.

В перспективе будет также продолжаться постепенное слияние технологий компьютерного моделирования и Интернет-технологий, что позволит сделать средства моделирования существенно более доступными для студентов, а значит – и более интенсивно используемыми в учебном процессе.

Предполагается также, что выявленная система закономерностей в области развития компьютерных систем и технологий может быть в той или иной степени обобщена применительно к другим техническим системам и технологиям, которые также (хотя и существенно более медленно) развиваются экспоненциально.

Литература

1. Аноприенко А.Я. Научная работа и учебный процесс на факультете компьютерных наук и технологий: прошлое, современность и будущее // Инженерное образование в развитии современного общества: Материалы международной научно-практической конференции 30 мая – 1 июня 2011. – Донецк, ДонНТУ, 2011. С. 243-262.
2. Аноприенко А.Я. Компьютерные науки и технологии: следующие 50 лет // Материалы научно-технической конференции «Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг (ИУС и КМ 2011)» – 12-13 апреля 2011 г., Донецк, ДонНТУ, 2011. Т.1. С. 7-22.
3. Аноприенко А.Я. Подготовка IT-профессионалов в украинских университетах: 50-летний опыт и следующие 50 лет // Материалы первого форума «Индустрия информационных технологий». – Донецк, 18-21 сентября 2012 г. С. 91-96.
4. Аноприенко А.Я. Вызовы и перспективы развития высшего образования в области компьютерных наук и технологий // Материалы III всеукраинской научно-технической конференции «Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг (ИУС и КМ 2012)» – 17-18 апреля 2012 г., Донецк, ДонНТУ, 2012. С. 12-15.

5. Аноприенко А.Я. Системодинамика ноотехносферы: основные закономерности // «Системный анализ в науках о природе и обществе». – Донецк: ДонНТУ, 2014, №1(6)-2(7). С. 11-29.
6. Аноприенко А.Я., Гранковский В.А., Иваница С.В. Пример Румпа в контексте традиционных, интервальных и постбинарных вычислений // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия «Проблемы моделирования и автоматизации проектирования динамических систем» (МАП-2011). Выпуск 9 (179): Донецк: ДонНТУ, 2011. С. 324-343.
7. Алексеев Г.В., Бриденко И.И. Иммитационное моделирование как фактор повышения экономичности образовательного процесса // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент», 2014. - №1. – 10 с.
<http://www.economics.ihbt.ifmo.ru>
8. Всемирная инициатива CDIO. Стандарты: информ.-метод. изд. / пер. с англ. и ред. А. И. Чучалина, Т. С. Петровской, Е. С. Кулюкиной; Том. политехн. ун-т. – Томск, 2011. – 17 с.
9. Похолков Ю.П., Толкачёва К.К. Инициатива CDIO и проблемы реализации активных методов обучения в инженерном образовании // «Инженерное образование», 2016, № 16. С. 120-125.
10. Переосмысление инженерного образования. Подход CDIO / Э. Ф. Кроули, Й. Малмквист, С. Остлунд, Д. Р. Бродер, К. Эдстрем; пер. с англ. С. Рыбушкиной; под науч. ред. А. Чучалина; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2015. — 504 с.
11. Аноприенко А.Я., Дранный В.А., Новосельцев В.Б. Лабораторные работы по применению аналоговых вычислительных комплексов АВК-31 для моделирования динамических процессов. – Донецк: ДПИ. – 1983. – 52 с.
12. Святный В.А., Цайтц М., Аноприенко А.Я. [Реализация системы моделирования динамических процессов на параллельной ЭВМ в среде сетевого графического интерфейса](#) // Вопросы радиоэлектроники, серия «ЭВТ», вып. 2. – 1991. С. 85-94.
13. Аноприенко А.Я., Святный В.А. [Универсальные моделирующие среды](#) // Сборник трудов факультета вычислительной техники и информатики. Вып.1. – Донецк: ДонГТУ. – 1996. С. 8-23.
14. Аноприенко А.Я., Башков Е.А., Коба Ю.А., Кухтин А.А. Использование в учебном процессе наглядных компьютерных моделей функционирования микропроцессоров // Тезисы докладов Всесоюзной научно-методической конференции «Педагогические и психологические аспекты компьютеризации образования (высшая школа)». – Рига. – 1988. С. 152-153.
15. Аноприенко А.Я. От вычислений к пониманию: когнитивное компьютерное моделирование и его практическое применение на примере решения проблемы Фестского диска / «Информатика, кибернетика и вычислительная техника». Сборник научных трудов ДонГТУ. Выпуск 6. Донецк, ДонГТУ, 1999, с. 36-47.
16. Соболева А.Г., Аноприенко А.Я. Применение средств когнитивного моделирования в управлении проектами // Материалы II международной научно-технической конференции «Информатика и компьютерные технологии – 2006», 13 декабря 2006 года, Донецк, ДонНТУ, 2006. С. 406-407.
17. Аноприенко А.Я. Ноографика и ноомоделирование // Материалы четвертой международной научно-технической конференции «Моделирование и компьютерная графика» 5-8 октября 2011 года, Донецк, ДонНТУ, 2011. С. 321-324.
18. Петренко А.В., Аноприенко А.Я. Модельные исследования различных архитектур кэш-памяти // Сборник трудов VI международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века» 13-18 сентября 1999 г. Том 2. – Донецк, 1999. С. 249-252.
19. Аноприенко А.Я., Кривошеев С.В., Потапенко В.А. Моделирование процесса обработки информации в интегрированной навигационной системе // Тезисы докладов международной научно-методической конференции «Компьютерное моделирование», 30 июня – 2 июля 1999 г., Днепропетровск, 1999. С. 114-115.
20. Аноприенко А.Я., Кривошеев С.В., Потапенко В.А. Моделирование процесса обработки информации в интегрированной навигационной системе // «Математическое моделирование», №1 (4), 2000, с. 72-75.
21. Аноприенко А.Я., Забровский С.В., Потапенко В.А. Современные тенденции развития тренажерных систем и их модельного обеспечения // «Прогрессивные технологии и системы машиностроения»: Международный

- сборник научных трудов. Вып. 10. – Донецк: ДонГТУ, 2000, с. 3-7.
22. Аноприенко А.Я., Кривошеев С.В. Тренажерный комплекс на базе интегрированной навигационной системы // Материалы международной конференции «Информационные технологии в управлении энергетическими системами», г. Киев, 18-19 октября 2005 г., Киев, 2005. С. 17-19.
23. Галкин А. В., Аноприенко А. Я. Разработка универсальной плоскпанельной тренажерно-обучающей системы // Информатика и компьютерные технологии / Сборник трудов IX международной научно-технической конференции 4-6 ноября 2013 г., Донецк, ДонНТУ. – 2013. С. 173-180.
24. Аноприенко А.Я., Забровский С.В., Каневский А.Д. Опыт реинжиниринга системы моделирования сложных технологических процессов // Научные труды Донецкого национального технического университета. Выпуск 20. Серия «Вычислительная техника и автоматизация». – Донецк, ДонГТУ, 2000. С. 139-148.
25. Waschler R., Kienle A., Anopriyenko A., and Osipova T. Dynamic plantwide modelling, flowsheet simulation and nonlinear analysis of an industrial production plant // Computer Aided Chemical Engineering, Volume 10, 2002, pages 583–588.
26. Аноприенко А.Я., Бабков В.С., Корявец И.А., Мищенко Е. Разработка трехмерной компьютерной модели корпусов ДонНТУ и особенности ее визуализации в Интернет // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия «Проблемы моделирования и автоматизации проектирования динамических систем» (МАП-2005). Выпуск 78: Донецк: ДонНТУ, 2005. С. 64-75.
27. Грищенко А.В., Аноприенко А.Я. Создание фотореалистичных трехмерных моделей // Материалы международной научно-технической конференции «Информатика и компьютерные технологии 2006», 13 декабря 2006 года, Донецк, ДонНТУ, 2006. С. 390-391.
28. Ерыгина Т.П., Аноприенко А.Я. Разработка графической среды для сетевого стимулятора NS2 // Материалы II международной научно-технической конференции «Информатика и компьютерные технологии – 2006», 13 декабря 2006 года, Донецк, ДонНТУ, 2006. С. 185-186.
29. Малыхина Д.А., Аноприенко А.Я. Когнитивные FLASH-альбомы в учебном процессе // Материалы II международной научно-технической конференции «Информатика и компьютерные технологии – 2006», 13 декабря 2006 года, Донецк, ДонНТУ, 2006. С. 191-192.
30. Аноприенко А.Я., Башков Е.А., Самойлова Т.А. Портал компьютерного моделирования: цели, задачи и особенности организации // Материалы первой международной научно-технической конференции «Моделирование и компьютерная графика», г. Донецк, 04-07 октября 2005 г., Донецк, 2005. С. 16-20.
31. Самойлова Т.А., Аноприенко А.Я. Разработка редактора скинов с помощью технологии FLASH для единого комплекса «Археомоделирование» // Материалы II международной научно-технической конференции «Информатика и компьютерные технологии – 2006», 13 декабря 2006 года, Донецк, ДонНТУ, 2006. С. 199-200.
32. Аноприенко А.Я., Ушакевич В.В., Соловей О.О., Бурлака Е.В. Особенности модернизации модулей портала археомоделирования // Материалы V всеукраинской научно-технической конференции «Компьютерный мониторинг и информационные технологии» (КМИТ-2009), 11-15 мая 2009 г. – Донецк, ДонНТУ, 2009. С. 141-142.
33. Ушакевич В.В., Соловей О.О., Бурлака Е.В., Аноприенко А.Я. Создание трехмерных моделей на портале археомоделирования // Материалы V международной научно-технической конференции «Информатика и компьютерные технологии» – 24-26 ноября 2009 г., Донецк, ДонНТУ, 2009. С. 322-329.
34. Anopriyenko A., John S., Al-Ababneh H. Simulation Tools and Services for Mobile Users: History, State-of-the-art and Future // Proceedings of the International Conference & Workshop on 3G GSM & Mobile Computing: An Emerging Growth Engine for National Development, 29-31 January, 2007. – College of Science and Technology, Covenant University, Canaan Land, Ota, Nigeria. 2007. P. 9-20.
35. Коноплева А.П., Аноприенко А.Я. Игра «Жизнь» Дж. Конвея на базе гиперкодов // Материалы III международной научно-технической конференции «Информатика и компьютерные технологии – 2007», 11-13 декабря 2007 года, Донецк, ДонНТУ, 2007. С. 254-257.

36. Бабенко Е.В., Аноприенко А.Я. Организация модульного интерактивного приложения для трехмерного моделирования угольных шахт // Материалы III всеукраинской научно-технической конференции «Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг (ИУС и КМ 2012)» – 17-18 апреля 2012 г., Донецк, ДонНТУ, 2012. С. 680-684.
37. Трофимов В.А., Николаев Е.Б., Аноприенко А.Я., Бабенко Е.В., Оверчик О.М., Использование трехмерного интерактивного моделирования угольной шахты для создания тренажера по безопасности и охране труда // Материалы всеукраинской научно-технической конференции «Современные проблемы охраны труда и аэрологии горных предприятий», 24 ноября 2011 г., - Донецк, ДонНТУ, 2011. С. 80-84.
38. Драйден Г., Вос Дж. Революция в обучении. Научить мир учиться по-новому. – М.: Экономика, 2003. – 672 с.
39. Минаев А.А., Аноприенко А.Я. [Сеть УРАН и перспективы компьютеризации высшего образования в Донбассе](#) // «Стратегия управления социально-экономическим развитием региона на период до 2010 года»: Материалы региональной научно-практической конференции. 28-30 сентября 1999 г. Секция «Приоритеты научно-технического и инновационного развития». – Том 2. – Донецк: ДонГТУ Минобразования Украины, ИЭПИ НАН Украины, Юго-Восток, 1999. С. 43-49.
40. Аноприенко А.Я. Студенческий потенциал ДонНТУ в разработке электронных образовательных ресурсов и сервисов // Современные технологии обучения в высшем техническом образовании. Сборник трудов научно-методической конференции ДонНТУ. – Донецк: ДонНТУ, 2002. С. 81-84.
41. Аноприенко А.Я. Разработка и продвижение информационных ресурсов учебно-научного назначения: феномен портала магистров ДонНТУ // Научные труды Донецкого национального технического университета. Выпуск 70. Серия «Информатика, кибернетика и вычислительная техника» (ИКВТ-2003): – Донецк: ДонНТУ, 2003. С. 251-272.
42. Методические указания к самостоятельной работе по курсу «Интернет-технологии» (для магистрантов всех специальностей ДонНТУ). Составители: Аноприенко А.Я., Завадская Т.В. – Донецк: ДонНТУ, ООО «Технопарк ДонГТУ УНИТЕХ», 2009. – 40 с.
43. Аноприенко А.Я. Университет в современном информационном пространстве: тенденции, рейтинги и опыт развития портала магистров ДонНТУ // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия: «Информатика, кибернетика и вычислительная техника» (ИКВТ-2011). Выпуск 13 (185). – Донецк: ДонНТУ, 2011. С. 224-235.
44. Джога А.С., Аноприенко А.Я. Повышения эффективности компьютерной поддержки учебного процесса в университете на базе современных Интернет-технологий // Материалы V международной научно-технической конференции «Информатика и компьютерные технологии» – 24-26 ноября 2009 г., Донецк, ДонНТУ, 2009. Т.2. С. 88-91.
45. Аноприенко А.Я., Акименко Е.Г. Основные концепции функционирования и анализ требований к системе инженерных расчетов на базе инфраструктуры Интернет // Сборник трудов магистрантов. Выпуск 2. – Донецк, ДонНТУ Министерства образования и науки Украины, 2003. С. 421-426.
46. Аноприенко А.Я. [Пределы информатики](#) // «Информация и рынок». Теоретический и научно-практический журнал. – 1993. – №2-3. С. 10-14.
47. Аноприенко А.Я. Обобщенный кодо-логический базис в вычислительном моделировании и представлении знаний: эволюция идеи и перспективы развития // Научные труды ДонНТУ. Серия «Информатика, кибернетика и вычислительная техника». Выпуск 93. – Донецк: ДонНТУ, 2005. С. 289-318.
48. Аноприенко А.Я. Эволюция алгоритмического базиса вычислительного моделирования и сложность реального мира // Научные труды Донецкого национального технического университета. Выпуск 52. Серия «Проблемы моделирования и автоматизации проектирования динамических систем» (МАП-2002): Донецк: ДонНТУ, 2002. – С. 6-9.
49. Аноприенко А.Я. Будущее компьютерных технологий в контексте технической и кодо-логической эволюции // Вестник Инженерной Академии Украины. Теоретический и научно-практический журнал Инженерной Академии Украины. Выпуск 3-4, 2011. С. 108-113.
50. Аноприенко А.Я. Археомоделирование: Модели и инструменты докомпьютерной эпохи. – Донецк: УНИТЕХ, 2007. – 318 с.

51. Аноприенко А.Я. Археомоделирование: доцифровая эпоха в вычислительном моделировании и ее значение в контексте обобщенного кодо-логического базиса // Материалы второй международной научно-технической конференции «Моделирование и компьютерная графика» 10–12 октября 2007 года, Донецк, ДонНТУ. – 2007. С. 29-34.
52. Аноприенко А.Я. Постбинарный компьютинг: развитие представлений о многомерном логическом пространстве и связь с ноокомпьютингом // Информатика и компьютерные технологии / Сборник трудов IX международной научно-технической конференции 4-6 ноября 2013 г., Донецк, ДонНТУ. – 2013. С. 488-509.
53. Аноприенко А.Я. Компьютерные науки и технологии в прошлом, настоящем и будущем // Материалы V международной научно-технической конференции «Информатика и компьютерные технологии» – 24-26 ноября 2009 г., Донецк, ДонНТУ, 2009. С.15-26.
54. Аноприенко А.Я. Модели эволюции компьютерных систем и средств компьютерного моделирования // Материалы пятой международной научно-технической конференции «Моделирование и компьютерная графика» 24-27 сентября 2013 года, Донецк, ДонНТУ, 2013. С. 403-423.
55. Аноприенко А.Я. Основные закономерности эволюции компьютерных систем и сетей // Научные труды ДонНТУ. Серия «Проблемы моделирования и автоматизации проектирования» (МАП-2013). Выпуск № 1 (12) – 2 (13): Донецк: ДонНТУ, — 2013. С. 10–32.
56. Аноприенко А.Я. Закономерности развития компьютерных систем // «Научная дискуссия: инновации в современном мире». №10 (18): Сборник статей по материалам XVIII международной заочной научно-практической конференции. – М.: Изд. «Международный центр науки и образования», 2013. – С. 19-29.
57. Аноприенко А.Я. Система закономерностей развития средств и методов компьютинга // Материалы V всеукраинской научно-технической конференции «Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг (ИУС и КМ 2014)» – 22-23 апреля 2014 г., Донецк, ДонНТУ, 2014. В 2-х томах. Т. 1. С. 11-23.
58. Аноприенко О.Я., Варзар Р.Л., Иваница С.В. Закономерности развития аналого-цифровых преобразователей и перспективы использования постбинарного кодирования // Научные труды ДонНТУ. Серия: «Информатика, кибернетика и вычислительная техника». Выпуск 1 (19). – Донецк: ДонНТУ, 2014. С. 5-10.
59. Аноприенко А.Я. Четыре концепции будущего: «Зеленый рост», «Индустрия 4.0», нооинфраструктура и космоантропная перспектива // Донбасс-2020: Материалы VII научно-практической конференции. Донецк, 20-23 мая 2014 г. – Донецк, Донецкий национальный технический университет, 2014. С. 6-11.
60. Аноприенко А.Я. Периодическая система развития компьютерных систем и перспективы нанокомпьютеризации // Инновационные перспективы Донбасса: Материалы международной научно-практической конференции. Донецк, 20-22 мая 2015 г. Том 5. Компьютерные науки и технологии. – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2015. С. 14-22.

Anopriyenko A. Main directions of professional training improvement in the field of computer science and technology. The author's experience (over 40 years) in the preparation of professionals in the field of computer engineering is the basis of this publication. The main directions and ways to improve this training are reviewed and analyzed. Numerous examples are given. Some pedagogical and psychological advice as well as specific issues of motivating students and using various competitive incentives are also considered. Special attention (with many examples) on the use of computer simulation as an object of design and as a learning tool to improve the efficiency of the educational process. The use of Internet technology and experience of creating a unique DonNTU Masters portal also described in the same context. Search and use in the classroom of laws is also important to improve training in the field of computer science and technology. This value can be compared with the value of Dmitri Mendeleev periodic system of elements in the study of chemistry.

*Статья поступила в редакцию 20.09.2015
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.Н. Павлышом*

УДК 004.04

Статистические компьютерные оценки характеристик многомерных операций и объектов. I.

А.И. Андрюхин

Донецкий национальный технический университет

alexandruckin@rambler.ru

Андрюхин А.И. Компьютерные оценки характеристик многомерных операций и объектов. I. В работе выполнена оценка вероятностные характеристики случайных матриц. Элементы матрицы имеют равномерное распределение. Возмущения элементов матриц предполагаются наблюдаемыми и ненаблюдаемыми. Они также имеют равномерное распределение. Эти результаты относятся к известной проблеме которые рассматривал Эшби при анализе поведения человека и конструкции его мозга. Для описания дополнительных параметров измеряемого физического параметра используются комплексные числа и кватернионы. Результаты работы, могут быть использованы при решении определенных вопросов построения устойчивых систем управления, теории интервального анализа и теории идентификация систем

Введение

Проблема измерений физических величин всегда затрагивала многие базовые концепты науки и в настоящее время приобрела признаки самодостаточного научного направления, которое предполагает большой вклад как научных и финансовых ресурсов (Большой коллайдер и др.). Можем выделить для целей работы философские, физические и математические аспекты этой проблемы.

Из античных источников известно, что пифагореец Гиппас из Метапонта (ок. 500 гг. до н. э.) поплатился жизнью за обнародование доказательства существования иррациональных (несоизмеримых) чисел. Ведь основой мировоззрения пифагорейцев считалось положение, что существует малая и неделимая

единица длины, которая целое число раз входит в отрезок любой длины и опровержение его Гиппасом влекло разрушение всего здания пифагореизма.

А.Пуанкаре обратил внимание на тот факт, что “пространство представлений в своих трех формах — визуального, тактильного и моторного пространства — существенно отличается от геометрического пространства” [1].

Далее он утверждает: “Наши представления суть только воспроизведение наших ощущений, поэтому они могут разместиться только в том же кадре, в каком и последние, т. е., в пространстве представлений” [1].

Отметим, что здесь имеется корреляция с известным буддийским вопросом 6 века “Что движется флаг или ветер ? Движется ваше сознание.”

Следовательно, может случиться, что мы переходим от системы впечатлений А к системе В двумя различными способами:

1) произвольно и без каких-либо мускульных ощущений — когда перемещается предмет;

2) произвольно и при наличии мускульных ощущений — когда предмет неподвижен, но перемещаемся мы таким образом, что предмет имеет по отношению к нам относительное движение.

Если дело происходит указанным образом, то переход от системы впечатлений А к системе В есть только изменение положения.

Отсюда следует, что зрение и осязание не могли бы нам дать понятие пространства без помощи «мускульного чувства».

Использование дополнительных параметров рассматриваемого (изменяемого) физического параметра проиллюстрируем на примере оценки показателя преломления для металлической поверхности. В [2] сказано “ В соответствии с законом синусов Френеля амплитуда отраженного от прозрачного тела света (поляризованного таким образом) относится к амплитуде падающего света как $J = \frac{\sin(i+r)}{\sin(i-r)}$, где i - угол падения, а r определяется уравнением $\sin i = \mu \sin r$.

МакКулаг и Коши допустили, что эти уравнения остаются в силе и для отражения от металлической поверхности, при условии, что показатель преломления μ замещается **комплексной величиной**, скажем,

$$\mu = v (1 - k\sqrt{-1}),$$

где v и k следует рассматривать как две постоянные, характерные для металла.

Величины $|J|^2$ и δ интерпретируются точно так же, как и в теории полного отражения Френеля: то есть, мы принимаем, что означает отношение интенсивностей отраженного и

падающего света, а δ измеряет изменение фазы, которое происходит при отражении света”.

Целью исследования является оценка структуры областей параметров при вычислениях и измерениях на основе базовых принципов интервального анализа.

Задачей исследования является

- 1) оценка структуры областей параметров при вычислениях и измерениях на основе базовых принципов интервального анализа и идентификация системных параметров;
- 2) определение вероятностей успешного измерения при некоторых ограничениях на области допустимых переменных измерений;
- 3) оценка структуры областей параметров при вычислениях и измерениях с учетом наблюдаемых и ненаблюдаемых возмущений.

Вероятностные оценки областей параметров измерений

При определении вероятности успешного измерения мы должны определить область допустимых параметров измерений, на основе которой используя понятие геометрической вероятности, статистически выяснять с определенной точностью ее площадь(объем).

Известно, что для определения числа независимых испытаний N , в каждом из которых событие A появляется с вероятностью p и отклонение частоты P события A меньше, чем на ε от p , применяется формула:

$$N = (p(1-p)[\Phi^{-1}(Q/2)]^2 / \varepsilon^2$$

Здесь Q - уровень доверия, Φ - функция Лапласа. Для целей работы принимаем $\varepsilon=0.001$, $p>0.1$ и $Q=0.999$. Округляя, получаем $N \approx 10$ млн испытаний [3].

Действительные числа

Простейшим примером может быть оценка выражения $\frac{Y+E_y}{X+E_x} - (R + ER)$ с некоторой точностью ε [4]. Здесь Y -истинное значение показателя, E_y -погрешность при измерении Y , X -истинное значение показателя, E_x -погрешность при измерении X , R -точное значение для Y/X . Подчеркнем, что под E_y , E_x понимаем искажения, которые определяются также и присущими данным объектам ненаблюдаемыми характеристиками. На рис.1 представлена область

$$Abs\left(\frac{Y+E_y}{X+E_x} - (R + ER)\right) < \varepsilon \quad (1)$$

при значениях $Y=12$, $X=4$, $R=3$, $\varepsilon=0.0015$, $E_y=E_x=Er=0.05$.

Аналогичный вид имеет область решений при комплексных возмущениях

$$Abs\left(\frac{Y+i \cdot E_y}{X+i \cdot E_x} - (R + i \cdot ER)\right) < \varepsilon \quad (2)$$

при значениях $Y=12$, $X=4$, $R=3$, $\varepsilon=0.0015$, $E_y=E_x=Er=0.05$. Она представлена на рис.2.

При определении вероятности попадания результатов измерений в эти области было получено при 10 000 000 испытаниях соответственно благоприятных исходов 299937 и 296402.

На практике при обработке результатов измерений применяются различного рода дисперсионные оценки. Использование их дает следующие результаты.

На рис.3 представлена область

$$Abs\left(\frac{\sqrt{Y^2+E_y}}{\sqrt{X^2+E_x}} - (\sqrt{R^2+ER})\right) < \varepsilon \quad (1)$$

при значениях $Y=12$, $X=4$, $R=3$, $\varepsilon=0.0015$, $E_y=E_x=Er=0.05$.

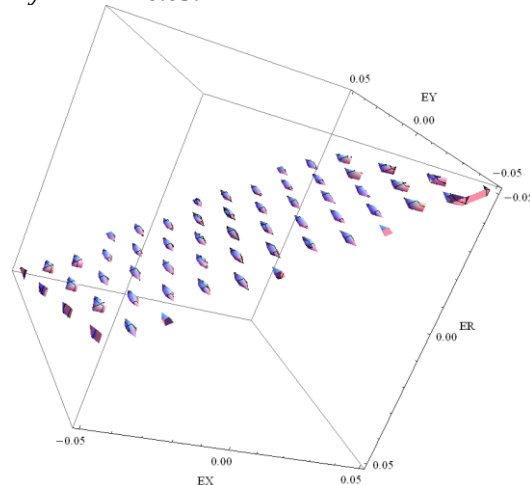


Рисунок 1 – Область решений неравенства (1).

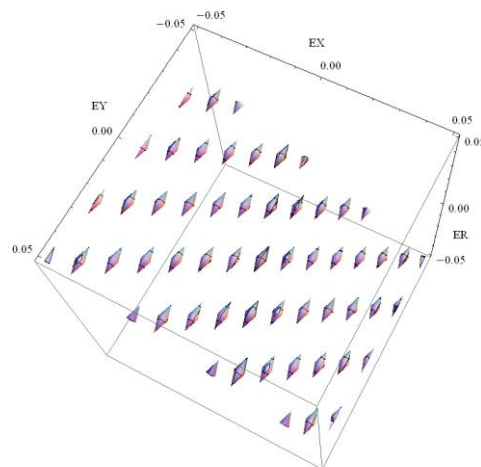


Рисунок 2 – Область решений неравенства (2).

При комплексных возмущениях область решений на рис.4 определяется выражением

$$Abs\left(\frac{\sqrt{Y^2+i \cdot E_y}}{\sqrt{X^2+i \cdot E_x}} - (\sqrt{R^2+i \cdot ER})\right) < \varepsilon \quad (4)$$

при значениях $Y=12$, $X=4$, $R=3$, $\varepsilon=0.0015$, $E_y=E_x=Er=0.05$.

При определении вероятности попадания результатов измерений в эти области было получено при 10 000 000 испытаниях

благоприятных исходов соответственно 300267 и 299860.

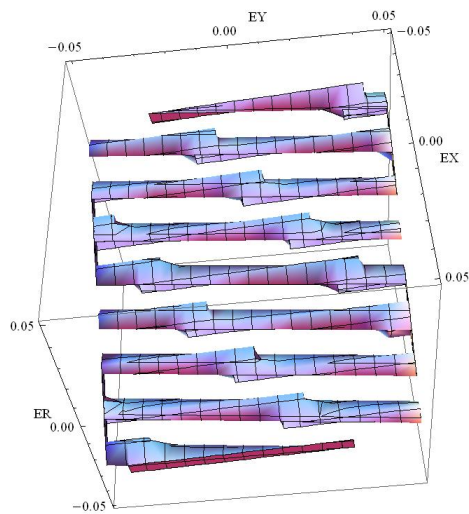


Рисунок 3 – Область решений неравенства (3).

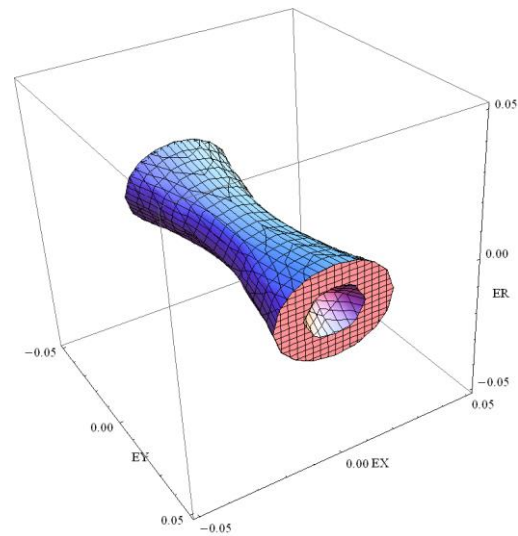


Рисунок 5а – Область решений для (5), $\varepsilon=0.000015$.

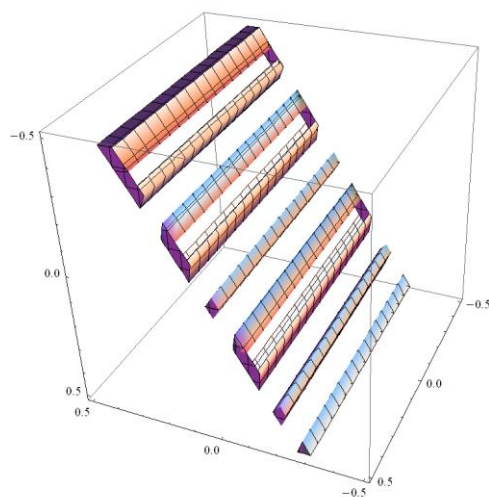


Рисунок 4 – Область решений неравенства (4).

При варьировании параметров Область решений также значительно меняет свой вид. К примеру, на рис.5 представлена область решений при вариации ε , уменьшая значения в два раза.

$$Abs\left(\frac{Abs(Y+i \cdot E_y)}{Abs(X+i \cdot E_x)} - Abs(R + i \cdot E_r)\right) < \varepsilon \quad (5)$$

при значениях $Y=12, X=4, R=3, E_y=E_x=E_r=1$.

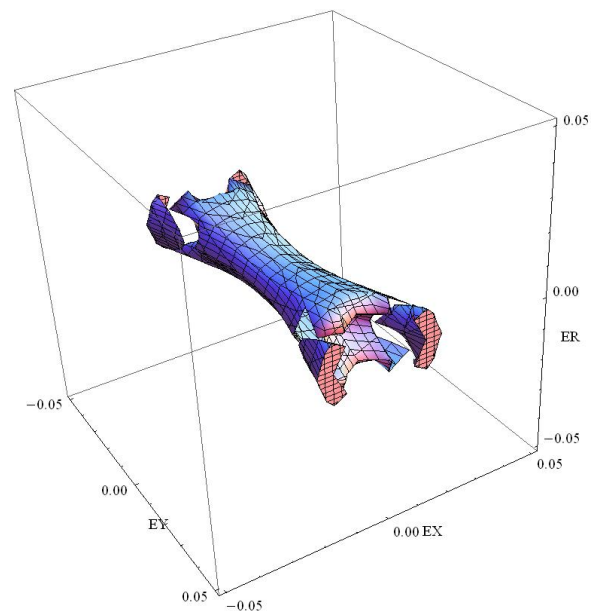


Рисунок 5б – Область решений для (5), $\varepsilon=0.0000075$.

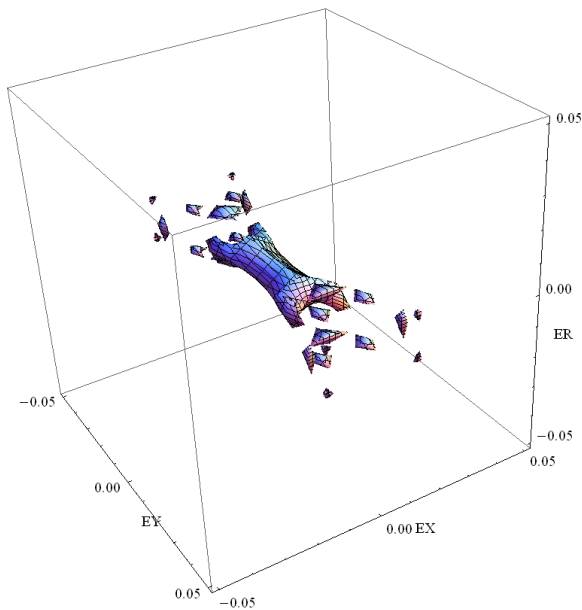


Рисунок 5в – Область решений для (5), $\varepsilon=0.000003525$.

Кватернионы

Для описания дополнительных параметров рассматриваемого (измеряемого) физического параметра можно помимо комплексных величин использовать другой известный математический формализм, как кватернионы []. Возможно их применение несколькими способами, но более подробно эти вопросы разбираются во второй части работы. В данной части статьи следуя вышеизложенному подходу для комплексных возмущений необходимо определить условия для коммутативности операции их умножения..

Рассмотрим представления кватернионов $\mathbf{x}=\mathbf{x}+x_1\mathbf{i}+x_2\mathbf{j}+x_3\mathbf{k}$, $\mathbf{y}=\mathbf{y}+y_1\mathbf{i}+y_2\mathbf{j}+y_3\mathbf{k}$, $\mathbf{z}=\mathbf{z}+z_1\mathbf{i}+z_2\mathbf{j}+z_3\mathbf{k}$ матрицами 2×2 с комплексными элементами. Имеем

$$\mathbf{x} = \begin{pmatrix} x + x_1\mathbf{i} & x_2 + x_3\mathbf{i} \\ -x_2 + x_3\mathbf{i} & x - x_1\mathbf{i} \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{y} = \begin{pmatrix} y + y_1\mathbf{i} & y_2 + y_3\mathbf{i} \\ -y_2 + y_3\mathbf{i} & y - y_1\mathbf{i} \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{z} = \begin{pmatrix} z + z_1\mathbf{i} & z_2 + z_3\mathbf{i} \\ -z_2 + z_3\mathbf{i} & z - z_1\mathbf{i} \end{pmatrix}$$

Если $\mathbf{x}=\mathbf{yz}$, то

$$\begin{aligned} x &= yz - y_1z_1 + y_2z_2 - y_3z_3, \\ x_1 &= y_1z_1 + y_2z_2 + y_3z_3 - yz, \\ x_2 &= y_2z_3 + z_2y_1 + y_1z_3 - y_3z_1, \\ x_3 &= y_3z_3 + yz_2 + y_2z_1 - y_1z_2. \end{aligned}$$

Рассмотрим выражение $[\mathbf{y}, \mathbf{z}] = \mathbf{yz} - \mathbf{zy}$

$$\mathbf{yz} - \mathbf{zy} = \begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} \\ f_{21} & f_{22} \end{pmatrix}$$

Получаем выражения для элементов матрицы

$$\begin{aligned} f_{11} &= x - yz + y_1z_1 + y_2z_2 + y_3z_3 - \\ &\quad I(x_1 + y_1z + yz_1 + y_3z_2 - y_2z_3), \\ f_{12} &= x_2 + Ix_3 - y_2z + y_3z_1 - yz_2 - y_1z_3 - \\ &\quad I(y_3z + y_2z_1 - y_1z_2 + yz_3), \\ f_{21} &= -x_2 + Ix_3 + y_2z - y_3z_1 + \\ &\quad yz_2 + y_1z_3 - I(y_3z + y_2z_1 - y_1z_2 + yz_3), \end{aligned}$$

$$f_{22} = x - Ix_1 - yz + y_1z_1 + y_2z_2 + y_3z_3 - \\ I(-y_1z - yz_1 - y_3z_2 + y_2z_3)$$

Отсюда можем получить условия коммутативности кватернионов:

- 1) для действительной части $y_1z_3 - y_3z_1 = 0$
- 2) два условия для мнимой части $y_2z_2 - y_3z_3 = 0$ и $y_2z_1 - y_1z_2 = 0$.

Следствием этих соотношений имеем $z_3 = \pm z_2$.

Если попытаться визуализировать области с кватернионными возмущениями, то необходимо конкретизировать значение определенных переменных (в общем случае три кватерниона определяются 12 координатами, а мы имеем в силу трехмерности нашего зрительного анализатора только три координаты) и на рис.5 представлена область, удовлетворяющая условиям

$$\text{Abs}\left(\frac{X}{\sqrt{QY}} - (\sqrt{QZ})\right) < \varepsilon,$$

где $X=120$, $Y=30$, $Z=4$, $QY = Y^2 + (EY_3)^2 + (EY_3 \cdot EZ_1/EZ_2)^2 + (EY_3 \cdot EZ_3/EZ_1)^2$, $QZ = Z^2 + EZ_1^2 + EZ_2^2 + EZ_3^2$ ($EZ_2^2 = EZ_3^2$), $\varepsilon=0.0015$.

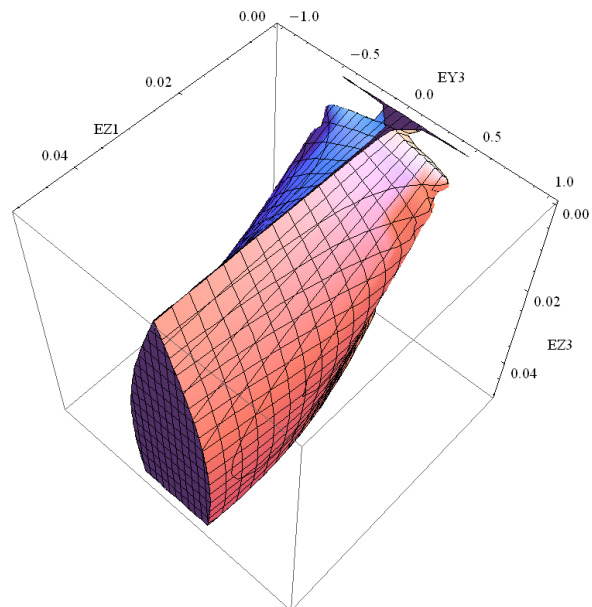


Рисунок 5 – Область решений

Компьютерные оценки устойчивости систем при возмущениях параметров

Широко применяемой моделью представления динамических систем является система дифференциальных уравнений $\mathbf{X}' = \mathbf{A} \cdot \mathbf{X}$, где $\mathbf{X} = (X_1(t), X_2(t), \dots, X_N(t))$ определяет состояние системы. Свойства спектра матрицы т.е. многомерный вектор собственных чисел определяет устойчивость системы.

Таким образом, несколько упрощая проблему определения устойчивости большой системы, мы можем сказать, что решение

сводится к задаче определения собственных чисел матрицы коэффициентов $A=\{a_{ij}\}$. Если матрица A удовлетворяет известному требованию отрицательности реальных частей корней характеристического уравнения $\text{Det}(A-\lambda I)=0$, то система устойчива. Однако при неизвестных возмущениях матрица A является случайной и следовательно результаты определения собственных значений случайной матрицы также случайны.

Естественно выполнялись попытки построить функцию распределения собственных значений матрицы с действительными случайными коэффициентами, но они оказались неудачными[8].

На основе моделирования были получены оценки вероятностей $\text{Prob}(\text{Re}(\lambda_i)<0)$, т.е. того что реальные части собственных чисел матрицы A отрицательны.

Известны попытки решения этой проблемы с помощью построения нелинейного параметра $K=\sigma(\text{NC})^{1/2}$, где $0<K<1$ -доля ненулевых элементов матрицы A , N - размерность A , σ -параметр гауссовой функции плотности распределения вероятностей для A [9]. Использование ее позволяет нам выполнять определение a_{ij} . Если мы имеем функцию Гаусса с нулевым средним, то дисперсия $\sigma^2=\sum \sum (a_{ij})^2$.

На основе статистического моделирования была получена оценка, что если $K<1$, то для всех $i=(1,N)$ $\text{Prob}(\text{Re}(\lambda_i)<0)\approx 1$ [1].

Далее мы построим статистические оценки устойчивости систем, считая, что случайные элементы a_{ij} имеют равномерное распределение на интервале $(-\text{Min}, \text{Max})$ с возмущениями, которые имеют также равномерное распределение на интервале $(-\varepsilon/2, \varepsilon/2)$, где параметр ε варьируется. Алгоритм расчета имеет вид

1. Задаем число испытаний I , размер матрицы N , ε , Min , Max .
2. Генерируем эталонную случайную матрицу A (ее элементы a_{ij} имеют равномерное распределение на интервале $(-\text{Min}, \text{Max})$) и определяем вектор λ_A ее собственных чисел.
3. Генерируем матрицы $M_i=\{m_{ij}\}$ ($i=1,I$), где элементы m_{ij} имеют равномерное распределение на интервале $(-\text{Min}, \text{Max})$ с накладываемыми возмущениями, которые имеют равномерное распределение на интервале $(-\varepsilon/2, \varepsilon/2)$.
4. Для каждой матрицы $M_i=\{m_{ij}\}$ ($i=1,I$) вычисляются вектор λ_{Mi} ее собственных чисел и σ_i -среднеквадратичное отклонение λ_{Mi} от вектора λ_A . Если матрица M_i имеет λ_{Mi} с отрицательными реальными частями, мы считаем ее устойчивой.

Результаты расчетов оформлены следующим образом. Каждой клетке таблицы с $\varepsilon=0.1$ сопоставлен рисунок из двух частей. Диапазон

изменения σ_i ($i=1,I$) разбит на интервалы и горизонтальные координаты этих частей рисунка определяют номер интервала $n=1,40$. Нижний (верхний) график определяет число всех (устойчивых) матриц попавших в соответствующий интервал (R -число устойчивых систем).

Типичными являются результаты на рис.6-11 ($I=10^5$) и на рис.11 ($I=10^6$). Их общие характеристики представлены в таб.1-3.

Таблица 1. Число испытаний $I=100000$.

N	$\varepsilon=0.1$	$\varepsilon=0.05$	$\varepsilon=0.01$
3	10462	10321	10495
4	3766	3816	3755
5	1142	1140	1120
6	247	268	286
7	67	65	68
8	12	13	11
9	1	1	3

Таблица 2. Число испытаний $I=1000000$.

N	$\varepsilon=0.1$	$\varepsilon=0.05$	$\varepsilon=0.01$
3	105105	104884	105354
4	37914	37759	37755
5	11565	11713	11607
6	2947	3104	3010
7	699	678	678
8	104	107	114
9	24	16	22

Заметим, что данные в этих таблицах пропорциональны I и незначительно зависят от ε и значительно от N .

Аппроксимация данных таблиц зависимостью $A \cdot I \cdot e^{K \cdot N}$ с применением метода наименьших квадратов дала следующие результаты, которые представлены в таблице 3.

Проверка прогностических свойств найденных параметров показала их достаточную точность. Но при увеличении N происходит ухудшение этих свойств.

Таблица 3. Значения параметра A и K .

	I	$\varepsilon=0.1$	$\varepsilon=0.05$	$\varepsilon=0.01$
A	10^5	2.5735	2.51768	2.52639
	10^6	2.54531	2.35898	2.56829
K	10^5	-1.06205	-1.04195	-1.06589
	10^6	-1.06429	-1.05859	-1.05897

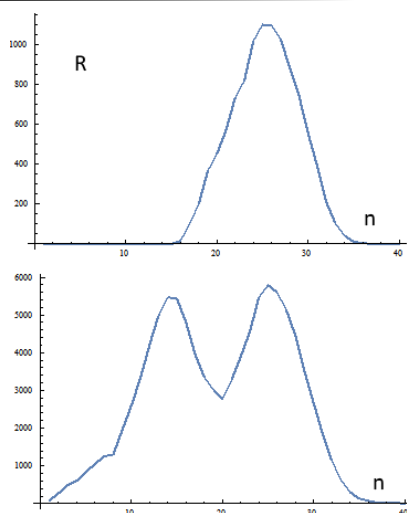


Рисунок 6 – Графики распределения N=3

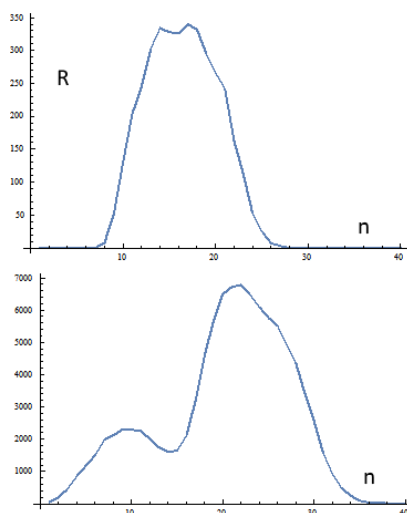


Рисунок 7 – Графики распределения N=4

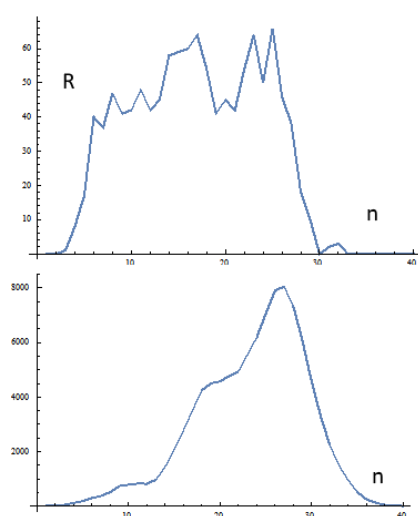


Рисунок 8 – Графики распределения N=5

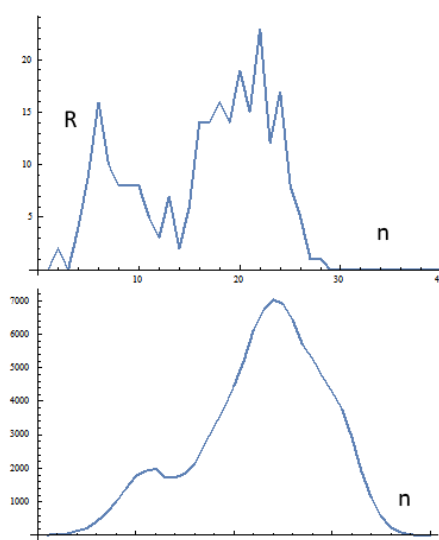


Рисунок 9 – Графики распределения N=6

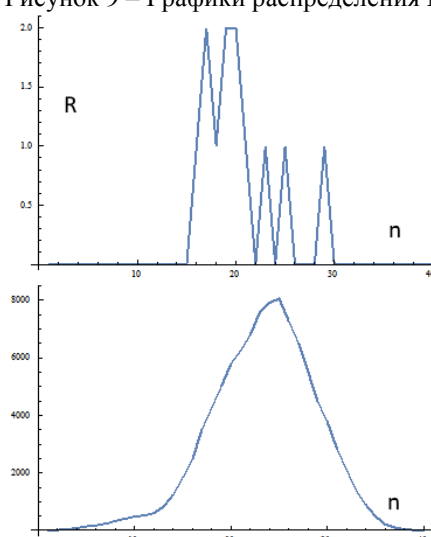


Рисунок 10 – Графики распределения N=7

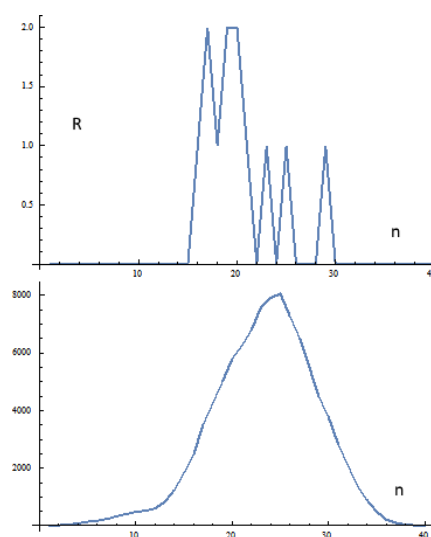


Рисунок 11 – Графики распределения N=8

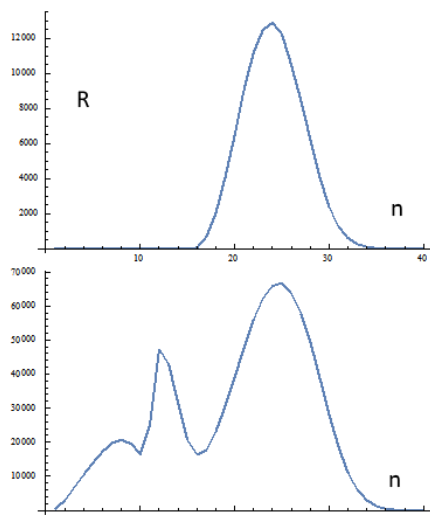


Рисунок 12 – Графики распределения N=3

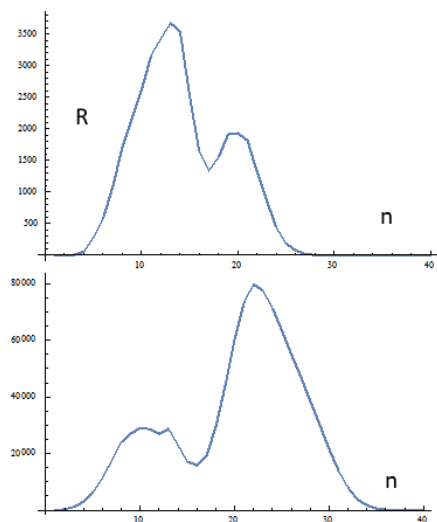


Рисунок 13 – Графики распределения N=4

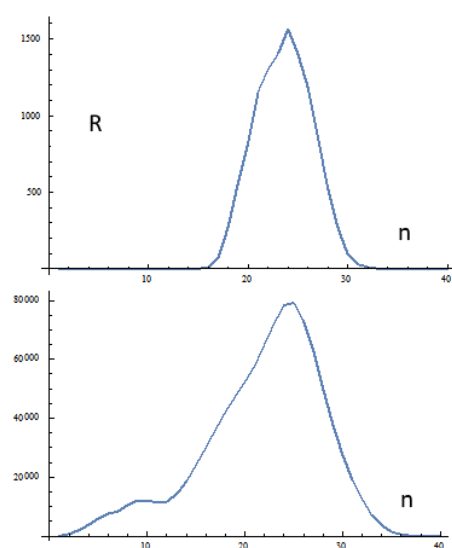


Рисунок 14 – Графики распределения N=5

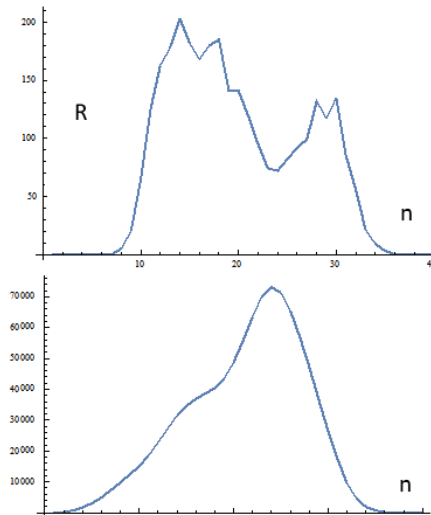


Рисунок 15 – Графики распределения N=6

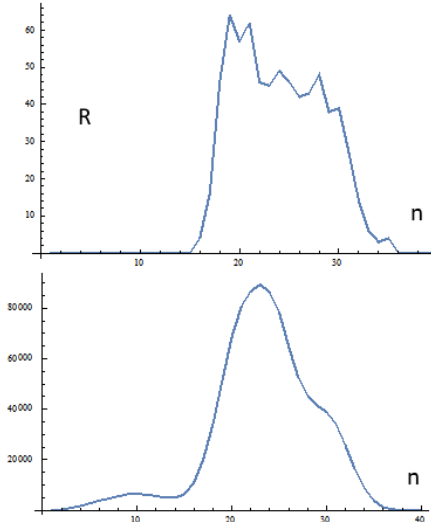
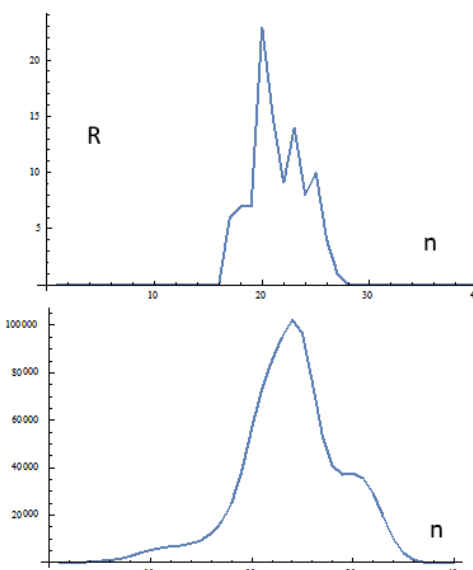


Рисунок 16 – Графики распределения N=7

Рисунок 17 – Графики распределения N=8
Представляет практический интерес оценка
устойчивости(неустойчивости) конкретной

матрицы. Здесь мы можем рассматривать два варианта. В первом случае возмущения имеют только действительный (как мы считаем наблюдаемый) тип, во втором при расчетах используем комплексные числа. Обозначим соответствующие алгоритмы расчета через II, III и приведем типичные таблицы результатов 3 и 4.

II Алгоритм расчета для действительных возмущений имеет вид

1. Задаем число испытаний I , размер матрицы N , ε , Min , Max .
2. Генерируем эталонную случайную матрицу A (ее элементы a_{ij} имеют равномерное распределение на интервале $(-\text{Min}, \text{Max})$) и определяем вектор λ_A ее собственных чисел.
3. Генерируем матрицы $M_i = \{ m_{ij} \}$ ($i=1, I$), где элементы m_{ij} равны a_{ij} с накладываемыми возмущениями, которые имеют равномерное распределение на интервале $(-\varepsilon/2, \varepsilon/2)$.
4. Для каждой матрицы $M_i = \{ m_{ij} \}$ ($i=1, I$) вычисляются вектор λ_{Mi} ее собственных чисел и σ_i - среднеквадратичное отклонение λ_{Mi} от вектора λ_A . Если матрица M_i имеет λ_{Mi} с отрицательными реальными частями, мы считаем ее устойчивой.

Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3. Число испытаний $I=100000$.

N	$\varepsilon=0.01$	$\varepsilon=0.05$	$\varepsilon=0.1$
3	0	100000	0
4	0	100000	0
5	1120	1186	1142
6	303	314	305
7	68	65	67
8	11	13	12
9	3	1	1

III Алгоритм расчета для комплексных возмущений имеет вид

1. Задаем число испытаний I , размер матрицы N , ε , Min , Max , P .
2. Генерируем эталонную случайную матрицу A (ее элементы a_{ij} имеют равномерное распределение на интервале $(-\text{Min}, \text{Max})$) и определяем вектор λ_A ее собственных чисел.
3. Генерируем матрицы $M_i = \{ m_{ij} \}$ ($i=1, I$), где элементы m_{ij} равны a_{ij} с накладываемыми комплексными возмущениями, которые имеют равномерное распределение для действительной и мнимой части на интервале $(-P \cdot \varepsilon/2, P \cdot \varepsilon/2)$.
4. Для каждой матрицы $M_i = \{ m_{ij} \}$ ($i=1, I$) вычисляются вектор λ_{Mi} ее собственных чисел и σ_i - среднеквадратичное отклонение λ_{Mi} от

вектора λ_A . Если матрица M_i имеет λ_{Mi} с отрицательными реальными частями, мы считаем ее устойчивой.

Результаты расчетов представлены в таблице 4

Таблица 3. Число испытаний $I=1000000$, $\varepsilon=0.1$.

P	N=4	N=5	N=6	N=7
10	5747	16	0	0
20	1094	22	5	3
25	951	1448	1584	13
30	6756	1445	21	0
40	7863	934	32	2
50	4407	414	12	3
60	3466	383	213	0

Выводы

Научная новизна работы заключается в том, что получены вероятностные характеристики случайных матриц с равномерным распределением для элементов матрицы и их возмущений, которые предполагаются и наблюдаемыми и ненаблюдаемыми.

Тем самым внесен определенный вклад в известные проблемы, которые рассматривал Эшби при анализе поведения человека и конструкции его мозга.

Практическая значимость результатов состоит в получении интервальных оценок параметров для некоторых операций выполняемых с многомерными величинами.

Ясно, что использование таких формализмов, как комплексные числа, кватернионы и т.п., как ненаблюдаемых возмущений при анализе результатов измерений является в некоторой мере искусственным приемом. Но логика истории научного поиска показывает необходимость такого подхода. Поэтому дальнейшая перспектива связана с поиском других подходов к описанию ненаблюдаемых возмущений. Другое направление дальнейших исследований связано с использованием других видов функций распределения.

Результаты работы, помимо теории интервального анализа и теории идентификация систем могут быть использованы при решении определенных вопросов построения устойчивых систем управления и решения обратных задач [10].

Литература

1. Пуанкаре А. О науке: Пер. с фр./Под ред. Л. С. Понтрягина. — 2-е изд., стер. — М.: Наука. Гл. ред, физ.-мат. лит., 1990. — 736
2. Уиттеккер Э. История эфира и электричества. - Ижевск: НИЦ Регулярная и стохастическая динамика, 2001, 512 с.
3. С.П. Шарый. Конечномерный интервальный анализ, 2013. — 613 с. — <http://www.nsc.ru/interval>

4. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 1972, с. 101.
5. Челноков Ю.Н. Кватернионные и бикватернионные модели и методы механики твердого тела и их приложения. Геометрия и кинематика движения. - М.: Физматлит, 2006. - 512 с.
6. A.J.Hanson. Visualizing quaternions. Morgan Kaufmann is an imprint of Elsevier 2006 Elsevier Inc..
7. Todd A. E., N. Le Bihan, S. J. Sangwine. Quaternion Fourier Transforms for Signal and Image Processing. ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc, 2014.
8. Эшби У.Р. Конструкция мозга. М.: ИИЛ, 1962.
9. Николис Дж. Динамика иерархических систем: Эволюционное представление. Москва, Мир, 1989 г. 488 с.
10. Теребиж В.Ю. Введение в статистическую теорию обратных задач. - М.: Физматлит, 2005. - 376 с.

Andruckin A.I. *Computer performance evaluation of multidimensional operations and objects.* This paper investigates the structure of the parameter area in the calculations and measurements based on the basic concepts of interval analysis. The objective of the study is to identify the system parameters, evaluation of the structure of the parameter area in the calculations and measurements based on the basic principles of interval analysis, determining the likelihood of successful measurement under certain restrictions on the tolerance to variable measurements, evaluation of the structure of the parameter area, taking into account the observable and unobservable disturbances.

The paper estimated the probability characteristics of random matrices. Elements of the matrix have a uniform distribution as well. Perturbation matrix elements are assumed to be observed and unobservable. They also have a uniform distribution. These results are well-known problem that Ashby considered in the analysis of human behavior and the structure of the brain. For a description of additional parameters measured physical parameter uses complex numbers and quaternions.

The results can be used to solve certain problems of constructing sustainable management systems, in addition to the theory of interval analysis and the theory of identification systems.

*Статья поступила в редакцию 20.09.2015
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.Н. Павлышом*

КМОП-реализации рефлексивных систем вероятностной логики

А.И. Андрухин, канд. техн. наук, с.н.с

С.Д. Подтынный, магистр

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

alexandruckin@ramber.ru

В работе рассматривается проблема реализации булевых уравнений, которая отражает рефлексивные представления агентов. На основании этой системы булевых уравнений построена системная модель рефлексивных связей. Рефлексивные связи рассматриваются, как обратные связи в нейроморфных сетях. Представлены основные концепты использования вероятностной логики для расчетов обратных связей в логических схемах. Рассмотрено множество базовых моделей для описания состояния последних. Представлены модели известных парадоксов. Анализ парадоксальных высказываний при применении вероятностной логики с ее более мощным алфавитом, нежели булева логика приводит к исчезновению противоречивых свойств суждений. Приведены результаты расчетов для стационарных вероятностей рефлексивных связей.

Ключевые слова: вероятностная логика, рефлексия, парадоксы, системная модель.

Введение

Рефлексия всегда привлекала внимание специалистов различных научных направлений, так как по мнению многих известных специалистов, человека отличает от животного уровень ее развития. Поэтому выполнялись исследования рефлексии с различных точек зрения и в различных областях применения [7-14].

Еще в основной работе сохранившего влияние в современной науке Дж.Локка [13, стр.154.] было отмечено “ 1. Идея есть объект мышления... 2. Все идеи приходят от ощущения или рефлексии... Наше наблюдение, направленное или на внешние ощущаемые предметы, или на внутренние действия нашего ума, которые мы сами воспринимаем и о которых мы сами размышляем, доставляет нашему разуму весь материал мышления. Вот два источника знания, откуда происходят все идеи, которые мы имеем или естественным образом можем иметь... под рефлексией в последующем изложении я подразумеваю то наблюдение, которому ум подвергает свою деятельность и способы ее проявления, вследствие чего в разуме возникают идеи этой деятельности. Эти два источника, повторяю я, т. е. внешние материальные вещи, как объекты ощущения и внутренняя деятельность нашего собственного ума как объект рефлексии, по-моему, представляют собой единственное, откуда берут начало все наши идеи. ”. Исходя из этих цитат, можно сделать вывод, что Дж.Локк разделял мнение буддийских логиков за 1000 лет до него, которые на вопрос “Что движется

флаг или ветер ?” отвечали “Двигается ваше сознание”.

В настоящее время модель системы считают рефлексивной, если в ней отражена способность системы строить модели себя и других систем и одновременно видеть себя строящей такие модели.

Известна математико-психологическая модель Лефевра, использующая функцию $X1 = F(x1, F(x2, x3))$. Функция $X2 = F(x2, x3)$ интерпретируется как образ себя, имеющийся у субъекта. Первая переменная этой функции, представляет перцептивный вход, а второй переменной соответствует ментальный образ себя.

Получен известный результат, что функциональное уравнение

$$\Phi(x1, \Phi(x2, x3)) = x1 + (1 - x1)(1 - x2)x3$$

где $x1, x2, x3$ числа из $[0,1]$ и все значения $\Phi(x, y)$ принадлежат $[0,1]$, имеет единственное решение $\Phi(x, y) = 1 - y + xy = F(x, y)$ [10].

Впервые вероятностная логика (ВЛ) для построения надежных технических систем использовалась в [1]. Активная роль вероятностной логики в исследованиях искусственного интеллекта [2-5].

Целью исследования является оценка возможностей синтетического направления, которое соединяет

А) известное направление построения надежных систем из ненадежных элементов [1];

Б) расширения булевой логики, в частности ВЛ и индуктивной логики;

В) исследования рефлексивных связей как обратных связей в нейроморфных системах

и определения их стационарных значений.

Г) известные КМОП-примитивы нейроморфных чипов.

Задачей данного исследования является построение системной модели отображения рефлексивных связей, вероятностных равновесных характеристиках в известных логических парадоксах и оценка применения КМОП-примитивов нейроморфных чипов.

Основной формализм рефлексивной булевой логики

Набор определенных состояний внешней среды и элементов систем в каждый момент времени назовем ситуацией. Ситуация может быть описана множеством отношений R между объектами внешней среды и элементами систем S_i . На базе информации, поступающей из внешней среды и подсистем, система S_i может построить информационную модель ситуации A , которую мы обозначим $J_i(A)$ – информационная модель ситуации A для системы S_i . Само состояние модели $J_i(A)$ описывается путем указания истинности некоторых предикатов $P_{ij}(A)$. Эти предикаты соответствуют отношениям $r_{ij} \in R_i$, где R_i – множество отношений для системы S_i , которые определяются на основании ее данных наблюдений.

Пусть $P1(A)$ и $P2(A)$ булевозначные функции (предикаты, булевы функции). Определим булеву функцию $T(P1, P2)$ равную 1, если $P1=P2$ и 0 в противном случае. Тогда значение функции $T(P1, P2)$ можно вычислять согласно формуле (2), следующей из ее таблицы истинности таб.1.

$$T(P1, P2) = \neg(P1 \oplus P2) \quad (2)$$

Где $\oplus$ (Exor)-операция сумма по модулю 2. Далее считаем, что значения **True(False)** кодируются 1(0) соответственно.

Легко показать, что для булевой переменной x получаем $T(x, 0) = \neg x$, $T(x, 1) = x$.
Табл.1. – Таблица истинности $T(P1, P2)$

P1	P2	T(P1, P2)
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Формулы вида

$$T(T(P1, P2), P3) = T(T(P1, P2) = P3) = P_n$$

Описывают рефлексивные булевы высказывания, если будем считать

Модель рефлексивных булевых связей между агентами

Рассмотрим коллектив из N агентов различных типов, каждый из которых может быть описан набором булевых переменных $a_i = (a_{i,1}, a_{i,2}, \dots, a_{i,n}), i=1, N[9-11]$. Будем понимать под состоянием ситуации A в определенные моменты времени $t_1, t_2, \dots, t_K, k=1, K$ значения компонентов a_i . Каждый агент a_i выполняет оценку ситуации A указанием истинности или ложности булевозначной функции $f_i(t_k, A)$, которые принадлежат Π . Считаем, что функционирование агентов представимо наиболее применяемой автоматной моделью для описания систем согласно рис.1.

Необходимо упомянуть, что в автоматной модели системы обычно определяют функцию выхода и функцию перехода. Так как мы считаем тип агента неизменным, то функцию перехода по состояниям можно не задавать, т.к. можно считать, что состояние единственно.

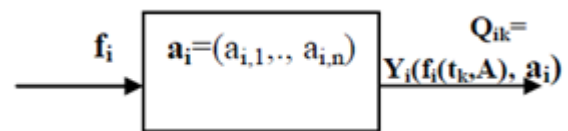


Рисунок 1 – Оценка значения воздействия $f_i(t_k, A)$ агентом a_i логическим значением Q_{ik} .

Следовательно, информация, получаемая в моменты времени $t_k, k=1, K$, может быть выражена системой булевых уравнений

$$Y_i(f_i(t_k, A), a_i) \oplus Q_{ik} = 0, i=1, N, k=1, K \quad (1)$$

где $Q_{ik} \in \{True, False\}$.

Важно отметить, что система булевых уравнений (1) может не иметь решений для определенного момента времени t_k или определенного множества Π .

Примерами являются известные классические парадоксы, которые показывают ограниченность булевой логики для описания человеческого мышления, т.е. нет булевых решений для систем логических уравнений, которыми мы описываем парадоксы.

1. Парадокс лжеца: «Я лгу».

2. Парадокс о Сократе и Платоне: Сократ: «То, что сказал Платон, есть ложь», Платон: «Сократ говорит только правду».

3. Парадокс Журдэна (эквивалент предыдущего парадокса)

«Второе предложение ложно. Первое предложение верно».

4. Парадокс Альберта Саксонского:

Q1: «Предложение Q2 ложно»;

Q2: «Предложение Q3 ложно»;

Q3: «Предложение Q1 ложно».

Для этих парадоксов нет булевых решений.

Рассмотрим парадокс лжеца. Обозначим через Q тип высказывающего человека.

Имеем уравнение $Q = T(Q, \text{False}) = T(Q, 0)$ и получаем противоречие $Q = \bar{Q}$.

Рассмотрим парадокс Журдена. Учитывая кодировку $\text{True}(\text{False})$ соответственно 1(0), получаем уравнения $Q1 = T(Q2, 0)$, $Q2 = T(Q1, 1)$. Отсюда $Q1 = \bar{Q2}$, $Q1 = Q2$. Складывая их по модулю 2, получаем $Q1 \oplus Q1 = \bar{Q2} \oplus Q2$ или $0 = 1$.

Рассмотрим парадокс Альберта Саксонского. Имеем уравнения $Q1 = T(Q2, 0)$, $Q2 = T(Q3, 0)$, $Q3 = T(Q1, 0)$. Согласно (2) $Q1 = \bar{Q2}$, $Q2 = \bar{Q3}$, $Q3 = \bar{Q1}$. Складывая их по модулю 2, получаем $Q1 \oplus Q2 \oplus Q3 = \bar{Q1} \oplus \bar{Q2} \oplus \bar{Q3}$. Прибавляя к левым и правым частям $Q1 \oplus Q2 \oplus Q3$, получим $0 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \oplus 1 \oplus 1$ или $0 = 1$.

Основные концепты вероятностной логики

Основными элементами вероятностной логики являются логические связи-операции ($\neg, \wedge, \vee, \leftrightarrow, \rightarrow$) с индексом p , с помощью которого мы указываем вероятностную оценку истинности определенной формулы [4-6]. Пример интерпретация вероятностного отрицания $\neg_p$ представлен в табл. 2.

Общие сведения о свойствах и операциях ВЛ представлены в табл. 3.

Подчеркнем, что в этой таблице мы используем соотношение $r = pq + (1-p)(1-q)$, которое играет важную роль в ВЛ.

Табл. 2. –Вероятностное отрицание

Вход X	Выход $\neg_p X$	
	0	1
0	1-p	p
1	p	1-p

Табл. 3. –Свойства и операции ВЛ

1	Коммутативность	$x \vee_p y \leftrightarrow y \vee_p x$ $x \wedge_p y \leftrightarrow y \wedge_p x$
2	Двойное отрицание	$\neg_q(\neg_p x) \leftrightarrow \neg_p(\neg_q x)$ $\neg_p 0 \leftrightarrow \neg_1(\neg_p 1)$ $\neg_p 1 \leftrightarrow \neg_1(\neg_p 0)$
3	Операции с 1 и 0	$(0 \wedge_p y) \leftrightarrow \neg_p 1$ $(1 \wedge_p y) \leftrightarrow \neg_1(\neg_p y)$ $(0 \vee_p y) \leftrightarrow \neg_1(\neg_p y)$ $(1 \vee_p y) \leftrightarrow (\neg_p 0)$
4	Эквивалентность	$(y \wedge_p y) \leftrightarrow \neg_1(\neg_p y)$ $(y \vee_p y) \leftrightarrow \neg_1(\neg_p y)$

5	Вероятностная тавтология	$(y \wedge_p (\neg_1 y)) \leftrightarrow \neg_p 1$ $(y \vee_p (\neg_1 y)) \leftrightarrow \neg_p 0$
6	Вероятностная формула де Моргана	$\neg_q(x \vee_p y) \leftrightarrow \neg_1 y \wedge_{\neg_1} \neg_1 x$ $\neg_q(x \wedge_p y) \leftrightarrow \neg_1 y \vee_{\neg_1} \neg_1 x$

Нужно отметить, что ВЛ не является дистрибутивной и ассоциативной

Для целей статьи, т.е. для обработки рефлексивных предложений, выполним упрощение рис.1 к виду, представленному на рис.4. Здесь P_r -вероятность правильной оценки воздействия X и соответствующего ответа Y .

Мы интерпретируем X, Y как вероятности. Изображенный узел является простейшим вероятностным преобразователем, который при P_r блтзкому к 1 выполняет операцию $T(X, P_r)$ при $X=0$ или 1. Это означает, что если P_r булева переменная, а X –действительное число (вероятность), мы продолжаем функции $T(X, 0)$, $T(X, 1)$ на вещественный отрезок $(0, 1)$ функциями $1-X$ и X соответственно.

Подчеркнем, что $T(p, q) = r = pq + (1-p)(1-q)$ и это выражение есть базовым для рефлексивной вероятностной логики.

Заметим, что предлагаемый преобразователь явно ассоциируется с “предложение есть речение, в котором что-нибудь утверждается или отрицается относительно чего-нибудь другого;” [15, с.73]

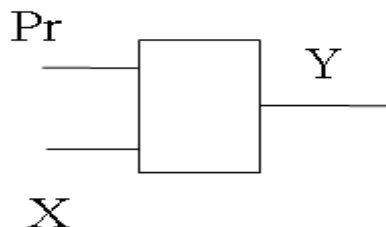


Рисунок 4 – Вероятностный преобразователь.

Отметим, что в конкретной рассматриваемой ситуации (момент времени) преобразователь выполняет только одну из этих функций(отрицания или подтверждения)..

Расчет для схем без обратных связей

При расчете выходных частот для логических схем мы выполняем замену булевых выражений алгебраическими выражениями, согласно $X \vee Y = X + Y - XY$, $X \wedge Y = XY$, $\bar{X} = 1 - X$, $X \oplus Y = X + Y - 2XY$, где X, Y в правых частях равенств являются положительными действительными переменными не больше 1. Мы интерпретируем их как частоту появления

1 в двоичной случайной последовательности. Таким образом, мы просто находим распределение конкретной функции от случайных величин с известными распределениями.

На рис.5,6 и 7 приведены функции распределения для действительных выражений (соответствующих определенным булевым выражениям). Аргументы этих функций X, Y имеют равномерное распределение на $(0,1)$.

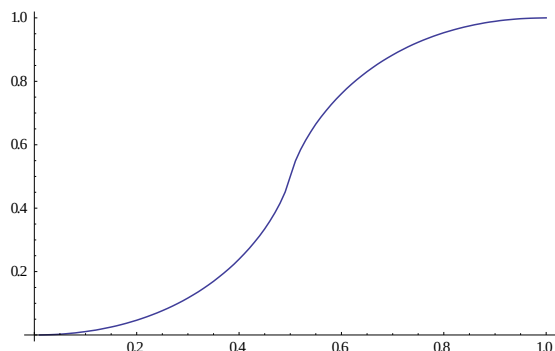


Рисунок 5 – Функция распределения $X+Y-2XY$.

Напомним, что действительная функция соответствует булевой функции $X \oplus Y$.

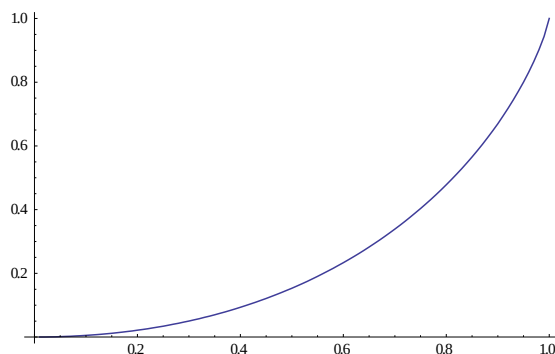


Рисунок 6 – Функция распределения $X+Y-XY$

Необходимо отметить, что для базовых элементов мы можем иногда построить аналитические выражения для функции распределения для конкретного распределения X, Y (равномерного, треугольного и т.п.), но для наших задач мы всегда можем построить эмпирическую функцию распределения, используя методы статистического моделирования.

Так кривую на рис.4 для $X+Y-XY$ (X, Y имеют равномерное распределение.), мы можем описать выражением $t(-1+t) \ln(1-t)$ и $t \in (0,1)$.

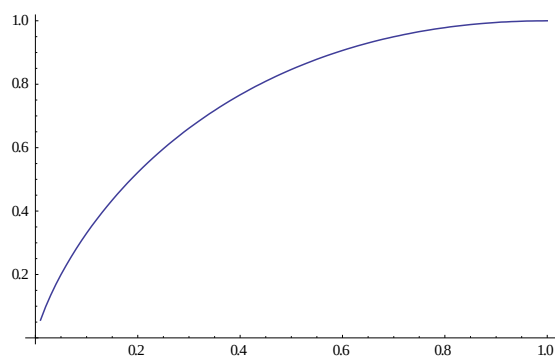


Рисунок 7 – Функция распределения XY

Расчет для схем с обратными связями

При расчете значений выходных величин Y мы предполагаем их стационарность в установившемся режиме и следовательно мы решаем уравнения $Y=F(X,Y)$

Решение существует так как, F есть сжимающее отображение (является суперпозицией функций соответствующих логическим операциям-связкам).

Так согласно этому предположению на рис.8 стационарная выходная частота Y равна $1/(1+X)$, 0.5 и 0.5 для примитивных операций И-НЕ, НЕ и отрицанию суммы по модулю 2 (исключающее ИЛИ) соответственно.

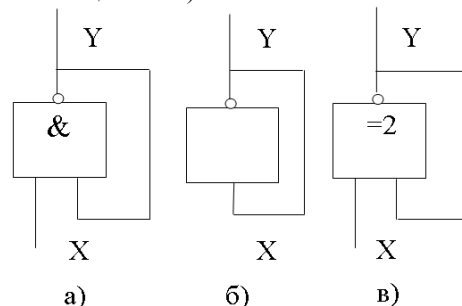


Рисунок 8 – Расчет параметров ОС для примитивов.

Рассмотрим менее тривиальную схему на рис.9. и график функции ее выхода Y при различных P, Q на рис.10.

Здесь мы имеем систему с обратными связями, которые необходимы для обеспечения адаптации и более эффективное функционирования.

На основании вида этой функции распределения можно сделать вывод о достоверности логического утверждения Y .

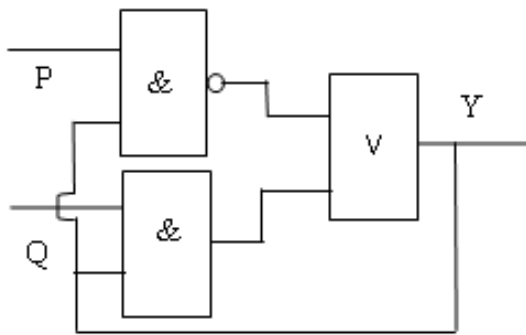


Рисунок 9 – Пример схемы с ОС.

В данном примере мы можем аналитически определить равновесную частоту для выхода Y

$$Y = (1 + P - (1 + 2P + P^2 - 4PQ)^{0.5}) / 2PQ$$

Выполним анализ в свете вышеизложенного такие важные операции, как импликацию и правило логического вывода «modus ponens» (MP).

Рассмотрим любые два высказывания A, B. Если составить из этих двух высказываний A, B сложное высказывание, если A, то B, (обозначается как $A \rightarrow B$), то мы определяем логическую операцию импликации и ее таблица истинности имеет вид согласно таб.4.

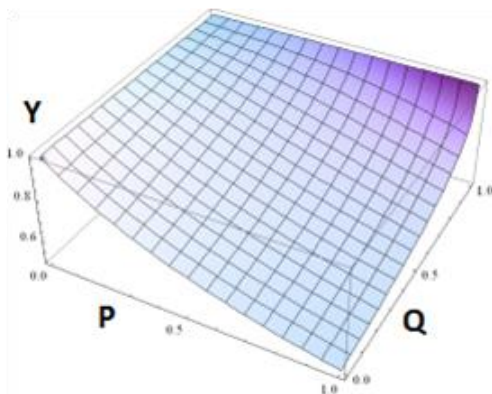


Рисунок 10 –График функция Y.

Заметим, что первые две строчки таблицы (A ложно) иногда интерпретируют как "Из ложного высказывания следует что угодно", что вызывает у части специалистов резкие возражения. Совокупность 2 и 4 строчки таблицы (B истинно) часто формулируют, как "Истинное высказывание следует из чего угодно".

Табл.4. –Таблица истинности импликации

	A	B	$A \rightarrow B$
1	F	F	T

2	F	T	T
3	T	F	F
4	T	T	T

Анализ выражения $A \rightarrow B$ приводит к заключению, что в правой части опускают посылку B, т.е. импликация является логической связкой с обратной связью и может быть представлена рис.13. Более того, существование релевантной логики базируется на требовании наличия общих переменных по обе стороны правила логического вывода и следовательно любой логический вывод есть правило с обратной связью.

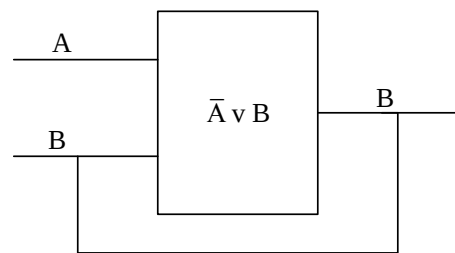


Рисунок 13 – Рефлексивная модель импликации.

Аналогичные рассуждения для правила MP приводят к рис.14.

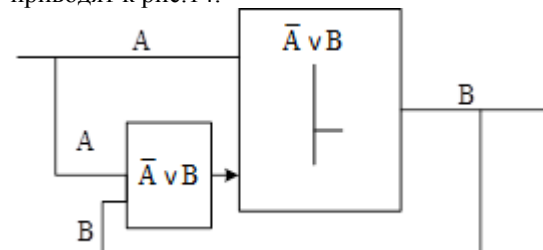


Рисунок 14 – Рефлексивная модель MP.

Следуя этим рисункам можно построить аппаратную реализацию этих схем.

Расчет параметров рефлексивных связей для языковых парадоксов

Для языковых парадоксов необходим системный анализ всей информации при рассмотрении конкретной вербальной ситуации и восстановление умалчиваемой или подразумеваемой информации.

Так при анализе парадокса о Сократе и Платоне: Сократ: «То, что сказал Платон, есть ложь», Платон: «Сократ говорит только правду», необходимо строить модель на основании всего текста, а не рассматривать модель каждого предложения (известный системный принцип целостности).

Каждый из субъектов (Платон и Сократ) может быть представлен преобразователем моделью согласно рис.4., а общей вербальной ситуации соответствует рис.11., где визуально имеем неявную в речи обратную связь.

Согласно рис. 11 имеем $X_s = P Y_p = P X_p$ и $X_p = S Y_s = S(1 - P X_p)$. Следовательно, стационарные частоты $X_p = S/(1 + PS)$ и $X_s = PS/(1 + PS)$.

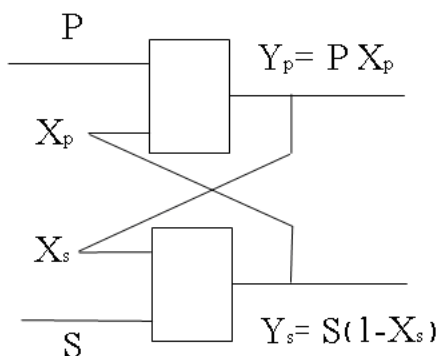


Рисунок 11 – Парадокс Платон-Сократ.

Выполним аналогичный расчет для парадокса Альберта Саксонского (рис.12):

Q1: «Предложение Q2 ложно»;

Q2: «Предложение Q3 ложно»;

Q3: «Предложение Q1 ложно».

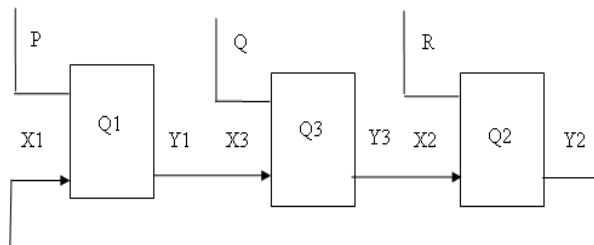


Рисунок 12 – Модель парадокса Альберта Саксонского.

Согласно модели на рис.12 имеем $X_1 = Y_2$, $X_1 = Y_2$, $X_3 = Y_1$, $X_2 = Y_3$ и $Y_1 = P(1 - X_1)$, $Y_2 = R(1 - X_2)$, $Y_3 = Q(1 - X_3)$. Отсюда определяем стационарные(равновесные) частоты:

$$Y_1 = P(1 - R + RQ)/(1 + PRQ),$$

$$Y_2 = R(1 - Q + PQ)/(1 + PRQ),$$

$$Y_3 = Q(1 - P + RP)/(1 + PRQ).$$

Вероятностный анализ существования и истинности

Декарт определял бога как существо, обладающее всеми мыслимыми свойствами (положительное определение). По определению,

бог должен обладать свойством существования. Следовательно, бог существует.

И. Кант объявил это доказательство Декарта недействительным на том основании, что существование не есть свойство. Рассмотрим одно из возможных применений ВЛ к известным научным проблемам взаимоотношений доказуемости, истинности, существования и над которыми работали Гедель, Россер, Смальян, Манин и др., на следующем примере. Имеем 4 листа бумаги:

I Первый лист содержит три утверждения:
1) X существует.
2) X не существует
3) Все утверждения на этом листе ложны.

II Второй содержит следующие утверждения:

1. X существует.
2. X не существует
3. Все утверждения на этом листе истинны.

III Третий лист содержит утверждения:

1. X существует.
2. X не существует
3. Одно из утверждения на этом листе ложно.

IV Четвертый лист содержит утверждения:

1. X существует.
2. X не существует
3. Одно из утверждения на этом листе истинно.

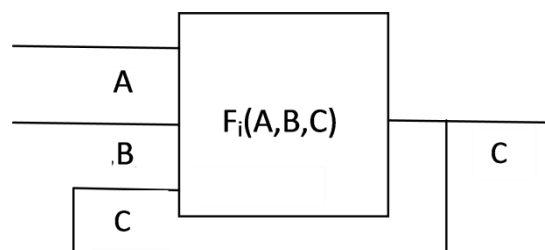


Рисунок 15 – Рефлексивная модель трех представлений.

Если действовать в рамках булевой логики, то представлены все возможные варианты. Пусть A,B,C- вероятностные оценки истинностей трех предложений в каждом из 4 вариантов.

Можем построить следующие булевы соотношения для описания этих четырех случаев, где значения True(False) кодируются 1(0) соответственно:

$$I \quad T(A \vee B \vee C) = C$$

$$II \quad T(A \wedge B \wedge C) = C$$

$$\text{III } T(\neg A \wedge B \wedge C \vee A \wedge \neg B \wedge C \vee A \wedge B \wedge \neg C = 1) = C$$

$$\text{IV } T((\neg A \wedge \neg B \wedge C \vee A \wedge \neg B \wedge \neg C \vee \neg A \wedge B \wedge \neg C = 1) = C$$

После выполнения преобразований переходим к алгебраическим уравнениям относительно A, B, C , учитывая, что $B = 1 - A$. Получаем следующие решения или уравнения для определения зависимости C от A .

$$\text{I } C = A(1-A)/(1+A(1-A))$$

$$\text{II } C = 0$$

III Кубичное уравнение для C

$$A - A^2 + (-4A + 6A^2 - 4A^3 + 2A^4)C + (A - 4A^2 + 7A^3 - 6A^4 + 3A^5 - A^6)C^2 + (-A^3 + 3A^4 - 3A^5 + A^6)C^3 = 0$$

IV Кубичное уравнение для C

$$1 - 2A + A^2 + 2A^3 - A^4 + (-2 + 2A + 2A^2 - 7A^3 + A^4 + 3A^5 - A^6)C + (A - 4A^2 + 4A^3 + 3A^4 - 6A^5 + 2A^6)C^2 + (A^3 - 3A^4 + 3A^5 - A^6)C^3 = 0$$

Графики действительных решений представлены на рис.16,17,18.

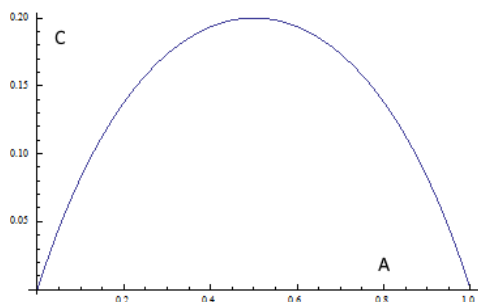


Рисунок 16 – Зависимость $C(A)$ в I.

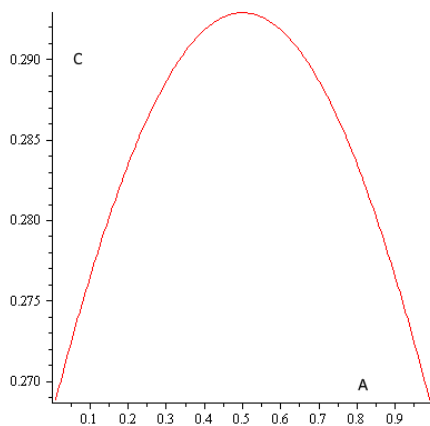


Рисунок 17 – Зависимость $C(A)$ в III.

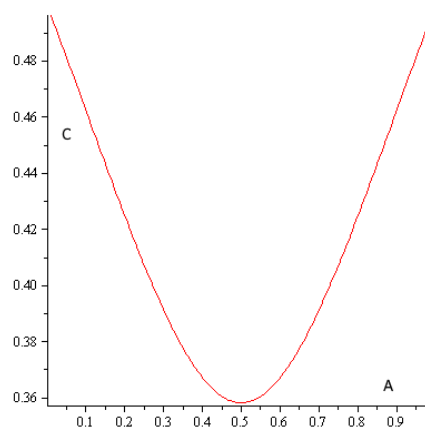


Рисунок 18 – Зависимость $C(A)$ в IV.

Необходимо отметить недостатки Mathematica и Maple при визуализации аналитических решений кубических уравнений в пунктах III и IV.

КМОП-реализации рефлексивных систем вероятностной логики

Согласно [16] уровни исследований кремниевых нейрочипов в современной компьютерной индустрии могут быть представлены рис.19.

В настоящее время в ней известны аппаратные реализации PCMOS «вероятностных комплементарных металлоксидных полупроводников» (Probabilistic Complementary Metal-Oxide Semiconductor)[6]. В этой технологии определение возможности события, ранее требовавшее множества транзисторов, сводится к операции в одном или нескольких вентилях, в которых исходные и выходной сигналы — вероятности.

Применение ВЛ для описания функционирования PCMOS-схем можно проиллюстрировать, анализируя основные примитивы этой технологии, из которых мы рассмотрим МОП-инвертор на рис.20 с соответствующей табл.2.

Согласно современным представлениям тепловой шум влияет на выходное значение инвертора согласно рис.21.

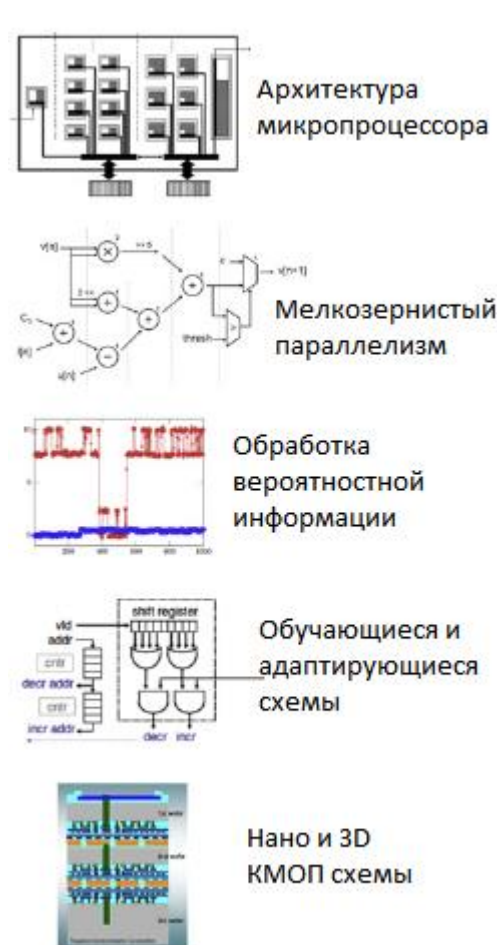


Рисунок 19 – Уровни исследований кремниевых нейрочипов.

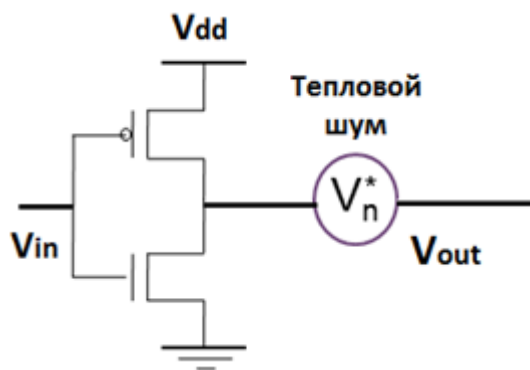


Рисунок 20 – МОП-инвертор.

Вероятность правильной работы инвертора может быть определена выражением (**erf**-функция Лапласа)

$$P = (1 + \text{erf}(V_{dd}/(2\sqrt{2}\sigma)))/2$$

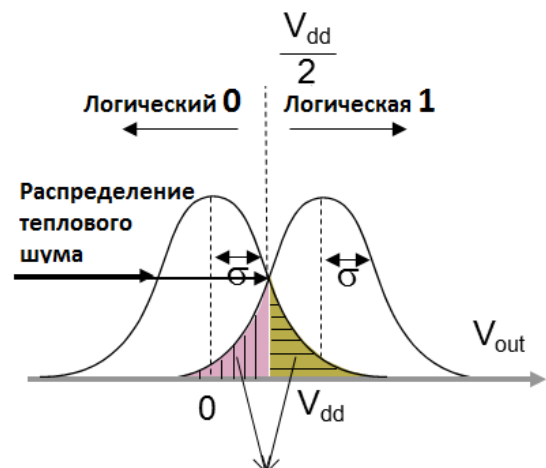


Рисунок 21 – Вероятностная модель инвертора.

При реализации булевых функций систем широко используют тот факт, что многие булевы функции можно представить пороговыми функциями. Известно, пороговая функция (**TLF**) – это булева функция $Y(x) = \text{sgn}(\sum_{i=1}^n \omega_i x_i - \Theta)$, где ω_i -веса аргументов x_i , Θ -порог, $x = (x_1, \dots, x_n)$.

Более того, важность использования **TL** связана с доказательством того, что некоторые виды булевых функции могут быть реализованы с использованием **TL** сетей, которые требуют меньше вентилях при меньшем количестве ступеней схемной реализации в сравнении с реализациями, основанными на традиционных булевых вентилях.

На рис.22 представлен один из возможных вариантов реализации любой пороговой функции на полевых транзисторах с плавающим затвором, но в настоящее время это с требуемой точностью трудно выполнить.

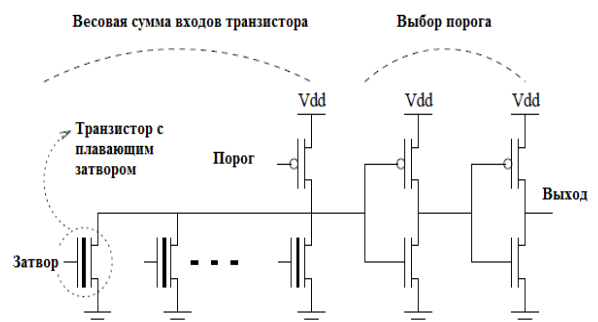


Рисунок 9 - Универсальная реализация пороговых функций.

Существующие методики проектирования аналоговых КМОП схем изложены в [17-18].

Выводы

Подчеркнем, что анализ парадоксальных высказываний при применении вероятностной логики с ее более мощным алфавитом, нежели булева логика приводит к исчезновению противоречивых свойств суждений. Человек достаточно терпимо относится к наличию противоречивых суждений и это указывает на необходимость развития ВЛ при построении нейроморфных систем.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые была предложена методика построения системы булевых уравнений, которые отражают рефлексивные представления агентов относительно идентификации логического состояния других агентов и себя в частности. Получены вероятностные характеристики рефлексивных связей в равновесных состояниях. Тем самым мы определяем здесь значения сигналов для устойчивых стационарных состояний нейроморфных систем.

Практическая значимость результатов состоит в получении оценок состояния агентов коллектива, что позволяет более точно и эффективно прогнозировать поведение последних. Это приводит к уменьшению временных затрат при взаимодействии и является основой более эффективного сотрудничества.

Результаты работы, помимо теории мультиагентных систем и решения определенных вопросов создания нейроморфных систем, могут быть использованы в технической диагностике, логической идентификации систем.

Список использованной литературы

1. Нейман Дж. Вероятностная логика и синтез надежных организмов из ненадежных компонент // Шеннон К.Э., Маккарти Дж. Автоматы. Сборник статей. - Пер. с англ. - М.: Издательство иностранной литературы, 1956. - 403 с.
2. Витяев Е.Е., Перловский Л.И., Ковалерчук Б.Я., Сперанский С.О. Вероятностная динамическая логика мышления // Нейроинформатика, 2011, том 5, № 1
3. [Без текста]
4. [Без текста]
5. [Без текста]
6. Pinar Korkmaz, "Probabilistic CMOS (PCMOs) in the Nanoelectronics Regime", PhD Thesis, Georgia Institute of Technology, December 2007.
7. Тейяр де Шарден П. Феномен человека. М., 2001.
8. Д. Хофштадтер. Гедель, Эшер, Бах: эта бесконечная гирлянда. Самара, 2001, 752 с.
9. Андрюхин А.И., Кузнецов А.В. Компьютерное исследование физических аспектов рефлексивности мышления человека // Научные труды ДГТУ. Серия: Проблемы моделирования и автоматизации проектирования динамических систем. Вып. 29. 2002 г., с. 218-226.
10. Lefebvre, V. A. A Psychological Theory of Bipolarity and Reflexivity. Lewiston, N.Y.: The Edwin Mellen Press. 1992.
11. Андрюхин А.И., Артеменко В.А. Рефлексивная компьютерная модель и логическая идентификация состояния коллектива агентов // Наукові праці ДонНТУ випуск 15 (203) Серія "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка", с. 101-106.
12. Лепский В.Е., Зорина Г.И. Рефлексивное предприятие XXI века // Рефлексивные процессы и управление, № 2, 2005, том 5, с. 21-40
13. Локк Джон. Опыт о человеческом разумении // Москва: "Мысль", 1985. - 726 с
14. J. M. Vidal. Fundamentals of Multiagent Systems with NetLogo Examples. March 1, 2010.
15. Милль Д. С. Система логики силлогистической и индуктивной: Изложение принципов доказательства в связи с методами научного исследования. — М.: ЛЕНАНД, 2011. — 832 с
16. A.S. Cassidy, J. Georgiou, A.G. Andreou. Design of silicon brains in the nano-CMOS era: Spiking neurons, learning synapses and neural architecture optimization // Neural Networks 45 (2013), 4–26.
17. Dynamical Systems in Neuroscience: The Geometry of Excitability and Bursting, Eugene M. Izhikevich, The MIT Press Cambridge, Massachusetts, 2007.
18. Analog VLSI: Circuits and Principles. Shih-Chii Liu, Jörg Kramer, Giacomo Indiveri, Tobias Delbrück, and Rodney Douglas. The MIT Press Cambridge, Massachusetts, 2002.

Андрюхін О.І.С.Д.Підтиний. Імовірнісні оцінки рефлексивних логічних зв'язків.. У статті представлена система булевих рівнянь, яка відображає рефлексивне уявлення агентів. Рефлексивні зв'язки розглядаються, як зворотні зв'язки в нейроморфних мережах. Наведено результати розрахунків для стаціонарних ймовірностей рефлексивних зв'язків.

Ключові слова: імовірнісна логіка, рефлексія, парадокси, системна модель

Andruckin A.I.,S.D.Pidtyynyi.CMOS implementation of reflexive systems in probabilistic logic. The aim of the study is to assess the capabilities of the synthetic direction, which connects a known direction of building reliable systems from unreliable elements, expansion of Boolean logic, in particular, of the PBL and inductive logic and study of reflexive relations as feedbacks in neuromorphic systems. The objective of this study is to construct a system model of reflexive relations and their probabilistic characteristics of equilibrium in certain logical paradoxes. The article presents a system of Boolean equations, which reflects the resubmission of reflexive agents. On the basis of this system of Boolean equations built system model of reflexive relations. Reflexive communication are considered as feedback in neuromorphic networks. The basic concepts of using probabilistic logic is presented for calculation of feedbacks in logic circuits. Set of base models are considered to describe the state. Models of famous paradoxes are presented. Analysis of paradoxical statements in the application of probabilistic logic with its more powerful alphabet than Boolean logic leads to the disappearance of conflicting judgments properties. he work proposed a method for constructing a system of Boolean equations that reflect reflexive representation of agents with respect to the identification of the logical state of other agents and himself in particular. Probabilistic characteristics of reflexive relations were obtained in equilibrium. The results, in addition to the theory of the creation of multi-agent systems, and neuromorphic systems may be used in the technical logical identification and diagnosis systems. The results of calculation for the stationary probabilities of reflexive relations are presented for logical paradoxes of Plato and Socrates, Albert of Saxony.

Keywords: probabilistic logic, reflection, paradoxes, the system model.

Стаття поступила в редакцію 20.09.2015
Рекомендована к публікації д-ром техн. наук В.Н. Павлышом

УДК 378.147

Сравнительный анализ систем управления контентом сайтов для дистанционного обучения

И.Ю. Анохина,
Донецкий национальный технический университет
IngaTula@mail.ru

Анохина И.Ю. Сравнительный анализ систем управления контентом сайтов для дистанционного обучения. Рассматриваются вопросы дистанционного обучения в современном информационном обществе. Анализируется опыт реализаций проектов интернет-обучения, оцениваются системы управления контентом сайтов (CMS) с точки зрения их применения для дистанционного обучения.

Введение

Дистанционную форму обучения можно определить как одну из наиболее развивающихся систем образования XXI века. Дистанционная форма позволяет уже сегодня создать массовую систему непрерывного образования, независимо от возраста, местоположения учащегося и преподавателя. Возможность быстрой замены устаревшего материала, прямых контактов авторов курсов и обучаемых, применения современных средств обучения: презентаций, аудио-, видео-лекций позволяет обеспечить подготовку и поддержание высокого уровня профессиональных знаний.

К несомненным достоинствам дистанционного обучения следует отнести гибкий график обучения, индивидуальность, доступность, технологичность.

Внедрение новых информационных технологий в учебный процесс позволяет совершенствовать методы и формы обучения с учетом современных тенденций к информатизации общества, использовать в процессе обучения компьютерные тестирующие, обучающие, оценивающие программы, использовать в качестве лекционного материала электронные учебники, видео-лекции. Все вместе позволяет ориентировать обучаемого на возможность самостоятельно приобретать знания, планировать учебную деятельность, развивать технологическое мышление и получить навыки работы в среде телекоммуникационных технологий.

По данным авторов [1] в системе дистанционного образования в США обучаются более миллиона человек. В Испании функционирует Национальный университет дистанционного образования, включающий в себя шестьдесят семь учебных центров. Общее количество студентов 124000. Во Французском национальном центре обучается 35000 человек

из 120 стран мира. В ФРГ в подготовке дистанционных курсов принимают участие более 5000 преподавателей.

В 2012 году стартовал совместный проект Гарвардского университета и Массачусетского института технологии (MIT), получивший название edX course, целью которого является разработка бесплатных on-line курсов для всех желающих. Реализация проекта, по мнению авторов, позволит определить оптимальную стратегию дистанционного обучения [2,3]. Все курсы одинаково структурированы. В программу входит описание курса, видео – лекции, текстовые записи лекций, домашние задания, дополнительные материалы, расписание on-line консультаций, вопросы к экзамену. Лекции даны в формате pdf и свободно скачиваются.

На сайте Academic Earth (Земля Академическая) [4] размещены ссылки на курсы различных университетов. Впечатляет количество: Станфордский университет выложил 1702 лекции; Калифорнийский университет – 1327.

Недостатком представленных курсов является отсутствие текстовых записей, они выполнены как видео - лекции. На этом сайте предлагается совокупность лекций, а не полновесный курс, при этом все лекции в свободном доступе.

14.09.15 восемь ведущих вузов России презентовали Национальную платформу открытого образования, которая официально начала работать на портале <https://openedu.ru>. Было запущено 46 учебных курсов от НИТУ "МИСиС", МГУ, СПбГУ, СПбПУ, НИУ "ВШЭ", МФТИ, УрФУ и ИТМО. На них уже подписано более 8000 человек из разных регионов страны [5]. Сами курсы бесплатны и без формальных требований к базовому уровню (рис.1).

В данный момент в России запущена широкая рекламная компания, на порталах многих городов страны размещены приглашения записаться на on-line курсы.

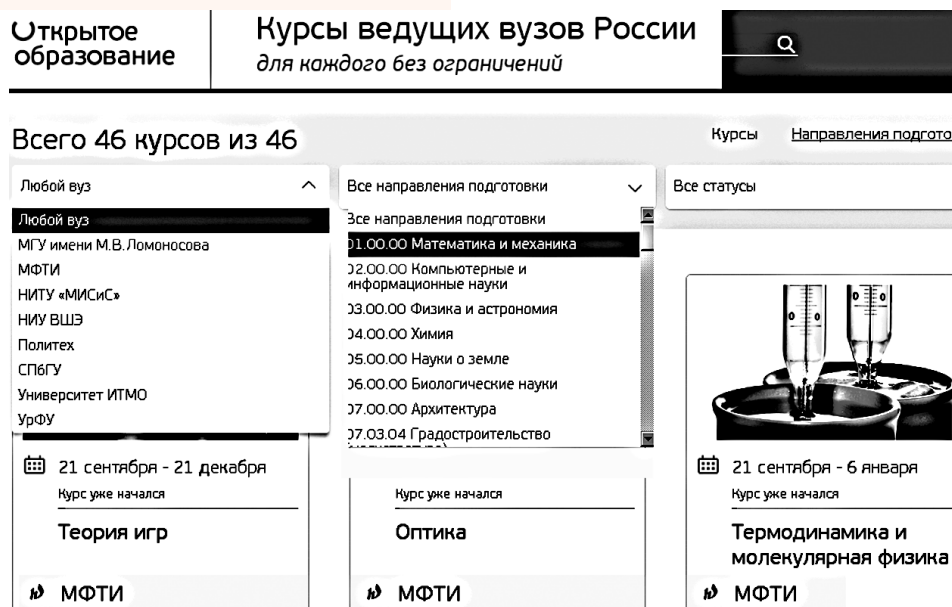


Рисунок 1 –Национальная платформа открытого образования России

В отличие от принятой на Украине закрытой системы MOODLE, требующей обязательной авторизации, причем, открытой только для студентов данного вуза, Открытое образование России позволяет бесплатно пройти курсы всем желающим независимо от местонахождения и образования.

Исследуя дистанционные ресурсы различных вузов, можно прийти к выводу. Чем выше уровень вуза, тем больше учебных материалов выложено бесплатно, без паролей, без регистрации. Вузы более низкого уровня требуют пароль для входа, иногда появляются сообщения: бесплатно выложена часть курса, остальное можно купить.

Таким образом, дистанционное образование обусловлено мировыми тенденциями в области информационных технологий, и вопросы, связанные с его организацией, являются актуальными. В связи с отсутствием пока общей открытой платформы для курсов наших вузов, можно рекомендовать использование сайтов преподавателей, созданных на базе открытых бесплатных платформ.

Для организации дистанционного обучения необходимо наличие электронных версий конспектов, электронных учебников, систем тестов и возможности размещения всего педагогического багажа в Интернете. Безусловно, материал может быть выложен на сайтах кафедр учебных заведений. В этом случае преподаватель теряет непосредственную связь с сайтом. При замене материала, необходимости выложить новые лекции, разместить результаты проверки контрольных работ ему приходится обращаться к администратору сайта. Прямой

контакт учащийся – преподаватель нарушается и теряет оперативность.

Одним из вариантов организации дистанционной формы курсов является создание собственных сайтов с наличием прямого доступа к ним. Если учесть, что не все преподаватели достаточно хорошо работают на компьютере, возникает проблема поиска такой системы управления контентом сайта, которая будет доступна для непрофессионалов.

По данным авторов работы [6], в сфере образования работает 39% лиц старше 50 лет (см. рис.1). Далеко не все из них владеют компьютером на уровне продвинутого пользователя, а это минимальный уровень, который требуется для разработки личного сайта.

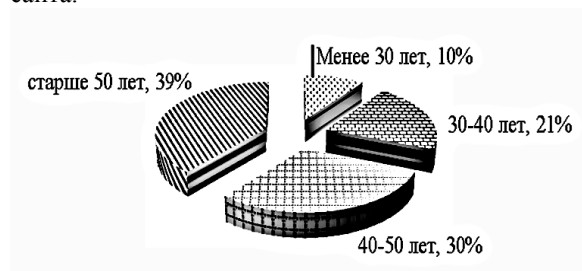


Рисунок 2 – Возрастной состав работников образования России

Еще несколько лет назад разработка сайта требовала времени и знаний в области языков программирования, графических редакторов, основ цветодинамики... С появлением систем управления контентом (содержимым) сайта (CMS) процесс разработки сайта значительно упростился.

Первой системой управления контентом принято считать систему Vingette. Одноименная фирма была основана в 1995г и ее первым продуктом была именно система управления сайтом.

В данный момент существует большое количество CMS, позволяющих за незначительный срок создать современный образовательный сайт. С возникновением CMS проблема создания собственного сайта переросла в проблему выбора оптимальной, отвечающей поставленным задачам, системы, ее изучения, планирования с учетом возможностей системы структуры личного сайта и его наполнения.

Большое количество CMS в тоже время затрудняет выбор, какую систему выбрать, какие основные операции и функциональные возможности она должна реализовывать.

К основным функциям следует отнести:

- для пользователя (учащегося) возможность находить информацию, что предполагает удобную навигацию по сайту; изучать, скачивать материал в общепринятых форматах файлов, по возможности минуя файлообменники, проходить тестирование;

- для администратора (преподавателя) возможность размещения, преобразования и обновления информации, хранения временно неиспользуемой информации (наличие библиотек, каталогов, менеджеров файлов), возможность создания резервных копий сайта, получения статистики о посещениях сайта, изменение дизайна. [7]

Причем для администратора сайта желательна возможность выполнять все вышеперечисленные функции, не прибегая к программированию.

Схематически описанные требования показаны на рис. 3. Понятно, что требования,

предъявляемые к образовательному ресурсу, отличаются от требований, предъявляемых к сайтам, выполняющим функции Интернет-магазина, блогов, живых журналов. Поэтому анализируя системы управления контентом, мы оценивали их не по принятой шкале рейтинга систем управления сайтами, а с учетом вышеизложенных требований.



Рисунок 3 – Требования к CMS для образовательного ресурса

Для оценки, какую CMS следует выбрать, были проанализированы рейтинги, выполненные различными компаниями. При анализе нами учитывались как степень распространенности системы, так и ее функциональные возможности. В табл. 1 показана динамика изменения количества установок CMS, выполненная компанией ITrack [8]. Сравнивались данные за август 2013г. и март 2015г.

Таблица 1. Динамика изменения количества установок CMS [3]

CMS	Август 2013г.		Март 2015г.		Динамика	Способ распространения
WordPress	311 000	32,65%	343 400	34,47%	+10,43%	Бесплатная
Joomla	259 500	27,24%	269 800	27,08%	+3,98%	Бесплатная
1С-Битрикс	71 400	7,50%	90 600	9,10%	+26,98%	Платная
DataLife Engine	64 600	6,79%	48 300	4,85%	-25,23%	Бесплатная
Drupal	50 700	5,33%	50 400	5,07%	-0,63%	Бесплатная
uCoz	47 100	4,95%	37 300	3,75%	-20,70%	Бесплатная
MODX	41 300	4,35%	54 200	5,44%	+30,94%	Бесплатная
WebAsyst	20 000	2,10%	17 200	1,73%	-13,82%	Узкоспециализированная
Shop-Script	13 400	1,41%	12 700	1,28%	-4,76%	Платная
NetCat	11 400	1,20%	10 100	1,02%	-11,53%	Платная
HostCMS	11 400	1,20%	10 100	1,02%	-11,53%	Платная
UMI.CMS	11 300	1,19%	14 100	1,42%	+24,79%	Платная

Как видно из таблицы, наибольшее количество установок зафиксировано в системе WordPress,

при этом наличествует тенденция к дальнейшему увеличению количества использований системы. Если в марте 2013г. WordPress использовали 32.65% разработчиков сайтов, то в марте 2015г. их число увеличилось до 34.47%.

На втором месте находится система Joomla (27.08% установок).

Однако, кроме степени распространенности, необходимо учитывать удобства работы в системе.

В табл.2 показаны оценки, выставленные агентством Тэглайн на основании анкетирования разработчиков сайтов. В таблицу включены только бесплатные CMS, исключение составила система UMI.CMS, имеющая достаточно развитый спектр бесплатных услуг, несмотря на то, что ее полная реализация является платной. Заметим, что многие системы управления контентом, хотя и позиционируют себя как бесплатные, предоставляют широкий набор услуг на платной основе. Примером может служить широко распространенная система WordPress.

Системы оценивались в десятибалльной системе. Как следует из анализа данных таблицы, наивысшая оценка в данном рейтинге у системы UMI.CMS.

На основании проведенного анализа нами было принято решение проанализировать три системы: UMI.CMS, WordPress и Ucoz с точки зрения разработчика сайта для интернет-обучения.

Отметим, что система Ucoz в рейтинге качественных характеристик авторами [9] не была указана. Однако ее первоначальное распространение в России и странах СНГ (данные табл.1) и в то же время тенденция к уменьшению спроса на эту систему, поставило вопрос, почему при наличии большого количества разработанных в этой системе учебных сайтов, особенно преподавателями России, количество установок сокращается.

Визуально, глубоко не знакомясь с системой, можно было отметить, что система не требует русификации (разработана в России), но

наличие назойливой рекламы при полностью бесплатном использовании, видимо, заставляет искать другие системы для использования.

Таблица 2. Сравнительный анализ качественных характеристик CMS [9]

Характеристика	UMI.CMS	MO Dx	Word Press	Dru pal	Joo mla!
Удобство для контент-менеджера	9,0	7,8	8,3	7,6	7,0
Удобство для разработчика	8,6	8,3	7,6	7,4	7,8

Функциональность	8,5	7,7	7,3	8,6	8,2
Надежность	8,9	7,7	7,2	7,2	7,1
Скорость работы	8,5	7,9	8,1	6,9	6,4
Качество поддержки	8,4	5,3	5,9	4,4	6,4
Безопасность	9,0	7,1	6,3	7,1	6,4
Ассортимент шаблонов дизайна	7,4	5,8	8,9	7,6	9,0
Возможности интеграции	8,8	7,8	7,4	6,3	8,0
Совместимость с хостингами	8,3	8,2	8,5	9,1	9,1
Общая оценка CMS-системы	9,0	8,7	8,3	8,0	7,9

Нами были разработаны сайты во всех трех системах, произведена оценка их реальных бесплатных возможностей. Анализировались следующие требования:

- в системе должно легко создаваться меню, удобная навигация по сайту;
- на сайт можно загружать текстовые документы любых форматов (doc, rtf, html, txt, pdf, fb2...), файлы – приложения (для тестов и необходимых программ), рисунки, фотографии, архивы;
- сайт можно легко модифицировать, изменяя меню, создавая подменю, сменяя дизайн;
- желательно резервное копирование;
- необходима оценка статистики посещений.

WordPress. Первая версия системы появилась в 2003г., первые плагины в 2004г.

Все действия в системе производятся в режиме администрирования сайта, для чего открывается Консоль (аналог панели управления в других системах).

В этом режиме в библиотеку загружаются файлы, оценивается статистика посещаемости, изменяется дизайн, просматриваются комментарии.

Страницы создаются нажатием на кнопку «Добавить новую» (цифра 1 рис.4), аналогично удаление и копирование страниц происходит с помощью кнопок.

Создание пунктов подменю требует навыков в разработке плагинов (цифра 2 рис.4), что для непрофессионалов создает определенные сложности.

Режимы просмотра сайта и управления им разделены. После внесения изменений при нажатии на кнопку «Обновить» можно оценить

результаты изменений, перейдя в режим просмотра.

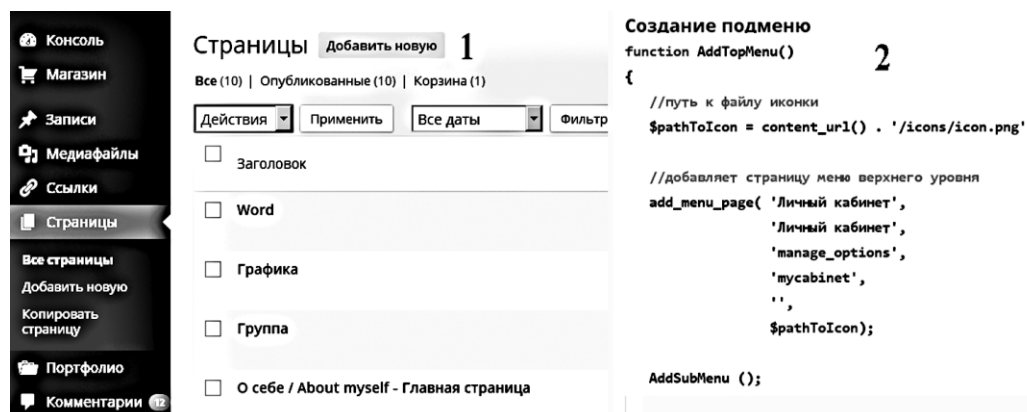


Рисунок 4 – Создание новой страницы и разработка подменю в WordPress

Заполнение страниц осуществляется путем ввода текста и его форматирования по аналогии с Word. На рис.5 цифрой 1 отмечен скрин экрана заполнения страницы. Ссылки при вводе высвечиваются для редактирования. Ввод текста

можно осуществлять в текстовом режиме и с форматированием в режиме HTML (цифра 2 рисунка). В этом случае возможности редактирования определяются тегами.

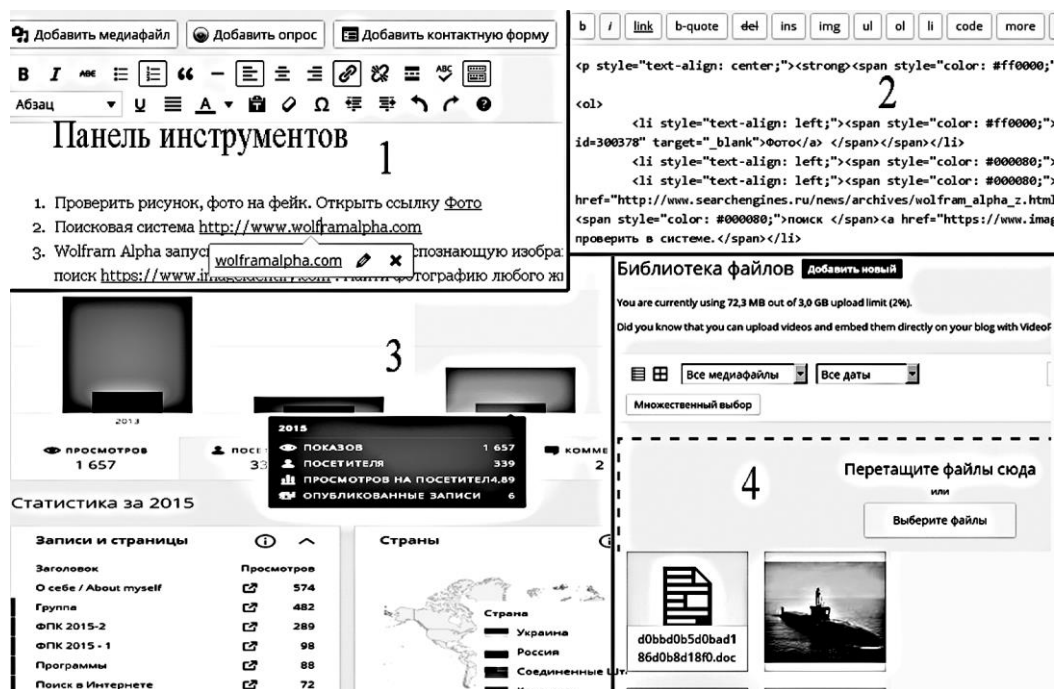


Рисунок 5 – Наполнение сайта в WordPress

К безусловным достоинствам системы относится статистика посещений сайта (цифра 3, рис.5). Выдается информация по заданному промежутку времени (год, месяц, вплоть до дня и по часам), количество просмотров каждой страницы и распределение посетителей по странам. Добавление файлов в библиотеку осуществляется путем перетаскивания (цифра 4, рис.4), размер библиотеки при бесплатном аккаунте составляет 3 Гб.

Существенным недостатком системы является то, что библиотека позиционируется как библиотека медиафайлов. В библиотеку можно добавлять файлы-рисунки, текстовые документы, таблицы Excel и презентации. Нельзя добавлять архивы, файлы с расширением ehe, файлы, созданные в Micromedia Flash. По мнению автора, именно это является наиболее существенным недостатком WordPress.

Легко изменяемый дизайн и большое число шаблонов, причем большая часть – бесплатных, а также легко встраиваемые виджеты (слайды, календарь, социальные сети, архив новостей, поиск, музыкальный проигрыватель...) являются плюсами WordPress. Сравнивая изменение дизайна, встраивание виджетов в других системах, можно с уверенностью утверждать, что именно в WordPress этот процесс наиболее прост, т.к. по большей части заключается в перетаскивании выбранного виджета на страницу.

Сайт легко определяется поисковыми системами, поиск начинает работать не более, чем через неделю после создания сайта.

Как показали исследования, 48 из 100 популярных блогов работают на этой платформе [10].

На наш взгляд, основным достоинством системы является простота и обилие готовых решений. Если же возможностей WordPress не хватает, то дальнейшее усовершенствование сайта требует определенных знаний и усилий. WordPress можно использовать в качестве портала учебного сайта, но в качестве сложного функционального сайта использование нежелательно.

Широкое распространение системы обеспечивает большое число посетителей, за два года работы сайта, созданного автором, его посетило более 6500 человек [11].

Umi.CMS – коммерческая система управления контентом. Разработана российской фирмой Юнисофт и поступила в продажу в 2007г. В 2015г. на этой платформе уже работают порядка 800000 сайтов. Часть функций система выполняет бесплатно, в пределах этих возможностей и был разработан сайт.

По мнению разработчиков системы, если пользователь знает Word и Windows, он сможет управлять Umi.

В отличие от большинства систем аналогичного типа, редактирование производится в режиме просмотра сайта, с помощью панели управления задаются только общие установки, выбирается шаблон и осуществляется резервное копирование.

В системе используется принцип Edit in place (редактирование на месте). Это означает, что, например, при создании пунктов меню достаточно использовать функцию «Добавить страницу» и ввести ее название (цифра 1, рис. 6). При заполнении страниц текст вводится с помощью панели инструментов, которая во многом схожа с панелями Word (цифра 2, рис. 6). Файлы на сайт загружаются через файловый менеджер. (цифра 3, рис. 6). Для модификации меню, добавления, перемещения файлов, страниц внедрена система Drag & Drop.

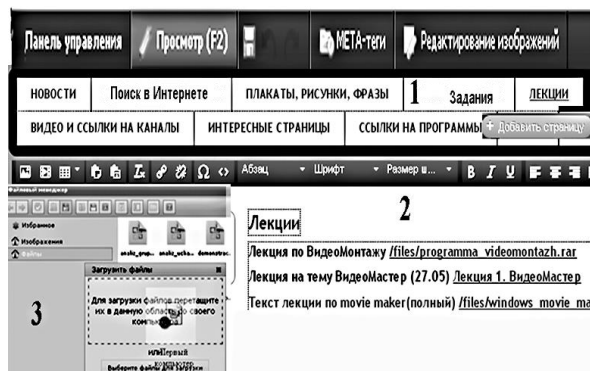


Рисунок 6 – Создание сайта в системе Umi.CMS

Допустимые форматы файлов для загрузки: gpx, txt, doc, docx, xls, xlsx, ppt, pptx, pps, ppsx, odt, sxw, ods, odg, pdf, csv, html, tpl, xsl, xml, zip, rar, 7z, tar, gz, rtf, chm, ico, jpg, jpeg, gif, png, bmp, psd, flv, mp4, swf, mp3, wav, wma, ogg, aac. Следует отметить, что по сравнению со списком форматов файлов, загружаемых в WordPress, система Umi.CMS имеет несомненное преимущество. Максимальный размер загружаемого изображения 2 Мб, для остальных типов файлов – 30Мб [12].

На рис.7 показан сайт, созданный за два-три часа. Сайт содержит текстовую информацию (лекции), изображения, тесты (exe файлы), видео-лекции. Никаких навыков программирования не требуется.

По центру сайта расположены строки меню, в правой части – блог новостей, внизу показана одна из страниц сайта с загруженными видео-лекциями, которые можно просмотреть с помощью встроенного в систему плеера.

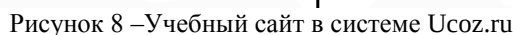


Рисунок 7 – Учебный сайт в системе Umi.CMS

Видео на сайт загружаются с видеохостингов, например, с youtube. Возможно резервное копирование и откат сделанных изменений. Существенным недостатком системы является то, что в бесплатной версии максимальный объем хранимой информации всего 100Мб, но при ежемесячной оплате в 50р. размер

В этой бесплатной системе предлагается:

На рис.8 показан созданный в системе Ucoz сайт (цифра 1 рис.8) и основные окна, используемые для работы. Цифрой 2 на рисунке отмечено стандартное окно наполнения страницы сайта; цифрой 3 – окно статистики с информацией о количестве посетителей по странам; цифрой 4 – окно разработки меню.



– все изменения на сайте делаются только через панель управления в режиме on-line [15,16].

Несмотря на утверждение, что создание сайта в ucoz отличается простотой, нами было замечено, что если при создании сайтов в предыдущих

двух CMS не приходилось делать никаких записей - памяток, то при работе в Ucoz создавались инструкции по работе с архивом новостей, модификации встраиваемых блоков, изменения шапки, чтобы при повторном выполнении аналогичных операций не возникало проблем. Следовательно, система не настолько проста, а скорее более запутана, чем две предыдущих.

Проанализировав три системы разработки сайтов, мы свели личностную оценку в табл.3. В таблице рассмотрены существенные особенности систем, которые оценены по принципу: 1 – лучшие показатели из трех анализируемых и 3 – худшие. Таким образом, чем ниже набранный балл, тем лучше, по мнению автора, система.

Таблица 3. Характеристики рассматриваемых систем

Параметр	WordPress	Umi	Ucoz
Скорость разработки сайта.	2	1	3
Наличие бесплатных тем и шаблонов.	1	3	2
Простота модификации сайта, загрузки файлов в библиотеку.	2	1	3
Просмотр статистики и индексирование поисковыми системами.	1	3	2
Наличие необходимой информации для решения вопросов технического характера.	2	1	3
Выделяемая память	1 (3ГБ)	3 (100 Мб)	2 (400Мб на старте)
Виды файлов, которые можно загружать на сайт	3	1	2
Русификация системы	2	1	1

Встраиваемые модули	2	3	1
Простота освоения	2	1	3
Возможность удаления сайта административной системы	1	1	3
Реклама	2	1	3
Оценка в целом	11	19	28

Выводы

Современные тенденции определяют новые направления в развитии образования, ориентированные на использование потенциала компьютерных и информационных технологий. Дистанционная форма образования – одна из новых утвердившихся и демократичных его форм.

Создание систем открытого образования ведущими вузами мира указывает на необходимость разработок в соответствующем направлении.

Однако, даже в случае подключения к Открытому образованию России, необходимо накопление опыта в разработке дистанционных курсов, создания тестирующих, контролирующих систем и обучение преподавателей принципам работы в таких системах.

Для этого желательна разработка личных сайтов преподавателей, за которые будут нести ответственность не вузы, а сами преподаватели. Персональные сайты позволяют преподавателям быстро и своевременно вносить коррективы в разработанные курсы. И в то же время будет осуществляться подготовка студентов к восприятию дистанционных курсов, требующая большей активности и само дисциплины, чем при обучении по традиционной форме.

Создание таких сайтов возможно на базе систем управления контекстом сайта.

Использование коммерческих систем недоступно большинству вузов и преподавателей как по причине высокой стоимости, так и по причине необходимости ежегодно продлевать полученную лицензию. Следовательно, необходимо выбрать свободно-распространяемую систему, возможности которой наилучшим образом отвечают требованиям разработки учебного Интернет-ресурса.

На основании анализа возможностей, достоинств и степени распространения CMS, было выбрано три наиболее популярных и легких в освоении

системы: WordPress, Umi.ru и Ucoz. В каждой из которых были разработаны учебные сайты, что позволило оценить их в процессе работы. Как показали исследования, наиболее оптимальной для первоначального создания учебного сайта следует считать систему UMI.ru, существенным недостатком которой является

лишь ограничение на объем предоставляемой памяти.

Однако, в связи с постоянным обновлением рынка CMS и модификацией существующих, желателен постоянный мониторинг систем указанного класса.

Литература

1. Андреев А.А., Солдаткин В.И. Дистанционное обучение: сущность, технология, организация. – М.: Издательство МЭСИ, 1999. – 196 с.
2. Дистанционные курсы Гарвардского университета. Harvard University. Harvard Extensional School. Режим доступа: <http://www.extension.harvard.edu>.
3. Дистанционные курсы Массачусетского технологического университета. Mitopen Courseware. Massachusetts institute of technology. Режим доступа: <http://ocw.mit.edu/index.htm>.
4. Дистанционные курсы университетов мира. Земля академическая. Academic earth courses. - Режим доступа: <http://academicearth.org>.
5. Открытое образование. Курсы ведущих вузов России для каждого без ограничений. Режим доступа: <https://openedu.ru>.
6. Гирба Е.Ю. Проблемы организации дистанционного образования. МОУДПО (ПК)С «Учебно-методический центр», г. Серпухов ГБОУ ВПО МО АСОУ, г. Москва, Академия социального управления - Режим доступа: <http://pacad.ru/files/GirbaE.pdf>.
7. Даутова И.С., Набилкова А.Д. Анализ основных способов управления контентом информационных порталов в системах дистанционного образования. Электронный сетевой политематический журнал Научные труды КубГТУ – 2014, №6 - Режим доступа: <http://ntk.kubstu.ru/file/282>.
8. Рейтинг CMS по версии ITrack. Результаты за июнь 2015г. Аналитические данные компании ITrack. Режим доступа: <http://www.itrack.ru/research/cmsrate/>
9. Рейтинг коробочных систем управления сайтом/контентом (CMS) России. Агентство «Тэглайн», экспертная группа. Режим доступа: <http://2011.tagline.ru/cms/#13ratings>
10. Мониторинг CMS и веб-технологий. Российский рынок доменов. Статистика, история, тенденции. Годовой отчет. Режим доступа: <http://stat.nic.ru/reports/whistru/cms2013.html>
11. Учебный сайт Анохиной Инны Юрьевны. Режим доступа: <https://innaanohina.wordpress.com>
12. Справочное руководство по использованию Umi.ru. Режим доступа: <http://umi.ru/help/>
13. Alexa. An Amazon.com Company. Top Sites in Russia. Режим доступа: <http://www.alexa.com/topsites/countries/RU>
14. Учебный сайт Анохиной Инны Юрьевны. Режим доступа: <http://anohinainna.ucoz.ru>
15. Конструктор сайтов ucoz: преимущества, недостатки и альтернативы. Режим доступа: <http://zapartnerstvo.ru/interesnosti-v-internete/konstruktor-sajtov-ucouz-preimushhestva-nedostatki-i-alternativy>.
16. Плюсы и минусы хостинга ucoz. Отличия от других CMS. SEO for Ucoz. Один для всех. Режим доступа: http://seo-for-ucouz.com/blog/pljusy_i_minusy_khostinga_ucouz_otlichija_ot_drugikhcms/2014-01-28-9

Анохіна І.Ю. Порівняльний аналіз систем управління контентом сайтів для дистанційного навчання. Розглядаються питання дистанційного навчання в сучасному інформаційному суспільстві. Аналізується досвід реалізації проектів інтернет-навчання, оцінюються системи управління контентом сайтів (CMS) з точки зору їх застосування для дистанційного навчання.

Anokhina I.Yu. Comparative analysis of the content management system for distance learning. Questions of distance learning in modern information society are considered. Experience of implementation of the project Internet training using the developed sites, estimated CMS websites from the point of view of their application for distance learning.

Статья поступила в редакцию 20.09.2015
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.Н. Павлышом

UDK 004.7

Discrete map for traffic simulation

D.V. Belkov, E.N. Edemskaya
Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine
belkov@telenet.dn.ua

D.V. Belkov, E.N. Edemskaya Discrete map for traffic simulation. One of the most important mathematical discoveries of the past few decades is that random behavior can arise in deterministic nonlinear systems with just a few degrees of freedom. This discovery gives new hope to providing simple mathematical models for analyzing systems. The analysis of the network traffic is actually reduced to the task of processing the time series. The theory of non-linear dynamics provides a potential to study, identification and prediction of the time series that have some specific properties. Recent studies of real traffic data in modern computer networks have shown that traffic exhibits self-similar (fractal) properties. The use of traditional models in networks characterized by self-similar processes can lead to incorrect conclusions about the performance of analyzed networks. Many analytical studies have shown that self-similar network traffic can have a detrimental impact on network performance, including amplified queuing delays and packet loss rates in broadband wide area networks. The understanding of the self-similar nature in traffic is an important issue. One of the most important tasks of network research is to construct adequate models for the concerned traffic flows. The objective of our work is deterministic traffic simulation. The task of this work is design of one dimension discrete map for traffic simulation. Discrete maps can produce broad traffic models in the sense that sometimes even one parameter is enough to produce the range of behavior that appears in packet traffic. The discrete map for network traffic simulation is offered in this work. In this article the researches are executed in the Matlab environment. For the study two realization of network traffic is chosen. They are got in the university of city Napoly (Italy). In obedience to a license information is freely accessible for the analysis. Studied time series are the measuring of TCP-packet jitter. In first case (TCP_j512) packets have a volume a 512 byte, in the second (TCP_j1024) is a 1024 byte. The measuring were conducted every 10 milliseconds, over 2000 counting out is got. A sender had 802.11b connection, a recipient is UMTS-access, speed of transmission 100 pps. In the article for the simulation of these time series it is suggested to use the discrete map, that built on the basis of the map "tent" and Zaborovsky map. The simulation of TCP-packets jitter of wireless network is executed. Phase trajectories of models and real processes have same type. The offered discrete displaying can be used for bursty traffic simulation.

Introduction

Recent studies of real traffic data in modern computer networks have shown that traffic exhibits self-similar (fractal) properties over a wide range of time scales [1,2]. The properties of self-similar traffic are different from properties of traditional models based on Poisson, Markov-modulated Poisson, and related processes. The use of traditional models in networks characterized by self-similar processes can lead to incorrect conclusions about the performance of analyzed networks. The use of traditional models leads to over-estimation of the performance quality of computer networks, insufficient allocation of communication and data processing resources, and difficulties in ensuring the quality of service expected by network users.

Many analytical studies have shown that self-similar network traffic can have a detrimental

impact on network performance, including amplified queuing delays and packet loss rates in broadband wide area networks. Praxson and Floyd found that wide-area network traffic consists of more bursts than Poisson models predict over many time scales. This difference has implications for congestion control mechanisms and performance. Crovella and Bestavros found evidence and possible causes of self-similarity in World Wide Web traffic, such as WWW document file size data.

The possibilities of dynamic systems in simulation of the network traffic are studied in a series of research works by Erramilli.

The understanding of the self-similar nature in traffic is an important issue. One of the most important tasks of network research is to construct adequate models for the concerned traffic flows. New self-similar traffic models are necessary to reveal the dynamics of individual streams of data and how they give rise to the self-similar characteristics observed

in real-world situations. Such models must be analytically tractable or algorithmic to enable simulation studies. The performance of communication networks with the self-similar characteristics of traffic must be studied to determine the consequences of self-similarity of data streams on queuing performance [3-5].

The understanding traffic behavior is important in network dimensioning and performance prediction. There is a basic need for a comprehensive and detailed study of fractal traffic theory. Many significant results have been obtained in a number of approaches published in this field, there are still many open questions to be answered.

The objective of our work is deterministic traffic simulation. The task of this work is design of one dimension discrete map for traffic simulation. Discrete maps can produce broad traffic models in the sense that sometimes even one parameter is enough to produce the range of behavior that appears in packet traffic. Dynamic networks such as ATM are capable of interesting time behavior. That means that over particular time intervals, the traffic pressure on the network is varied. A discrete map is a reasonable model of incident traffic, which makes possible to model the dynamic behavior of a packet network under study by using non-linear equations. Chaotic models of nonlinear dynamics have been used as alternatives for stochastic models in many branches of science [6,7].

Traffic simulation

The theories of chaos and fractals are among the more broadly applicable developments in all of science over the last three decades. From a modeler's viewpoint, their appeal lies in the promise of capturing complexity in a concise manner. Ideas from chaos and fractals have been successfully used to model complex, bursty phenomena in virtually every branch of science. Recent measurement studies do in

fact reveal that actual packet traffic has features that can more efficiently be described in terms of fractal processes, rather than conventional stochastic processes. Fundamentally, chaos and fractals are independent and unrelated concepts. However fractal geometry is invoked to describe the irregular trajectories of chaotic systems in state space; and chaotic systems are often used as convenient generators of fractal processes.

It is known that chaotic systems have the following main properties: non-linearity, determinacy and sensitivity to the initial conditions. Besides, chaotic time series looks like a stochastic process. The attractor of a non-linear chaotic system is frequently fractal. If it is possible to detect the feature of deterministic chaos in the traffic, we will obtain a new model of the traffic and a new algorithm of its prediction due to the chaos deterministic nature. The traffic model of TCP protocol can be both a simple periodic process and, under some conditions, have a complex behavior compatible with the concept of deterministic chaos. In particular, the researchers obtained a trajectory of the system in phase space that they referred to the class of strange attractors. An attractor is a cluster set of trajectories in the phase space of the system to which all the trajectories from a neighborhood of this set tend [6].

We assume that a packet traffic is deterministic. For example, the figure 1 shows a phase space plot between successive inter-arrival times (t_{i+1} vs. t_i) for Ethernet type data [3]. One can easily observe the existence of clusters, diagonal lines, vertical and horizontal lines. These shapes on the plot indicate the existence of determinism in packet traffic. This aspect of packet traffic is justified by the existence of deterministically spaced packets and their superposition. Discrete maps may allow for a more concise description of these structures, which can significantly influence queuing behaviors.

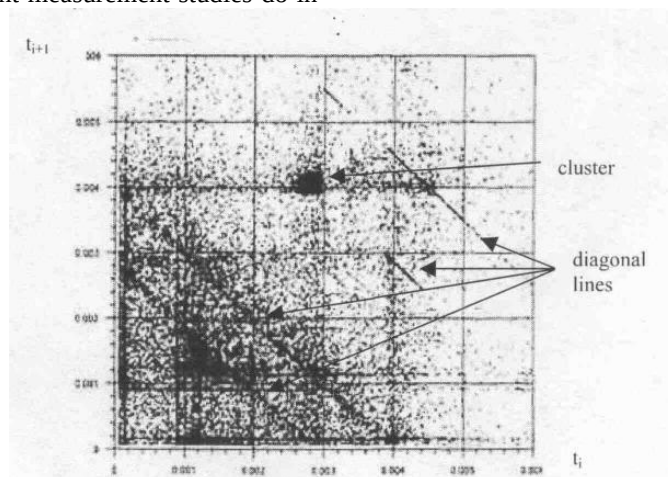


Figure 1. - Phase space plot of successive inter-arrival times [3]

In our article the researches are executed in the Matlab environment. For the study two realization of network traffic is chosen. They are got in the university of city Napoly (Italy). In obedience to a license information is freely accessible for the analysis. Studied time series are the measuring of TCP-packet jitter. In first case (TCP_j512) packets have a volume a 512 byte, in the second (TCP_j1024) is a 1024 byte. The measuring were conducted every 10 milliseconds, over 2000 counting out is got. A sender had 802.11b connection, a recipient is UMTS-access, speed of transmission 100 pps [8]. In the article for the simulation of these time series it is suggested to use the discrete map, that built on the basis of the map “tent” [9] and Zaborovsky map [10].

The map “tent” looks like

$$x_i = \begin{cases} x_{i-1}/a, 0 < x_{i-1} < a \\ (1-x_{i-1})/(1-a), a < x_{i-1} \leq 1 \end{cases}, \quad x_0 = 0.1.$$

Zaborovsky map: $y_i = \frac{y_{i-1}}{b} + \frac{1}{y_{i-1}} - 1, \quad y_0 = 1.$

Offered map (z/t map) looks like $z_i = \frac{y_i^c}{x_i}$. Control

parameters a, b, c are constants. The figure 2 shows simulation chart. It is needed to adjust control parameters of the model and coefficients k_1, k_2 , that to minimize error.

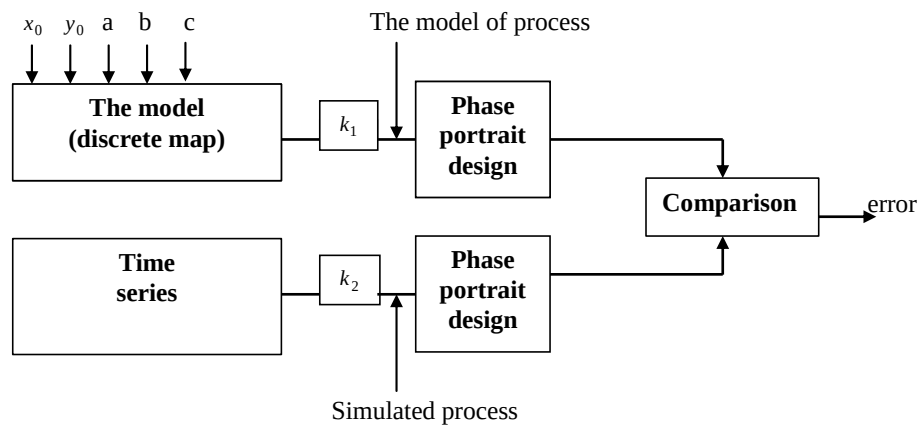


Figure 2. - Simulation chart

At the simulation of time series TCP_j512 we appropriated the values to the parameters: $x_0 = 0.1$, $y_0 = 1$, $a = 0.3$, $b = 3.8$, $c = 0.5$, $k_1 = 4.5$, $k_2 = 10^4$. The figures 3-6 show simulation results.

Alike trajectories on phase portraits are marked by identical numbers.

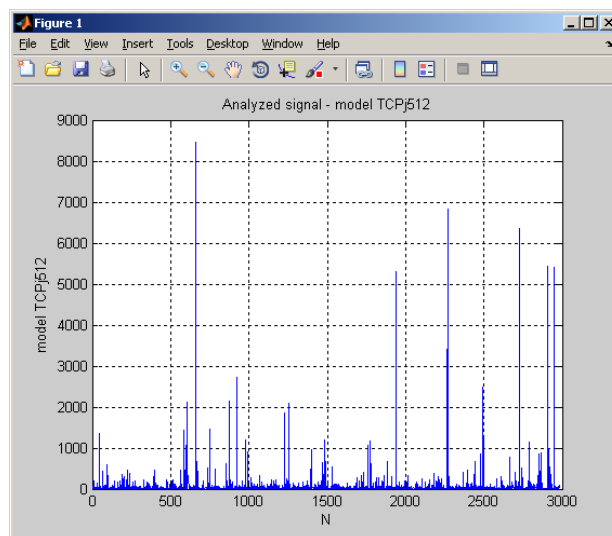


Figure 3. - The model of time series TCP_j512

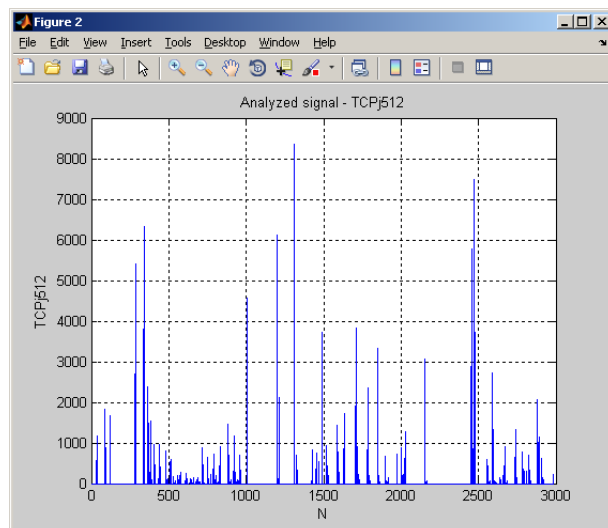


Figure 4. - Simulated process TCP_j512

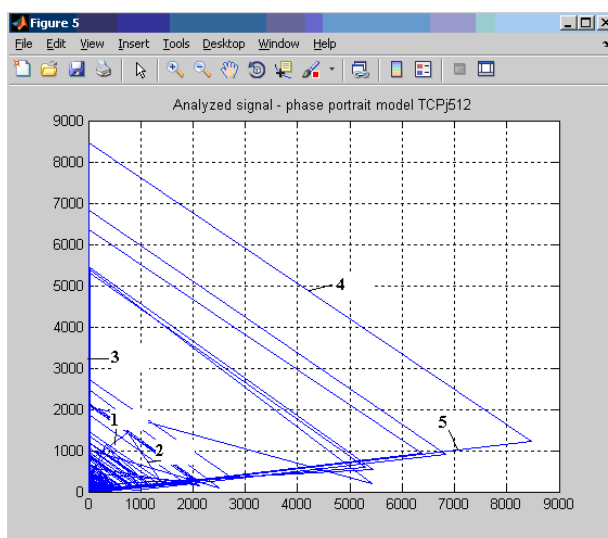


Figure 5. – Phase portrait of the model TCP_j512

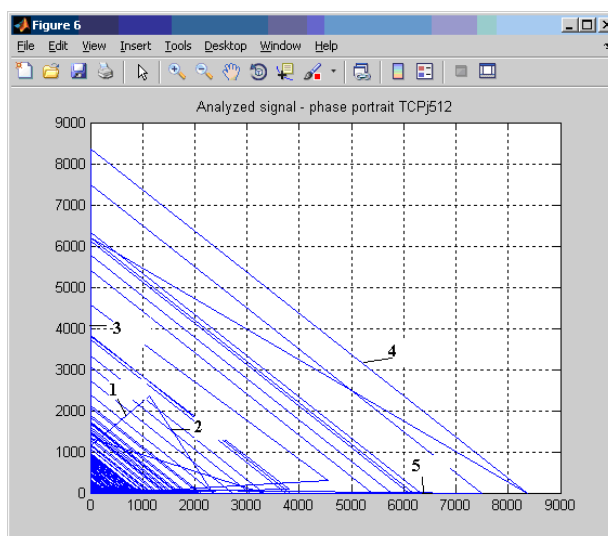


Figure 6. – Phase portrait TCP_j512

At the simulation of time series TCP_j1024 we appropriated the values to the parameters: $x_0 = 0.1$,

$y_0 = 1$, $a = 0.3$, $b = 3.8$, $c = 1$, $k_1 = 2.7$, $k_2 = 10^4$. numbers.

The figures 7-10 show simulation results. Alike trajectories on phase portraits are marked by identical

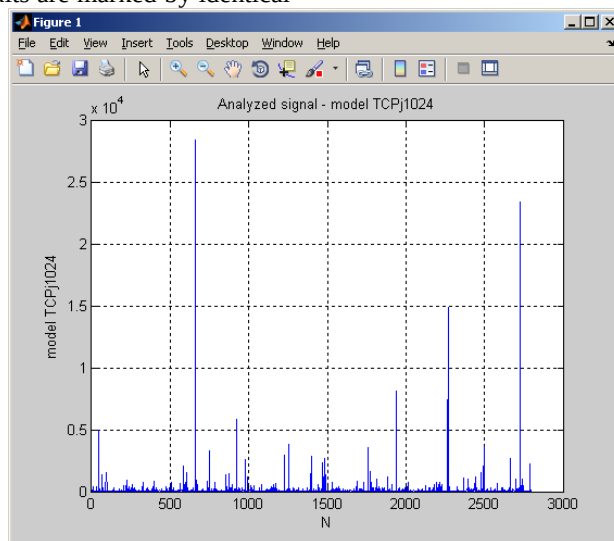


Figure 7. - The model of time series TCP_j1024

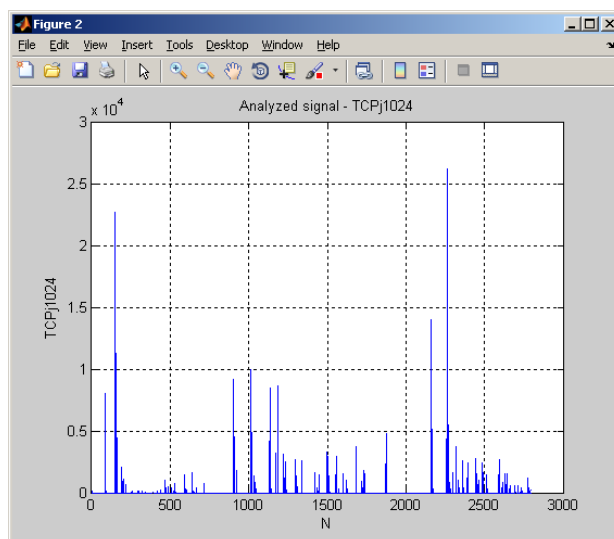


Figure 8. - Simulated process TCP_j1024

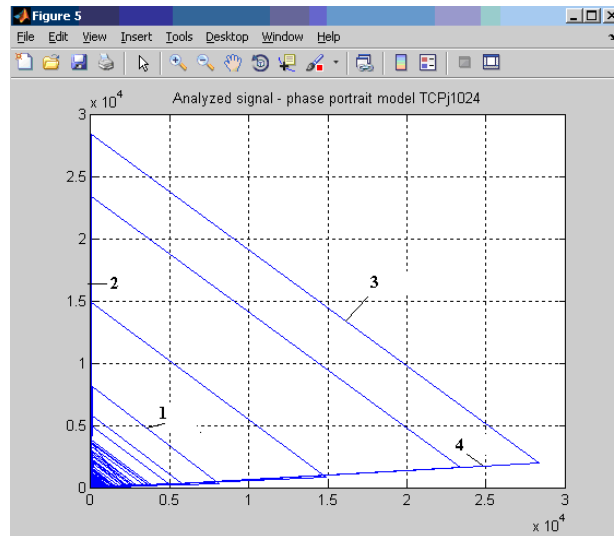


Figure 9. – Phase portrait of the model TCP_j1024

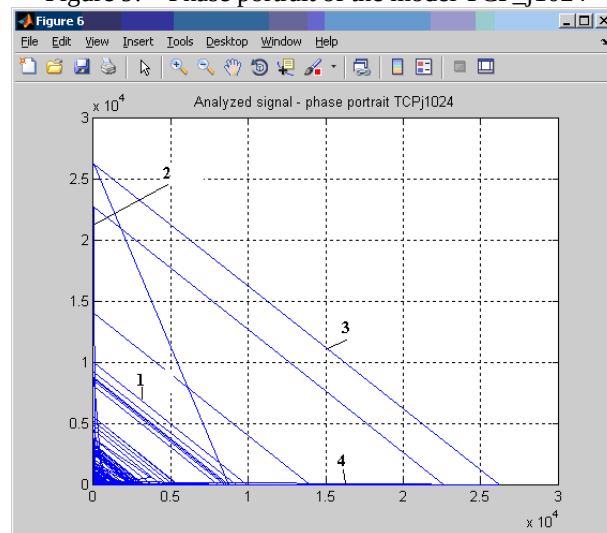


Figure 10. – Phase portrait TCP_j1024

Conclusions

The analysis of the network traffic is actually reduced to the task of processing the time series. The theory of non-linear dynamics provides a potential to study, identification and prediction of the time series that have some specific properties. The discrete map

for network traffic simulation is offered in this work. The simulation of TCP-packets jitter of wireless network is executed. Phase trajectories of models and real processes have same type. The offered discrete displaying can be used for bursty traffic simulation.

References

1. Park K. Self-Similar Network Traffic: An Overview. [Electronic resource], 2012. – Mode of access: <http://pi.314159.ru/park1.pdf>
2. Willinger W., Taqqu M.S., Errimilli A. A bibliographical guide to self-similar traffic and performance modeling for modern high-speed networks. [Electronic resource], 2012. – Mode of access: <http://linkage.rockefeller.edu/wli/reading/taqqu96.pdf>
3. Hae-Duck Joshua Jeong. Modeling of self-similar teletraffic for simulation. University of Canterbury, 2002. – 297 p.
4. Ложковський А.Г. Аналіз і синтез систем розподілу інформації в умовах мультисервісного трафіка. Автореферат дисертації. Одеса. - 2010. – 38 с.

-
5. Бельков Д.В., Едемская Е.Н. Статистический анализ трафика сети с беспроводным доступом. 36. Наукових праць ДонНТУ. Серія “Інформатика, кібернетика, обчислювальна техніка”. Вип. 14 (188): - Донецьк: ДонНТУ.- 2011.- С. 113-122.
 6. Newton N.J. Self similar model for bursty traffic – a deterministic approach. [Electronic resource], 2013. – Mode of access: <http://www.andonis.eu/documents/MScProject.pdf>
 7. Petroff V. Self-Similar Network Traffic: From Chaos and Fractals to Forecasting and QoS. [Electronic resource], 2012. – Mode of access: <http://pi.314159.ru/petroff5.pdf>
 8. Network tools and traffic traces. [Electronic resource], 2012. – Mode of access: <http://www.grid.unina.it/Traffic/Traces/ttraces.php>
 9. Кузнецов С.П. Динамический хаос. Москва: ДМК, 1995. – 294 с.
 10. Заборовский В.С., Куприенко С.В., Шеманин Ю.А. Динамика процессов межсетевого взаимодействия: мультифрактальные модели и методы управления. [Electronic resource], 2013. – Mode of access: http://www.npo-rtc.ru/papers/articles/art2003_3.pdf

Статья поступила в редакцию 20.09.2015

Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.Н. Павлышом

УДК 519.65:519.95

Изобретение как метод автоматизации процесса обучения методикам проектирования в семиотической модели САПР

Григорьев А.В.

Донецкий национальный технический университет
grigorie@r5.dgtu.donetsk.ua

Григорьев А.В. Изобретение как метод автоматизации процесса обучения методикам проектирования в семиотической модели САПР. Рассматривается задача адаптации специализированной инструментальной оболочки для автоматизации построения интеллектуальных САПР типичного проектирования на специфику методики проектирования в данной предметной области. Сформулированы основные принципы построения семиотической модели доизобретения новых, имеющих смысл решений в рамках единичного модуля знаний, построенного предварительно путем обучения на основе неполного ряда имеющихся прототипов. Предлагаемая модель позволяет повысить эффективность процессов обучения методикам проектирования технических изделий в любых предметных областях.

Ключевые слова: инструментальная оболочка, концептуальная модель, предметная область, интеллектуальные САПР, модуль знаний, семиотическая модель, доизобретение, обучение, методика проектирования.

Введение.

В классической теории построения систем автоматизации проектирования (САПР) имеется комплекс устоявшихся общих методов построения требуемых САПР в любых целевых предметных областях (ПрОб), куда можно отнести, например [1,2]:

- наличие общепринятой градации уровней представления моделей, не зависящей от ПрОб;

- использование физической семантики объекта проектирования и, как следствие, возможность применять метод аналогий для сведения моделей различных ПрОб к наиболее развитым ПрОб и т.д.

Однако, современные тенденции интеллектуализации САПР в совокупности с высокой динамикой ПрОб [3] ставят с особой остротой проблему построения средств автоматизации построения интеллектуальных САПР (И САПР) как для «новых» ПрОб, так и для «старых» ПрОб, обладающих недостаточно развитыми средствами автоматизации синтеза требуемых решений.

Такое положение делает актуальной задачу автоматизации извлечения знаний для построения баз знаний по существующим методикам проектирования в различных ПрОб.

Ранее в работах автором [4-14] был определен ряд принципов построения специализированной инструментальной оболочки для создания И САПР - мета-эвристической оболочки (МЭО).

Целевой класс И САПР, на создание которых ориентирована МЭО, можно назвать «САПР типичного проектирования», в отличие от класса САПР поискового конструирования, ориентированных на поиск новых, неизвестных ранее решений. Это означает, что методика проектирования в рассматриваемой ПрОб предполагает ограниченное, счетное число возможных решений, создаваемых с помощью ряда иерархических, регулярных структур и функций.

Совокупность методов построения МЭО составляет концептуальную модель предметной области (КМ ПрОб) [4] и построена в форме семиотической модели (СМ) [15,16].

Представление КМ ПрОб в форме СМ позволяет решать задачи, либо не решаемые в иной форме представления, либо - решать их более эффективно, например:

- обеспечить параметрическую проблемную адаптацию МЭО на ПрОб [5];

- обеспечить построение САПР в любых ПрОб как системы взаимосвязанных абстрактных и структурных уровней [7-9];

- построить САПР как экспертную систему, обеспечивающую синтез требуемого решения на основе методов логического вывода [8];

- дать адекватное формальное описание процессам вывода, обучения и т.д.

К главным особенностям МЭО относится:

1) работа с моделями сложных объектов различной степени недоопределенности [7,17,18];

2) ориентация при обучении базы знаний комплекса на ограниченное количество имеющихся в наличии апробированных на практике моделей сложных объектов данной ПрОб.

Трудоемкость процесса ввода множества всех апробированных решений (моделей) сложных объектов и, как следствие, ограниченность числа имеющихся в наличии И САПР моделей объектов предполагает необходимость ускорения введения известных моделей.

Предлагается путь автоматизации синтеза новых для И САПР, но «старых», т.е. - известных в практике решений на основе множества ранее заданных с последующим выбором имеющих смысл решений с целью ускорить их ввод в базу знаний САПР.

Специфика подхода заключается в том, что при этом допускается синтез решений, отличающихся степенью определенности.

Проблема синтеза новых решений рассматривалась в рамках САПР-овских методов поискового конструирования, «классических» методов изобретения, относящихся к теории инженерного творчества и «машинных» методов изобретения, например, в алгоритме решения изобретательских задач [19,20], «интеллектуальных» методов изобретения, например, в генетических алгоритмах [21] и т.д. Во всех подходах в той или иной форме производится отсеечение вариантов решений, не удовлетворяющих некоторым критериям.

Специфика предлагаемой постановки задачи состоит в том, что отыскиваются не новые, неизвестные ранее решения, а – старые, известные решения, но по различным причинам не попавшие в обучающую выборку при создании модуля знаний путем обучения по примерам (прототипам). Такая задача может быть названа «дообучением».

Специфика постановки задачи влечет и специфические методы решения задачи.

В работе [22] был определен метод организация пространства поиска решений в МЭО. Отличие предлагаемого подхода поиска решения пространстве состояния определяется спецификой постановки задачи и состоит в:

1) Наличии адаптивной системы технологических, семантических и достоверностных ограничений для новых решений;

2) Особенности применяемой концептуальной модели ПрОб (КМ ПрОб);

3) Задании признаков объектов (генотипа) как идентификаторов подмножества структурных элементов, явно определяющих его структуру (т.е. фенотип);

4) Введении различной степени недоопределенности структур объектов.

Исходя из этого, в структуру МЭО включены следующие элементы:

1) *Аппарат изобретения* [23]. Предназначен для обеспечения создания новых объектов некоторого заданного типа.

2) *Система оценки и ограничения сложности моделей* [10-12]. Предназначена для оценки и ограничения сложности объектов для любых предметных областей (ПрОб) вводимых любым способом: как при вводе апробированных (достоверных) объектов из проблемно-ориентированных САПР (П САПР) [8], как при прямом вводе моделей пользователем, так и при синтезе (изобретении) моделей объектов в аппарате изобретения. Запрещает рассмотрение или требует преобразования не имеющих смысла или слишком сложных для анализа данным пользователем объектов.

3) *Адаптивная система ограничений на сложность при синтезе новых решений в САПР* [24]. Представляет собой технологию отсеечения из пространства поиска решений, не имеющих смысла или слишком сложных для понимания пользователем. Схема технологии соответствует специфике выбранной формы представления пространства поиска решений, построенного, в свою очередь, исходя из следующих особенностей постановки задачи:

- целью поиска решений является автоматизация синтеза возможных известных решений с задачей ускорить их ввод в базу знаний САПР;

- количества имеющихся в наличии апробированных на практике моделей сложных объектов для данной предметной области ограничено.

К достоинству предлагаемой технологии можно отнести ее полноту, гибкостью и способностью адаптироваться к уровню квалификации пользователя, а так же - к назначению САПР.

Недостатком предложенной технологии является отсутствие полноценного ее формального описания в рамках общей семиотической модели [15-16] (СМ) САПР, частью которой она является.

Представление данной технологии в форме СМ позволит:

- формально и полноценно описать комплекс механизмов извлечения знаний в интеллектуальных САПР типичного проектирования;

- обеспечить построение полного комплекса программных средств описание для реализации целевой ИК.

Целью данной работы является формальное определение предлагаемой технологии, т.е. - аппарата изобретения в комплексе с адаптивной системой ограничений, в форме СМ.

1. Общий метод представления знаний в КМ ПрОб МЭО

Рассмотрим семантику и формальную форму представления знаний о методиках проектирования в МЭО.

1.1. Семиотическая модель как метод формального представления знаний в МЭО.

Использование СМ для представления знаний позволяет формально описать требуемую семантику метода представления знаний в интеллектуальном САПР (см. выше).

Опишем структуру СМ [15], как общего инструмента представления знаний в ИК.

СМ представляет собой открытую формальную систему и имеет форму восьмерки:

$F = \langle T, C, A, P, r, b, g, d \rangle$, где:

T - множество базовых элементов системы, на которых строятся все выражения в **F** (сигнатура);

C - множество правил построения синтаксически правильных формул (грамматика);

A - множество аксиом **F**, как подмножество **C** (аксиоматика);

P - множество правил вывода, или семантические правила, (позволяющие получать из аксиом новые синтаксически правильные формулы, которым можно приписывать статус истинности);

r, b, g, d - правила изменения, соответственно для **T, C, A** и **P**.

Процедуры:

П1 - определения принадлежности данного элемента множеству **T**;

П2 - идентификации различия элементов множества **T**;

П3 - определения синтаксической корректности элементов, построенных посредством правил **C**.

П4 - определения семантической корректности элементов, построенных посредством правил **C** с учетом множества аксиом **A**.

Процедуры **П1, П2** и **П3** - конструктивны, т.е. должны завершаться через определенное число шагов.

Конструктивная СМ является **разрешимой**, если существует конструктивная процедура **П4**, дающая однозначный ответ на вопрос - является ли данное синтаксически

корректное описание семантически верным (т.е. сводимо к аксиомам).

Соответствующее множество семантически верных выражений обозначается как **S**.

Т.о., построить КМ ПрОб как СМ означает реализовать все перечисленные компоненты СМ с тем, что бы отразить перечисленные выше принципы и подходы.

1.2. Семантика метода представления знаний в МЭО.

Рассмотрим вкратце семантику, т.е. принципы, на которых строится общий метод представления знаний в МЭО.

Перечень принципов следующий:

- рассматривается некоторая «общая» ПрОб – как методика проектирования структурной модели некоторого типа изделия, включая все его внутренние подблоки до некоторого базового уровня;

- имеется «единичная» ПрОб определенного иерархического уровня – единичный тип структурного блока, представленный в форме единичного модуля знаний;

- модуль знаний рассматривается как механизм для решения задачи синтеза (вычленения из множества возможных решений) требуемого прототипа структуры по техническому заданию (ТЗ), т.е. - по структурным особенностям блока, принадлежащего к данному типу;

- любой прототип представляет собой совокупность трех компонентов, а именно - внешней границы как совокупности внешних полюсов блока, внутренней границы как совокупности подблоков, включая их внешние полюса, и - внутренней среды блока как совокупности структурных связей подблоков;

- к структурным особенностям (к ТЗ) относятся: особенности - внешней границы, внутренней границы, внутренней среды;

- единичный прототип может представлять собой по форме только собственно внутреннюю среду, т.е. - множество структурных внутренних связей; причина - внутренняя среда прототипа позволяет полноценно доопределить (синтезировать) собственно прототип в целом, т.е.: совокупность внешних полюсов данного блока-прототипа для внешних структурных связей; совокупность внутренних подблоков, включая их тип (тип модуля знаний), состав внешних полюсов подблоков и прототип их прототипы их внешних границ и - прототипы внутренних структур;

- представление модуля знаний как атрибутного И-ИЛИ-дерева (порождающей грамматики) структурных связей позволяет

синтезировать единичный набор внутренних связей требуемого прототипа, а затем - доопределить собственно прототип;

- синтез выполняется по ИЛИ-узлам И-ИЛИ-дерева, как набору структурных отличий (ТЗ) требуемого прототипа;

- модуль знаний как атрибутивное И-ИЛИ-дерево множества структурных связей внутренней среды блока представляет собой единичную формальную модель в рамках СМ САПР в данной «общей» ПрОб.

1.3. Специфика «базового» метода построения модуля знаний при обучении по прототипам в рамках СМ

Процесс обучения как инструмент создания базы знаний по методике проектирования может проводиться в рамках различных моделей эксперта в ПрОб, т.е. – моделей инженера-проектировщика, играющего роль инженера по знаниям. В рамках предлагаемой КМ ПрОб рассматривается три модели эксперта:

1) Эксперт, не способен самостоятельно представить методику проектирования в некоторой единичной ПрОб как совокупность правил (продукций), и способен лишь задать системе ряд примеров – прототипов, с тем, чтобы система автоматически сформировала данный набор правил путем обучения. Формальная модель модуля знаний (И-ИЛИ-дерево с отношениями совместности-несовместности) строится автоматически. Собственно правила вывода строятся автоматически («глупый» эксперт).

2) Эксперт способен явно задать формальную модель модуля знаний как И-ИЛИ-дерево с явными отношениями совместности-несовместности. Правила вывода строятся в этом случае так же автоматически («средний» эксперт).

3) Эксперт способен задать методику проектирования как набор упрощенных правил. И-ИЛИ-дерево и отношения совместности-несовместности в этом случае являются частью тех или иных правил или продукций, т.е. – распределены по совокупности продукций («умный» эксперт).

Как в случае низко-квалифицированного («глупого») эксперта, так и в случае «среднего» эксперта система располагает И-ИЛИ-деревом с определенными над ним отношениями совместности-несовместности (аксиоматикой).

В этом случае семантика обучения одна и та же – изменение сигнатуры, грамматики и аксиоматики в И-ИЛИ-дереве.

2. СМ единичного модуля знаний, построенного в режиме низко-квалифицированного эксперта.

Рассмотрим детальнее отражение данной семантики в рамках СМ единичного модуля знаний в режиме низко-квалифицированного («глупого») эксперта.

2.1. Сигнатура и грамматика СМ

Грамматика представляет собой описание множества возможных структур некоторого типа блока, имеющего структуру с вышеизложенной семантикой.

В соответствии с работой [8] кратко изложим метод построения грамматики в МЭО.

В соответствии с принятой семантикой грамматическое описание типа блока включает описания внешней границы, внутренней границы и - внутренней среды блока как совокупности структурных связей подблоков (далее просто связь).

Формально грамматика представляет собой И-ИЛИ-дерево, т.е. – граф без циклов. Синтаксис предлагаемых выражений в грамматике построен на синтаксисе языка ДеСиМ инструментальной оболочки для построения интеллектуальных САПР вычислительной техники «ИнтерНаМ» [].

Остановимся детальнее на изложении грамматики внутренней среды, как главного инструмента, подвергаемого дополнительному исследованию.

Связь определяется в терминах работы [22] и представляет собой отношение эквивалентности значений двух взаимосвязанных свойств, принадлежащих границам двух структурных (функциональных) блоков. В упрощенном виде описание связи может быть задано следующей грамматикой G:

идентификатор_блока1 :

идентификатор_свойства1

↔

идентификатор_блока2 :

идентификатор_свойства2

где:

1) *идентификатор_блока* имеет вид *внешний_идентификатор_блока* (*идентификатор_структуры_блока*), или в более развернутом виде *тип_блока_N. массив_блоков_K. номер_M_в массиве (прототип_V)*;

тут *прототип* - идентификатор конкретной структуры блока, относящегося к данному типу блоков;

2) *идентификатор_свойства* имеет вид сходный вид, т.е.

внешний_идентификатор_свойства (*идентификатор_структуры_свойства*),

или в более развернутом виде
 $тип_свойства_N \cdot массив_свойств_K \cdot$
 $номер_M_в_массиве (значение_V).$

3) знак " $\leftrightarrow$ " - задает отношение эквивалентности значений свойств.

КМ ПрОб, принятая в МЭО [25], предполагает наличие явно введенной внутренней границы блока (включающей как подмножество и внешнюю границу блока), что позволяет рассматривать внутреннюю среду блока как замкнутый одноуровневый набор связей. Внутренняя среда некоторого блока, как совокупность связей определяет выбор всех отношений нижележащих уровней, т.е.: внутренних блоков, их свойств, границ блоков как совокупностей свойств, дискретных функций и т.д. Исходя из принципа, что никакое свойство блока не существует при отсутствии соответствующей связи, путем анализа совокупности связей, могут быть построены списки блоков, свойств, сформированы границы блоков и т.д. Предполагается, что прочие, не указанные в связях свойства и блоки, возможно существуют внутри явно заданных неопределенностей, входящих во все списки - блоков, свойств границ блоков, связей и т.д..

Исходя из этого, можно принять следующую трактовку базовых компонент СМ:

- сигнатура Т есть базовый (терминальный) набор символов, входящих в грамматику, в данном случае – набор идентификаторов (абсолютных номеров) связей, составляющих внутреннюю среду блока;

- грамматика С есть совокупность И-, а так же - ИЛИ-синтермов, базовыми символами которых являются номера связей; грамматика лишена циклов и представляет собой И-ИЛИ-дерево.

Соответствующая процедура П1 есть проверка принадлежности данной связи к списку уже имеющихся.

Процедура П2 есть проверка эквивалентности описаний единичных двух связей, имеющих вышеописанную грамматику G. Процедура позволяет выполнить идентификацию принадлежности любой новой связи к сигнатуре в рамках процедуры П1.

Процедура П3 есть процедура синтаксического анализа (разбора) некоторого заданного текста (списка связей) с целью определить его принадлежность к грамматике С.

2.2. Аксиоматика, факты и правила вывода в СМ

Особенностью предлагаемой СМ является явная идентификация множества семантически верных выражений грамматики, в данном случае это - явная идентификация (номер) прототипа-решения, имеющегося в базе знаний. Прокомментируем понятие факта,

аксиоматики и правил вывода в предлагаемой СМ.

2.2.1. Факты

Перечислим основные принципы трактовки понятия «факт» в предлагаемой СМ:

- факт, по определению, есть истинное выражение, характеризующее искомое решение;
- совокупность фактов задается в начале и является исходной точкой процесса вывода;
- факты определяют признаки требуемого решения;

- совокупность фактов есть набор признаков искомых прототипов, т.е. рассматривается как техническое задание на требуемое решение;

- т.о., техническое задание есть совокупность подмножества альтернатив того или иного подмножества ИЛИ-узлов, имеющихся в данной грамматике;

- задать единичный шаг технического задания означает сузить набор альтернатив некоторого избранного ИЛИ-узла грамматики.

2.2.2. Аксиоматика

Аксиома А есть, по определению, предикат, истинный всегда в рамках данной грамматики. Семантика единичной аксиомы такова: некоторые две отдельные альтернативы двух ИЛИ-узлов совместимы между собой, поскольку имеется прототип, где они существуют одновременно.

Т.о., логически верно (истинно) выражение:

Контекст1 & (ИЛИ-Синтем_1 = Альтернатива_K1)

&

Контекст2 & (ИЛИ-Синтем_2 = Альтернатива_K2)

Данный предикат трактуется как отношение совместности.

Отрицание данного предиката есть отношение несовместности.

Каждый прототип представлен рядом аксиом, задающих совместные признаки данного прототипа в рамках грамматики.

Совокупность всех таких предикатов и есть аксиоматика А.

2.2.3. Правила вывода П

Целевой предикат вывода или – цель вывода в данном случае есть начальное И-ИЛИ-дерево. Данное И-ИЛИ-дерево сопровождается исходным списком всех аксиом, которые пока находятся в списке актуальных аксиом. Список неактуальных аксиом изначально пуст.

Задание некоторого факта есть, с одной стороны, утверждение, что некоторое подмножество альтернатив данного ИЛИ-синтерма истинно и, с другой стороны, утверждение, что оставшиеся неустраиваемым подмножество альтернатив

данного ИЛИ-синтерма – ложно. Соответствующее И-ИЛИ-дерево может трансформироваться (усекаться), что бы содержать либо только истинные альтернативы, либо – пока еще не рассмотренные.

Приведение выполняется с помощью аксиом, т.е. отношений совместности. Удаление некоторой альтернативы данного ИЛИ-синтерма из списка истинных приводит к удалению из рассмотрения всех аксиом, связанных с данной альтернативой как истинной. Соответствующие аксиомы переводятся из списка актуальных в список не актуальных.

Совокупность правил вывода П есть механизм приведения исходной грамматики к заданному набору факторов, т.е., фактически, это – механизм сужения грамматики до подмножества семантически верных решений, соответствующих заданному набору фактов.

Исключение некоторой альтернативы из данного ИЛИ-синтерма следствие задания единичного факта приводит к тому, что некоторые альтернативы в других ИЛИ-синтермах лишаются поддержки отношений совместности, связанных с удаленными альтернативами. Если данная альтернатива не имеет поддержки ни одной из оставшихся в рассмотрении аксиом (отношений совместности), то это означает, что она не совместна ни с кем, т.е. – несовместна вообще (не существует, ложна).

Последнее выражение есть семантика правила вывода П в СМ – удаление альтернатив, не входящих в состав признаков прототипов, заданных набором фактов. Процедура П4 осуществляет отработку соответствующего правила из П в необходимый момент времени.

3. Принципы «базового» метода построения модуля знаний при обучении по прототипам в рамках СМ

Перечислим ряд принципов, применяемых при обучении по множеству прототипов в случае построения единичного модуля знаний в режиме низко-квалифицированного эксперта:

- обучение производится по множеству известных прототипов;
- число прототипов ограничено и счетно;
- единичный шаг обучения – ввод нового прототипа;
- обучение обеспечивается инструментом – теоретико-множественными операциями (ТМО) [26-28] над атрибутивными грамматиками;
- обучение автоматически формирует модуль знаний как атрибутивное И-ИЛИ-дерево множества структурных связей внутренней среды блока;
- формальная модель модуля знаний (И-ИЛИ-дерево) видоизменяется после единичного шага обучения; каждый шаг обучения влечет изменение сигнатуры, грамматики, аксиоматики и, как следствие, увеличение числа семантически верных выражений, т.е. – числа тех же прототипов;
- обучение обеспечивает СМ; в этом случае для смежных формальных моделей САПР строится система отношений достижимости; соответственно, рассматриваются отношения достижимости по сигнатуре, грамматике и аксиоматике при неизменных правилах вывода (см. таблицу 1).

Таблица 1 - Тип отношения достижимости в СМ, примененный в рамках задачи создания модуля знаний путем обучения по прототипам.

Горизонтальная достижимость между формальными моделями	Компоненты СМ		Инструменты построения отношений достижимости
	Неизменные	Изменяемые	
Достижимость между формальными моделями по множеству семантически верных выражений (прототипы из П САПР в ИК): - достижимость г по сигнатуре Т; - достижимость b по грамматике С; - достижимость g по аксиоматике А;	Правила вывода П; Процедуры П1, П2, П3, П4;	Сигнатура Т; Грамматика С; Аксиоматика А;	1) Интерфейс «П САПР <-> Интеллектуальная надстройка»; 2) Обучение (дообучение) на базе ТМО над атрибутивными грамматиками;

Отношение достижимости подобного типа в предлагаемой СМ трактуется как «горизонтальное», т.е. – как переход между

формальными моделями в рамках одного и того же структурного модельного уровня, принадлежащего некоторому фиксированному абстрактному уровню.

Отношения подобного рода имеются в определении «классической» СМ

4. Специфика «вторичного» метода доизобретения новых прототипов при обучении по существующим прототипам в рамках СМ

Предлагается следующий новый подход для повышения эффективности процесса обучения базы знаний по прототипам, а именно - за счет доизобретения семантически верных прототипов после основного этапа обучения, а именно - после «обобщения» введенного множества описаний прототипов, имеющих в наличии.

Процесс доизобретения как инструмент дообучения базы знаний методике проектирования так же может проводиться в рамках различных моделей эксперта в ПрОб, т.е. – моделей инженера-проектировщика, играющего роль инженера по знаниям.

Как в случае «глупого» эксперта, так и в случае «среднего» эксперта система располагает И-ИЛИ-деревом с определенными над ним отношениями совместности-несовместности (аксиоматикой). В этом случае семантика «доизобретения» одна и та же – изменение аксиоматики в И-ИЛИ-дереве.

В случае «умного» эксперта процесс доизобретения подчиняется тем же правилам, но не так тривиален и требует отдельного рассмотрения.

Рассмотрим для примера процесс «доизобретения» для «глупого» эксперта.

Перечислим ряд принципов, применяемых при «доизобретении» в этом случае:

- предлагается путь повышения эффективности процесса обучения за счет автоматического дообучения после «основного» обучения;

- суть подхода – это изменение состава отношений совместности-несовместности, заданных в текущей аксиоматике, для увеличения числа семантически верных выражений, формируемых в данной формальной модели, но при неизменных сигнатуре и грамматике;

- аксиоматика трактуется в данной СМ как отношение совместности – несовместности множества альтернатив для ИЛИ-узлов на имеющейся грамматике (И-ИЛИ-дереве); аксиоматика обеспечивает вычленение семантически верных прототипов в рамках заданных сигнатуры и грамматики;

- аксиоматику необходимо изменять, чтобы обеспечить появление новых семантически верных выражений; т.о., дообучение есть отношение достижимости смежных формальных моделей в рамках СМ по аксиоматике, т.е. – отношение *g*;

- автоматизация обучения – это расширение числа допустимых прототипов за счет имеющих смысл прототипов в рамках тех же сигнатуры и грамматики;

- дообучение может выполняться как на каждом шаге обучения после ввода единичного прототипа, так и после ввода комплекта имеющихся прототипов;

- дообучение представляет собой поиск новых семантически верных решений, т.е. прототипов, в рамках имеющегося множества синтаксически верных решений, заданных грамматикой, т.е. – И-ИЛИ-деревом;

- специфика изобретения – ограниченное пространство поиска решений; возможность автоматизации задачи изобретения путем задания множества параметров отсека «плохих» решений.

Суть предлагаемой модели «доизобретения» с точки зрения СМ представлена в таблице 2.

Таблица 2 - Типы отношений достижимости в СМ, примененный в рамках задачи модификации модуля знаний путем доизобретения новых прототипов.

Горизонтальная достижимость между формальными моделями	Компоненты СМ		Инструменты построения отношений достижимости
	Неизменные	Изменяемые	
Достижимость между формальными моделями по множеству семантически верных выражений (поиск новых прототипов в грамматике): - достижимость по множеству семантически верных решений (нет аналога в «классической» СМ);	Сигнатура Т; Грамматика С; Правила вывода П; Процедуры П1, П2, П3, П4;	Множество семантически верных решения S;	Доизобретение: 1) Поиск новых семантически верных выражений в рамках множества синтаксически верных выражений С;
Достижимость между формальными моделями по	Сигнатура Т; Грамматика С;	Аксиоматика А;	Редактирование множества аксиом А с целью

Горизонтальная достижимость между формальными моделями	Компоненты СМ		Инструменты построения отношений достижимости
	Неизменные	Изменяемые	
включению найденного нового подмножества семантически верных выражений в СМ: - достижимость g по аксиоматике A ;	Правила вывода Π ; Процедуры Π_1 , Π_2 , Π_3 , Π_4 ;		обеспечить включение найденного нового подмножества прототипов (дообучение на базе ТМО над атрибутными грамматиками).

Отношение достижимости подобного типа в СМ так же может трактоваться как «горизонтальное», т.е. – как переход между формальными моделями в рамках одного и того же структурного модельного уровня, принадлежащего некоторому фиксированному абстрактному уровню.

При этом:

- переход по множеству семантически верных решений аналога в «классической» СМ не имеет;

- полученная т.о. новая формальная модель является не корректной, т.е. – требует доопределения;

- доопределение выполняется включением данных прототипов аксиоматику A СМ.

В этом случае повторное обучение может также проводится на базе ТМО над атрибутными грамматиками, но не с целью ввести описание нового прототипа в грамматику S , так как соответствующий прототип уже имеется в грамматике, а - с целью изменение атрибутов грамматики. Таким образом вводится добавочно подсистема аксиом, делающих возможным существование (или вычленения) данного прототипа в грамматике

5. Детальное изложение предлагаемого метода генерации гипотез

Цель генерации гипотез - синтез новых для системы, но известных пользователю решений, принадлежащих к некоторому общему с исходным прототипом типу блоков. Тип блоков понимается в смысле положений системного анализа [14], т.е. как агрегация (обобщение) ряда прототипов, имеющих ряд общих (системообразующих) признаков и ряд отличных (факультативных) признаков (данном случае - структурных признаков).

Предлагаемый путь генерации гипотез при обучении:

- выполняются ТМО - объединение, пересечение, дополнение и разность - над имеющимися прототипами как совокупностями "обобщенных" связей внутренней среды с целью порождения частей прототипов как результата ТМО; различаются *часть* среды и

фрагмент, как произвольное подмножество части;

- новый прототип-гипотеза строится в виде комбинации фрагментов из частей прототипов, как наиболее "достоверных" строительных единиц новых прототипов; причина такого подхода - данные связи уже применялись на практике, т.е. имеют степень достоверности большую 0; связи, не имевшиеся в прототипах, не рассматриваются вовсе, т.к. их достоверность недоказуема и принимается равной 0.

При формировании множества "обобщенных" связей как эквивалентные рассматриваются связи, имеющие одинаковые внешние идентификаторы обеих блоков и обеих свойств. Т.е. "обобщенная" связь получают вид, безотносительный к идентификаторам прототипов блоков и значениям свойств. Т.е. связью считается выражение:

внешний_идентификатор_блока1()*.*внешний_идентификатор_свойства1(*)*
<->

внешний_идентификатор_блока2()*.*внешний_идентификатор_свойства2(*)*.

Тут знак "*" - задает произвольные идентификаторы структур блоков и свойств.

Пусть имеется некоторое множество прототипов, входящих в тип блоков A :

$A' = (P_1 \vee P_2 \vee P_3)$.

На рисунке 1 показана обобщенная схема типа A , построенная в рамках предлагаемой концептуальной модели.

Результат выполнения теоретико-множественных операций над совокупностями "обобщенных" связей (далее - просто связей), образующими данные прототипы, составляет ряд подмножеств $@j$, определяющих некоторые части внутренней среды прототипов.

При этом:

$P_1 = @1 \& @2$; $P_2 = @1 \& @2 \& @3$;

$P_3 = @2 \& @3$;

$@1 = 5$; $@2 = 1 \& 2 \& 3 \& 4$;

$@3 = 6 \& 7 \& 8 \& 9 \& 10$.

Тут 1,2... - сквозные номера оригинальных связей, определенные в пределах всего типа блоков. Преобразуем множество прототипов A к форме И-ИЛИ-дерева:

$A' = (P_1 \vee P_2 \vee P_3) = @2 \& H_1$; $H_1 = @1 \vee @3 \vee H_2$; $H_2 = @1 \& @3$.

На рисунке 2 изображено полученное И-ИЛИ-дерево. В скобках показаны номера прототипов, входящих в данную вершину, числами заданы номера связей, стрелками показан порядок декомпозиции узлов.

Номера прототипов (атрибуты) в вершинах неявно задают продукционные зависимости для ИЛИ-узлов, используемые при выводе с целью синтеза (выбора) необходимых прототипов в САПР. Семантика зависимостей такова: "если в данном ИЛИ-синтерме (узле) удалить вариант (признак), включающий прототип К, то прототип К должен быть удален во всех прочих узлах".

Данное И-ИЛИ-дерево с определенными над ним продукционными зависимостями, составляет динамическую базу данных. Результатом ограничений на каждом этапе является все более суженное "полное" И-ИЛИ-дерево. Детально механизм вывода описан в [8]. Синтезируемые таким образом решения принадлежат к множеству семантически верных выражений, т.е. – множества тех же исходных прототипов, применяемых при обучении. Все прочие решения – прототипы запрещены, т.е. невозможны.

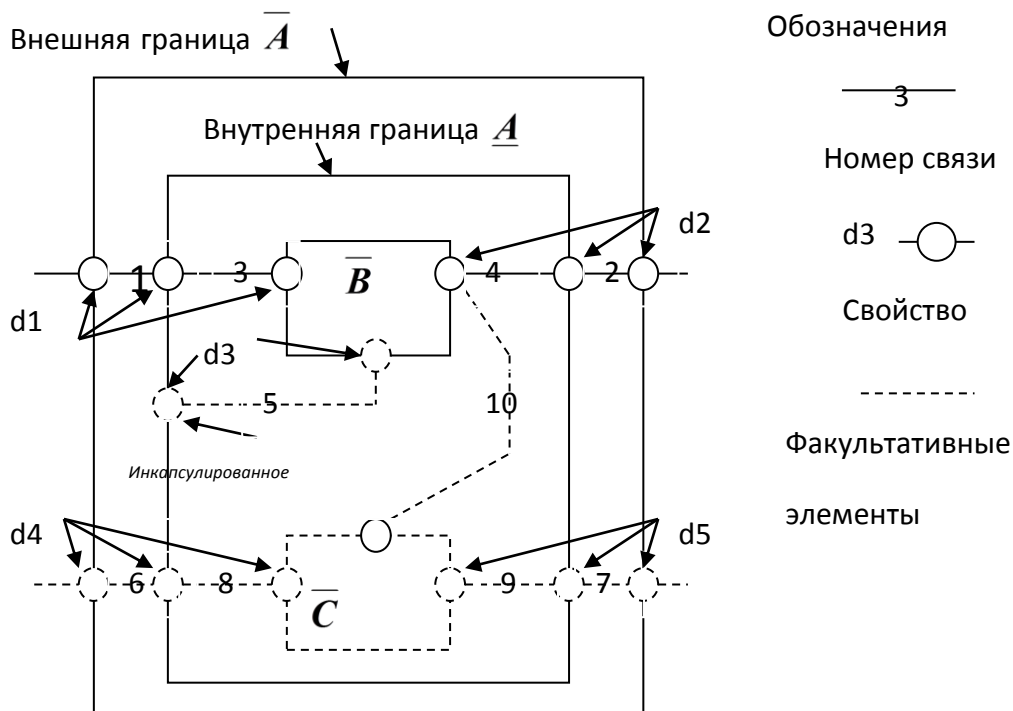


Рисунок 1 - Обобщенная схема типа А

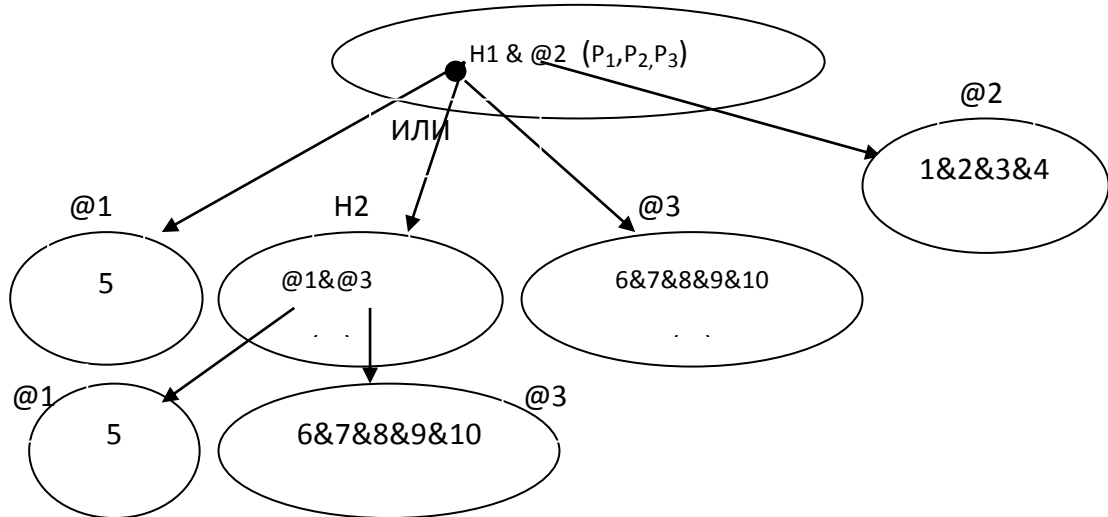


Рисунок 2 - Форма И-ИЛИ-дерева

С учетом названных зависимостей A' может быть определен как идентификатор модуля знаний о структуре внутренней среды объектов типа A . На рисунке 3 представлен пример синтеза структуры нового блока P_H на основе новой комбинации фрагментов:

$$P_H = @5 \& @1 = (2\&4)\&(5).$$

Общий подход к синтезу гипотез предполагает, что можно разрешить как семантически верные и все прочие решения, возможные в исходной грамматике, что достигается полным отсутствием продукций, ранее определенных над грамматикой, но - с применением впоследствии механизма отсечения «не подходящих», не верных решений. Такой путь предполагает, что в этом случае автоматически формируется декартово произведению всех составляющих всех ИЛИ-

синтермов, входящих в И-ИЛИ-дерево. Увеличение числа вводимых прототипов ведет к возникновению все большего числа частей блоков и фрагментов.

Можно сделать выводы, что:

1. Количество вариантов сред чрезвычайно большое и пользователь не в состоянии их проверить их на достоверность;
2. Нужны ограничения технологического и семантического характера, способные резко снизить число потенциально возникающих прототипов при присоединении нового прототипа, отсекая решения, не имеющие смысл и решения, проверить адекватность которых для данного пользователя не представляется возможным.

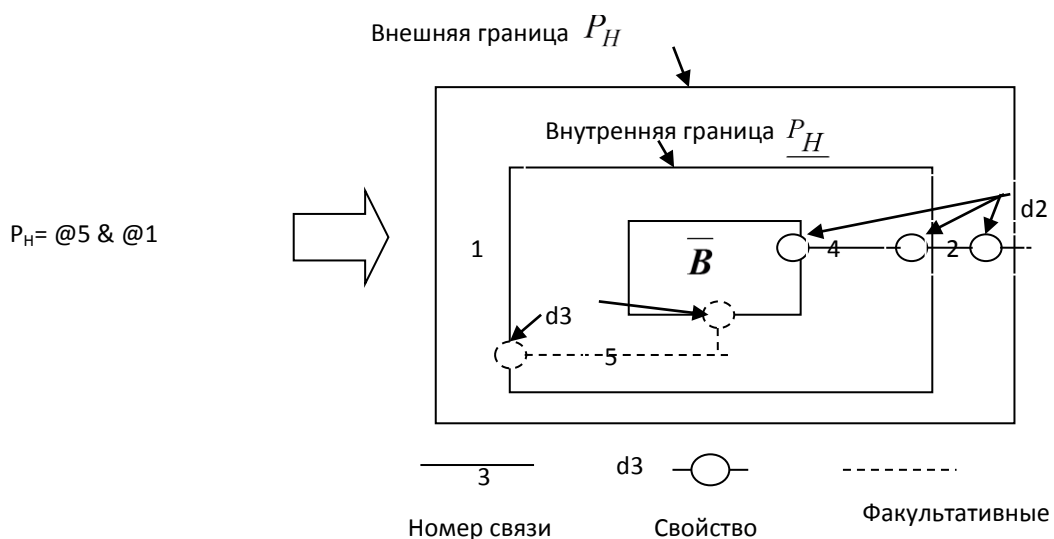


Рисунок 3 - Пример синтеза структуры по совокупности связей

6. Предлагаемая технологии отбраковки гипотез в МЭО

Для решения поставленной задачи предлагается технология отсеечения слишком сложных и не имеющих смысл решений, схема которой показана на рисунке 4. На данном рисунке показан общий состав ограничений, схему их взаимодействия, определена роль пользователя в процессе обучения и место проблемно-ориентированных САПР как источников достоверных (проверенных на практике) решений [24]. Рассмотрим назначение и способ построение каждого уровня ограничения.

6.1. Технологические ограничения при генерации гипотез

Предлагается система технологических ограничений Т1-Т4 при формировании новых, синтаксически верных описаний прототипов.

Автоматическое применение этих ограничений составляет часть методики обучения, независимую от желания пользователя, но адаптируемую к его способности понимать модели некоторой сложности. И-ИЛИ-дерево, составляющее результат выполнения данных ограничений может трактоваться как множество

синтаксически верных выражений семиотической модели [15].

Т1) Удаление "старых" прототипов из новой совокупности.

При анализе возникающих прототипов необходимо различать "старые" и "новые" прототипы. Набор "новых" прототипов, которые могут быть сформированы только из элементов "старого" набора частей, не должен рассматриваться при добавлении нового прототипа, т.к. старые прототипы уже учтены в ранее рассмотренном множестве прототипов. Имеет смысл рассматривать только "новые" комбинации связей.

Т2) Удаление слишком "сложных" для понимания прототипов.

Т.к. все "исходные" прототипы по определению принимаются ограниченными [12] по когнитивной сложности (КС), исходя из способности пользователя понимать модели, то и все новые прототипы так же не должны превышать данный предел КС.

Т.е. новые прототипы, превышающих по уровню КС предел, приемлемый для данного пользователя, должны по выбору пользователя:

- либо удаляться из дальнейшего рассмотрения;
- либо преобразовываться автоматически к форме представления, имеющей допустимую КС.

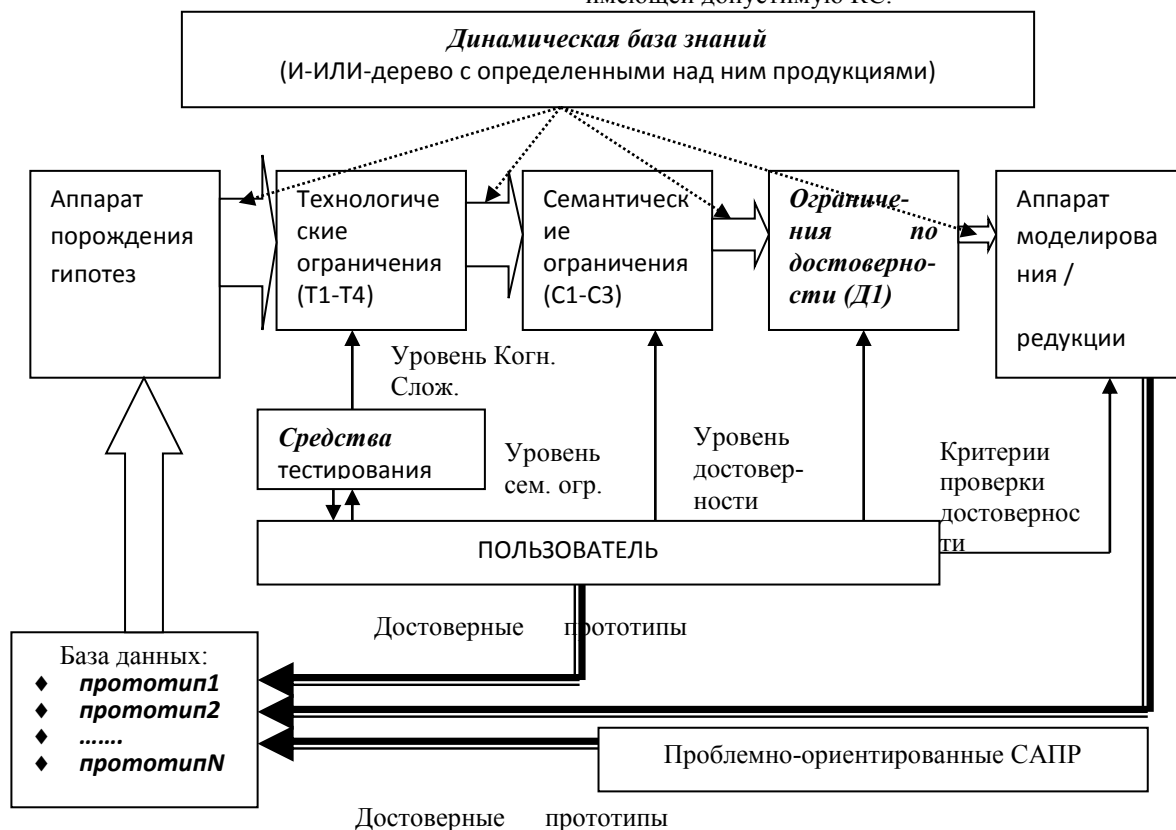


Рисунок 4 - Схема технологии синтеза и отбора гипотез в МЭО

Т3) Контроль наличия
"системообразующего" набора связей.

Некоторая совокупность связей в любом прототипе относится к системообразующим и является общей для всех прототипов, принадлежащих данному типу блоков А. Системообразующий набор связей для данной внешней или внутренней среды блока характеризуется наличием в ней связей, покрывающих в своей совокупности набор составляющих модели, необходимых как общая часть для систем данного уровня обобщения (тип, библиотека, ПрОб и т.д.). В эту общую часть включаются: свойства границы блока; свойства подблоков; связи границы блока с подблоками и связи между подблоками.

Т4) Проверка И-ИЛИ-дерева на условия совместимости и несовместимости отдельных фрагментов.

Возможны ситуации, когда некоторые фрагменты или части сред, не относящиеся к системообразующим:

1) могут существовать только во взаимосвязи с другими некоторыми частями или фрагментами (по И);

2) могут существовать только как альтернативы к некоторым другим частями или фрагментами (исключающее ИЛИ);

3) не имеют смысла в любой комбинации частей.

В этом случае пользователь должен иметь возможность вмешаться в процесс образования новых прототипов, указывая явно все перечисленные условия для ряда частей.

В таблице 3 для рассмотренного выше примера обобщенной структуры показан состав фрагментов, содержащих связи, существующие только в комплексе.

Таблица 3. Фрагменты, состоящие из совместно используемых связей.

<i>Исходные части</i>	<i>Фрагменты</i>	<i>Состав фрагмента</i>
@2	@4	1,3
-'	@5	2,4
@3	@6	6,8
-'	@7	7,9

6.2. Семантические ограничения при генерации гипотез

Семантические (смысловые) ограничения (СО) при генерации гипотез призваны сузить количество новых прототипов-гипотез, возникших при обучении, исходя из степени неопределенности допускаемой пользователем для "новых" прототипов. Объектом приложения

СО является исходная грамматика, суженная введением технологических ограничений.

Предлагается система ограничений "C1-C3" соответствует различной степени недоопределенности, допускаемой в "новых" прототипах и определяющей степень сужения количества гипотез.

Пользователь, исходя из уровня своей компетентности и желания, выбирает один из уровней от C1 до C3 таким образом, что бы с возрастанием номера ставить перед собой более сложные задачи по семантической оценке вновь полученных прототипов.

Состав ограничений может интерпретироваться как совокупность правил вывода CM [15].

C1) Полное отсутствие
недоопределенностей в прототипах.

В этом случае совокупность связей полностью определяет среду. C1 является наиболее жестким семантическим ограничением. Кроме введенных базовых "старых" прототипов никакие другие не имеют право на существование. Данное ограничение предполагает, что при склеивании прототипов автоматически формируются семантические зависимости, принадлежащие декартовому произведению вариантов, но призванные обеспечить существование только тех прототипов, которые были ранее введены в качестве примеров.

C2) Недоопределенность в составе
связей при наличии в статической базе данных библиотек идентифицированных подструктур.

C2 является менее жестким семантическим ограничением, чем C1. Наряду с совокупностью связей, как средой, для автоматизации синтеза дополнительно используется статическая база данных, включающая кроме набора исходных достоверных прототипов библиотеки идентифицированных базовых подструктур, имевших место в различных достоверных прототипах, т.е.: блоки, свойства, связи. Данные библиотеки формируются путем обобщения описаний всех "старых" прототипов. Отдельные структуры в библиотеках логически объединены по ИЛИ.

В состав библиотек, объединяющих отношения различной степени агрегации, входят подструктуры, имеющие различную степень недоопределенности. Например:

1) Идентификаторы блоков, заданных как совокупности отношений принадлежности (блок-свойство), составляющих внешнюю границу.

Возможные недоопределенности:

- не задана информация о внешних связях;

- не задана информация о внутренней структуре блока и т.п.

2) Идентификаторы структуры типа свойства как состав его возможных значений. Возможные недоопределенности:

- не задана информация о отношениях принадлежности (элементов границ блоков), где используются свойства этого типа и т.п.

3) Типа функций для блоков базового уровня и т.д.

Наличие в некоторой рассматриваемой связи, входящей в "новый" прототип", идентификации самого отношения принадлежности, а так же идентификации его составляющих (свойства или блока) приводит к таким действиям системы:

- обращению в библиотеку статической базы данных (СБД), куда входит элемент, имеющий данную идентификацию, с целью синтаксической проверки идентификации;

- если рассматриваемая идентификация отношения принадлежности в связи полная (т.е. определена идентификация сред для связи), то по идентификации сред выбираются связанные по И с данным отношением принадлежности прочие отношения принадлежности в СБД, составляющие в совокупности границу некоторого блока;

- затем по данным отношения принадлежности (ОП), входящим в найденную границу блока, можно проверить, определены ли все необходимые связи, составляющие внутреннюю (внешнюю) среду для данной границы и добавить в среду отсутствующие связи.

Таким образом, доопределяется описание внутренней среды нового блока по совокупности заданных связей.

1. Полученное в результате таких действий описание среды (прототипа) может быть как полностью определенным, так и недоопределенным, т.е. неоднозначным. Возможны следующие интерпретации неопределенности в связях:

1) **ЕСЛИ** в составе связей имеется определенная идентификация свойств, идентификация типа блока, а идентификация собственно блока (прототипа) не определена (имеет значение *NIL*),

ТО подразумевается, что идентификатор данного блока может быть взят как один из вариантов по ИЛИ из множества имеющихся идентификаторов блоков данного типа в СБД;

2) **ЕСЛИ** в составе связей имеется определенная идентификация свойств, а идентификация собственно блока и его типа не определены (*NIL*),

ТО подразумевается, что идентификаторы типов и собственно блока могут быть взяты как некоторые варианты из соответствующих множеств по ИЛИ и т.д.

Степень недоопределенности набора связей может быть:

- изначально свойственной данному набору связей по причине отсутствия полной информации о структуре у пользователя в момент описании структуры "базового" прототипа;

- искусственно введенной в имеющийся набор связей некоторой среды, что равносильно построению (изобретению) новых структур на базе известных базовых решений.

Следует отметить, что при ограничении С2 может быть недоопределен как сам состав связей (быть неполным), так и недоопределены описания отдельных связей (т.е. включать *NIL*).

С3) Недоопределенный набор связей, не связанный с известными базовыми структурами.

Наименее жесткое ограничение. Если мы отказываемся от ограничения "С2", то в этом случае может оказаться, что мы вступаем в область изобретения новых базовых структур, не имеющих в СБД. Каждую такую новую базовую структуру (блок, свойство) необходимо проверять на принадлежность к известным типам на основе системообразующих элементов, вводить (в случае необходимости) новый тип базовых структур, вводить вообще новый тип блока A_n вместо рассматриваемого A и т.д. Данная задача имеет смысл, но выходит за рамки поставленной задачи - автоматизации ввода прототипов для известных типов блоков - и поэтому детально в данной работе не рассматривается.

6.3. Ограничения по достоверности гипотез

Достоверность прототипа зависит от уровня недоопределенности, заданного уровнем семантического ограничения С1-С3:

1) Прямо введенный прототип, т.е. прототип уровня "С1" имеет достоверность 100% вне зависимости от компетенции эксперта, курирующего обучение;

2) Прототипы, построенные различными способами от исходных прототипов, имеют уровень достоверности, определяемый логикой достоверности таким образом:

- достоверность уменьшается от уровня недоопределенности "С1" к уровню "С3";

- достоверность части прототипа не выше достоверности собственно прототипа;
- достоверность нового прототипа не выше минимума достоверности для всех частей, участвующих в создании нового прототипа (точная нижняя грань).

Достоверность изобретенного прототипа зависит от уровня квалификации эксперта, принимающего решение о семантической верности прототипа. При определении конечного уровня достоверности прототипа уровень квалификации эксперта умножается на достоверность прототипов, связанную с уровнем их недоопределенности.

Д1) Вводится нижний граничный уровень достоверности, ниже которого не имеет смысл рассматривать вновь "изобретенные" прототипы. Данный уровень может определяться направленностью системы САПР:

- 1) Поисковое конструирование (возможна любая достоверность большая 0);
- 2) Поиск решений близких к данному известному прототипу (процент определяется степенью недоопределенности, т.е. меры близости);
- 3) Поиск подходящих известных решений (достоверность - 100%) - решение типичных задач проектирования.

Меняя уровень достоверности можно изменять тем самым и направленность системы. Если "изобретенный" прототип проверен на практике, то его достоверность становится равной 100%.

Заключение

Рассмотрена общая задача адаптации специализированной инструментальной оболочки для автоматизации построения интеллектуальных САПР типичного проектирования на специфику предметной области. Сформулированы основные принципы построения семиотической модели доизобретения новых решений в рамках единичного модуля знаний, построенного предварительно на основе ряда уже имеющихся прототипов. Построено полноценное и формальное описание процесса доизобретения в рамках общей семиотической модели САПР, частью которой она является. Итоговая структура комплекса средств построения СМ в рамках задачи «обучение-изобретение» представлен в таб. 4. Предлагаемая модель позволяет повысить эффективность процессов обучения методикам проектирования технических изделий в любых предметных областях.

Таблица 4 - Итоговая структура комплекса средств построения СМ в рамках задачи «обучение-изобретение».

Горизонтальная достижимость между формальными моделями	Компоненты СМ		Инструменты построения отношений достижимости
	Неизменные	Изменяемые	
Обучение МЭО по прототипам, накопленным в П САПР: : - достижимость r по сигнатуре Т; - достижимость b по грамматике С; - достижимость g по аксиоматике А;	Правила вывода П; Процедуры П1, П2, П3, П4;	Сигнатура Т; Грамматика С; Аксиоматика А;	1) Интерфейс «П САПР <-> Интеллектуальная надстройка»; 2) Обучение (дообучение) на базе ТМО;
Поиск новых прототипов в имеющейся грамматике: - достижимость по множеству семантически верных решений S (нет аналога в «классической» СМ);	Сигнатура Т; Грамматика С; Правила вывода П; Процедуры П1, П2, П3, П4;	Множество семантически верных решения S;	3) Доизобретение, т.е. поиск новых семантически верных выражений в рамках множества синтаксически верных выражений С;
Включение найденного нового подмножества прототипов в СМ: - достижимость g по аксиоматике А;	Сигнатура Т; Грамматика С; Правила вывода П; Процедуры П1, П2, П3, П4;	Аксиоматика А;	4) Редактирование множества аксиом А с целью обеспечить включение найденного нового подмножества прототипов.

Литература

1. Норенков И.П. Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем. М.: Высш. шк., 1986. — 304 с.
2. Петренко А.И., Семенов О.И. Основы построения систем автоматизированного проектирования. - К.: ВШ, 1984. - 296 с.
3. Григорьев А.В. Расширенная постановка задачи проблемной адаптации интеллектуальных САПР. Наукові праці ДонНТУ. Серія ІКОТ. Випуск 19'(2014).- Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», С. 62-71.
4. Григорьев А.В. Унифицированная концептуальная модель предметной области. В кн. Информатика, кибернетика и вычислительная техника. Сборник трудов ДонГТУ, Выпуск 1. Донецк: ДонГТУ, 1997. — С. 225-228.
5. Григорьев А.В. Состав параметров адаптации на проблемную область в инструментальной оболочке для автоматизации построения интеллектуальных САПР. Наукові праці. Наукові праці ДонНТУ. Серія ІКОТ-2011. Випуск 14(185).- Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», С. 252-261.
6. Григорьев А.В., Каспаров А.А. Особенности реализации мета-эвристической оболочки для построения САПР. В книге: Наукові праці донецького державного технічного університету; серія: Проблеми модулювання та автоматизації проектування динамічних систем, Випуск 10, Донецьк: ДонГТУ, 1999, С. 217-222.

7. Григорьев А.В. Представление недоопределенности знаний в инструментальной оболочке для построения САПР. Искусственный интеллект. N 1, 1999. — С. 96-106.

8. Григорьев А.В. Семиотическая модель базы знаний САПР. Научные труды Донецкого государственного технического университета Серия: Проблемы моделирования и автоматизации проектирования динамических систем, выпуск 10: Донецк, ДонГТУ, 1999. — С. 30-37.

9. Григорьев А.В. Система уровней модели предметной области для интеллектуальных САПР, Москва: Физико-математическая литература, КИИ'2000, 2000, С. 633-642.

10. Григорьев А.В. Методика тестирования для определения когнитивной сложности моделей различных предметных областей. Научные труды Донецкого государственного технического университета Серия: Информатика, кибернетика и вычислительная техника, (ИКВТ-99) выпуск 6: - Донецк, ДонГТУ, 1999. - С. 246-251.

11. Григорьев А.В. Оценка когнитивной сложности моделей. Научные труды Донецкого государственного технического университета Серия: Информатика, кибернетика и вычислительная техника, (ИКВТ-99) выпуск 6: - Донецк, ДонГТУ, 1999. - С. 252-259.

12. Григорьев А.В. Ограничение когнитивной сложности моделей. Прогрессивные технологии и системы машиностроения. 10. Международный сборник научных трудов С. 49-57.

13. Григорьев А.В., Бондаренко А.В., Шойхеденко А.В. Интерфейс табличного процессора EXCEL и специализированной оболочки для синтеза интеллектуальных САПР и АСНИ. В кн. Информатика, кибернетика и вычислительная техника (ИКВТ-97). Сборник трудов ДонГТУ, Выпуск 1. Донецк: ДонГТУ, 1997. С. 229-238.

14. Григорьев А.В., Базалей А.О. Специализированная оболочка для синтеза интеллектуальных САПР и АСНИ. В кн. Информатика, кибернетика и вычислительная техника (ИКВТ-97). Сборник трудов ДонГТУ, Выпуск 1. Донецк: ДонГТУ, 1997. С. 225-228.

15. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986. - 288 с.

16. Кондрашина Е.Ю., Литвинцева Л.В., Поспелов Д.А. Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах / Под ред. Д.А. Поспелова. - М.: Наука, 1989. - 328 с.

17. Тыугу Э. Х. Концептуальное программирование. - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. - 256 с.

18. Нариньяни А.С. Недоопределенность в системах представления и обработки знаний // Техн. кибернетика, 1986, № 5, С. 3-28.

19. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. - М.: Машиностроение, 1988.

20. Чус А.В. Основы технического творчества. К.: ВПШ, 1989.

21. Вороновский Г.К., Махатило К.В. и др. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности. Х.: Основа, 1997. 112 с.

22. А.В. Григорьев. Организация пространства поиска решений в специализированной оболочке для создания интеллектуальных САПР. Вісник ТРТУ-ДонГТУ. Матеріали 2-го міжд. н.-т. семінара "Практика і перспективи інституціонального

партнерства". Донецк, ДонГТУ, 2001, N1, С.57-68.

23. А.В. Григорьев. Методы решения задачи структурного синтеза в интеллектуальных САПР, построенных на основе семиотической модели структур. / Наукові праці національного технічного університету. Серія «Обчислювальна техніка та автоматизація». Випуск 19 (171). - Донецьк: ДонНТУ, 2010. - С. 128-140.

24. Григорьев А.В. Адаптивная система ограничений на сложность при синтезе новых решений в интеллектуальных САПР // Искусственный интеллект. - Донецк, 2001 - N 2 - С. 152 - 167.

25. Григорьев А.В. Содержание некоторых категорий абстракций в теории построения интеллектуальных САПР/ Наукові праці Донецького національного технічного університету / Редкол.: Башков Є.О. та інші. Серія: "Обчислювальна техніка та автоматизація": Випуск 64.: Донецьк: Видавництво ДонНТУ, 2003 - С. 166-178.

26. Григорьев А.В. Теоретико-множественные операции над грамматиками как механизм работы со знаниями в интеллектуальных САПР. Вісник СНУ імені В.Даля, N 2(48). Луганск, ВУТУ, 2002. С. 186-194.

27. Ахо А., Ульман Дж. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции. В двух томах. Т.1. Синтаксический анализ. Пер. Агафонова В.Н. Под. ред. Курочкина В.М. Мир, М.: 1978, с. 614.

28. Григорьев А.В. Специфика выполнения теоретико-множественных операций над контекстно-свободными грамматиками в условиях различных форм дополнительных семантических правил в семиотической модели интеллектуальных САПР / Научные труды ДонНТУ. Серия МАП - 2006. Випуск 5 (116). - Донецк: ДонНТУ, 2006. - С. 91-104.

Grigoriev A.V. The invention as a method of automating the process of learning design techniques in semiotic CAD model. The problem of adaptation of specialized shell tool to automate the construction of a typical intelligent CAD design to the specific design techniques in a given subject area. The basic principles of semiotic invention new models that make sense solutions within a single unit of knowledge built by a pre-training on the basis of an incomplete number of existing prototypes. The proposed model can improve the efficiency of learning processes of designing methods of technical articles in all subject areas.

Keywords: instrument shell, conceptual model, data domain, intelligent CAD module knowledge, semiotic model invention, training, design methodology.

Статья поступила в редакцию 13.06.2015
Рекомендована к публикации канд. техн. наук А.В. Звягинцевой

УДК 51-74

Применение теста Фукса - Ковалевской - Пенлеве для решения модельной задачи о напорной фильтрации газовой смеси в сплошной среде (на примере пневмообработки угольного пласта).

Ю.Н. Добровольский
Донецкий национальный технический университет
dyn_don_20.14@mail.ru

Добровольский Ю.Н. Применение теста Фукса - Ковалевской- Пенлеве для решения модельной задачи о напорной фильтрации газовой смеси в сплошной среде (на примере пневмообработки угольного пласта). В данной статье предлагается тест Фукса - Ковалевской - Пенлеве для решения модельной задачи о напорной фильтрации газовой смеси в сплошной среде. Необходимость применения этого теста объясняется тем, что многочисленными исследованиями установлено, что многие известные интегрируемые нелинейные уравнения математической физики обладают свойством Фукса - Ковалевской – Пенлеве. Были найдены также новые уравнения с таким свойством. При проверке более сложных уравнений и систем уравнений на тест Фукса - Ковалевской – Пенлеве могут появляться резонансы с высокими номерами. При этом трудности аналитического решения быстро нарастают. Однако в виду высокой алгоритмичности тест допускает успешное использование методов символьных вычислений. Например, с помощью системы Maple V удалось провести полную классификацию интегрируемых случаев уравнений мелкой воды с диссипацией и дисперсией низших порядков. Идея метода состоит в следующем. По аналогии с обыкновенными дифференциальными уравнениями решения уравнений с частными производными можно искать в виде разложений, содержащих особенность типа подвижного полюса. Положение полюса задается с помощью произвольной функции. Первоначально решение ищется в окрестности сингулярного многообразия $x-x_0(t)=0$ в виде обоснованного в статье разложения, где показатель α – целое положительное число, что обеспечивает полюсный характер подвижной особенности решения. Функция $x_0(t)$ считается произвольной. Полученное решение будет общим, если в это разложение войдут произвольные функции, причем число этих функций равно порядку рассматриваемого уравнения. Далее решение уравнения в частных производных ищут в окрестности сингулярного многообразия $\varepsilon(x,t)=0$ в установленном статье виде – обобщенного разложения симметричного по независимым переменным. Показано, как хорошо работает тест Фукса – Ковалевской – Пенлеве для уравнения Бюргерса. Установлено, что имеется один резонанс $n=2$, для которого удовлетворяется соотношение совместности, поэтому его решение имеет требуемый произвол в две функции. При тестировании первого уравнения рассмотренной системы методом Фукса - Ковалевской – Пенлеве, было установлено следующее:

Первое. Поскольку оба слагаемые правой части уравнения имеют квадратичную нелинейность, то отсутствует особенность типа подвижного полюса, а присутствует алгебраическая точка ветвления. Поэтому решение искалось в виде степенного ряда общего вида. При этом получены некоторые решения полностью совпадающие с решениями, найденными в автором ранее.

Второе. Поскольку с функциональной точки зрения все уравнения системы имеют одинаковую природу, то этим свойством обладают и остальные уравнения системы.

Третье. При взятии достаточно большого числа слагаемых в одном или другом разложении, трудности аналитического решения быстро нарастают, поэтому был выполнен согласованный обрыв членов ряда начиная с некоторого k . В противном случае, можно использовать систему символьных вычислений, например, пакет Maple V или Maple VII.

Четвертое. Полезность полученных результатов заключается в том, что подбирая исходное решение таким образом, по ним можно априори выйти на нужный исследователю результат.

Пятое. В следующей статье будет показано, как применить полученные разложения к данной системе или найти преобразование (если оно существует), линеаризующее данную систему.

Введение

Подвижные особенности решений обыкновенных дифференциальных уравнений. Взаимосвязь вида обыкновенных дифференциальных уравнений с особенностями их решений была установлена более ста лет назад.

Особенности решений линейных обыкновенных дифференциальных уравнений точно соответствуют особенностям коэффициентов уравнений. Поскольку их положение не меняется с изменением постоянных интегрирования, то такие особенности именуют неподвижными. В случае нелинейных уравнений появляются также

подвижные особенности решений, положение которых зависит от начальных условий (от постоянных интегрирования).

Приведем простейшие примеры обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка и их решений с подвижными особенностями.

Уравнение	Решение	Тип особенности решения
$u'_z = -u^2$	$u = 1/(z - z_0)$	подвижный полюс
$u'_z = 2/u$	$u = 2\sqrt{z - z_0}$	алгебраическая точка ветвления
$u'_z = e^{-u}$	$u = \ln(z - z_0)$	логарифмическая точка ветвления
$u'_z = -u \ln^2 u$	$u = \exp[1/(z - z_0)]$	существенно особая точка

Определение. Алгебраические точки ветвления, логарифмические точки ветвления и существенно особые точки решений называются критическими особыми точками.

В 1884 году Л. Фукс (L. Fuchs) показал, что нелинейные обыкновенные дифференциальные уравнения первого порядка

$$u'_z = R(z, u)$$

с рациональной по второму и аналитической по первому аргументу функцией R обладают решениями без подвижных критических точек (т.е. только с подвижными полюсами) лишь в случае общего уравнения Риккати

$$u'_z = A_0(z) + A_1(z)u + A_2(z)u^2.$$

Классификация на (комплексной плоскости) обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка вида

$$u''_{zz} = R(z, u, u'_z),$$

где $R=R(z, u, w)$ – функция рациональная по u и w и аналитическая по z , была проведена П. Пенлеве (P. Painleve, 1900) и Б. Гамбье (B. Gambier, 1910). Они показали, что все уравнения данного вида, решения которых не имеют подвижных критических точек (допустимыми считаются неподвижные особые точки и подвижные полюса) сводятся к 50 классам уравнений. Из них 44 класса интегрируются в квадратурах или допускают понижение порядка. Остальные 6 классов являются неприводимыми, их называют уравнениями Пенлеве (а их решения – трансцендентными функциями Пенлеве или трансцендентами Пенлеве).

Первое уравнение Пенлеве (в канонической форме) имеет вид

$$u''_{zz} = 6u^2 + z.$$

В окрестности подвижного полюса z_0 его решения представимы в виде ряда

$$u = \frac{1}{(z - z_0)^2} + \sum_{n=2}^{\infty} a_n (z - z_0)^n,$$

$$a_2 = -\frac{1}{10}z_0, a_3 = -\frac{1}{6}, a_4 = C, a_5 = 0, a_6 = \frac{1}{300}z_0^2,$$

где z_0 и C – произвольные постоянные, коэффициенты a_n ($n \geq 7$) однозначно определяются через z_0 и C .

Второе уравнение Пенлеве (в канонической форме) имеет вид

$$u''_{zz} = 2u^3 + zu + a.$$

В окрестности подвижного полюса z_0 его решения допускают следующие разложения:

$$u = \frac{m}{z - z_0} + \sum_{n=1}^{\infty} b_n (z - z_0)^n,$$

$$b_1 = -\frac{1}{6}mz_0, \quad b_2 = -\frac{1}{4}(m + a), \quad b_3 = C,$$

$$b_4 = \frac{1}{72}z_0(m + 3a),$$

$$b_5 = \frac{1}{3024}[(27 + 81a^2 - 2z_0^3)m + 108a - 216Cz_0],$$

где $m = \pm 1$; z_0 и C – произвольные постоянные; коэффициенты b_n ($n \geq 6$) однозначно определяются через z_0 и C .

Надо отметить, что решение четвертого уравнения Пенлеве имеет подвижный полюс, а решения третьего, пятого и шестого уравнений Пенлеве имеют неподвижные логарифмические точки ветвления.

Замечание. В 1888 году С.В. Ковалевской удалось проинтегрировать уравнения движения недеформируемого твердого тела с закрепленной точкой под действием силы тяжести в неизвестном до нее случае. Был выполнен анализ решений системы шести нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. При этом решение искалось в виде разложений всех неизвестных величин в ряды с полюсными подвижными особенностями

$$u = (z - z_0)^{-n}[a_0 + a_1(z - z_0) + \dots].$$

Общность решения обеспечивалась нужным (соответствующим порядку системы) числом произвольных коэффициентов и свободным параметром z_0 .

Надо отметить, что исследования С. В. Ковалевской предшествовали работам П. Пенлеве по классификации обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка, который использовал разложения аналогичного вида.

Решения уравнений с частными производными, имеющие подвижный полюс. Описание метода

По аналогии с обыкновенными дифференциальными уравнениями решения

уравнений с частными производными можно искать в виде разложений, содержащих особенность типа подвижного полюса. Положение полюса задается с помощью произвольной функции.

Для простоты изложения далее будем рассматривать уравнения математической физики с двумя независимыми переменными x , t и зависимой переменной w , которые не зависят явно от x и t .

1⁰. Простейшая схема. Решение ищется в окрестности сингулярного многообразия $x-x_0(t)=0$ в виде разложения

$$w(x,t) = \frac{1}{\varepsilon^\alpha} \sum_{n=0}^{\infty} w_n(t) \varepsilon^n, \quad \varepsilon = x - x_0(t). \quad (1)$$

Здесь показатель α – целое положительное число, что обеспечивает полюсный характер подвижной особенности решения. Функция $x_0(t)$ считается произвольной.

Выражение (1) подставляется в рассматриваемое уравнение. Сначала из баланса ведущих сингулярных членов определяются показатель α и главный член разложения $w_0(t)$. Затем собираются члены при одинаковых степенях ε . Приравнявая полученные выражения (при одинаковых степенях ε) нулю, приходят к системе обыкновенных дифференциальных уравнений для функций $w_n(t)$.

Полученное решение будет общим, если в разложение (1) войдут произвольные функции, причем число этих функций равно порядку рассматриваемого уравнения.

2⁰. Общая схема. Тест Фукса – Ковалевской – Пенлеве. Решение уравнения в частных производных ищут в окрестности сингулярного многообразия $\varepsilon(x,t)=0$ в виде обобщенного разложения симметричного по независимым переменным:

$$w(x,t) = \frac{1}{\varepsilon^\alpha} \sum_{n=0}^{\infty} w_n(x,t) \varepsilon^n, \quad \varepsilon = \varepsilon(x,t). \quad (2)$$

где $\varepsilon, \varepsilon_x \neq 0$. Здесь и далее нижние индексы x и t обозначают соответствующие частные производные.

Разложение (1) является частным случаем разложения (2), когда уравнение сингулярного многообразия разрешено относительно переменной x .

Требование отсутствия подвижных критических точек подразумевает, что α – положительное целое число. Решение будет общим, если степень функционального произвола в коэффициентных функциях $w_n(x,t)$ и функции разложения $\varepsilon(x,t)$ будет совпадать с порядком уравнения (в полном соответствии с теоремой Коши – Ковалевской).

Подставляя выражение (2) в уравнение и выделяя (а затем приравнявая нулю) члены при одинаковых степенях ε , получим рекуррентные соотношения для коэффициентов разложения

$$P_N(n)w_n = f_n(w_0, w_1, \dots, w_{n-1}, \varepsilon_t, \varepsilon_x, \dots).$$

Здесь $P_N(n)$ – полиномы степени N с целочисленным аргументом n вида

$$P_N(n) = (n+1)(n-j_1)(n-j_2)\dots(n-j_{N-1}),$$

где N – порядок рассматриваемого уравнения.

Если корни полинома $j_1, j_2, \dots, j_{N-1}$, именуемые резонансами, оказываются целыми неотрицательными числами, и выполнены условия совместности

$$f_{n=j_k} = 0 \quad (k=1, 2, \dots, N-1),$$

то говорят о выполнении теста Фукса – Ковалевской – Пенлеве для рассматриваемого уравнения. Уравнения, обладающие указанным свойством, часто относят к классу интегрируемых (что подтверждается приводимостью таких уравнений к линейным уравнениям во многих известных случаях).

Для первоначальной проверки выполнения теста Фукса – Ковалевской – Пенлеве для конкретного уравнения удобно пользоваться упрощенной схемой, основанной на разложении (1). Важные технические упрощения по сравнению с разложением (2) обусловлены выполнением равенств $(w_n)_x = 0$, $\varepsilon_x = 1$.

Разложение общего вида (2), подразумевающее более громоздкие, но вместе с этим более информативные выкладки, полезно использовать на втором этапе исследования после установления свойства Фукса – Ковалевской – Пенлеве. Это позволяет выяснить многие важные свойства уравнений и их решений и найти вид преобразования Беклунда, **линеаризующего** исходное уравнение.

Покажем, как применить тест Фукса – Ковалевской – Пенлеве для уравнения Бюргерса:

$$\frac{\partial w}{\partial t} + w \frac{\partial w}{\partial x} = \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}. \quad (3)$$

Для его анализа сначала будет использоваться простейшая, а затем общая схема применения теста Фукса – Ковалевской – Пенлеве, которые основаны на разложении (1) и (2).

Решение ищем в виде:

$$w(x,t) = \frac{1}{\varepsilon^\alpha} \sum_{n=0}^{\infty} w_n(t) \varepsilon^n, \quad \varepsilon = x - x_0(t).$$

Подставим в уравнение главный член разложения (1), что соответствует $n=0$.

$$\begin{aligned} w(x,t) &= \frac{1}{\varepsilon^\alpha} w_0(t) \Rightarrow w'_t = \frac{-\alpha \cdot \varepsilon'_t \cdot w_0}{\varepsilon^{\alpha+1}} + \frac{w'_0}{\varepsilon^\alpha} = \\ &= \frac{\alpha \cdot x'_0 \cdot w_0}{\varepsilon^{\alpha+1}} + \frac{w'_0}{\varepsilon^\alpha}. \\ w'_x &= \frac{-\alpha w_0 \varepsilon'_x}{\varepsilon^{\alpha+1}} = \frac{-\alpha w_0}{\varepsilon^{\alpha+1}}, \quad w''_{xx} = \frac{(-\alpha) \cdot (-\alpha+1) \cdot w_0}{\varepsilon^{\alpha+2}} = \\ &= \frac{\alpha(\alpha+1) \cdot w_0}{\varepsilon^{\alpha+2}}. \end{aligned}$$

После подстановки найденных производных в уравнение (3), получим:

$$\frac{w'_0}{(x-x_0)^\alpha} + \frac{\alpha w_0 x'_0}{(x-x_0)^{\alpha+1}} - \frac{\alpha w_0^2}{(x-x_0)^{2\alpha+1}} = \frac{\nu \alpha (\alpha+1) w_0}{(x-x_0)^{\alpha+2}},$$

где $x_0 = x_0(t)$, $w_0 = w_0(t)$, штрих обозначает производную по t . Из баланса ведущих сингулярных членов (соответствуют «отбрасыванию» слева двух первых слагаемых), находим

$$2\alpha + 1 = \alpha + 2, \alpha = 1, w_0 = -2\nu, (n=0).$$

Таким образом, решение (3) ищем в виде:

$$w(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} w_n(t) \varepsilon^{n-1},$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \sum_{n=0}^{\infty} (w'_n \varepsilon^{n-1} + w_n (n-1) \varepsilon^{n-2} (-x'_0))$$

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \sum_{n=0}^{\infty} w_n (n-1) \varepsilon^{n-2}, \quad \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = \sum_{n=0}^{\infty} w_n (n-1)(n-2) \varepsilon^{n-3}.$$

Подставим в (3):

$$\begin{aligned} & \sum_{n=0}^{\infty} (w'_n \varepsilon^{n-1} - (n-1) x'_0 \cdot w_n \cdot \varepsilon^{n-2}) + \\ & + \sum_{n=0}^{\infty} w_n \cdot \varepsilon^{n-1} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} (n-1) \cdot w_n \varepsilon^{n-2} - \\ & - \nu \sum_{n=0}^{\infty} (n-1)(n-2) \cdot w_n \cdot \varepsilon^{n-3} = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Применяя операцию умножения степенных рядов:

$$\sum_{n=0}^{\infty} a_n x^n \cdot \sum_{n=0}^{\infty} b_n x^n = \sum_{n=0}^{\infty} (a_0 b_0 + a_1 b_{n-1} + a_2 b_{n-2} + \dots + a_n b_0) x^n \quad (5)$$

В нашем случае $a_n = w_n$, $b_n = (n-1)w_n$.

$$\begin{aligned} & \sum_{n=0}^{\infty} w_n \cdot \varepsilon^{n-1} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} (n-1) \cdot w_n \varepsilon^{n-2} = \\ & = \sum_{n=0}^{\infty} [w_0(-w_0) + w_1(n-2)w_{n-1} + w_2(n-3)w_{n-2} + \\ & + w_3(n-4)w_{n-3} + \dots + w_n(-w_0)] \varepsilon^{n-3} = -w_0^2 \varepsilon^{-3} + \\ & + [w_0 \cdot 0 \cdot w_1 + w_1(-w_0)] \varepsilon^{-2} + [w_0 \cdot w_2 + \\ & + w_1 \cdot 0 \cdot w_1 + w_2(-w_0)] \varepsilon^{-1} + [w_0 \cdot 2w_3 + \\ & + w_1 \cdot w_2 + w_2 \cdot 0 \cdot w_1 + w_3(-w_0)] \varepsilon^0 + \\ & + [w_0 \cdot 3w_4 + w_1 \cdot 2w_3 + w_2 \cdot w_2 + w_3 \cdot 0 \cdot w_1 + \\ & + w_4(-w_0)] \varepsilon^1 + \\ & + [w_0 \cdot 4w_5 + w_1 \cdot 3w_4 + w_2 \cdot 2w_3 + w_3 \cdot w_2 + w_4 \cdot 0 \cdot w_1 + \\ & + w_5(-w_0)] \varepsilon^2 + \dots + = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & = \sum_{n=0}^{\infty} [w_0(n-1)w_n + w_1(n-2)w_{n-1} + w_2(n-3)w_{n-2} + \\ & + w_3(n-4)w_{n-3} + \dots + w_n(-w_0)] \varepsilon^{n-3} \end{aligned}$$

В последней сумме группируем первое и последнее слагаемое,

$$\begin{aligned} & \sum_{n=0}^{\infty} [w_0(n-1)w_n - w_0 w_n + w_1(n-2)w_{n-1} + \\ & + w_2(n-3)w_{n-2} + \dots + w_{n-2}w_2 + w_{n-1} \cdot 0 \cdot w_1] \varepsilon^{n-3} \end{aligned} \quad (6)$$

Подставляя (6) в (4), получим:

$$\begin{aligned} & \sum_{n=0}^{\infty} (w'_n \varepsilon^{n-1} - (n-1) x'_0 \cdot w_n \cdot \varepsilon^{n-2}) + \\ & + \sum_{n=0}^{\infty} [w_0(n-1)w_n - w_0 w_n + w_1(n-2)w_{n-1} + \\ & + w_2(n-3)w_{n-2} + \dots + w_{n-2}w_2 + w_{n-1} \cdot 0 \cdot w_1] \varepsilon^{n-3} - \\ & - \nu \sum_{n=0}^{\infty} (n-1)(n-2) \cdot w_n \cdot \varepsilon^{n-3} = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

Вторую и третью сумму в (7) объединим под общий знак суммы, получим:

$$\begin{aligned} & \sum_{n=0}^{\infty} (w'_n \varepsilon^{n-1} - (n-1) x'_0 \cdot w_n \cdot \varepsilon^{n-2}) + \\ & + \sum_{n=0}^{\infty} [-(n+1)(n-2) \nu w_n + (n-2) w_1 w_{n-1} + \\ & + (n-3) w_2 w_{n-2} + \dots + w_{n-2} w_2 + w_{n-1} \cdot 0 \cdot w_1] \varepsilon^{n-3} = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

Обозначим через

$$\begin{aligned} E_n(t) &= -(n+1)(n-2) \nu w_n + (n-2) w_1 w_{n-1} + \\ & + (n-3) w_2 w_{n-2} + \dots + w_{n-2} w_2 + w_{n-1} \cdot 0 \cdot w_1 + \dots \end{aligned} \quad (9)$$

Последнее троеточие в (9) означает, что не учтены слагаемые в первой сумме формулы (8).

Таким образом, уравнение Бюргерса после подстановки разложения (1) и выделения членов при одинаковых степенях $\varepsilon = x - x_0(t)$ принимает вид

$$w_t + w w_x - \nu w_{xx} = \sum_{n=0}^{\infty} E_n(t) \varepsilon^{n-3} = 0,$$

$$\text{где } E_n(t) = -(n+1)(n-2) \nu w_n + \dots$$

Видно, что имеется один резонанс $n=2$, для которого удовлетворяется соотношение совместности (обращается в нуль сумма членов с низшими коэффициентами в рекуррентном соотношении), и функция $w_2(t)$ остается произвольной. Это ясно из вида младших рекуррентных соотношений (соотношение при $n=2$ является следствием предыдущих и не содержит w_2).

Для того, чтобы было более понятно, запишем систему обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$n=0 \Rightarrow \varepsilon^{-3} : -w_0^2 - 2\nu w_0 = 0$$

$$\begin{aligned} n=1 \Rightarrow \varepsilon^{-2} : x'_0 w_0 + w_0 \cdot 0 \cdot w_1 - w_1 w_0 - \nu \cdot 0 \cdot (-1) \cdot w_1 = \\ = x'_0 w_0 - w_1 w_0 = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n=2 \Rightarrow \varepsilon^{-1} : w'_0 + w_0 \cdot 1 \cdot w_2 + w_1 \cdot 0 \cdot w_1 + w_2 \cdot (-1) \cdot w_0 - \\ - \nu \cdot 1 \cdot 0 \cdot w_2 = w'_0 = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n=3 \Rightarrow \varepsilon^0 : w'_1 - x'_0 w_2 + w_0 \cdot 2 \cdot w_3 + w_1 \cdot 1 \cdot w_2 + \\ + w_2 \cdot 0 \cdot w_1 + w_3 \cdot (-1) \cdot w_0 - \nu \cdot 2 \cdot 1 \cdot w_3 = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n=4 \Rightarrow \varepsilon^1 : w'_2 - 2x'_0 w_3 + w_0 \cdot 3 \cdot w_4 + w_1 \cdot 2 \cdot w_3 + \\ + w_2 \cdot 1 \cdot w_2 + w_3 \cdot 0 \cdot w_1 + w_4 \cdot (-1) \cdot w_0 - \nu \cdot 3 \cdot 2 \cdot w_4 = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n=5 \Rightarrow \varepsilon^2 : w'_3 - 3x'_0 w_4 + w_0 \cdot 4 \cdot w_5 + w_1 \cdot 3 \cdot w_4 + \\ + w_2 \cdot 2 \cdot w_3 + w_3 \cdot 1 \cdot w_2 + w_4 \cdot 0 \cdot w_1 + \\ + w_5 \cdot (-1) \cdot w_0 - \nu \cdot 4 \cdot 3 \cdot w_5 = 0. \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} -E_0/w_0 &= w_0 + 2\nu = 0 & (n=0) \\ -E_1/w_0 &= w_1 + \varepsilon_t = 0 & (n=1) \\ E_2 &= (w_0)_t = 0 & (n=2) \end{aligned}$$

Таким образом, уравнение Бюргерса удовлетворяет тесту Фукса – Ковалевской – Пенлеве, а его решение имеет требуемый произвол в две функции. Собирая члены, решение можно записать в виде

$$w(x, t) = -\frac{2\nu}{x - x_0(t)} + x'_0(t) + w_2(t)[x - x_0(t)]^1 + \dots, \quad (10)$$

где $x_0(t)$, $w_2(t)$ – произвольные функции.

Определение. Преобразование, задающее соотношением:

$$\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{1}{2}uw = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{1}{2}\frac{\partial(uw)}{\partial x} = 0,$$

называется преобразованием Беклунда.

Определение. Преобразование, задающее соотношением: $w = \frac{2u}{u}$, называется

преобразованием Коула-Хопфа.

Для дальнейшего анализа уравнения Бюргерса используем разложение общего вида (2), где $w_n = w_n(x, t)$, $\varepsilon = \varepsilon(x, t)$.

Решение ищем в виде:

$$w(x, t) = \frac{1}{\varepsilon^\alpha} \sum_{n=0}^{\infty} w_n(x, t) \varepsilon^n, \quad \varepsilon = \varepsilon(x, t).$$

Подставим в уравнение главный член разложения (2), что соответствует $n=0$

$$w(x, t) = \frac{1}{\varepsilon^\alpha} w_0(x, t) \Rightarrow w'_t = \frac{-\alpha}{\varepsilon^{\alpha+1}} \varepsilon'_t w_0 + \frac{1}{\varepsilon^\alpha} w'_{0t}$$

$$w'_x = \frac{-\alpha}{\varepsilon^{\alpha+1}} \varepsilon'_x w_0 + \frac{1}{\varepsilon^\alpha} w'_{0x},$$

$$\begin{aligned} w''_{xx} &= \frac{\alpha(\alpha+1)}{\varepsilon^{\alpha+2}} \varepsilon'^2_x \cdot w_0 - \frac{\alpha}{\varepsilon^{\alpha+1}} [\varepsilon''_{xx} w_0 + \varepsilon'_x w'_{0x}] - \\ &- \frac{\alpha}{\varepsilon^{\alpha+1}} \varepsilon'_x w'_{0x} + \frac{1}{\varepsilon^\alpha} w''_{0xx} \end{aligned}$$

После подстановки найденных производных в уравнение (3), получим:

$$\begin{aligned} \frac{-\alpha}{\varepsilon^{\alpha+1}} \varepsilon'_t w_0 + \frac{1}{\varepsilon^\alpha} w'_{0t} + \frac{1}{\varepsilon^\alpha} w_0 \left[\frac{-\alpha}{\varepsilon^{\alpha+1}} \varepsilon'_x w_0 + \frac{1}{\varepsilon^\alpha} w'_{0x} \right] = \\ = \nu \left[\frac{\alpha(\alpha+1)}{\varepsilon^{\alpha+2}} \varepsilon'^2_x \cdot w_0 - \frac{\alpha}{\varepsilon^{\alpha+1}} [\varepsilon''_{xx} w_0 + \varepsilon'_x w'_{0x}] - \right. \\ \left. - \frac{\alpha}{\varepsilon^{\alpha+1}} \varepsilon'_x w'_{0x} + \frac{1}{\varepsilon^\alpha} w''_{0xx} \right] \end{aligned}$$

Из баланса ведущих сингулярных членов, надо оставить третье слагаемое в левой части и первое слагаемое в правой части, получим:

$$\frac{-\alpha}{\varepsilon^{\alpha+1}} \varepsilon'_x w_0^2 = \nu \frac{\alpha(\alpha+1)}{\varepsilon^{\alpha+2}} \varepsilon'^2_x \cdot w_0,$$

$$2\alpha + 1 = \alpha + 2 \Rightarrow \alpha = 1 \Rightarrow -w'_0 \varepsilon'_x = 2\nu \varepsilon'^2_x w_0 \Rightarrow$$

$$w_0 = -2\nu \varepsilon'_x, \quad (n=0).$$

Таким образом, решение (3) ищем в виде:

$$w(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} w_n(x, t) \varepsilon(x, t)^{n-1},$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \sum_{n=0}^{\infty} (w'_{nt} \varepsilon^{n-1} + w_n(n-1) \varepsilon^{n-2} \varepsilon'_t),$$

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \sum_{n=0}^{\infty} (w'_{nx} \varepsilon^{n-1} + w_n(n-1) \varepsilon^{n-2} \varepsilon'_x),$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} &= \sum_{n=0}^{\infty} (w''_{nxx} \varepsilon^{n-1} + w'_{nxx}(n-1) \varepsilon^{n-2} \varepsilon'_x + \\ &+ (n-1)w'_{nx} \varepsilon^{n-2} \varepsilon'_x + (n-1)w_n[(n-2) \varepsilon^{n-3} \varepsilon'^2_x + \varepsilon^{n-2} \varepsilon''_{xx}]) \end{aligned}$$

Подставим в (3):

$$\begin{aligned} &\sum_{n=0}^{\infty} (w'_{nt} \varepsilon^{n-1} + w_n(n-1) \varepsilon^{n-2} \varepsilon'_t) + \\ &+ \sum_{n=0}^{\infty} w_n \varepsilon^{n-1} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} (w'_{nx} \varepsilon^{n-1} + w_n(n-1) \varepsilon^{n-2} \varepsilon'_x) = \\ &= \nu \sum_{n=0}^{\infty} (w''_{nxx} \varepsilon^{n-1} + w'_{nxx}(n-1) \varepsilon^{n-2} \varepsilon'_x + (n-1)w'_{nx} \varepsilon^{n-2} \varepsilon'_x + \\ &+ (n-1)w_n[(n-2) \varepsilon^{n-3} \varepsilon'^2_x + \varepsilon^{n-2} \varepsilon''_{xx}]) \end{aligned}$$

Для удобства, воспользуемся свойством аддитивности суммы, получим:

$$\begin{aligned} &\sum_{n=0}^{\infty} w'_{nt} \varepsilon^{n-1} + \sum_{n=0}^{\infty} (n-1)w_n \varepsilon'_t \varepsilon^{n-2} + \\ &+ \sum_{n=0}^{\infty} w_n \varepsilon^{n-1} \cdot \left(\sum_{n=0}^{\infty} w'_{nx} \varepsilon^{n-1} + \sum_{n=0}^{\infty} (n-1)w_n \varepsilon'_x \varepsilon^{n-2} \right) = \\ &= \nu \sum_{n=0}^{\infty} w''_{nxx} \varepsilon^{n-1} + \nu \sum_{n=0}^{\infty} (n-1)w'_{nx} \varepsilon'_x \varepsilon^{n-2} + \\ &+ \nu \sum_{n=0}^{\infty} (n-1)w'_{nx} \varepsilon'_x \varepsilon^{n-2} + \\ &+ \nu \sum_{n=0}^{\infty} (n-1)(n-2)w_n \varepsilon'^2_x \varepsilon^{n-3} + \nu \sum_{n=0}^{\infty} (n-1)w_n \varepsilon''_{xx} \varepsilon^{n-2}. \quad (11) \end{aligned}$$

Применяя операцию умножения и свойство дистрибутивности степенных рядов третье слагаемое в левой части уравнения (11) запишется:

$$\begin{aligned} &\sum_{n=0}^{\infty} w_n \varepsilon^{n-1} \cdot \left(\sum_{n=0}^{\infty} w'_{nx} \varepsilon^{n-1} + \sum_{n=0}^{\infty} (n-1)w_n \varepsilon'_x \varepsilon^{n-2} \right) = \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} w_n \varepsilon^{n-1} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} w'_{nx} \varepsilon^{n-1} + \sum_{n=0}^{\infty} w_n \varepsilon^{n-1} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} (n-1)w_n \varepsilon'_x \varepsilon^{n-2} = \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} (w_0 w'_{0x} + w_1 w'_{(n-1)x} + w_2 w'_{(n-2)x} + \dots + w_n w'_{0x}) \varepsilon^{n-2} + \\ &+ \varepsilon'_x \sum_{n=0}^{\infty} [w_0(-w_0) + w_1(n-2)w_{n-1} + w_2(n-3)w_{n-2} + \dots] \varepsilon^{n-3} + \\ &+ w_3(n-4)w_{n-3} + \dots + w_n(-w_0)] \varepsilon^{n-3} \end{aligned} \quad (12)$$

или в развернутом виде:

$$\begin{aligned} &\sum_{n=0}^{\infty} w_n \varepsilon^{n-1} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} w'_{nx} \varepsilon^{n-1} = w_0 w'_{0x} \varepsilon^{-2} + (w_0 w'_{1x} + w_1 w'_{0x}) \varepsilon^{-1} + \\ &+ (w_0 w'_{2x} + w_1 w'_{1x} + w_2 w'_{0x}) \varepsilon^0 + (w_0 w'_{3x} + w_1 w'_{2x} + w_2 w'_{1x} + \\ &+ w_3 w'_{0x}) \varepsilon + \dots \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{n=0}^{\infty} w_n \cdot \varepsilon^{n-1} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} (n-1) \cdot w_n \varepsilon'_x \varepsilon^{n-2} = \varepsilon'_x (-w_0^2 \varepsilon^{-3} + \\
& + [w_0 \cdot 0 \cdot w_1 + w_1 (-w_0)] \varepsilon^{-2} + [w_0 \cdot w_2 + \\
& + w_1 \cdot 0 \cdot w_1 + w_2 \cdot (-w_0)] \varepsilon^{-1} + \\
& + [w_0 \cdot 2w_3 + w_1 \cdot w_2 + w_2 \cdot 0 \cdot w_1 + w_3 (-w_0)] \varepsilon^0 + \\
& + [w_0 \cdot 3w_4 + w_1 \cdot 2w_3 + w_2 \cdot w_2 + w_3 \cdot 0 \cdot w_1 + w_4 (-w_0)] \varepsilon^1 + \\
& + [w_0 \cdot 4w_5 + w_1 \cdot 3w_4 + w_2 \cdot 2w_3 + w_3 \cdot w_2 + w_4 \cdot 0 \cdot w_1 + \\
& + w_5 (-w_0)] \varepsilon^2 + \dots) \quad (14)
\end{aligned}$$

Собирая и приравнявая к нулю коэффициенты при одинаковых степенях ε , получим:

$$n=0 \Rightarrow \varepsilon^{-3} : -w_0^2 \varepsilon'_x - 2w_0 \varepsilon'_x = 0 \Rightarrow w_0 = -2v \varepsilon'_x$$

$$n=1 \Rightarrow \varepsilon^{-2} : -w_0 \varepsilon'_t + w_0 w'_{0x} - w_0 w_1 \varepsilon'_x + 2w_0 \varepsilon'_x = 0$$

$$n=2 \Rightarrow \varepsilon^{-1} : w'_{0t} + w_0 w'_{1x} + w_1 w'_{0x} + w_0 w_2 + w_1 0 w_1 + w_2 (-w_0) - w_0 w'_{0xx} = 0 \Rightarrow (w_1 \varepsilon'_x - v \varepsilon''_{xx} + \varepsilon'_t)_x = 0$$

$$n=3 \Rightarrow \varepsilon^0 : w'_{1t} + w_2 \varepsilon'_t + w_0 w'_{2x} + w_1 w'_{1x} + w_2 w'_{0x} + \varepsilon'_x (w_0 2w_3 + w_1 w_2 + w_2 0 w_1 + w_3 (-w_0) -$$

$$-w_0 w'_{1xx} - w_1 w'_{2x} \varepsilon'_x - w_2 w'_{1x} \varepsilon'_x - 2w_3 \varepsilon'^2_x - w_2 \varepsilon''_{xx} = 0 \Rightarrow$$

$$w'_{1t} - w_0 w'_{1xx} + w_1 w'_{1x} + (w_0 w_2)_x + (\varepsilon'_t - v \varepsilon''_{xx}) w_2 - 2v \varepsilon'_x w'_{2x} + \varepsilon'_x (w_1 w_2 + w_0 w_3) - 2v \varepsilon'^2_x w_3 = 0$$

Таким образом, получена следующая система обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$w_0 = -2v \varepsilon'_x \quad (n=0)$$

$$w_1 \varepsilon'_x - v \varepsilon''_{xx} + \varepsilon'_t = 0 \quad (n=1)$$

$$(w_1 \varepsilon'_x - v \varepsilon''_{xx} + \varepsilon'_t)_x = 0 \quad (n=2)$$

$$w'_{1t} - w_0 w'_{1xx} + w_1 w'_{1x} + (w_0 w_2)_x + (\varepsilon'_t - v \varepsilon''_{xx}) w_2 - 2v \varepsilon'_x w'_{2x} + \varepsilon'_x (w_1 w_2 + w_0 w_3) - 2v \varepsilon'^2_x w_3 = 0 \quad (n=3) \quad (15)$$

Полагая в этих формулах $w_2 = w_3 = 0$, получим согласованный обрыв разложения (2) с нулевыми высшими коэффициентами ($w_k = 0$ при $k \geq 2$). Оставшиеся равенства позволяют представить решение в виде

$$w = w_0 / \varepsilon + w_1, \quad w_0 = -2v \varepsilon'_x, \\ \varepsilon'_t + w_1 \varepsilon'_x = v \varepsilon''_{xx}, \quad (w_1)_t + w_1 (w_1)_x = v (w_1)_{xx}.$$

Эти соотношения представляют собой преобразование Беклунда и позволяют строить по одним решениям уравнения Бюргерса $w_1 = w_1(x, t)$ другие решения $w = w(x, t)$. Если выбрать за исходное решение $w_1 = 0$, то получим известное преобразование Коула – Хопфа $w = -2v \varepsilon'_x / \varepsilon$ сводящее решение нелинейного уравнения Бюргерса к решению линейного уравнения теплопроводности $\varepsilon_t = v \varepsilon_{xx}$.

Рассмотрим модельную систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = T \frac{\partial}{\partial x} \left[u \frac{\partial u}{\partial x} \right] \\ \frac{\partial v}{\partial t} = T \frac{\partial}{\partial x} \left[v \frac{\partial u}{\partial x} \right] \\ \frac{\partial w}{\partial t} = T \frac{\partial}{\partial x} \left[w \frac{\partial u}{\partial x} \right] \\ \frac{\partial T}{\partial t} = -u \frac{\partial T}{\partial x} \end{cases}, \quad (16)$$

которая описывает процесс нагнетания воздуха в угольный пласт. При предположениях сделанных в [1] надо решать первое уравнение системы (16).

$$\frac{\partial u}{\partial t} = T_0 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + u \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] \quad \text{или} \quad \frac{\partial u}{\partial t} = T_0 \frac{\partial}{\partial x} \left[u \frac{\partial u}{\partial x} \right] \quad (17)$$

Подставим в (17) главный член разложения (1), получим

$$\begin{aligned}
u(x, t) &= \frac{1}{\varepsilon^\alpha} u_0(t) \Rightarrow u'_t = \frac{-\alpha \cdot \varepsilon'_t \cdot u_0}{\varepsilon^{\alpha+1}} + \frac{u'_0}{\varepsilon^\alpha} = \\
&= \frac{\alpha \cdot x'_0 \cdot u_0}{\varepsilon^{\alpha+1}} + \frac{u'_0}{\varepsilon^\alpha} \\
u'_x &= \frac{-\alpha u_0 \varepsilon'_x}{\varepsilon^{\alpha+1}} = \frac{-\alpha u_0}{\varepsilon^{\alpha+1}}, \quad u''_{xx} = \frac{(-\alpha) \cdot (-\alpha+1) \cdot u_0}{\varepsilon^{\alpha+2}} = \\
&= \frac{\alpha(\alpha+1) \cdot u_0}{\varepsilon^{\alpha+2}}
\end{aligned}$$

После подстановки найденных производных в уравнение (17), получим:

$$\frac{\alpha x'_0 u_0}{(x-x_0)^{\alpha+1}} + \frac{u'_0}{(x-x_0)^\alpha} = T_0 \left[\frac{\alpha^2 u_0^2}{(x-x_0)^{2\alpha+2}} + \frac{\alpha(\alpha+1) u_0^2}{(x-x_0)^{2\alpha+2}} \right],$$

где $x_0 = x_0(t)$, $u_0 = u_0(t)$, штрих обозначает производную по t . Из баланса старших сингулярных членов (учитывается правая часть), следует

$$\alpha = 0, \quad u(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} u_n(t) \varepsilon^n, \quad \varepsilon = x - x_0(t)$$

Вычисляем производные и подставляем в (17).

$$\begin{aligned}
\frac{\partial u}{\partial x} &= \sum_{n=0}^{\infty} n u_n \varepsilon^{n-1} \varepsilon'_x \\
\frac{\partial u}{\partial t} &= \sum_{n=0}^{\infty} (u'_n \varepsilon^n + u_n \cdot n \cdot \varepsilon^{n-1} \varepsilon'_t) \\
\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} &= \sum_{n=0}^{\infty} n(n-1) u_n \varepsilon^{n-2} \varepsilon'^2_x
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sum_{n=0}^{\infty} (u'_n \varepsilon^n + u_n \cdot n \cdot \varepsilon^{n-1} \varepsilon'_t) &= T_0 \left[\left(\sum_{n=0}^{\infty} n u_n \varepsilon^{n-1} \right)^2 + \right. \\
&+ \left. \sum_{n=0}^{\infty} u_n \varepsilon^n \cdot \sum_{n=0}^{\infty} n(n-1) u_n \varepsilon^{n-2} \right] \quad (18)
\end{aligned}$$

Применяем операцию возведения степенного ряда в квадрат:

$$\left(\sum_{n=0}^{\infty} a_n x^n \right)^2 = \sum_{n=0}^{\infty} (a_0 a_n + a_1 a_{n-1} + \dots + a_n a_0) x^n \quad (19)$$

В нашем случае $a_n = n u_n$.

$$(\sum_{n=0}^{\infty} n u_n \varepsilon^{n-1})^2 = \sum_{n=0}^{\infty} (0 \cdot w_0 \cdot n \cdot u_n + 1 \cdot w_1 \cdot (n-1) \cdot u_{n-1} + 2 \cdot w_2 \cdot (n-2) \cdot u_{n-2} + \dots + (n-1) \cdot u_{n-1} \cdot 1 \cdot u_1 + n \cdot u_n \cdot 0 \cdot w_0) \varepsilon^{n-1},$$

или в удобной форме:

$$n=0 \Rightarrow \varepsilon^{-1} : 0$$

$$n=1 \Rightarrow \varepsilon^0 : 1 \cdot u_1 \cdot 1 \cdot u_1 = u_1^2$$

$$n=2 \Rightarrow \varepsilon^1 : 1 \cdot u_1 \cdot 2 \cdot u_2 + 2 \cdot u_2 \cdot 1 \cdot u_1 = 4u_1 u_2$$

$$n=3 \Rightarrow \varepsilon^2 : 1 \cdot u_1 \cdot 3 \cdot u_3 + 2 \cdot u_2 \cdot 2 \cdot u_2 + 3 \cdot u_3 \cdot 1 \cdot u_1 = 6u_1 u_3 + 4u_2^2$$

$$n=4 \Rightarrow \varepsilon^3 : 1 \cdot u_1 \cdot 4 \cdot u_4 + 2 \cdot u_2 \cdot 3 \cdot u_3 + 3 \cdot u_3 \cdot 2 \cdot u_2 + 4 \cdot u_4 \cdot 1 \cdot u_1 = 8u_1 u_4 + 12u_2 u_3$$

$$n=5 \Rightarrow \varepsilon^4 : 1 \cdot u_1 \cdot 5 \cdot u_5 + 2 \cdot u_2 \cdot 4 \cdot u_4 + 3 \cdot u_3 \cdot 3 \cdot u_3 + 4 \cdot u_4 \cdot 2 \cdot u_2 + 5u_5 \cdot 1 \cdot u_1 = 10u_1 u_5 + 16u_2 u_4 + 9u_3^2$$

$$n=k \Rightarrow \varepsilon^{k-1} : 1 \cdot u_1 \cdot k \cdot u_k + 2 \cdot u_2 \cdot (k-1) \cdot u_{k-1} + 3 \cdot u_3 \cdot (k-2) \cdot u_{k-2} + \dots + (k-1) \cdot u_{k-1} \cdot 2 \cdot u_2 + k \cdot u_k \cdot 1 \cdot u_1$$

Применяем операцию умножения степенных рядов в форме (5):

$$\sum_{n=0}^{\infty} u_n \varepsilon^n \cdot \sum_{n=0}^{\infty} n(n-1) u_n \varepsilon^{n-2} = \sum_{n=0}^{\infty} [(n+1)(n+2) u_0 u_{n+2} + n(n+1) u_1 u_{n+1} + (n-1) n u_2 u_n + (n-2)(n-1) u_3 u_{n-1} + \dots + (n-k)(n-(k-1)) u_{k+1} u_{n-(k-1)} + \dots + 1 \cdot 2 u_n u_2] \varepsilon^n$$

$$\varepsilon^0 : 1 \cdot 2 \cdot u_0 \cdot u_2, \quad \varepsilon^1 : 2 \cdot 3 \cdot u_0 \cdot u_3 + 1 \cdot 2 \cdot u_1 \cdot u_2,$$

$$\varepsilon^2 : 3 \cdot 4 \cdot u_0 \cdot u_4 + 2 \cdot 3 \cdot u_1 \cdot u_3 + 1 \cdot 2 \cdot u_2^2,$$

$$\varepsilon^3 : 4 \cdot 5 \cdot u_0 \cdot u_5 + 3 \cdot 4 \cdot u_1 \cdot u_4 + 2 \cdot 3 \cdot u_2 \cdot u_3 + 1 \cdot 2 \cdot u_3 \cdot u_2,$$

$$\varepsilon^4 : 5 \cdot 6 \cdot u_0 \cdot u_6 + 4 \cdot 5 \cdot u_1 \cdot u_5 + 3 \cdot 4 \cdot u_2 \cdot u_4 + 2 \cdot 3 \cdot u_3^2 + 1 \cdot 2 \cdot u_4 \cdot u_2,$$

$$\varepsilon^5 : 6 \cdot 7 \cdot u_0 \cdot u_7 + 5 \cdot 6 \cdot u_1 \cdot u_6 + 4 \cdot 5 \cdot u_2 \cdot u_5 + 3 \cdot 4 \cdot u_3 \cdot u_4 + 2 \cdot 3 \cdot u_4 \cdot u_3 + 1 \cdot 2 \cdot u_5 \cdot u_2,$$

Приравнявая коэффициенты при одинаковых степенях ε в (18) получим:

$$\varepsilon^0 : u'_0 + u_1 \varepsilon'_t = T_0(u_1^2 + 2u_0 u_2),$$

$$\varepsilon^1 : u'_1 + 2u_2 \varepsilon'_t = T_0(6u_1 u_2 + 6u_0 u_3),$$

$$\varepsilon^2 : u'_2 + 3u_3 \varepsilon'_t = T_0(12u_1 u_3 + 12u_0 u_4 + 6u_2^2), \quad (20)$$

$$\varepsilon^3 : u'_3 + 4u_4 \varepsilon'_t = T_0(20u_1 u_4 + 12u_2 u_3 + 20u_0 u_5),$$

$$\varepsilon^4 : u'_4 + 5u_5 \varepsilon'_t = T_0(30u_1 u_5 + 30u_2 u_4 + 15u_3^2 + 30u_0 u_6).$$

Если выполнить согласованный обрыв $u_k=0$, при $k \geq 3$, тогда:

1⁰. Если положить $\varepsilon'_t = 0$, то получим решение:

$$u = \frac{-3T_0}{2t} + \frac{C}{\sqrt[3]{t}} + \frac{(x+C)}{t} - \frac{1}{6T_0 t} (x+C)^2$$

Это решение было получено в [1] (метод №3).

2⁰. Если $u_1=0$, то решение:

$$u = \frac{1}{\sqrt[3]{t}} - \frac{1}{6T_0 t} (x+C)^2$$

3⁰. Если $u_0=0$, то решение:

$$u = \frac{1}{\sqrt[3]{t^2}} (x + 3T_0 \sqrt[3]{t}) - \frac{1}{6T_0 t} (x + 3T_0 \sqrt[3]{t})^2$$

Для дальнейшего анализа уравнения (17) используем разложение общего вида (2).

Из баланса ведущих членов, как и в предыдущем случае следует, что $\alpha=0$. Поэтому решение ищем в виде степенного ряда общего вида:

$$u(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} u_n(x, t) \varepsilon^n, \quad \varepsilon = \varepsilon(x, t). \quad (21)$$

Ввиду того, что аналитические трудности нарастают при взятии большого количества слагаемых в (20), выполняем согласованный обрыв при $k \geq 2$.

$$u = u_0 + u_1 \varepsilon \quad (22)$$

$$u'_t = u'_{0t} + u'_{1t} \varepsilon + u_1 \varepsilon'_t, \quad u'_x = u'_{0x} + u'_{1x} \varepsilon + u_1 \varepsilon'_x,$$

$$u''_{xx} = u''_{0xx} + u''_{1xx} \varepsilon + u'_{1x} \varepsilon'_x + u'_{1x} \varepsilon'_x + u_1 \varepsilon''_{xx} = u''_{0xx} + u''_{1xx} \varepsilon + 2u'_{1x} \varepsilon'_x + u_1 \varepsilon''_{xx}$$

Подставляем производные в (17):

$$u'_{0t} + u'_{1t} \varepsilon + u_1 \varepsilon'_t = T_0[(u'_{0x} + u'_{1x} \varepsilon + u_1 \varepsilon'_x)^2 +$$

$$+ (u_0 + u_1 \varepsilon)(u''_{0xx} + u''_{1xx} \varepsilon + 2u'_{1x} \varepsilon'_x + u_1 \varepsilon''_{xx})]$$

$$u'_{0t} + u'_{1t} \varepsilon + u_1 \varepsilon'_t = T_0[(u'^2_{0x} + u'^2_{1x} \varepsilon^2 + u_1^2 \varepsilon'^2_x + 2u'_{0x} u'_{1x} \varepsilon +$$

$$+ 2u'_{0x} u_1 \varepsilon'_x + 2u'_{1x} u_1 \varepsilon'_x \varepsilon + u_0 u''_{0xx} + u_0 u''_{1xx} \varepsilon + 2u_0 u'_{1x} \varepsilon'_x +$$

$$+ u_0 u_1 \varepsilon''_{xx} + u_1 u''_{0xx} \varepsilon + u_1 u''_{1xx} \varepsilon^2 + 2u_1 u'_{1x} \varepsilon'_x \varepsilon + u_1^2 \varepsilon''_{xx} \varepsilon]$$

Собираем члены при одинаковых степенях ε в последнем равенстве, получим:

$$\varepsilon^0 : u'_{0t} + u_1 \varepsilon'_t = T_0[u'^2_{0x} + u_1^2 \varepsilon'^2_x + 2u'_{0x} u_1 \varepsilon'_x + u_0 u''_{0xx} +$$

$$2u_0 u'_{1x} \varepsilon'_x + u_0 u_1 \varepsilon''_{xx}]$$

$$\varepsilon^1 : u'_{1t} = T_0[2u'_{0x} u'_{1x} + 4u'_{1x} u_1 \varepsilon'_x + u_0 u''_{1xx} + u_1 u''_{0xx} + u_1^2 \varepsilon''_{xx}]$$

$$\varepsilon^2 : 0 = T_0[u'^2_{1x} + u_1 u''_{1xx}]$$

Введем дополнительные условия:

$$u_0 = u_1 = \varphi(t) \quad (23)$$

Эти условия оправданы тем, что $u'_{0x} = u'_{1x} = 0$ и последняя система уравнений упрощается.

$$\begin{cases} \varphi' + \varphi \varepsilon'_t = T_0[\varphi'^2 \varepsilon'^2_x + \varphi^2 \varepsilon''_{xx}] \\ \varphi' = T_0 \varphi^2 \varepsilon''_{xx} \end{cases} \quad (24)$$

Из второго уравнения системы (24):

$$\varepsilon''_{xx} = \frac{\varphi'}{T_0 \varphi^2} \Rightarrow \varepsilon'_x = \frac{\varphi'}{T_0 \varphi^2} x, \quad \varepsilon = \frac{\varphi'}{2T_0 \varphi^2} x^2$$

$$\varphi' + \varphi \varepsilon'_t = T_0[\varphi'^2 \varepsilon'^2_x + \varphi^2 \frac{\varphi'}{T_0 \varphi^2}] \Rightarrow \varphi \varepsilon'_t = T_0 \varphi^2 \varepsilon'^2_x$$

$$\Rightarrow \varepsilon'_t = T_0 \varphi \varepsilon'^2_x.$$

$$\frac{x^2}{2T_0} (\frac{\varphi'}{\varphi^2})' = T_0 \varphi \varepsilon'^2_x \Rightarrow \frac{x^2}{2T_0} (\frac{\varphi'' \varphi^2 - 2\varphi \varphi'^2}{\varphi^4}) = T_0 \varphi \varepsilon'^2_x$$

$$\frac{x^2}{2T_0} (\frac{\varphi'' \varphi^2 - 2\varphi \varphi'^2}{\varphi^4}) = T_0 \varphi \frac{\varphi'^2 x^2}{T_0^2 \varphi^4} \Rightarrow \varphi'' \varphi^2 - 2\varphi \varphi'^2 =$$

$$= 2\varphi'^2 \varphi \Rightarrow \varphi'' \varphi - 4\varphi'^2 = 0.$$

Замена:

$$\varphi' = p(\varphi) \Rightarrow \varphi'' = p' \varphi' = p' p \Rightarrow p' p \varphi - 4p^2 = 0 \Rightarrow$$

$$\frac{dp}{d\varphi} \varphi = 4p \Rightarrow \int \frac{dp}{p} = 4 \int \frac{d\varphi}{\varphi} \Rightarrow \ln |p| = \ln |\varphi|^4 \Rightarrow$$

$$p = \varphi^4 \Rightarrow \varphi' = \varphi^4 \Rightarrow \int \frac{d\varphi}{\varphi^4} = \int dt \Rightarrow \varphi^{-3} = -3t \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \varphi^3 = -\frac{1}{3t} \Rightarrow \varphi = -\frac{1}{\sqrt[3]{3t}}$$

Подставляем в (22), получим решение:

$$u = -\frac{1}{\sqrt[3]{3t}} - \frac{1}{\sqrt[3]{3t}} \frac{x^2}{2T_0 \sqrt[3]{9t^2}} = -\frac{1}{\sqrt[3]{3t}} - \frac{x^2}{6T_0 t}$$

Это решение было получено в [1] (метод №4).

Заключение

При тестировании первого уравнения системы (16) методом Фукса - Ковалевской - Пенлеве, было установлено следующее:

Первое. Отсутствует особенность типа подвижного полюса, а присутствует алгебраическая точка ветвления. Поэтому решение искалось в виде степенного ряда общего вида.

Список использованной литературы

1. Добровольский Ю.Н. Поиск аналитического решения модельной задачи о напорной фильтрации газовой смеси в сплошной среде (на примере пневмообработки угольного пласта)// Наукові праці ДонНТУ. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». Вип. 1 (17). – Донецьк: ДонНТУ. – 2013. – С.85-93.
2. Добровольский Ю.Н. Расширение группы методов поиска аналитического решения модельной задачи о напорной фильтрации газовой смеси в сплошной среде (на примере пневмообработки угольного пласта)// Наукові

Второе. Поскольку с функциональной точки зрения все уравнения системы (16) имеют одинаковую природу, то этим свойством обладают и остальные уравнения системы.

Третье. При взятии достаточно большого числа слагаемых в разложении (1) или (2) трудности аналитического решения быстро нарастают, поэтому был выполнен согласованный обрыв членов ряда начиная с некоторого k. В противном случае, можно использовать систему символьных вычислений. Например, пакет Maple V или Maple VII.

Четвертое. Полезность полученных результатов заключается в том, что подбирая исходное решение таким образом, чтобы по ним можно было априори выйти на нужный исследователю результат.

Пятое. В следующей статье будет показано, как применить разложение (1), (2) к системе (16) или найти преобразование (если оно существует) линеаризующее данную систему.

праці ДонНТУ. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». Вип. 1 (19). – Донецьк: ДонНТУ. – 2014. – С.78-87.

3. Павлыш В.Н., Добровольский Ю.Н. Численное решение задачи о напорной фильтрации газовой смеси в сплошной среде (на примере пневмообработки угольного пласта)// Збірник науково-методичних робіт ДонНТУ, кафедра "Вища математика". Вип. 3. – Донецьк: ДонНТУ. – 2005. – С.170-177.
4. Камке Э. Справочник по дифференциальным уравнениям в частных производных. – М.: Наука, 1966. – 320 с.

Ю.М. ДОБРОВОЛЬСЬКИЙ

Донецький національний технічний університет

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕСТУ ФУКСА - КОВАЛЕВСЬКОЇ - ПЕНЛЕВЕ ДЛЯ РІШЕННЯ МОДЕЛЬНОЇ ЗАДАЧІ ПРО НАПІРНУ ФІЛЬТРАЦІЮ ГАЗОВОЇ СУМІШІ В СУЦІЛЬНОМУ СЕРЕДОВИЩІ (НА ПРИКЛАДІ ПНЕВМООБРОБКИ ВУГІЛЬНОГО ШАРУ).

Уперше запропонований тест Фукса - Ковалевської - Пенлеве для рішення модельної задачі про напірну фільтрацію газовой суміші в суцільному середовищі.

Ключові слова: рухливий полюс, алгебраїчна крапка розгалуження, логарифмічна крапка розгалуження, істотно особлива крапка, рівняння й трансценденти Пенлеве, сингулярне різноманіття, резонанс, рівняння Бюргерса, перетворення Беклунда, перетворення Коула-Хопфа.

YU.N. DOBROVOLSKY

Donetsk national technical university

APPLICATION OF TEST OF FUCHS - KOVALEVSKAYA - PAINLEVE FOR THE SOLUTION OF A MODEL TASK OF A PRESSURE FILTRATION OF GAS MIX IN THE SOLID ENVIRONMENT (ON THE EXAMPLE OF PNEUMOPROCESSING OF COAL STRATUM).

In this article test of Fuchs - Kovalevskaya - Painleve for the solution of a model task on a pressure filtration of gas mix in the solid environment is offered. Need of application of this test is explained by that is established by numerous researches that many known integrated nonlinear equations of mathematical physics possess property

Fuchs - Kovalevskaya – Painleve. Also new equations with such property were found. When checking more difficult equations and systems of the equations on Fuchs test - resonances with high numbers can appear Kovalevskaya – Painleve. Thus difficulties of the analytical solution quickly increase. However in a type of a high algorithmichnost the test allows successful use of methods of symbolical calculations. For example, by means of Maple V system it was succeeded to carry out full classification of integrated cases of the equations of small water with dissipation and dispersion of the lowest orders. The idea of a method consists in the following. By analogy to the ordinary differential equations of the solution of the equations to private derivatives it is possible to look for in the form of the decomposition containing feature like a mobile pole. The position of a pole is set by means of any function. Originally the solution is looked for in neighborhood of singular diversity $x-x_0(t)=0$ in the form of the expansion justified in article, where an index α – the integral positive number that provides polar nature of mobile feature of the solution. The $x_0(t)$ function is considered arbitrary. The received decision will be the general if this expansion includes arbitrary functions, and number of these functions equally to an order of the considered equation. Further the solution of a partial equation look for in neighborhood of singular diversity $\varepsilon(x, t)=0$ in the look set to article - the generalized expansion of the symmetric on independent variables. It is shown how test of Fuchs – Kovalevskaya – Painleve for the Burgers equation well works. It is set that there is one resonance of $n=2$ for which the compatibility ratio therefore its solution has a required arbitrariness in two functions is satisfied. When testing the first equation of the considered system by method of Fuchs - Kovalevskaya – Painleve, set the following:

The first. As both items of the right member of equation have square nonlinearity, there is no feature like a mobile pole, and there is an algebraic point of branching. Therefore the decision was looked for in the form of a power series of a general view. Some solution completely matching the solutions found in the author the early are thus received.

The second. As from the function point of sight all equations of system have the identical nature, this property the remaining equations of system possess also.

The third. When taking rather large number of items in one or other expansion, difficulty of the analytical solution quickly rise therefore the coordinated breakaway of members of a row since some k was executed. Otherwise, it is possible to use system of character computation, for example, Maple V or Maple VII packet.

The fourth. Usefulness of the received results is that selecting the initial solution thus, on them it is possible to quit a priori on the result necessary to the researcher.

The fifth. In the following article it will be shown how to apply the received expansions to this system or to find conversion (if it exists), linearizing this system.

*Статья поступила в редакцию 21.08.2015
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.Н. Павлышом*

УДК 004.691.54

Исследование влияния параметров модели оптимизации распределенной корпоративной информационной системы на критерий эффективности

С.Ю.Землянская

Донецкий национальный технический университет
zsaa@ya.ru

Землянская С.Ю. Исследование влияния параметров модели оптимизации распределенной корпоративной информационной системы на критерий эффективности. Предложен подход к оптимизации распределенных корпоративных информационных систем, заключающийся в совместном использовании объектной модели и аппарата генетических алгоритмов. Проведено исследование влияния параметров генетического алгоритма на точность вычисления критерия эффективности

Введение

Основная цель создания распределённых корпоративных информационных систем (РКИС) – обеспечение возможности оперативного принятия управляющих решений, на основании данных о состоянии дел в корпорации (с учётом текущей финансовой и производственной ситуации), доступа пользователей к необходимым данным и предоставление возможности быстрого и безопасного обмена данными в рамках некоторой корпоративной организации [1,2]. Таким образом, одно из главных требований к РКИС – обеспечение наиболее быстрой реакции на запрос пользователя [3]. Следовательно, критерий эффективности функционирования РКИС можно представить как время реакции системы на запросы пользователей [4].

Рассмотрим, как определяется время реакции системы. Запросы, как правило, формируются пользователями на рабочих станциях и затем передаются по каналам связи узлам обработки, которые могут включать сервер баз данных и сервер приложений для обработки сложных запросов, после чего ответ по каналам связи передаётся пользователю. Тогда время выполнения запроса пользователя $Tresp$ определяется следующим образом:

$$Tresp = Tt + Tp + Tw + \max_{i=1, Nsq} \{Tsq_i\} \quad (1)$$

где, Tt – время передачи запроса, Tr – время обработки запроса, Tw – время задержки при передаче и обработке запроса, Tsq_i – время выполнения i -го подзапроса, Nsq – количество подзапросов данного запроса.

При оценке производительности РКИС используем пороговый критерий Tr_L , который отражает наихудшее время реакции системы на

запрос пользователя и гарантирует всем пользователям некоторый удовлетворительный уровень реакции системы на их запросы:

$$Tr_L = \max_{i=1, Nq} \{Tresp_i\} \quad (2)$$

где $Tresp_i$ – время реакции системы на i -ый запрос пользователя, Nq – количество пользовательских запросов, выполненных в системе за время исследования.

Распределённая корпоративная информационная система включает в себя компоненты физической и логической архитектуры [5]. Физическую архитектуру составляют множество узлов, на которых размещаются серверы баз данных, серверы приложений и рабочие станции, подключенные к сетевым устройствам; узлы РКИС соединяются между собой каналами связи. Логическую архитектуру определяют таблицы базы данных и приложения, используемые в РКИС, а также запросы, порождаемые рабочими станциями.

Одну из возможных конфигураций РКИС можно получить, если каждому из серверов поставить в соответствие определенный тип сервера, каждому сетевому устройству – определенный тип сетевого устройства и каждому каналу связи – определенный тип канала связи. Кроме того, необходимо задать вариант размещения фрагментов наборов данных на серверах баз данных и приложений на серверах приложений.

Задача оптимизации РКИС формулируется следующим образом [6]: пусть $\{DCIS_p | p=1, NP\}$ – множество всех возможных вариантов конфигураций РКИС, где NP – количество вариантов построения РКИС. Необходимо найти такой вариант построения РКИС $DCIS_x$ среди всех возможных вариантов,

для которого критерий эффективности (2) имеет минимальное значение:

$$Tr_{opt} = \min_{\{DCIS_p | p=1, NP\}} \{\max_{i=1, Nq} \{Tresp_i\}\} \quad (3)$$

где Nq – количество пользовательских запросов на чтение, обработанных в системе.

При этом необходимо учитывать ряд ограничений, накладываемых используемыми в системе данными и приложениями, а также финансовыми возможностями организации, в рамках которой функционирует или проектируется РКИС.

Сформулированная задача построения оптимальной конфигурации РКИС относится к NP-полным задачам перебора [7]. Данная задача не может быть решена классическими аналитическими методами в связи с большим количеством и разнородностью входных параметров, а также невозможностью точного определения значения целевой функции в связи со случайностью процессов, происходящих в системе. Поэтому для оптимизации параметров РКИС предлагается использовать новый подход [6], основанный на совместном использовании объектной модели РКИС [8] и аппарата генетических алгоритмов (ГА) [9], суть которого состоит в следующем.

Начальная популяция РКИС формируется на основе информации о её структуре. Параметры отдельных компонентов РКИС (типы серверов, рабочих станций, каналов связи, а также размещение наборов данных на серверах баз данных и приложений на серверах приложений) кодируются в виде хромосом ГА [6, 11]. В процессе оптимизации с помощью операторов ГА генерируются хромосомы, то есть различные варианты построения системы. Полученные схемы являются исходной информацией для объектной модели. Имитационное моделирование работы РКИС на основе объектной модели позволяет получить оценку критерия эффективности РКИС (3). Эта оценка, в свою очередь, является значением фитнес-функции ГА для данного варианта решения. Описанный процесс повторяется до тех пор, пока не будет достигнут критерий останова генетического алгоритма [6].

Оценка полученного с помощью генетического алгоритма субоптимального решения может быть проведена путем сравнения с решением, полученным с использованием метода полного перебора.

Для проведения экспериментальных исследований с использованием разработанной модели и алгоритма оптимизации с полученными в результате экспериментов параметрами в качестве объекта выбрана компьютерная информационная система ООО

«Донецкуглеобогатение».

Из-за территориальной распределенности структуры компании «Донецкуглеобогатение» ее компьютерная информационная система также имеет распределенную архитектуру, в состав которой входит 10 узлов: центральный узел (корпоративный сервер), по одному узлу на каждой фабрике и шахте. Для функционирования информационной системы используется единая база данных, включающая 9 таблиц. Таблицы базы данных горизонтально фрагментированы. С данными работают три приложения, инициирующие распределенные запросы.

Данная распределенная корпоративная информационная система имеет размер и характеристики, позволяющие использовать ее в качестве объекта экспериментальных исследований с помощью разработанных объектной модели РКИС и оптимизационного алгоритма

Для функционирования информационной системы используется единая база данных в рамках всего предприятия, включая филиалы. Для описанной выше компании с помощью разработанной объектной модели РКИС были проведены машинные эксперименты с целью выявления «узких мест» системы. Анализ загруженности каналов связи позволяет определить, какие из каналов являются наиболее загруженными и представляют из себя «узкие места» системы.

Для вычисления критерия эффективности каждый вариант конфигурации моделировался с помощью объектной модели в течение 10 дней модельного времени. Данный период времени был выбран, так как из результатов проведенных экспериментов видно, что значение среднего времени выполнения запросов стабилизируется после 9-10 дней моделирования и по прошествии такого периода времени значение критерия эффективности практически не подвержено влиянию отдельных редко возникающих запросов. Также увеличение времени моделирования приводит к значительному росту временных затрат на оптимизацию.

Была проведена оптимизация с помощью разработанного алгоритма оптимизации и с помощью процедуры полного перебора (с учетом ограничений).

В ходе процедуры полного перебора происходило моделирование каждого из возможных вариантов распределения данных и состава технических средств в течение десяти дней модельного времени.

В результате процедуры полного перебора были получены результаты, представленные на рис. 1. Полученные в ходе

моделирования данные о времени выполнения запросов позволяют сделать вывод, что в исследуемой РКИС время выполнения запросов в целом распределено равномерно, и нет запросов, время выполнения которых значительно больше или меньше времени выполнения других запросов. Таким образом, все запросы влияют на значение критерия эффективности в равной степени.

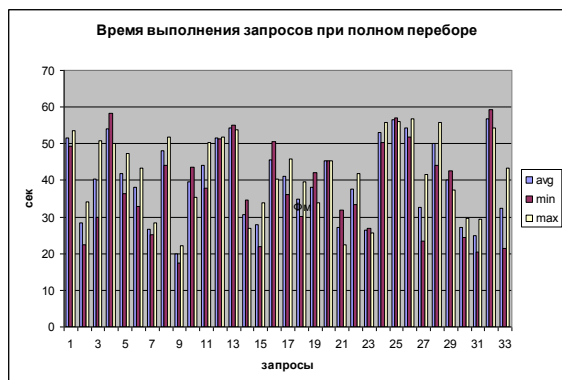


Рисунок 1 – Времена выполнения запросов

Было получено оптимальное решение, при котором максимальное значение времени выполнения запроса на обновление, выбранного в качестве критерия эффективности, равно 56,83 сек. При этом прирост эффективности составляет 23%, а сокращение среднего времени выполнения запросов на 17 секунд, по сравнению с исходной системой с неоптимизированными параметрами.

Время поиска оптимального решения с использованием процедуры полного перебора с использованием ПЭВМ с процессором AMD Intel Core 2 Duo 3,2 GHz составило приблизительно 12 суток.

Используемый для оптимизации генетический алгоритм осуществляет случайно-направленный поиск, а решения, получаемые с его помощью, являются субоптимальными. Отклонение решений от глобального оптимума, получаемых с помощью ГА зависит от следующих параметров [10]: размер популяции ($K_{\text{поп}}$); количество поколений ($K_{\text{пок}}$); вероятность мутации ($P_{\text{мут}}$); вероятность рекомбинации ($P_{\text{рек}}$); вероятность скрещивания ($P_{\text{скр}}$). Сущность оператора отбора состоит в выборе пар хромосом для скрещивания в зависимости от значения приспособленности каждой из особей. Оператор скрещивания реализует обмен группами генов между хромосомами. Как правило, выбирается одна либо несколько точек скрещивания в хромосомах и происходит обмен частями хромосом с разрывами в точках скрещивания. Оператор мутации представляет собой случайное изменение части хромосомы при переходе между поколениями

Таким образом, необходимо провести ряд вычислительных экспериментов, исследующих зависимость значений критерия эффективности работы РКИС, получаемых с помощью генетического алгоритма, от перечисленных параметров и выбрать такие параметры, при которых субоптимальное значение критерия эффективности, полученного при помощи генетического алгоритма, будет наиболее близким к глобальному оптимуму.

Было проведено исследование влияния размера популяции и количества поколений на значение критерия эффективности. Для этого были выбраны вероятности применения операторов мутации $P_{\text{мут}} = 0,1$, рекомбинации $P_{\text{рек}} = 0,8$ и скрещивания $P_{\text{скр}} = 0,9$.

В результате проведения данного эксперимента были получены зависимости критерия эффективности $\bar{T}_Q$ от размера популяции и количества поколений. Данные зависимости представлены на рис. 2.

Из рисунка видно, что полученные зависимости не являются линейными. Чем больше количество особей в популяции, тем лучшее решение можно получить за определенное количество итераций. Однако чрезмерное увеличение количества поколений приводит к увеличению вычислительной сложности задачи.

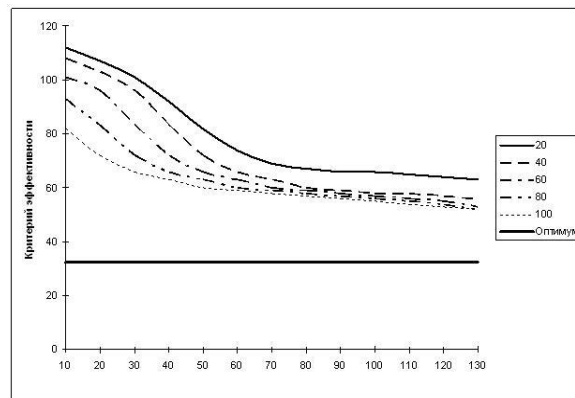


Рисунок 2 – Зависимость критерия эффективности РКИС от размера популяции ($K_{\text{поп}}$) и количества поколений ($K_{\text{пок}}$).

Из графиков видно, что увеличение количества поколений вначале приводит к значительному повышению качества поиска субоптимального решения, однако после достижения количества поколений 70, повышение эффективности существенно замедляется. Поэтому для проведения дальнейших экспериментов выбрано количество поколений $K_{\text{пок}} = 70$.

Увеличение количества особей в популяции также положительно сказывается на повышении эффективности работы

оптимизационного алгоритма, однако с увеличением числа особей в популяции растет и вычислительная сложность ГА. Из графиков (рис. 2) видно, что увеличение количества особей в популяции выше значения 40 приводит лишь к незначительному повышению эффективности работы алгоритма, поэтому для дальнейших экспериментов выбран размер популяции $K_{\text{поп}} = 40$.

При данных параметрах генетического алгоритма произведен поиск рациональных вероятностей генетических операторов: скрещивания $P_{\text{скр}}$, мутации $P_{\text{мут}}$ и рекомбинации $P_{\text{рек}}$. Зависимость критерия эффективности $\bar{T}_Q$ от вероятностей применения операторов скрещивания $P_{\text{скр}}$ и рекомбинации $P_{\text{рек}}$ представлена на рис. 3.

Из зависимостей (рис. 3) видно, что рациональные значения генетических операторов, при которых наблюдается наибольшее приближение критерия эффективности $\bar{T}_Q$ к глобальному оптимуму следующие: $P_{\text{рек}}=0,35$, $P_{\text{скр}}=0,7$.

Было проведено исследование зависимости критерия эффективности работы РКИС $\bar{T}_Q$ от вероятности выполнения оператора мутации $P_{\text{мут}}$ и вероятности выполнения оператора рекомбинации $P_{\text{рек}}$, в результате чего были получены зависимости, представленные на рис. 4.

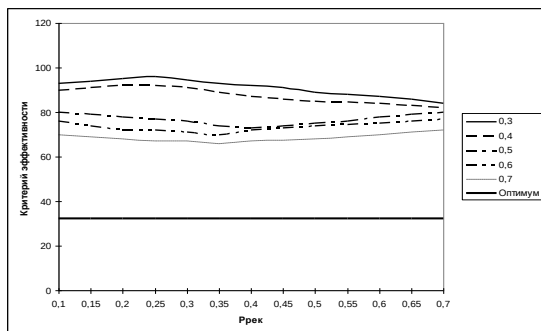


Рисунок 3 – Зависимость критерия эффективности от вероятности скрещивания $P_{\text{скр}}$ и рекомбинации $P_{\text{рек}}$

Из зависимостей (рис. 4) видно, что рациональные значения генетических операторов, при которых наблюдается наибольшее приближение критерия эффективности к глобальному оптимуму следующие: $P_{\text{рек}}=0,35$, $P_{\text{мут}}=0,05$.

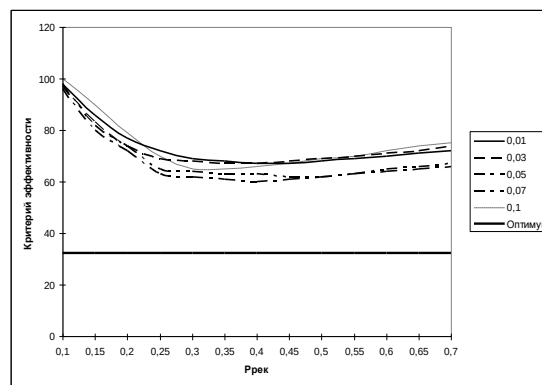


Рисунок 4 – Зависимость критерия эффективности РКИС от вероятности рекомбинации $P_{\text{рек}}$ и вероятности мутации $P_{\text{мут}}$

Было проведено исследование зависимости критерия эффективности работы $\bar{T}_Q$ от вероятности выполнения оператора мутации $P_{\text{мут}}$ и вероятности выполнения оператора скрещивания $P_{\text{скр}}$, в результате чего были получены зависимости, представленные на рис. 5.

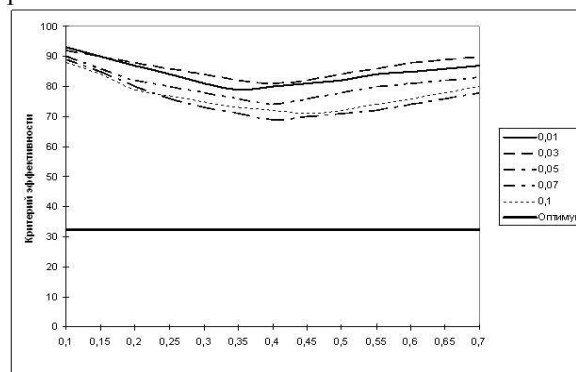


Рисунок 5 – Зависимость критерия эффективности $\bar{T}_Q$ от вероятности скрещивания $P_{\text{скр}}$ и вероятности мутации $P_{\text{мут}}$

Из зависимостей (рис. 5) видно, что рациональные значения генетических операторов, при которых наблюдается наибольшее приближение критерия эффективности к глобальному оптимуму, следующие: $P_{\text{скр}}=0,45$, $P_{\text{мут}}=0,05$.

Таким образом, на основании проведенных экспериментов были определены следующие параметры генетического алгоритма: $P_{\text{мут}} = 0,05$, $P_{\text{скр}} = 0,5$, $P_{\text{рек}} = 0,35$, размер популяции 40 и количество поколений 70.

Разработанный программный комплекс позволяет провести частичную оптимизацию, то есть можно произвести оптимизацию распределения таблиц БД или приложений, или только параметров каналов связи, или только параметров узлов (серверов и сетевых устройств) [12]. В зависимости от этого изменяется значение достигнутого критерия эффективности.

На рис. 6 приведены значения критерия эффективности в зависимости от полноты проведенной оптимизации

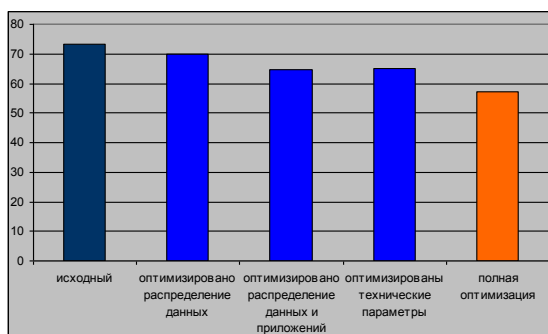


Рисунок 6 – Значения критерия эффективности в зависимости от полноты проведенной оптимизации

Наилучшее субоптимальное решение, полученное с помощью генетического алгоритма, составляет 57,33 секунд, что на 0,5 секунды больше глобального оптимума полученного с помощью алгоритма полного перебора. Относительное отклонение составило 0,88%. При этом нахождение глобального оптимума с помощью алгоритма полного перебора заняло 12 суток, в то время как поиск субоптимального решения с помощью генетического алгоритма длится 10-15 минут.

В результате проведенных вычислительных экспериментов с разработанным алгоритмом оптимизации РКИС определены рациональные значения параметров генетического алгоритма: вероятность мутации = 0,05, вероятность скрещивания = 0,7, вероятность рекомбинации = 0,23, количество популяций = 50 и количество поколений = 30. Проведенные вычислительные эксперименты показали, что применение предложенного подхода к оптимизации параметров распределенной корпоративной информационной системы позволяет повысить эффективность ее работы. Полученное при данных параметрах оптимизационной модели время выполнения самого длительного запроса на обновление, выбранного в качестве критерия эффективности работы РКИС, составило 57,33 сек, что отличается от оптимального решения, полученного методом полного перебора (56,83 сек) всего на 0,88% , то есть субоптимальное решение достаточно близко к глобальному оптимуму. Оптимизация распределения таблиц базы данных и приложений, а также параметров серверов, каналов связи и сетевых устройств обеспечивает повышение эффективности работы РКИС за счет уменьшения максимального времени выполнения пользовательских запросов

и модернизации оборудования при минимальных затратах со стороны корпорации

Литература

1. Lynda M. Applegate, James L. McKenney, F. Warren McFarlan. Corporate information systems management: The challenges of management in an information age. [Текст] / Lynda M. Applegate, James L. McKenney, F. Warren McFarlan // McGraw-Hill Higher education, 1999. – 312 p.
2. Киселев А.Г. Корпоративная и комплексная система управления промышленного предприятия (КИС). / А.Г.Киселев. – Новосибирск, 2010. – 408 с.
3. Lee Y. W. AIMQ: A Methodology for Information Quality Assessment [Электронный ресурс] / Y. W. Lee, D. M. Strong, B. K. Kahn, R. Y. Wang // Information & Management, 2002. № 40, pp 133-146. – Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378720602000435>
4. Tervonen I. Towards deeper co-understanding of software quality [Электронный ресурс] / I. Tervonen, P. Kerola // Information and Software Technology, 1999. – vol. 39, No 14-15. – Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950584997000608>
5. Агibalов Г.П., Скутин А.А. Математическая модель и технология разработки безопасных корпоративных информационных систем. [Электронный ресурс] / Г.П. Агibalов, А.А.Скутин // Электронный журнал «Исследовано в России»: Томский государственный университет, 2001. с. 1739-1750. – Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2001.151.pdf>
6. Землянская С.Ю. Оптимизация распределенных корпоративных информационных систем с использованием генетических алгоритмов и объектного моделирования [Текст] /С.Ю. Землянская, С.В. Лаздынь // Наукові праці ДонНТУ. Серія “Обчислювальна техніка та автоматизація” – Випуск 16(147). – Донецьк: ДонНТУ, 2009. С. 83-95.
7. Овчинников В.А. Алгоритмизация комбинаторно-оптимизационных задач при проектировании ЭВМ и систем [Текст]: Монография/ В.А. Овчинников – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 288 с.
8. Землянская С.Ю. Объектная модель распределенной компьютерной информационной системы. [Текст] /С.Ю. Землянская, С.Ю. Лаздынь // Наукові праці ДонНТУ. Серія “Обчислювальна техніка та автоматизація” –

Випуск 14(129). - Донецк: ДонНТУ, 2008. – С. 107-116.

9. Скобцов Ю.А. Основы эволюционных вычислений [Текст]: Монография/ Ю.А. Скобцов – Донецк: ДонНТУ, 2008. – 326с.

10. Kalyanmou Deb. Understanding interactions among genetic algorithm parameters [Электронный ресурс] / Deb. Kalyanmou, Agrawal Samir // Foundations of Genetic Algorithms, 1999. pp. 265-286. – Режим доступа: <http://www.iitk.ac.in/kangal/papers/k99003.pdf>

11. Божич В.И. Методы генетического поиска для решений представимых мультихромосомами / В.И. Божич, В.Б. Лебедев // Перспективные информационные технологии и

интеллектуальные системы. – 2002. – № 3. – С. 38 – 44.

12. Моделирование и оптимизация распределенных информационных систем. / [Скобцов Ю.А., Лаздынь С.В., Землянская С.Ю. и др.] Донецк: Ноулидж. Донецкое отделение, 2012. – 300 с.

Землянська С. Ю. Дослідження впливу параметрів моделі оптимізації розподіленої корпоративної інформаційної системи на критерій ефективності. Запропоновано підхід до оптимізації розподілених корпоративних інформаційних систем, який полягає у спільному використанні об'єктної моделі та апарату генетичних алгоритмів. Проведено дослідження впливу параметрів генетичного алгоритму на точність обчислення критерію ефективності
Ключові слова: розподілена система, об'єктна модель, оптимізація, параметри, генетичний алгоритм, критерій ефективності

Zemlyansky S. Y. Study of the effect of Distributed corporate information system optimizing model parameters influence on the criterion of efficiency. The approach to optimization of distributed corporate information systems, which consists in the joint use of the object model and the genetic algorithms is proposed. The effect of genetic algorithm parameters on the accuracy of calculation of criteria of efficiency is investigated
Keywords: distributed system, object model, optimization, parameters, genetic algorithm, criterion of efficiency

Статья поступила в редакцию 20.09.2015
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.Н. Павлышом

УДК 303.732.4:001.5

Построение моделей для комплексной оценки состояний сложных систем на основе феноменологического анализа опытных данных

А.В. Звягинцева

Донецкий национальный технический университет
anna_zv@ukr.net

Звягинцева А.В. Построение моделей для комплексной оценки состояния сложных систем на основе феноменологического анализа опытных данных. Предложены принципы и теоретические методы комплексной оценки сложных систем на основе использования массивов данных наблюдений и определения статистических вероятностей событий, характеризующих состояния изучаемых систем. Основные гипотезы исследования связаны с возможностью создания на основе опытных данных феноменологических моделей систем, отличающихся многомерным полемым представлением массивов данных, а также существованием скалярного поля распределений статистической вероятности характерных событий, наиболее полно отражающих изменения в состояниях систем. В качестве таких событий могут рассматриваться самые разные сложные события (как опасные, так и не опасные), которые характеризуют изменения в состояниях систем, особенности поведения этих систем или некоторые ситуации, связанные с наблюдением опасных и негативных событий или нанесением ущерба. Сформулированы принципы существования энтропии и потенциала для многомерного пространства состояний сложной системы. Показано, что энтропия и потенциал могут быть приняты в качестве обобщенных критериев для комплексной оценки. Разработанные модели позволяют предложить для практики расчетные зависимости для комплексной оценки и многопараметрического ранжирования различных объектов и систем, которые отличаются использованием объективных методов анализа данных.

Введение

Комплексная оценка и оценка риска представляют собой системные науки, охватывающие разные области жизнедеятельности человека и существующие на стыке многих областей знаний, как естественных, так и социогуманитарных. В методологическом плане данные науки являются частью целого теоретического направления, которое называется теорией систем, в свою очередь, в научно-практическом плане эти науки связаны с теорией и практикой безопасности систем. Данное направление исследований ориентировано на анализ состояния и тенденций развития систем различной природы, а также на изучение форм и видов опасностей и рисков в экологической, техногенной, экономической и энергетической безопасности систем и т.д.

Далее под сложной системой будем подразумевать социальную, экологическую, экономическую или техногенную систему, состояния которой могут определяться самыми различными количественными показателями. Формирование процессов в сложных системах связано с изменением во времени их состояний. В зависимости от внешних и внутренних условий, в таких системах могут реализовываться различные процессы и наблюдаться разные события. Иногда возникают состояния, которые по

определенным факторам, параметрам или характеристикам могут считаться неблагоприятными, опасными или требующими особого контроля. Поэтому понятия опасности и риска должны быть связаны с понятиями особых состояний сложных систем, которые по факторам безопасности требуют соответствующих методов их распознавания.

В этом плане основные практические задачи в области оценки опасностей и рисков связаны с установлением границ (уровней, порогов), когда процесс изменения состояния системы может быть отнесен по заданным факторам к безопасному или опасному процессу.

В свою очередь, теоретические задачи связаны с изучением вероятностных закономерностей формирования неблагоприятных и опасных событий при различных воздействиях, с формированием подходов, представлений и гипотез для развития теорий, разработкой теоретических и аналитических методов анализа опасностей, построением комплексных моделей оценки состояний систем и т.д.

Построение любой теории основано на использовании общепринятых среди специалистов понятий и определений, систематизации опытных данных, установлении феноменологических и эмпирических закономерностей, а также разработке методологии, позволяющей провести формализацию задач и применить

определенный математический аппарат.

Основной путь решения проблемы комплексной оценки систем и оценки риска лежит в изложении основных положений и представлений об опасности и риске в терминах теории вероятности, исходя из причинно-следственной взаимосвязи событий. При этом основной упор при решении проблемы следует делать не на теоретическое определение вероятностей сложных событий, представляющих собой причинно-следственные деревья (цепочки) множества более простых событий, а на феноменологический анализ вероятностей исходных сложных событий. Однако этот путь требует наличия достаточной экспериментальной базы, позволяющей определять вероятности различных сложных событий.

Методология комплексной оценки сложных систем в настоящее время использует преимущественно экспертные методы и подходы [1 – 10]. Это приводит к тому, что большинство исследований в данной области носит субъективный характер, так как результаты комплексной оценки существенно зависят от мнения, уровня подготовки экспертов и специфики применяемых экспертных методов.

Основные направления и тенденции исследований в данной области связаны с накоплением и созданием все более обширных баз данных показателей состояния, изменения и развития различных видов систем, применением новых методов визуализации и оценки данных, использованием математических методов анализа данных, созданием информационно-аналитических систем хранения, обработки и представления данных, развитием методов комплексной оценки, теории оценки рисков и методов системной динамики [11 – 15].

Комплексная оценка состояния систем обычно представляет собой очень трудоемкую процедуру из-за наличия большого количества показателей, требующих анализа и отражающих самые разные аспекты их развития. В таких исследованиях обычно применяются три подхода. Первый подход связан с разработкой обширных докладов о состоянии и предполагаемом изменении и развитии систем [16 – 18]. Второй подход, с целью упрощения процедуры анализа, основывается на индикаторном методе, когда для оценки состояния и изменения систем вводятся в рассмотрение самые различные индексы, которые интегрируют несколько показателей [19 – 21]. Третье теоретическое направление комплексной оценки связано с методологией оценки рисков [13 – 14] и теорией системной динамики [22].

Целью данной статьи является разработка моделей для комплексной оценки

состояний экологических, социально-экономических и технологических систем на основе применения методов феноменологического анализа данных, характеризующих состояние и развитие этих систем по самым различным аспектам.

Каждая из сложных систем характеризуется своим определенным набором свойств и закономерностей, перечнем характерных параметров, а также особенностями перехода из одного состояния в другое. Определим состояние сложной системы как совокупность ее наблюдаемых показателей, которые формируются под действием условий окружающей среды в конкретный момент времени. В данном случае состояние системы в n -мерном пространстве в каждый момент времени будет отображаться многомерной точкой $M = M(p_1, p_2, \dots, p_n)$, процесс изменения состояния объекта во времени – многомерной кривой, которая описывается точкой M в этом пространстве. Здесь $p_1, p_2, \dots, p_n$ – количественные показатели (параметры), которые характеризуют основные свойства системы.

Изучение связей между опасностью и риском возможно при наличии общего описания поведения сложной системы. Причем это описание может быть представлено множеством функций распределения вероятностей характерных событий вида $w_j = w_j(p_1, p_2, \dots, p_n)$ или $w_{j_s} = w_{j_s}(p_1, p_2, \dots, p_n)$, при этом риск будет определяться вероятностями нескольких связанных между собой причинно-следственных событий:

- совместными событиями j (причинами) наблюдения параметров системы $p_1, p_2, \dots, p_n$, которые характеризуют ее состояние;

- сложными событиями j_s (следствиями) наблюдения различных событий, характеризующих особенности поведения систем, а также негативные эффекты и последствия.

В общем случае при количественной оценке риска функция состояния системы $w = w(p_1, p_2, \dots, p_n)$ будет определяться как параметрами состояния p_i , так и нежелательными и опасными событиями j , и будет описывать как безопасные, так и опасные состояния системы. Опасность состояния системы может определяться по совокупности значений ее параметров, которые превышают или не достигают заданных пороговых значений, а также возможно попадают в

определенные нежелательные диапазоны. Если исходить из предложенного определения состояния системы, то в пространстве состояний $H_n\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ можно определить области опасных или неблагоприятных состояний. Для этого следует указать диапазоны изменений координат p_k , характеризующие опасные (безопасные) состояния системы или для функции вероятности характерных событий j_s вида $w_{j_s}(p_1, p_2, \dots, p_n)$ задать пороги безопасных значений вероятности (например, меньше 5% или 1% наблюдаемого негативного эффекта). Так как параметры и вероятность связаны между собой функцией распределения, то достаточно нормировать только или параметры системы или вероятность наблюдаемых событий. В каждом конкретном случае данный вопрос должен решаться исходя из особенностей изучаемой системы и имеющихся опытных данных.

Таким образом, *безопасное* состояние системы – это множество состояний, при которых значения всех параметров соответствуют определенно заданным требованиям. В свою очередь, *опасное* состояние системы – множество состояний, при которых значение хотя бы одного параметра не соответствует требованиям, заданным по показателям безопасности. Это также справедливо, если регламентирована вероятность характерных наблюдаемых событий. В этом случае задаются области безопасных и опасных изменений параметров системы, исходя из заданного значения порога вероятности.

Опасное состояние системы формируется под действием окружающей среды, однако в безопасности систем окружающая среда часто не является по отношению к системе явно выраженной внешней средой. Опасная система обычно состоит из объекта и вмещающей этот объект окружающей среды, причем объект чаще всего относится к элементам живой природы и может быть распределен в пространстве окружающей среды (например, популяция, проживающая на определенной территории).

Таким образом, опасность, в целом, являясь важной категорией теории комплексной оценки, представляется множеством опасных состояний системы, определенным образом выделенных по значениям параметров фактора опасности из общего множества всех состояний. В свою очередь, каждое опасное состояние системы однозначно характеризуется вероятностью некоторых опасных или неблагоприятных событий, которые позволяют

распознавать эти опасные состояния, а также параметрами этих опасных состояний.

Подводя общий итог можно сказать, что процедура определения риска для различных сложных систем является обычной комплексной оценкой состояний систем по совокупности показателей относительно вероятности опасных событий, которые особо выделяются при анализе процессов.

Все это при оценке риска дает возможность систематизировать различные опасные и неблагоприятные события по отношению к объектам, времени и месту их возникновения, по отношению к состоянию системы или последствиям, связанным с этим состоянием, и т.д., используя классификацию событий, которая сегодня общепринята в теории вероятности.

Дифференциальные уравнения для феноменологического описания состояний сложных систем

Рассмотрим в общем виде задачу комплексной оценки систем, характеризующихся совокупностью самых разных показателей. Считаем, что имеется массив статистических данных в виде базы данных для некоторой сложной системы, в который входят данные для m объектов (строки) и n показателей (столбцы) и которые достаточно полно характеризуют эти объекты. В базе данных имеется также множество таблиц t упорядоченных по времени, которые отражают процессы изменения состояний этих объектов во времени. Все объекты являются однотипными, например, страны, города, территории, природно-промышленные или природные комплексы (предприятия, сооружения, леса, реки) и т.д.

На основе переменных $p_1, p_2, \dots, p_n$ сформируем многомерное пространство координат $H\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, в котором возможные состояния объектов теоретически образуют некоторую область H_n , охватывающую все наблюдения. В этом случае состояние каждого объекта в данном пространстве может быть представлено многомерной точкой $M(p_1, p_2, \dots, p_n)$, а процессы изменения состояния объектов за определенный период – многомерными линиями. При этом каждая линия процесса будет отображаться t точками. Предположим непрерывность многомерной области H_n . Это означает, что в пространстве состояний H_n существует бесконечное множество состояний для некоторой генеральной совокупности однотипных объектов и точки состояний

$M(p_1, p_2, \dots, p_n)$ этих объектов непрерывно заполняют это пространство. Будем также считать, что опытные точки из базы данных являются ограниченной выборкой наблюдений из данной генеральной совокупности.

Рассмотрим сложное совместное событие одновременного наблюдения нескольких показателей или выберем некоторое характерное событие, которое имеет характеристическую величину в виде отдельного показателя. Определим, что состояние каждого объекта может характеризоваться данным наблюдаемым событием. Обозначим данное событие как «событие j », и будем считать, что оно позволяет оценить некоторые опасные или неопасные состояния системы, которые выделены при анализе по определенным соображениям по показателям безопасности. Найдем статистическую вероятность этого события на основе опытных данных, которые имеются в базе данных, с использованием алгоритмов сортировки, группировки и подсчета частот благоприятных событий. Считаем данную статистическую вероятность вероятностью состояния изучаемой системы. Эта статистическая вероятность w подсчитывается по всей группе объектов.

В процессе группировки данных статистическая вероятность состояния, как правило, определяется алгоритмическим путем на основе имеющихся опытных данных.

Для построения комплексных моделей принимаем гипотезу о непрерывности распределения вероятности состояния системы в области H_n . Другими словами, мы предполагаем существование скалярного поля статистической вероятности w в пространстве H_n вида $w = w(M)$, которое можно оценить по статистическим данным.

Предположим, что в области H_n можно задать комплексный индекс в виде аналитической функции $T(p_1, p_2, \dots, p_n)$, на основе которой будет формироваться математическая модель вероятностного пространства. При известном виде функции $T(p_1, p_2, \dots, p_n)$ и значениях переменных $p_1, p_2, \dots, p_n$ в области H_n формируем еще одно скалярное поле, которое назовем средой моделирования.

При построении моделей предполагаем, что в пространстве состояний H_n скалярные поля величин w и T однозначно связаны между собой. Данная связь представляется в виде следующих феноменологических соотношений $dw = c_1 \cdot dT$. При справедливости принятых гипотез феноменологические

описания статистических данных, представленных таблично-временными массивами информации, тесно связаны с уравнениями Пфаффа.

Выберем в области H_n произвольную точку M . Будем считать, что вблизи данной точки осуществляется элементарный процесс, в результате которого состояние объекта изменяется от начального M до конечного состояния M' . Тогда элементарное изменение величины w можно представить в виде:

$$dw = \left(\frac{\partial w}{\partial T} \right)_{p_2 \dots p_n} \left(\frac{\partial T}{\partial p_1} \right) dp_1 + \left(\frac{\partial w}{\partial T} \right)_{p_1, p_3 \dots p_n} \left(\frac{\partial T}{\partial p_2} \right) dp_2 + \dots + \left(\frac{\partial w}{\partial T} \right)_{p_1 \dots p_{n-1}} \left(\frac{\partial T}{\partial p_n} \right) dp_n; \quad (1)$$

$$dw = c_1 \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial p_1} \right) dp_1 + c_2 \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial p_2} \right) dp_2 + \dots + c_n \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial p_n} \right) dp_n \quad (2)$$

где c_k – феноменологические величины, характеризующие процессы изменения состояний объектов при изменении показателей p_k .

Введение индекса $T(p_1, p_2, \dots, p_n)$ необходимо для построения комплексных моделей описания статистических данных в математическом виде. Уравнение Пфаффа (2) при постоянных величинах c_k зависит от вида функции T и распределений вероятности w .

Так как изучается распределение статистической вероятности, то можно представить комплексный индекс в виде геометрической вероятности пространства H_n или в виде меры относительных изменений:

$$T = \frac{p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_n}{p_{1,\max} \cdot p_{2,\max} \cdot \dots \cdot p_{n,\max}}, \quad (3)$$

$$T = \frac{p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_n}{p_{10} \cdot p_{20} \cdot \dots \cdot p_{n0}}, \quad (4)$$

где $p_{k,\max}$, p_{k0} – соответственно максимальные значения или некоторые опорные (пороговые, допустимые и т.д.) значения исходных показателей.

В первом случае следует определить максимальные значения наблюдаемых величин в выборке всех данных. Во втором случае, для анализа данных следует предложить некоторую опорную точку $M_0(p_{10}, p_{20}, \dots, p_{n0})$ и состояния всех остальных объектов соотнести с этой точкой.

Данные подходы определения комплексного индекса основываются на использовании принципа соответственных состояний. Данный принцип обобщает эмпирическое наблюдение, которое указывает на то, что для одних и тех же объектов многие

характеристики и показатели тесно связаны с некоторыми характерными свойствами для всех объектов приблизительно одинаково. При реализации этого принципа в процессе построения моделей показатели состояний некоторых объектов выбираются в качестве опорных и все остальные характеристики объектов соотносятся с этой точкой в изучаемом пространстве показателей.

Существуют различные способы формирования комплексных индексов при построении моделей систем. Это связано с особенностями той или иной предметной области, используемыми гипотезами или предположениями, а также сложившимися в научном сообществе представлениями или общепринятыми подходами. Кроме уравнений (3) и (4) также часто используются мультипликативные степенные функции и экспертные зависимости относительно исходных показателей в виде:

$$T = \beta \cdot \left(\frac{p_1}{p_{10}} \right)^{\alpha_1} \cdot \left(\frac{p_2}{p_{20}} \right)^{\alpha_2} \cdot \dots \cdot \left(\frac{p_n}{p_{n0}} \right)^{\alpha_n}; \quad (5)$$

$$T = \beta_1 \cdot \frac{p_1}{p_{10}} + \beta_2 \cdot \frac{p_2}{p_{20}} + \dots + \beta_n \cdot \frac{p_n}{p_{n0}}, \quad (6)$$

где β_k – весовые или стандартизированные коэффициенты. Могут также быть предложены и другие виды функций для задания значений комплексного индекса, например, функции в виде среднего геометрического $T = \sqrt[n]{p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_n}$ или среднегеометрического взвешенного.

Будем считать, что комплексный индекс $T(p_1, p_2, \dots, p_n)$ может быть представлен в виде произведений функций, зависящих от показателей $p_1, p_2, \dots, p_n$, а именно $T = \varphi_1(p_1) \cdot \varphi_2(p_2) \cdot \dots \cdot \varphi_n(p_n)$. Эта гипотеза охватывает класс уравнений вида (3) – (5). В статье [23] показано, что в этом случае для уравнения Пфаффа (2) существует интегрирующий делитель, который обращает данное уравнение в полный дифференциал. Интегрирующим делителем (2) будет функция $T = \varphi_1(p_1) \cdot \varphi_2(p_2) \cdot \dots \cdot \varphi_n(p_n)$. Подставляя данную функцию в (2) и деля это уравнение на величину T , получим:

$$ds = \frac{dw}{T} = c_1 \cdot \frac{\varphi'_1(p_1)}{\varphi_1(p_1)} dp_1 + c_2 \cdot \frac{\varphi'_2(p_2)}{\varphi_2(p_2)} dp_2 + \dots + c_n \cdot \frac{\varphi'_n(p_n)}{\varphi_n(p_n)} dp_n. \quad (7)$$

Интегрируя уравнение (7), представим общий интеграл в виде:

$$s - s_0 = c_1 \cdot \ln \left(\frac{\varphi_1(p_1)}{\varphi_1(p_{10})} \right) + c_2 \cdot \ln \left(\frac{\varphi_2(p_2)}{\varphi_2(p_{20})} \right) + \dots + c_n \cdot \ln \left(\frac{\varphi_n(p_n)}{\varphi_n(p_{n0})} \right), \quad (8)$$

где $s_0, p_{10}, \dots, p_{n0}$ – параметры опорного состояния.

Данную функцию состояния обычно называют энтропией. Таким образом, для скалярного поля вероятности $w(p_1, p_2, \dots, p_n)$ при задании комплексного индекса произведением функций $T = \varphi_1(p_1) \cdot \varphi_2(p_2) \cdot \dots \cdot \varphi_n(p_n)$ и справедливости функциональных связей в виде $dw = c_1 \cdot dT$ может быть определено скалярное поле энтропии вида (8). Причем функция энтропии является аддитивной величиной, каждое слагаемое которой зависит только от одной величины p_k . Из сказанного видно, что смысл поиска функции энтропии связан с преобразованием координат $p_1, p_2, \dots, p_n$ таким образом, чтобы получить линейную аддитивную функцию относительно новых обобщенных координат вида:

$$s - s_0 = c_1 \cdot \psi_1(p_1) + c_2 \cdot \psi_2(p_1) + \dots + c_n \cdot \psi_n(p_1) = c_1 \cdot q_1 + c_2 \cdot q_2 + \dots + c_n \cdot q_n, \quad (9)$$

где $q_k = \psi_k(p_k)$ – преобразованные координаты в виде логарифмических функций.

Геометрически это означает, что энтропия в пространстве новых координат $q_1, q_2, \dots, q_n$ согласно (9) приводится к линейным зависимостям, которые обладают свойством аддитивности.

Таким образом, нелинейное преобразование координат при справедливости гипотез связи вероятности состояния системы с комплексным индексом вида $dw = c_1 \cdot dT$ и возможности представления комплексного индекса мультипликативной функцией $T = \varphi_1(p_1) \cdot \varphi_2(p_2) \cdot \dots \cdot \varphi_n(p_n)$ позволяет с помощью преобразования $ds = \frac{dw}{T}$ представить

нелинейное скалярное поле вероятности в виде аддитивной линейной функции энтропии. Геометрически это выглядит так, что нелинейные многомерные линии скалярного поля вероятности состояния системы преобразуются в линейные многомерные линии скалярного поля энтропии этой системы.

Получим дифференциальное уравнение для описания скалярного поля вероятности. Из соотношения $T = \varphi_1(p_1) \cdot \varphi_2(p_2) \cdot \dots \cdot \varphi_n(p_n)$ имеем следующую зависимость:

$$\frac{\partial T}{\partial p_k} = \frac{\varphi_1(p_1) \cdot \varphi_2(p_2) \cdot \dots \cdot \varphi'_k(p_k) \cdot \dots \cdot \varphi_n(p_n)}{\varphi_k(p_k)} \cdot \varphi_k(p_k)$$

откуда $\frac{\partial T}{\partial p_k} = \frac{\varphi'_k(p_k)}{\varphi_k(p_k)} \cdot T$ и $\frac{1}{c_k} \left(\frac{\partial w}{\partial p_k} \right) = \frac{\varphi'_k(p_k)}{\varphi_k(p_k)} \cdot T$,

так как $\frac{\partial w}{\partial p_k} = c_k \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial p_k} \right)$. (10)

Суммируя соотношения (15) для всех n получим линейное неоднородное уравнение в частных производных первого порядка вида:

$$\frac{\varphi_1(p_1)}{c_1 \cdot \varphi'_1(p_1)} \left(\frac{\partial w}{\partial p_1} \right) + \frac{\varphi_2(p_2)}{c_2 \cdot \varphi'_2(p_2)} \left(\frac{\partial w}{\partial p_2} \right) + \dots + \frac{\varphi_n(p_n)}{c_n \cdot \varphi'_n(p_n)} \left(\frac{\partial w}{\partial p_n} \right) = n \cdot T. \quad (11)$$

В общем случае решение уравнения (11) осуществляется методом характеристик, которые определяются системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$ds = c_1 \cdot \varphi'_1(p_1) \frac{dp_1}{\varphi_1(p_1)} = c_2 \cdot \varphi'_2(p_2) \frac{dp_2}{\varphi_2(p_2)} = \dots = c_n \cdot \varphi'_n(p_n) \frac{dp_n}{\varphi_n(p_n)} = \frac{dw}{n \cdot T}, \quad (12)$$

где s – параметр, который является энтропией в представлении (7). Если сложить все слагаемые уравнения (12) кроме последнего, то получим в точности уравнение (7).

Известно, что для уравнения (11) характеристики определяются системой уравнений (12), а семейство поверхностей ортогональных этим характеристикам определяется из скалярного произведения вектора

$$\vec{W} = \frac{\varphi_1(p_1)}{c_1 \cdot \varphi'_1(p_1)} \mathbf{e}_1 + \frac{\varphi_2(p_2)}{c_2 \cdot \varphi'_2(p_2)} \mathbf{e}_2 + \dots + \frac{\varphi_n(p_n)}{c_n \cdot \varphi'_n(p_n)} \mathbf{e}_n \quad (13)$$

и единичного вектора $\mathbf{e} = \mathbf{e}_1 \cdot dp_1 + \mathbf{e}_2 \cdot dp_2 + \dots + \mathbf{e}_n \cdot dp_n$, а именно $(\vec{W} \cdot \mathbf{e}) = 0$.

Последнее соотношение можно представить в развернутом виде многомерного уравнения Пфаффа:

$$\frac{\varphi_1(p_1)}{c_1 \cdot \varphi'_1(p_1)} dp_1 + \frac{\varphi_2(p_2)}{c_2 \cdot \varphi'_2(p_2)} dp_2 + \dots + \frac{\varphi_n(p_n)}{c_n \cdot \varphi'_n(p_n)} dp_n = 0. \quad (14)$$

Если данное уравнение приводится к полному дифференциалу, то существует потенциал $P(p_1, p_2, \dots, p_n) = C$ пространства состояний H_n , который можно представить в виде семейства поверхностей ортогональных линиям энтропии ($s = \text{const}$). Для некоторых видов функций комплексного индекса можно получить простые функции потенциала.

Энтропия s и потенциал P могут быть приняты в качестве обобщенных критериев для комплексной оценки состояний объектов в многомерном пространстве H_n . Их наиболее

важной особенностью является то, что данные величины являются функциями состояния системы при справедливости условия существования скалярного поля статистической вероятности w , а также то, что энтропия и потенциал отличаются свойством аддитивности. Изменение данных функций зависит только от начального и конечного состояния объекта и не зависит от пути его перехода между этими состояниями. Данные функции состояния определяют многомерные криволинейные координаты в пространстве H_n , при этом каждый объект в процессе своего изменения и развития будет занимать некоторое положение относительно этих координат.

Таким образом, благодаря нелинейному преобразованию координат, пространство H_n , где представлено скалярное поле вероятности состояния системы, может быть преобразовано в линейное пространство относительно величин энтропии и потенциала пространства состояний изучаемой системы. Это позволяет объективно провести многопараметрическое ранжирование объекта в иерархическом множестве других объектов, используя для анализа данные функции состояния.

Формулировка основных уравнений для комплексной оценки

Получим основные уравнения и соотношения для комплексной оценки сложных систем. В данном варианте построения теории важным является выбор среды моделирования, исходя из задания различных видов функций для индекса T . Решение уравнения Пфаффа (14) при постоянных величинах c_k зависит от вида функции $T(p_1, p_2, \dots, p_n)$.

Так как изучаются распределения статистической вероятности различных событий, то рационально представить эту функцию в виде геометрической вероятности пространства H_n или в виде меры относительных изменений согласно (3) и (4). Так как данные уравнения идентичны, далее рассмотрим уравнение (4), для которого

$$T = \frac{p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_n}{p_{10} \cdot p_{20} \cdot \dots \cdot p_{n0}}.$$

$p_{10} \cdot p_{20} \cdot \dots \cdot p_{n0}$ можно рассматривать как некоторые пороговые (безопасные) уровни показателей, позволяющие выделить области опасных состояний системы.

Для данного комплексного индекса согласно (7) – (8) энтропию состояния системы можно представить следующим образом:

$$ds = \frac{dw}{T} = c_1 \cdot \frac{dp_1}{p_1} + c_2 \cdot \frac{dp_2}{p_2} + \dots + c_n \cdot \frac{dp_n}{p_n}, \quad (15)$$

$$s - s_0 = c_1 \cdot \ln\left(\frac{p_1}{p_{10}}\right) + c_2 \cdot \ln\left(\frac{p_2}{p_{20}}\right) + \dots + c_n \cdot \ln\left(\frac{p_n}{p_{n0}}\right). \quad (16)$$

В свою очередь согласно (14), потенциал $P(p_1, p_2, \dots, p_n) = C$ может быть найден из уравнения:

$$\frac{p_1}{c_1} \cdot dp_1 + \frac{p_2}{c_2} dp_2 + \dots + \frac{p_n}{c_n} dp_n = 0 \quad (17)$$

или

$$P(p_1, p_2, \dots, p_n) = \frac{1}{2} \left(\frac{p_1^2 - p_{10}^2}{c_1} + \frac{p_2^2 - p_{20}^2}{c_2} + \dots + \frac{p_n^2 - p_{n0}^2}{c_n} \right), \quad (18)$$

где принято, что $P(p_{10}, p_{20}, \dots, p_{n0}) = 0$.

Таким образом, для комплексного индекса вида (3) – (4) можно ввести обобщенные координаты в виде энтропии и потенциала, которые позволят в преобразованном пространстве координат линеаризовать нелинейное скалярное поле вероятности состояния системы.

Рассмотрим теперь уравнение (5) для комплексного индекса следующего вида

$$T = \beta \cdot \left(\frac{p_1}{p_{10}}\right)^{\alpha_1} \cdot \left(\frac{p_2}{p_{20}}\right)^{\alpha_2} \cdot \dots \cdot \left(\frac{p_n}{p_{n0}}\right)^{\alpha_n}. \quad \text{Можно}$$

показать, что для данного уравнения при $\beta = 1$ энтропия состояния системы представляется в виде уравнения:

$$s - s_0 = c_1 \cdot \alpha_1 \cdot \ln\left(\frac{p_1}{p_{10}}\right) + c_2 \cdot \alpha_2 \cdot \ln\left(\frac{p_2}{p_{20}}\right) + \dots + c_n \cdot \alpha_n \cdot \ln\left(\frac{p_n}{p_{n0}}\right), \quad (19)$$

а потенциал состояния системы в виде уравнения:

$$P(p_1, p_2, \dots, p_n) = \frac{1}{2} \left(\frac{p_1^2 - p_{10}^2}{c_1 \cdot \alpha_1} + \frac{p_2^2 - p_{20}^2}{c_2 \cdot \alpha_2} + \dots + \frac{p_n^2 - p_{n0}^2}{c_n \cdot \alpha_n} \right). \quad (20)$$

В свою очередь, при представлении комплексного индекса в виде уравнения (6), энтропия и потенциал могут быть представлены следующим образом:

$$s - s_0 = \frac{c_1}{n} \cdot \ln\left(\frac{p_1}{p_{10}}\right) + \frac{c_2}{n} \cdot \ln\left(\frac{p_2}{p_{20}}\right) + \dots$$

$$+ \dots + \frac{c_n}{n} \cdot \ln\left(\frac{p_n}{p_{n0}}\right), \quad (21)$$

$$P(p_1, p_2, \dots, p_n) = \frac{1}{2} \left(\frac{p_1^2 - p_{10}^2}{c_1} + \frac{p_2^2 - p_{20}^2}{c_2} + \dots + \frac{p_n^2 - p_{n0}^2}{c_n} \right). \quad (22)$$

Соответствующие зависимости могут быть получены, исходя из однородности функции (6) и справедливости уравнения (16) для этого случая, когда степень однородности функции (6) принимается равной единице.

Таким образом, используя предложенную теорию комплексной оценки и задавая различные функции комплексного индекса T , можно преобразовывать нелинейное пространство вероятности состояний системы в линейное пространство и потом проверять полученные зависимости на адекватность путем обработки имеющихся опытных данных об изменении и развитии той или иной системы.

Приведенные ранее зависимости (3) – (6) являются достаточно простыми. Надо отметить, что энтропия состояния системы согласно (8) может быть определена для самых различных функций комплексного индекса, представленных в виде произведений функций относительно показателей $T = \varphi_1(p_1) \cdot \varphi_2(p_2) \cdot \dots \cdot \varphi_n(p_n)$. В свою очередь, решение для потенциала будет определяться из соотношения (9).

Поэтому в каждом конкретном случае решения прикладной задачи необходимо обосновывать выбор индекса T для комплексной оценки и определять конкретные зависимости энтропии s и потенциала P для этого случая. Теоретически получить соответствующие зависимости достаточно легко, однако оценка адекватности данных зависимостей по отношению к опытным данным является не совсем простой задачей. В общем случае мы приходим к необходимости использовать при обработке опытных данных обобщенные координаты в виде энтропии и потенциала. Если эмпирически с учетом принятых гипотез удастся получить качественные регрессионные зависимости, позволяющие связать вероятность состояния системы с энтропией пространства состояний $w = \varphi(s)$, где s – энтропия в виде выражения (8), то данные могут быть преобразованы в линейное пространство и возможна комплексная оценка объектов на основе новых преобразованных переменных. При этом в уравнении $w = \varphi(s)$ феноменологические

величины c_k определяются по опытным данным методами нелинейной регрессии.

Область применения данного метода охватывает процессы, которые медленно меняются во времени и для которых существуют функции распределения характерных событий $w = w(p_1, p_2, \dots, p_n)$ и непрерывные производные $c_i = \frac{dw}{dT}$. Важной особенностью применения метода является наличие структурированных данных наблюдений для изучаемых сложных систем, которые могут быть представлены в таблично-временном виде. Основные процессы, характерные для многих экологических и социальных систем, обычно медленно протекают во времени, так как показатели этих систем достаточно устойчивы. Практика анализа данных также показывает, что для большинства систем могут быть получены функции вероятностных распределений для различных характерных событий, поэтому вполне возможно установление фундаментальных закономерностей на основе феноменологических описаний процессов изменения состояний систем [22 – 26].

Таким образом, предложенный метод позволяет для различных аспектов развития построить в вероятностном пространстве модели комплексной оценки состояний систем и идентифицировать эти модели по опытным данным.

Выводы

В экологии, охране окружающей природной среды, техногенной и экологической безопасности, биологии, оценке биоразнообразия и социально-экономического развития стран и регионов накоплены большие базы данных, позволяющие вести речь об установлении феноменологических закономерностей развития различных объектов и разработать методы комплексной оценки и многопараметрического ранжирования этих объектов. Существует множество открытых источников данных, которые несут информацию о компонентах и аспектах развития городов, регионов и стран мира, а также техногенных и природно-промышленных комплексов.

Предложенные методы и модели использовались при анализе структурированных статистических данных, решении тестовых задач и разработке методик комплексной оценки для следующих сложных систем:

- урбоэкосистемы городского типа (населенные пункты и города) для изучения загрязнения природных сред и экологической обстановки, анализа негативных и опасных

воздействий на окружающую среду и человека, а также для исследования процессов экологического развития городов;

- страны Европы и мира для исследования экологических процессов и оценки процессов человеческого развития;
- биологические и природные системы для комплексной оценки биоразнообразия и изучения состояния природно-антропогенных систем по показателям биоразнообразия.

Соответствующие результаты, связанные с практическим применением предложенных методов комплексной оценки, приведены в статьях автора [24 – 27].

Разработанные модели и методы позволяют предложить расчетные зависимости для комплексной оценки и многопараметрического ранжирования различных объектов и систем. Особенностью данных зависимостей является то, что они отличаются использованием объективных методов анализа данных.

Литература

1. Смольянинов В.М., Русинов П.С., Панков Д.Н. Комплексная оценка антропогенного воздействия на природную среду при обосновании природоохранных мероприятий. Воронеж: ВГАУ, 1996. – 126 с.
2. Мусихина Е.А. Методологический аспект технологии комплексной оценки экологической емкости территорий. Издательство «Академия Естествознания», 2009. – Электр. ресурс. URL: <http://www.monographies.ru/31> (23.04.2015).
3. Артюхов В.В., Мартынов А.С. Системная методология оценки устойчивости природно-антропогенных комплексов: теория, алгоритмы, количественные оценки. 2013. – 142 с. – Электр. ресурс. URL: <http://www.sci.aha.ru/ots/Metodology.pdf>, www.sci.aha.ru (23.11.2014).
4. Буренков Э.К., Гинзбург Л.Н., Грибанова Н.К., Зангиева Т.Д. и др. Комплексная эколого-геохимическая оценка техногенного загрязнения окружающей природной среды // ИМГРЭ, ЗАО «РИФТ», М.: Прима-Пресс, 1997.
5. Александрова Л.В., Васильев В.Ю., Дмитриев В.В. и др. Многокритериальные географо-экологические оценки состояния и устойчивости природных и урбанизированных систем. // Под ред. В.В. Дмитриева и Н.В. Хованова. – Деп. ВИНТИ № 2342В00, 2000. – 275 с.
6. Алимов А.Ф., Дмитриев В.В., Флоринская Т.М. и др. Интегральная оценка экологического состояния и качества среды городских территорий. // Под ред. А.К. Фролова. –

- С.-Пб., 1999. – 253 с.
7. Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). – Екатеринбург: УИФ Наука, 1994. – 280 с.
 8. Дмитриев В.В. Методика диагностики состояния и устойчивости водных экосистем // Эколого-географический анализ состояния природной среды: проблема устойчивости геосистем. // Под ред. П.П. Арапова и Ю.П. Селиверстова. – С.-Пб.: РГО, 1995. – С. 41 – 67.
 9. Дмитриев В.В. Определение интегрального показателя состояния природного объекта как сложной системы / В.В. Дмитриев // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). – 2009. – № 4. – С. 146 – 165.
 10. Колдобская Н.А. Методические подходы к оценке антропогенного воздействия на урбанизированные территории на примере Московской области // Экология и промышленность России. – 2013. – № ноябрь 2013. – С. 28 – 33.
 11. Згуровский М.З. Глобальное моделирование процессов устойчивого развития в контексте качества и безопасности жизни людей (2005 – 2007/2008 годы). – К.: Политехника, 2008. – 331 с.
 12. Глобальная экологическая перспектива: ГЕО4 окружающая среда для развития. // Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде, 2007. – 572 с.
 13. Guidelines for Ecological Risk Assessment // U.S. Environmental Protection Agency. – Washington, DC, 1998. – 114 p. – Электр. ресурс. URL: <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=12460> (21.11.2014).
 14. Сафонов В.С., Одишария Г.Э., Швыряев А.А. Теория и практика анализа риска в газовой промышленности. – М.: НУМИЦ Минприроды России, 1996. – 207 с.
 15. Розенберг Г.С. Модели в фитоценологии. – М.: Наука, 1984. – 265 с.
 16. Доклады о человеческом развитии (1990 – 2013 гг.). – Электр. ресурс. URL: <http://hdr.undp.org/en/reports/> (25.04.2015).
 17. Доклад о мировом развитии. Пер. с англ. публикации Всемирного банка: 2000 – 2012. М.: Весь мир. – Электр. ресурс. URL: <http://www.vesmirbooks.ru/books/reports/wdr/>, www.worldbank.org (15.12.2014).
 18. Защита окружающей среды Европы – Четвертая оценка. Европейское агентство по окружающей среде, Копенгаген. Дания: Schultz Grafisk, 2007. – 452 с. – Электр. ресурс. URL: eea.europa.eu (13.05.2015).
 19. Украина в мире. Обзор международных индексов. Фонд «Эффективное управление». – 64 с. – Электр. ресурс. URL: www.feg.org.ua, www.competitiveukraine.org (20.02.2015).
 20. Отчет о конкурентоспособности регионов Украины 2013. Навстречу экономическому росту и процветанию. Фонд «Эффективное управление», Украина. 2013. – 236 с. – Электр. ресурс. URL: competitiveukraine.org, http://www.feg.org.ua/uploadfiles/ckfinder/files/reports/2013/FEG_report_2013_body_rus.pdf (21.12.2014).
 21. Сравнение стран. Описание индексов. Рейтинг регионов. Проект фонда «Эффективное управление» – Электр. ресурс. URL: http://www.feg.org.ua/cms/opisanie_indeksov.html (25.11.2014).
 22. Аверин Г.В., Звягинцева А.В. Взаимосвязь термодинамической и информационной энтропии при описании состояний идеального газа // Сборник научных трудов САИТ. Донецк, 2013. – № 1 (4) – 2(5). – С. 26 – 38.
 23. Аверин Г.В. Системодинамика: наука о закономерностях процессов изменения и развития систем во времени. – Palmarium Academic Publishing, 2014. – 488 с.
 24. Zviahintseva A.V. Multiparameter ranking of areas based on the analysis of data about the condition of natural and anthropogenic systems // Сборник научных трудов САИТ. Донецк, 2014. – № 1 (6) – 2(7).
 25. Звягинцева А.В. Модели существования и распространения видов животных для количественной оценки биологического разнообразия // Сборник научных трудов САИТ. Донецк, 2013. – № 1 (4) – 2(5). – С. 81 – 95.
 26. Звягинцева А.В., Аверин Г.В. Метод комплексной оценки загрязнения атмосферного воздуха на основе определения вероятностей неблагоприятных событий // Геотехническая механика. Днепропетровск, 2015.
 27. Звягинцева А.В., Аверин Г.В. Стратегическая оценка статуса Украины в современном мире по данным международных организаций. Часть 2: Примеры анализа и результаты // Сборник научных трудов САИТ. Донецк, 2013. – № 1 (4) – 2(5). – С. 46 – 55.

Звягинцева А.В. Построение моделей для комплексной оценки состояния сложных систем на основе феноменологического анализа опытных данных. Предложены принципы и теоретические методы комплексной оценки сложных систем на основе использования массивов данных наблюдений и определения статистических вероятностей событий, характеризующих состояния изучаемых систем. Основные гипотезы исследования связаны с возможностью создания на основе опытных данных феноменологических моделей систем, отличающихся многомерным полемым представлением массивов данных, а также существованием скалярного поля распределений статистической вероятности характерных событий, наиболее полно отражающих изменения в состояниях систем. В качестве таких событий могут рассматриваться самые разные сложные события (как опасные, так и не опасные), которые характеризуют изменения в состояниях систем, особенности поведения этих систем или некоторые ситуации, связанные с наблюдением опасных и негативных событий или нанесением ущерба. Сформулированы принципы существования энтропии и потенциала для многомерного пространства состояний сложной системы. Показано, что энтропия и потенциал могут быть приняты в качестве обобщенных критериев для комплексной оценки. Разработанные модели позволяют предложить для практики расчетные зависимости для комплексной оценки и многопараметрического ранжирования различных объектов и систем, которые отличаются использованием объективных методов анализа данных.

Комплексная оценка, сложные системы, феноменологический анализ, многомерное пространство, энтропия, многопараметрическое ранжирование

Zvyagintseva A.V. Construction of models for integrated assessment of complex systems based on the phenomenological analysis of the experimental data. The principles and theoretical methods for integrated assessment of complex systems through the use of observational datasets and determining the statistical probabilities of events that characterize the state of the systems under study. The main hypothesis of the study related to the ability to create on the basis of experimental data of phenomenological models of systems with different multi-dimensional representation of field data sets, as well as the existence of a scalar field of statistical probability distributions of specific events that most fully reflect the changes in the systems states. As such events may be considered a variety of complex events (both dangerous and not dangerous) that characterize the changes in the systems states, especially the behavior of these systems, or certain situations related to the supervision of dangerous and adverse events or damages. Stated the principles of entropy existence and the potential for a multi-dimensional space of complex system states. It is shown that both the potential and entropy can be taken as generalized criteria for the overall assessment. The elaborated models allow to offer to practice calculated accordings for integrated assessment and multi-parameter ranking of various objects and systems that are distinguished by the use of data analysis objective methods.

Integrated assessment, complex systems, phenomenological analysis, multidimensional space, entropy, multiparameter rankings

Статья поступила в редакцию 20.09.2015
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.Н. Павлышом

УДК 004.942

Автоматизация расчета функционального зонирования при проектировании гражданских зданий

В.В. Карабчевский, М.П. Руденко
Донецкий национальный технический университет
m.p.rudenko@gmail.com

Карабчевский В.В., Руденко М.П.. Автоматизация расчета функционального зонирования при проектировании гражданских зданий. В статье рассматривается роль функционального зонирования при проектировании гражданских зданий, приводится алгоритм его расчета архитектурным методом, а также предлагается алгоритм автоматизированного расчета функционального зонирования проектируемого здания.

Введение

Главным фактором при проектировании здания является его функциональное назначение – та общественная деятельность человека, ради которой строится здание. При проектировании гражданских зданий целесообразно проводить функциональное зонирование, т.е. разбивку на зоны из однородных групп помещений, исходя из общности их функционального назначения и внутренних взаимосвязей. В ходе дальнейшего проектирования осуществляют переход от функциональной к планировочной схеме [1].

Стандартный процесс расчета и визуализации функционального зонирования проектируемого здания является затратным по времени и неэффективным т.к. изначально не виден конечный правильный результат разбивки по функциональным зонам, что усложняет процесс проектирования здания на этапе функционального и объемно-планировочного решения.

В статье предлагается решение автоматизации расчета функционального зонирования при проектировании зданий, так как эта задача на сегодняшний момент является актуальной не только для отрасли информационных технологий, но и для отрасли архитектурного проектирования и строительства [2]. Автоматизация данного расчета решит задачу не только сокращения временных затрат, но и даст точные размеры для функционально-планировочного деления плана проектируемого здания. Результаты автоматизации данного расчета позволят использовать каждый квадратный метр строго по назначению.

Целью статьи является анализ возможности автоматизации расчета построения функционального зонирования проектируемого

здания. Для решения данной цели необходимо:

- 1) Рассмотреть порядок расчета функционального зонирования при проектировании путем последовательного построения функциональной сетки на основе параметров из СНиП [3].
- 2) Рассмотреть возможность автоматизации данного алгоритма.

Анализ исследований и публикаций

Решение по улучшению функционально-планировочного проектирования предлагается в работах архитекторов, однако сам процесс просчета функционального зонирования ручной с использованием большого числа входных данных [4]. Либо процесс автоматизированный, но с использованием разработанной САПР [5].

Автоматизация процессов проектирования методами геометрического моделирования рассмотрена в научных работах и публикациях по расчету и построению инсоляции [6,7,8]. Опираясь на данные публикации, был разработан алгоритм автоматизированного расчета функционального зонирования с использованием данных из СНиП и графического редактора AutoCAD.

Анализ существующего порядка расчета функционального зонирования проектируемого здания

Расчет и функциональное зонирование проектируемого здания производится на основании следующих исходных данных:

- ситуационный план местности с указанными сторонами света и местом расположения проектируемого архитектурного здания;
- архитектурный контур проектируемого здания, вписанный в ситуационный план местности;
- функциональное назначение здания

- (жилое, офисное, торговое и т.д.);
- высотность проектируемого здания.

На основании этих данных, используя ДБН В.2.2-24:2009 «Проектирования высотных и городских споруд» [9], производится функциональное зонирование проектируемого здания.

Проектируемое здание обычно вписывается уже в существующую застройку, поэтому необходимо учесть инсоляцию существующей застройки, а именно - как в период дня освещается место проектируемого здания и какое количество тени от существующей застройки попадает на него.

Для расчета функционального зонирования проектируемого здания взят проект торгово-офисного здания на стадии эскиза, где определен пока только архитектурный контур, который уже посажен на ситуационный план местности, и перечень зон здания, согласно ДБН В.2.2-24:2009 (рис.1).

Высотность здания составляет два этажа. На первом этаже будет находиться торговый зал с подсобными помещениями и складом, на втором этаже – офисы с подсобными помещениями и столовой. На всех этажах располагается холл с лестницей.

Теперь для того, чтобы правильно распределить перечисленные зоны по контуру проектируемого здания, необходимо отобразить инсоляцию существующей застройки.

Для этого используются строительные нормативные документы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 «Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий» [10].

Построение инсоляции – это проекции окружностей, определяющих тень близлежащих от проектируемого объекта зданий.

Отображение инсоляции дает картину того, какое количество тени попадает на место проектируемого здания за периоды утро-день и день-вечер. В местах, где окружности теневых пятен заштрихованы, объект всегда будет находиться в тени. (рис.2). Радиус окружности (R_n) равен ширине здания, от которого будет падать тень. Центр окружности является центром отрезка (A_nB_n), определяющего ширину здания. На ситуационный план наносятся отрезки, соответствующие ширинам зданий, определяются центры отрезков, из которых чертятся окружности теневых пятен.

Используя полученные проекции, определяется расположение функционального зонирования проектируемого здания согласно сторонам света – помещения, где находятся люди большую часть светового дня (офисы, торговый зал, столовая), должны располагаться на стороне ЮГ – ВОСТОК, склады, подсобные помещения и

холл следует поместить на сторону СЕВЕР – ЗАПАД (рис.3). Далее, согласно СНиПу, вручную высчитываются площади функциональных зон и последовательно наносятся на чертеж в виде смежных контуров внутри архитектурного контура с разными площадями функциональных зон. Площади каждой функциональной зоны высчитываются в квадратных метрах. Значение площади зависит от расчета количества человек на квадратный метр определенной функциональной зоны.

Такой способ расчета и отображения функционального зонирования проектируемого здания является нормой при проектировании. На его основании проводится уже более четкая планировка здания по помещениям. Однако он имеет ряд недостатков с учетом сегодняшних требований к усовершенствованию рабочего процесса проектирования:

- расчет функционального зонирования по СНиП и ДБН – достаточно долгий и трудоемкий процесс из-за раздробленности данных по предполагаемым зонам проектируемого здания;
- работа с масштабом на ситуационном плане усложняет процесс зонирования здания из-за перевода единиц измерения из натурального размера в размер масштаба;
- за счет последовательного процесса зонирования проектируемого здания не виден конечный результат распределения по зонам архитектурного контура;
- фасады проектируемого здания вырисовываются уже после прорисовки приблизительной планировки здания, из-за чего окончательно не выяснены форма и виды фасадов.



Рисунок 1 - Ситуационный план местности с архитектурным контуром проектируемого здания

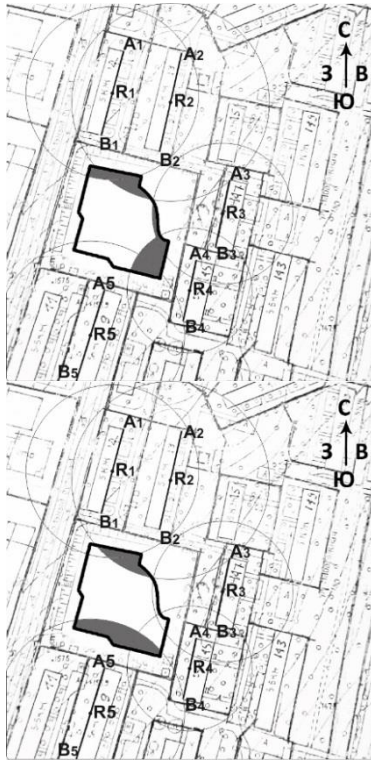


Рисунок 2 - Отображение инсоляции существующей застройки (утро-день, день-вечер)



Рисунок 3 - Функциональное зонирование проектируемого здания (1й и 2й этажи)

Алгоритм автоматизированного расчета и отображения функционального зонирования

Алгоритм автоматизированного расчета и отображения функционального зонирования состоит из двух этапов:

1. Отображение теневых пятен существующей застройки на архитектурный контур проектируемого объекта.
2. Расчет и отображение функционального зонирования.

Вся работа по построению чертежей проводится в графическом редакторе AutoCAD, а значит, проводить автоматизацию в единой среде AutoCAD с возможностью использования встроенного языка программирования AutoLisp.

Для начала необходимо установить ситуационный план местности в начальной точке координат (0,0). Дальнейшая работа с ситуационным планом выполняется в масштабе 1:1.

Для отображения инсоляции на ситуационном плане указываются точки начала и конца отрезков ширины здания, являющихся радиусами окружностей теневых пятен, для автоматического отображения окружностей и определения центров R_n окружностей (рис.4).

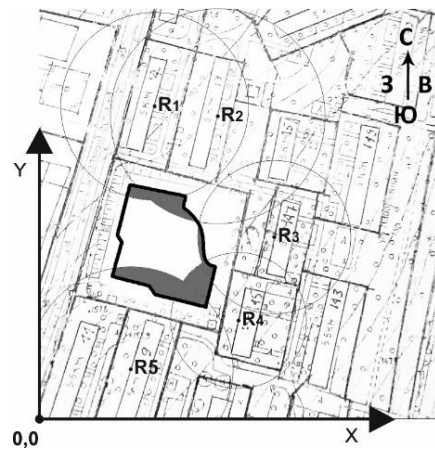


Рисунок 4 - Отображение окружностей теневых пятен

Отображения инсоляции помогает распределить функциональные зоны проектируемого контура согласно своему назначению по контурам затененной и незатененной областей архитектурного контура.

Алгоритм расчета функционального зонирования предлагается представить в виде логической модели, где в качестве запросов выступают параметры определения функционального назначения и общая площадь здания, в качестве промежуточных результатов - допустимый минимум и максимум людей,

которые могут находиться в здании, количество и назначение функциональных зон здания, а в качестве результатов выступают вычисленные площади функциональных зон (рис.5).



Рисунок 5 – Логическая модель расчета функционального зонирования

Функциональное назначение здания и общая площадь здания задаются в техническом задании проекта. Общая площадь здания определяет допустимый минимум-максимум людей, которые могут находиться в здании. Функциональное назначение здания определяет количество и функциональное назначение каждой зоны в здании. Результатом расчета является определение допустимых площадей каждой функциональной зоны.

Отображение функционального зонирования проектируемого объекта представляет из себя сетку из функциональных зон, внешняя граница которой описывает архитектурный контур. Для отображения внешнего контура функциональной сетки на проектируемый объект строится регион, внутри которого формируется функциональная сетка из вычисленных площадей функциональных зон с учетом правильного расположения согласно отображению инсоляции и возможностью динамического редактирования площадей в графическом диалоге.

Выводы и перспективы исследования

Рассмотрен порядок расчета и построения функционального зонирования, выявлены основные его недостатки и предложен алгоритм автоматизированного построения функционального зонирования с возможностью использования графического редактора AutoCAD.

Решена задача автоматизации отображения инсоляции.

Направлением для дальнейшей работы является реализация последующего этапа алгоритма на основе разработанной логической модели расчета функционального зонирования.

Литература

1. Фомина В.Ф. Архитектурно-конструктивное проектирование общественных зданий: учебное пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 207 с.
2. Норинков И.П. Автоматизированное проектирование. – Москва, 2000. – 188 с.
3. Державні будівельні норми України ДБН В.2.2-9:2009: Громадські будинки та споруди: затв. Наказ Мінрегіонбуду України від 17.12.2009 р. № 705, чинні з 2010-07-01 // Мінрегіонбуд України: - Київ, 2009. – 47 с.
4. Шамаева Т.В. Функционально-планировочные решения квартир повышенного комфорта в коммерческих многоквартирных жилых домах: на примере г. Москвы: дисс. канд. арх-ры: 18.00.02 / Московский государственный строительный университет. – Москва, 2007. – 235 с.
5. Овчинников С.Г. Автоматизация проектирования многофункциональных блокированных и зонированных интеллектуальных зданий: дисс. канд. техн. наук: 05.13.12 / Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт организации, механизации и технической помощи строительству. – Москва, 2002. – 129 с.
6. Бахарев Д.В., Орлова Л.Н. О нормировании и расчете инсоляции // Светотехника. 2006. № 1. с. 18-27 - // bakharev.org. Scientific Research Group of Prof. Deomid V. Bakharev: <http://www.bakharev.org> URL: http://www.bakharev.org/index.php?option=com_content&task=view&id=9&Itemid=1 (12.10.2015)
7. Хейфец А.Л. Автоматизация расчета инсоляции средствами компьютерного моделирования / А.Л. Хейфец, А.В. Саморуков // Информационные технологии и технический дизайн в профессиональном образовании и промышленности: сб. мат. II Всерос. науч.-практ. Конф. – Новосибирск: НГТУ, 2010. – с.149-153
8. Саморуков А.В. Способ учета инсоляции как инструмент формообразования в архитектурном проектировании // Архитектон. Известия вузов: <http://archvuz.ru> URL: http://archvuz.ru/2012_22/61 (24.09.2013)
9. Державні будівельні норми України ДБН В.2.2-24:2009: Проектування висотних житлових і громадських будинків: затв. Наказ Мінрегіонбуду України від 12.02.2009 р. № 67, чинні з 2009-09-01 // Мінрегіонбуд України: - Київ, 2009. – 105 с.
10. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01: Гигиенические требования к

инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 19

октября 2001 г. // Бестстрой.ru. –<http://best-stroy.ru/gost/r38/311>

Карабчевський В.В., Руденко М.П. Автоматизація розрахунку функціонального зонування при проектуванні громадських будівель. В статті розглядається роль функціонального зонування при проектуванні громадських будівель, наводиться алгоритм його розрахунку архітектурним методом, а також пропонується алгоритм автоматизованого розрахунку функціонального зонування при проектуванні будівлі.

Ключові слова: функціональне зонування, інсоляція, громадські будівлі, проектування, автоматизація

Karabchevsky V.V., Rudenko M.P. Automated calculation of functional zoning in the civil buildings design. The article is considering the important role of functional zoning in the civil buildings design. It has a main role in planning because of its numerous parameters, depending on civil engineering normative documents. The civil buildings design provides a functional zoning, makes a group of same using spaces into a zones. These zones perform a general functional destination. Standard process of calculation and visualization of functional zoning is expensive and ineffective. It takes a long time. The final result is visible after the complete calculation and visualization. The latest research and publications show the actuality of automated calculation in design because of its fast and exact solution and its possibility of the complete automated process. The article proposes a solution of automated calculation of functional zoning in buildings design, as this task is relevant not only for industry of information technology but also for the industry of architectural design and construction. Automation of this calculation will solve the problem not only reduction the temporary expense, but also give the exact sizes for the functional division plan of the designed building. The article is considering the standard architectural process of calculation the functional zoning, reveals its main defects and proposes the algorithm of automated calculation using graphic editor AutoCAD and its integrated computer language AutoLisp. As a result the automated display of insolation was developed. The algorithm of automated calculation of functional zoning is based on the logical model and requires a realization.

Keywords: functional zoning, insolation, civil buildings, design, automation

Стаття поступила в редакцію 20.09.2015
Рекомендована к публікації д-ром техн. наук В.Н. Павлышом

УДК 535.643.6

Контроль различия в цвете для сохранения качества изображения в модифицированном алгоритме трассировки лучей

Р.В. Мальчева, М. Юнис, Т.В. Завадская
Донецкий национальный технический университет
raisa.malcheva@gmail.com

Мальчева Р.В., Юнис М., Селинова А.И. Контроль различия в цвете для сохранения качества изображения в модифицированном алгоритме трассировки лучей. В статье выполнен анализ методов определения различия в цвете. Рассмотрено преобразование цветовых компонент из RGB-модели в LAB. Выполнен расчет допустимых отклонений в цветовых компонентах для различных разрядностей RGB-модели. Разработана UML-модель блока анализа различия в цвете.

Введение

Современные графические системы позволяют для каждого конкретного применения формировать свою архитектуру системы. Графические аппаратные и программные системы являются высокопроизводительными и, в то же время, достаточно дорогими [1]. Их реализации можно сравнивать по комплексному показателю – отношению качества полученного изображения к аппаратной сложности системы, т.е. ее стоимости. В связи с этим актуальной задачей на современном этапе является правильный выбор конфигурации системы и разработка / адаптация алгоритмов формирования изображений, т.е. достижение требуемого качества путем минимальных затрат.

Наилучшее качество, близкое к фотографическому, дает алгоритм трассировки лучей, однако, он требует больших вычислительных затрат, что привело к разработке новых архитектурных решений. Примером может служить платформа CUDA – C-подобный язык программирования со своим компилятором и библиотеками для организации вычислений на GPU с учетом прямого доступа к аппаратным возможностям [2]. Высокая производительность GPU объясняется особенностями его архитектуры и использованием массивно параллельных вычислений. В скорости доступа к видеопамати GPU также имеют значительное превосходство.

Также для реализации алгоритма трассировки лучей в корпорация AMD создан AMD Cinema 2.0, который реализует трассировку лучей в реальном времени на графических процессорах Radeon и центральных процессорах AMD Phenom [3].

В Саарландском университете (Германия) создана система SaarCOR на базе FPGA [4,5]. Работая на частоте 90 МГц, эта аппаратная

реализация алгоритма трассировки лучей позволяет обеспечить режим реального времени.

Актуальность проводимых исследований определяется постоянным увеличением сложности синтезируемых сцен, совершенствованием параллельных методов и архитектурных решений в области создания графических систем, направленных на уменьшение времени формирования изображения без потери его качества.

Постановка проблемы исследований

В [6,7] предложена модификация системы на базе FPGA. Основная идея модификации системы состоит в том, что в блок трассирования направляется меньшее количество пикселей, чем разрешение окончательного изображения. Т.е. рассмотрение пикселей выполняется с некоторым шагом, а цветовые значения непрослеженных пикселей (внутренних) формирует дополнительно введенный блок интерполяции. При этом для выбора и/или корректировки шага трассирования лучей необходимо контролировать качество синтезируемого изображения [8].

Задачей данных исследований является обоснование значения коэффициента различия в цвете при использовании RGB модели и организация контроля качества изображения в модифицированном алгоритме трассировки лучей.

Анализ методов определения цветового различия

В колориметрии [9] применяется формула цветового различия, представляющая собой математическое представление, позволяющее численно выразить различие между двумя цветами. Международный комитет CIE задает определение цветовой разницы через ΔE (также ΔE^* , dE^* , dE , ΔE_{ab}^* или ΔE_{94}).

Общая разница ΔE между двумя цветами в унифицированном цветовом пространстве (установлен в 1964 г. и широко использовался до 1976 г.) определяется следующим образом:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta U^*)^2 + (\Delta V^*)^2 + (\Delta W^*)^2}, \quad (1)$$

где $\Delta U^* = U_1^* - U_2^*$, $\Delta V^* = V_1^* - V_2^*$,

$$\Delta W^* = W_1^* - W_2^*, \quad W^* = 25 \cdot \sqrt[3]{Y} - 17,$$

$$U^* = 13 \cdot W^* \cdot (u - u_n), \quad V^* = 13 \cdot W^* \cdot (v - v_n),$$

где u, v, u_n и v_n – хронометрические координаты прямого и диффузного отражения; W^* – задает освещенность и приблизительно равно $10 \cdot V$; V – значение Мюнселла [10].

В цветовом пространстве CIELAB (известном как CIE 1976 $L^*a^*b^*$) задаются следующие трехмерные ортогональные координаты [9]:

$$\begin{aligned} L^* &= 116 \cdot \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} - 16, \\ a^* &= 500 \cdot \left(\sqrt[3]{\frac{X}{X_n}} - \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} \right), \\ b^* &= 200 \cdot \left(\sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} - \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_n}} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

где L – освещенность; a, b – называются цветовыми координатами и представляют собой комбинацию цветового тона и интенсивности цвета (хроматизм); X, Y, Z – три цветовых стимула; X_n, Y_n, Z_n – три стимула диффузного отражения, значения нормализованы таким образом, что $Y_n = 100$.

Хроматизм можно получить по значениям a, b , используя выражение (3), а цветовой тон – по (4):

$$C_{ab}^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}. \quad (3)$$

$$h_{ab}^* = \frac{1}{\tan\left(\frac{b^*}{a^*}\right)}. \quad (4)$$

В цветовом пространстве CIELAB различие в цвете определяется как

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}, \quad (5)$$

где $\Delta L^* = L_1^* - L_2^*$, $\Delta a^* = a_1^* - a_2^*$, $\Delta b^* = b_1^* - b_2^*$.

Аналогичным образом различие в цвете определяется и в пространстве CIELUV [10]. Экспериментально было получено максимальное значения коэффициента различия, при котором 2 цвета для человека (используется понятие «стандартный наблюдатель», т.е. без каких-либо отклонений зрения) выглядят одинаково. Это значение принято равным 2,3 [11].

Следует заметить, что рассмотренные цветовые пространства не учитывают неодинаковую чувствительность глаза к световому тону, что является их существенным недостатком. Кроме того, система координат CIELAB первоначально предназначалась для оценки цветовых различий, то есть для целей измерения. И хотя, оперируя данными в этой координатной системе, можно получать неплохой результат, в силу нелинейности CIELAB не является пространством, где возможны манипуляции с цветовыми стимулами как с векторами в линейном пространстве, так становятся некорректными с физической точки зрения такие преобразования изображений как размытие, пространственные преобразования (изменение размера, коррекция искажений и т.п.), использующие интерполяцию.

Коэффициент максимального различия цветовых компонент в системе RGB

Чувствительность глаза к цветовому тону зависит от положения цвета в спектре. Человеческий глаз лучше всего различает цвета в средней части спектра: от голубого до оранжевого. Здесь достаточно изменения длины волны на 1–2 нм для того, чтобы почувствовать изменение цвета. В области красного и фиолетового цветов разностный порог резко увеличивается, доходя до десятков и сотен нанометров. Это можно объяснить тем, что в средневолновой области отношения R, G и B возбуждений меняются наиболее быстро. У краев спектра эти отношения изменяются гораздо медленнее, поэтому мы плохо замечаем изменения длины волны. Цветовой тон воспринимается неодинаково при различной яркости цвета. Так, при ослаблении мощности светового потока видимый спектр, прежде чем стать совсем бесцветным, сводится всего к трем цветам: красному, зеленому и фиолетово-синему. То же самое происходит при существенном снижении освещенности окрашенных в разные цвета поверхностей: воспринимаются только три основных цвета, переходы между ними исчезают. Это объясняется тем, что при ослаблении раздражителя более слабые возбуждения (между максимумами трех кривых) опускаются ниже порога ощущения скорее, чем более сильные возбуждения.

Значения стандартной чувствительности человеческого глаза к восприятию различных цветов взяты из [12] и приведены в табл.1.

Таблица 1. Значения чувствительности человеческого глаза к восприятию различных длин волн

Длина волны, λ , нм	Коэффициент чувствительности, χ_c
400	0,0004
410	0,0012
...	
530	0,8620
540	0,9540
550	0,9555
555	1,0000
560	0,9555
...	
760	0,00006

Цветовой тон воспринимается неодинаково при различной яркости цвета. Так, при ослаблении мощности светового потока видимый спектр, прежде чем стать совсем бесцветным, сводится всего к трем цветам: красному, зеленому и фиолетово-синему. То же самое происходит при существенном снижении освещенности окрашенных в разные цвета поверхностей: воспринимаются только три основных цвета, переходы между ними исчезают. Это объясняется тем, что при ослаблении раздражителя более слабые возбуждения (между максимумами трех кривых) опускаются ниже порога ощущения скорее, чем более сильные возбуждения.

Аналогично выражению (1) в качестве критерия оценки сохранения качества изображений в модифицированном алгоритме трассировки лучей авторами предложен [7, 8] коэффициент максимального различия цветовых компонент в системе RGB, который, учитывая диаграмму относительного зрения, определяется согласно выражению (6).

$$K_{mrc} = \sqrt{(\Delta R \cdot \chi_R)^2 + (\Delta G \cdot \chi_G)^2 + (\Delta B \cdot \chi_B)^2}, \quad (6)$$

где ΔR , ΔG , ΔB - значения абсолютного различия двух изображений по красной, зеленой и синей компонентам; χ_R , χ_G , χ_B - коэффициенты чувствительности человеческого глаза к восприятию соответствующего цвета.

Расчет допустимых различий в цветовых компонентах

Путем интерполяции значений, приведенных в табл.1, примем следующие значения коэффициентов чувствительности:

$$\chi_R = 0,40; \quad \chi_G = 0,98; \quad \chi_B = 0,10.$$

Примем значение коэффициента максимального различия в цвете для 8-битных компонент RGB также равным 2,3. Путем обратных вычислений получим, что для получения такого значения различия должны иметь значения $\Delta R = 3, \Delta G = 2, \Delta B = 5, n = 8$.

Для сравнения с различием в CIELAB выполним преобразование цветовых компонент из RGB вначале в систему XYZ, а затем в LAB с применением выражений (7-13) [11].

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} = T \cdot \begin{bmatrix} g\left(\frac{\Delta R}{2^n - 1}\right) \\ g\left(\frac{\Delta G}{2^n - 1}\right) \\ g\left(\frac{\Delta B}{2^n - 1}\right) \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$g(K) = \begin{cases} \left(\frac{K + 0.055}{1.055}\right)^{2.2}, & K > 0,04045 \\ \frac{K}{12.92}, & K \leq 0,04045 \end{cases}, \quad (8)$$

где K – нормализованное путем деления на $(2^n - 1)$ значение абсолютной разницы двух изображений по компоненте R , G или B , а n – разрядность представления компоненты.

$$\Delta L^* = 116 \cdot f\left(\frac{\Delta Y}{1}\right) - 16, \quad (9)$$

$$\Delta a^* = 500 \cdot \left(f\left(\frac{\Delta X}{0.9505}\right) - f\left(\frac{\Delta Y}{1}\right) \right), \quad (10)$$

$$\Delta b^* = 200 \cdot \left(f\left(\frac{\Delta Y}{1}\right) - f\left(\frac{\Delta Z}{1.089}\right) \right), \quad (11)$$

$$f(k) = \begin{cases} \sqrt[3]{k}, & k > 0,008856 \\ 7,787k + \frac{16}{116}, & k \leq 0,008856 \end{cases}, \quad (12)$$

$$T = \begin{bmatrix} 0,4124 & 0,3576 & 0,1805 \\ 0,2126 & 0,7152 & 0,0722 \\ 0,0193 & 0,1192 & 0,9505 \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Эквивалент на C# следующий:

```
public static CIEXYZ RGBtoXYZ(int red, int green, int blue)
{
    // нормализовать значения красного, зеленого,
    // синего
    double rLinear = (double)red/255.0;
    double gLinear = (double)green/255.0;
    double bLinear = (double)blue/255.0;
    // преобразовать в форму sRGB
    double r = (rLinear > 0.04045)?
    Math.Pow((rLinear + 0.055)/(1 + 0.055), 2.2)
    : (rLinear/12.92);
```

```

double g = (gLinear > 0.04045)?
Math.Pow((gLinear + 0.055)/(1 + 0.055), 2.2)
: (gLinear/12.92);
double b = (bLinear > 0.04045)?
Math.Pow((bLinear + 0.055)/(1 + 0.055), 2.2)
: (bLinear/12.92);
// преобразовать в XYZ
return new CIEXYZ(
    (r*0.4124 + g*0.3576 + b*0.1805),
    (r*0.2126 + g*0.7152 + b*0.0722),
    (r*0.0193 + g*0.1192 + b*0.9505)
);
}
// функция f
private static double Fxyz(double t)
{
    return ((t > 0.008856)? Math.Pow(t,
(1.0/3.0)) : (7.787*t + 16.0/116.0));
}
// преобразовать в CIELab.
public static CIELab XYZtoLab(double x,
double y, double z)
{
    CIELab lab = CIELab.Empty;
    lab.L = 116.0 * Fxyz(y/CIEXYZ.D65.Y)-16;
    lab.A = 500.0 * (Fxyz(x/CIEXYZ.D65.X) -
Fxyz(y/CIEXYZ.D65.Y));
    lab.B = 200.0 * (Fxyz(y/CIEXYZ.D65.Y) -
Fxyz(z/CIEXYZ.D65.Z));
    return lab;
}

```

Численный просчет для
 $\Delta R = 3, \Delta G = 2, \Delta B = 5, n = 8$.

rLinear = (double)3/255,0= 0,011765;
gLinear = (double)2/255,0= 0,007843;
bLinear = (double)5/255,0= 0,019608.

Т.к. rLinear < 0.04045, то
 $r = rLinear / 12,92 = 0,000911$.
Т.к. gLinear < 0.04045, то
 $g = gLinear / 12,92 = 0,000607$.
Т.к. bLinear < 0.04045, то
 $b = bLinear/12,92 = 0,001518$.

$X = 0,000911 \cdot 0,4124 + 0,000607 \cdot 0,3576 +$
 $0,001518 \cdot 0,1805 = 0,000867$.
 $Y = 0,000911 \cdot 0,2126 + 0,000607 \cdot 0,7152 +$
 $0,001518 \cdot 0,0722 = 0,000737$.
 $Z = 0,000911 \cdot 0,0193 + 0,000607 \cdot 0,1192 +$
 $0,001518 \cdot 0,9505 = 0,001532$.

Соответствующие значения для белого
цвета равны:

rLinearW=gLinearW=bLinearW=1.
rW=gW=bW=1.

$X_w = 1,0 \cdot 0,4124 + 1,0 \cdot 0,3576 +$
 $1,0 \cdot 0,1805 = 0,9505$.

$Y_w = 1,0 \cdot 0,2126 + 1,0 \cdot 0,7152 +$
 $1,0 \cdot 0,0722 = 1,0000$.

$Z_w = 1,0 \cdot 0,0193 + 1,0 \cdot 0,1192 +$
 $1,0 \cdot 0,9505 = 1,0890$.

$X_r = X / X_w = 0,000867 / 0,9505 = 0,000912$.

$Y_r = Y / Y_w = 0,000737 / 1,0000 = 0,000737$.
 $Z_r = Z / Z_w = 0,001532 / 1,0890 = 0,001407$.

$F(X_r) = 0,000912 \cdot 7,787 + 16 / 116 = 0,14503$.
 $F(Y_r) = 0,000737 \cdot 7,787 + 16 / 116 = 0,143673$.
 $F(Z_r) = 0,001407 \cdot 7,787 + 16 / 116 = 0,148889$.

$L = 116,0 \cdot 0,143673 - 16 = 0,66022$.

$A = 500,0 \cdot (0,14503 - 0,143673) = 0,678789$.

$B = 200,0 \cdot (0,143673 - 0,148889) = -1,04327$.

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(0,66)^2 + (0,68)^2 + (-1,04)^2} = 1,4.$$

Т.е. для удовлетворения ограничения $\Delta E_{ab}^* = 2,3$ различия в цветовых компонентах $\Delta R, \Delta G, \Delta B$ могут быть больше принятых. Результаты аналогичных расчетов для значений $\Delta R, \Delta G, \Delta B$, удовлетворяющих $\Delta E_{ab}^* = 2,3$ при 8-мибитном и 10-тибитном представлении цветовых компонент, приведены в табл.2. Также приведено соответствующее значение коэффициента различия в цвете, вычисляемого по формуле (6).

Таблица 2. Преобразование цветовых компонент из RGB в CIELAB

Переменная С#	Разрядность, бит/компоненту		Для белого цвета
	n=8	n=10	
$2^n - 1$	255	1023	
ΔR	6	24	
ΔG	4	16	
ΔB	8	32	
rLinear	0,0235	0,0235	1,0000
gLinear	0,0157	0,0156	1,0000
bLinear	0,0314	0,0313	1,0000
r	0,0018	0,0018	1,0000
g	0,0012	0,0012	1,0000
b	0,0024	0,0024	1,0000
X	0,0016	0,0016	0,9505
Y	0,0014	0,0014	1,0000
Z	0,0025	0,0025	1,0890
Xr	0,0017	0,0017	
Yr	0,0014	0,0014	
Zr	0,0023	0,0023	
F(Xr)	0,1512	0,1512	
F(Yr)	0,1491	0,1490	
F(Zr)	0,1557	0,1557	
L	1,2925	1,2887	
A	1,0794	1,0762	
B	-1,3296	-1,3257	
ΔE_{ab}^*	2,1455	2,1393	
K_{mrc}	4,67	18,66	

Расчеты показали, что для 8-мибитных значений цветовых компонент допустимые различия составляют:

$$\Delta R_c^8 = 6, \Delta G_c^8 = 4, \Delta B_c^8 = 8.$$

Для n -битных значений допустимые различия будут определяться согласно выражению (14).

$$\Delta C_c^n = \Delta C_c^8 \cdot 2^n, \quad (14)$$

где C – значение соответствующей компоненты.

Разработка UML-модели блока анализа различия в цвете

При разработке блока анализа различия в цвете использовано представление процессов в виде UML-диаграмм [13], которые являются общей основой для современного моделирования и проектирования цифровых устройств. Унифицированный язык моделирования UML позволяет создать платформу для независимого описания, которое затем может быть использовано для принятия решений о

программной или аппаратной реализации той или иной части системы [14].

UML позволяет отображать параллельные процессы и поддерживается значительной частью инструментальных средств.

Вышеприведенные расчеты показали, что для упрощения аппаратной реализации вместо вычисления квадратного корня (выражение 6) для обеспечения $\Delta E_{ab}^* = 2,3$ достаточно проверить выполнение условия (15) для каждой цветовой компоненты C .

$$-dCc \leq DelC \leq dCc, \quad (15)$$

где $DelC$ – разница ΔR , ΔG или ΔB ; dCc – допустимое различие ΔR_c , ΔG_c или ΔB_c .

Проверку условий (15) и установку соответствующих флагов R_OK , G_OK , B_OK удобно выполнять сразу после вычисления разностей компонент. Этот процесс реализует Sub-machine 1, UML-диаграмма которой показана на рис. 1а.

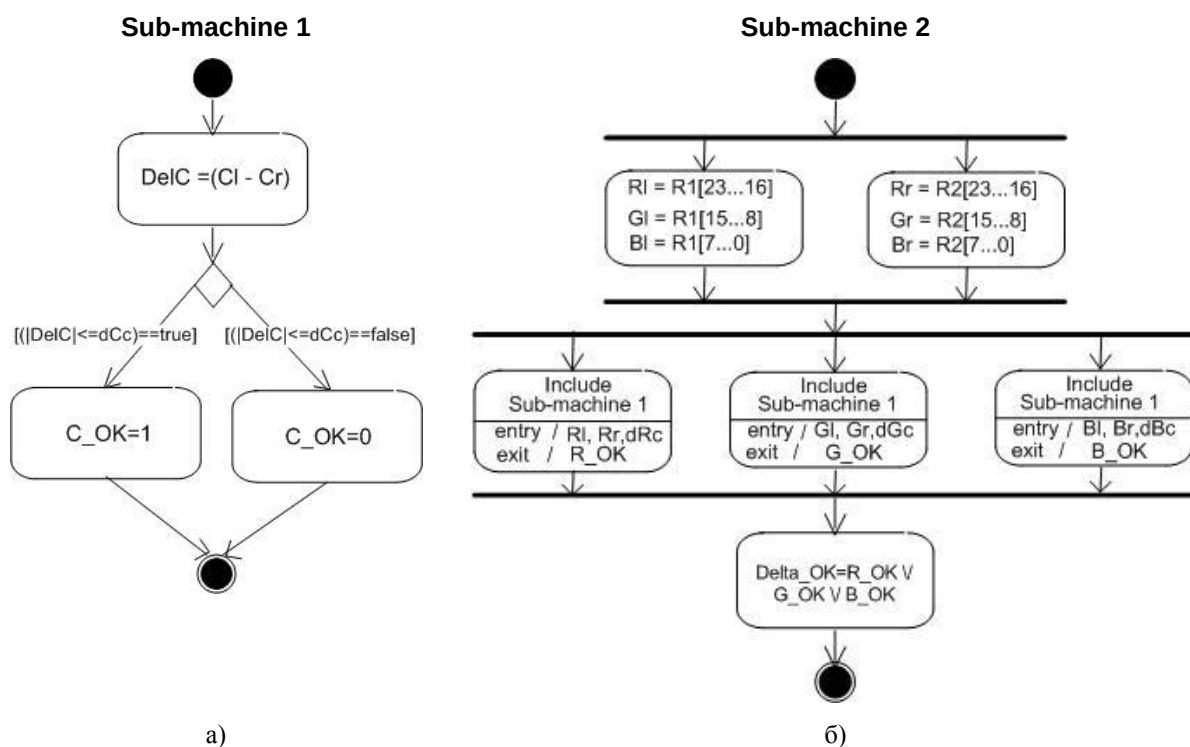


Рисунок 1 – UML-диаграммы блока анализа различия в цвете: а) диаграмма анализа одной световой компоненты; б) диаграмма работы блока

Различия цветовых компонент являются независимыми величинами, поэтому их анализ выполняется параллельным включением процессов. Флаг ΔOK будет устанавливаться в 1, если все условия из (15) выполнены, т.е. флаги $R_OK=1$, $G_OK=1$,

$B_OK=1$. Для этого в Sub-machine 2 (рис.1б) использована логическая операция «или».

Заключение

В данной работе указано на необходимость контроля сохранения качества синтезируемого изображения при построении

графических систем на базе модифицированного метода трассировки лучей. Для обоснования критерия сохранения качества изображения проведено сравнение различных цветовых моделей с точки зрения вычисления разницы в цвете, а также их применимости для графических алгоритмов обработки. Произведен расчет для каждой компоненты допустимых значений разницы двух изображений, синтезируемых с использованием RGB цветовой модели. Выполнена разработка UML-диаграммы блока анализа различия в цвете.

Список использованной литературы

1. Башков Е.А. Система синтеза изображений в реальном времени для испытательных стендов / Е.А. Башков, А.Я. Аноприенко, Р.В. Мальчева // Гибридные вычислительные машины и комплексы. - Вып.15. - К.: Наукова думка, 1992. - С. 72-75.
2. Программный ускоряющий движок NVIDIA OptiX: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.nvidia.ru/object/optix_ru.html - Заглавие с экрана.
3. AMD Cinema 2.0: новое слово визуализации: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.thg.ru/technews/20080619_110000.html - Заглавие с экрана.
4. Schmittler Jörg. Realtime Ray Tracing of Dynamic Scenes on an FPGA Chip / Jörg Schmittler, Sven Woop, Daniel Wagner, Wolfgang J. Paul, and Philipp Slusallek. // Computer Science, Saarland University, Germany, 2004. - P. 8.
5. Yunfan Zhang. FPGA Ray Tracer: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.eeweb.com/project/yunfan_zhang/fpga-ray-tracer - Заглавие с экрана.
6. Malcheva R. An Acceleration of FPGA-based Ray Tracer / R. Malcheva, M. Yunis // European Scientific Journal, 2014. - Vol.10. - N7. - PP.186-190.
7. Мальчева Р.В. Реализация модифицированного алгоритма трассировки лучей на кластере NeClus / Р.В. Мальчева, М. Юнис // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація». - №1(24)'2013.- Донецьк: ДонНТУ, 2013. - С.263-268.
8. Мальчева Р.В. Исследование влияния шага трассирования лучей и коэффициента различия в цвете на время выполнения формирования изображения / Р.В. Мальчева, М. Юнис, А. Джамиль // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». - Донецьк: ДонНТУ, 2011. - Вип. 14(188). - С. 195-201.
9. Noboru Ohta, Robertson Alan R. Colorimetry: Fundamentals and Applications. - John Wiley & Sons Ltd, 2005. - 354 pp.
10. Wyszecki G. Colorimetry // in Handbook of Optics, Chapter 9, McGraw-Hill, New York, 1978. - PP. 197-206.
11. Robertson Alan R. Historical development of CIE recommended color difference equations / Alan R. Robertson // Color Research & Application, 1990. - PP.167-170.
12. Новаковский С.В. Цвет в цветном телевидении. - М.: Радио и связь, 1988. - С.16-17.
13. Mellor, S.J., Balcer, M.J. Executable UML. A Foundation for Model-Driven Architecture. - Indianapolis. Addison-Wesley, 2002. - 322 pp.
14. Malcheva R. Application of multilevel design on the base of UML for digital system developing // in book «Design of Digital Systems and Devices. Series: Lecture Notes in Electrical Engineering». - Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. - Vol. 79. - PP. 93-117.

Поступила в редколлегию 30.09.2015

R.V. MALCHEVA, M. YUNIS, T.V. ZAVADSKAYA. CONTROL OF A COLOR DIFFERENCE TO SAVE THE IMAGE QUALITY IN MODIFIED RAY-TRACING ALGORITHM. During a modification of SaarCor system a method for interpixel interpolation based on the assumption that adjacent pixels traced images have roughly the same color options was proposed. The main idea is: to trace the pixels with a some step, depending on the quality needs. To perform adjustment of an interpolation step a coefficient of color differences is used. This article gives an analysis of the methods for a Color Difference determining. The transformation of the RGB color components to the LAB - model is considered. The tolerances in the color components' differences for RGB-model are calculated. A UML-model of a unit for color differences analyzes is developed.

Keywords: color components, color difference, RGB-model, unit, UML-diagram.

Р.В. МАЛЬЧЕВА, М. ЮНІС, Т.В. ЗАВАДСЬКА. КОНТРОЛЬ ВІДМІННОСТІ В КОЛЬОРІ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕННЯ В МОДИФІКОВАНОМУ АЛГОРИТМІ ТРАСУВАННЯ ПРОМЕНІВ. Під час модифікації системи SaarCor був запропонований спосіб міжпиксельної інтерполяції на основі припущення, що суміжні пікселі зображення мають приблизно однакові компоненти кольору. Основна ідея полягає в наступному: простежити пікселі з деяким кроком, в залежності від потреб якості. Для виконання регулювання кроку інтерполяції використовувати коефіцієнт колірних відмінностей. Ця стаття дає аналіз методів для визначення різниці кольору.

Перетворення колірних компонентів RGB в LAB - модель розглядається. Розраховані допуски у відмінностях колірних компонентів для RGB-моделі. Розроблена UML-модель блоку для аналізу колірних відмінностей.

Ключові слова: *кольорова компонента, різниця у кольорі, RGB-модель, блок, UML- діаграма.*

Стаття поступила в редакцію 20.09.2015

Рекомендована к публікації д-ром техн. наук В.Н. Павлюшом

УДК 007.52/917.51:622.003.5

The mathematical modeling and automatic control of pneumohydrodynamic treatment process on underground rock massifs

V.N. Pavlysh, L.A. Lazebnaya, Ismail Haser Dayeh, E.V. Perinskaya
Donetsk National Technical University

pavlyshvn@mail.ru, l.lazebnay@mail.ru, alialjrdy@yahoo.com, perinskayaelen@mail.ru

Pavlysh V.N., Lazebnaya L.A., Ismail Haser Dayeh, Perinskaya E.V. The mathematical modeling and automatic control of pneumohydrodynamic treatment process on underground rock massifs The problem of research and control of technological process of pneumatic and hydrodynamic treatment on underground rock massive, saturated with carbo-hydrate minerals, is very important for mine industry. During the development process of formation of mineral deposits, in particular oil and gas arrays, there comes a time when lightly extracted part of the product ends and significant reserves remain sequestered within the array, resulting in reduced production volumes. In this case becomes important problem of increasing the intensity of extraction of useful product. One of the main ways of solving the problem is a purposeful change in the properties of the array by external influences, particularly pneumatic and hydraulic dynamical processing, while negative effect anisotropy array. Quality implementation exposure provided by automatic process control, which allows you to quickly react to put out of negative influence of anisotropy and ensure the stability of technological parameters. In this context, the theme of the work is actual. Purpose of the work is the studying of the pneumohydrodynamic treatment process on gas-saturated rock massif by mathematical modeling and elaboration of recommends for automatic control of impact technology schemes. When designing technology schemes of pumping of liquid agent must make a preliminary calculation of the basic parameters, such as injection pressure, flow rate (tempo, and others. To solve the problem, a linearized model of fluid flow in fractured porous media is applied. The equations of the same type are obtained to describe the process of movement of air, or gas-liquid mix. The simulation of the one-dimensional flow does not provide sufficient information for the theoretical understanding of the nature of the process. To solve the problem of mathematical modeling of hydraulic impact to an array with a two-dimensional (planar) formulation technique of longitudinal-transverse direction (Douglas) is used. The mathematical models form the basis of a software management system. The main feature of the process is the impact that the object (mountain range) "closed" from direct observation, and a mathematical model to simulate the process of impact, based on information about the "reaction" to the impact of the object. Comparing the data, the system fulfills team correction controlled parameters. On the basis of theoretical concepts, received practical advice on choosing the structure and technological parameters of the automated control system, developed an algorithm for selecting the optimal approximate vector control process pneumohydrodynamic impact.

Keywords: process, mathematical model, control, massif, system.

1. Introduction.

During the development process of formation of mineral deposits, in particular oil and gas arrays, there comes a time when lightly extracted part of the product ends and significant reserves remain sequestered within the array, resulting in reduced production volumes. In this case becomes important problem of increasing the intensity of extraction of useful product. One of the main ways of solving the problem is a purposeful change in the properties of the array by external influences, particularly pneumatic and hydraulic dynamical processing, while negative effect anisotropy array. Quality implementation exposure provided by automatic process control, which allows you to quickly react to put out of negative influence of anisotropy and ensure the stability of technological parameters. In this context, the theme of the work is actual.

Purpose of the work - to study the structure of the system and control algorithms process steps pneumohydrodynamic impact on saturated rock massive.

2. Section contents.

Pneumohydrodynamic saturated groundwater treatment is carried out by high-pressure arrays aerated fluid injection through wells drilled from the surface on the horizon is to change its status to intensify the yield of usable product. In addition, hydrodynamic impact on the producing formation is carried out in order to alter the balance of his status as a method of pre-selection activation of hydrocarbons [1, 2].

Essence pneumohydrodynamic impact is compulsory introduction mixture of air and liquid in the array developed under high pressure with subsequent discharge (Fig. 1).

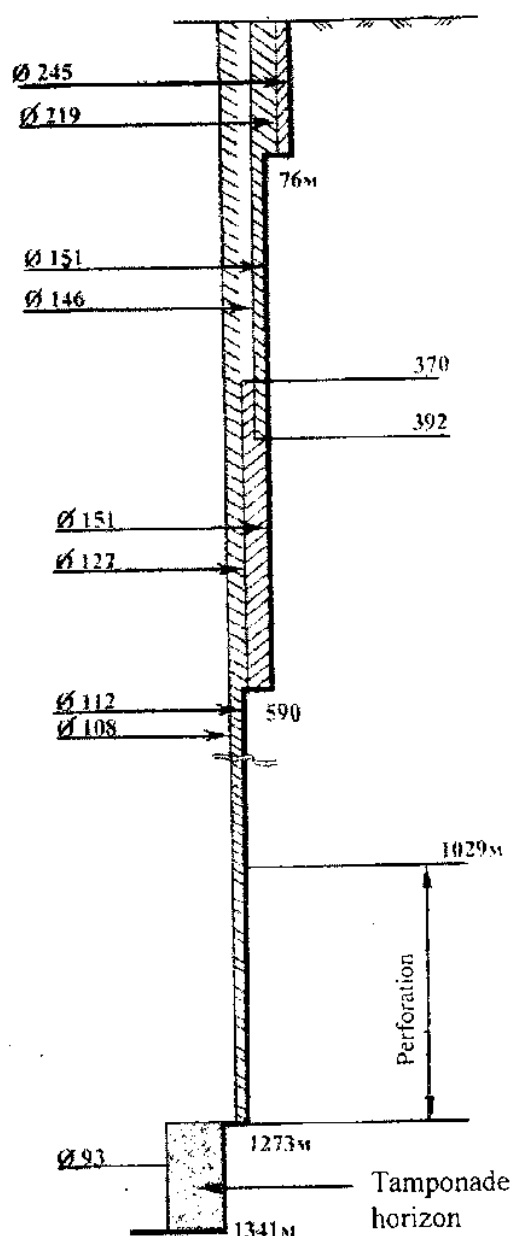


Figure 1. Geological section of the surface of the well.

Integrated pneumohydrodynamic impact is complex multifactorial process, and it is necessary to apply the rational organization of automated control. Consider the basic provisions of the modern concept of Geotechnology commercial production of hydrocarbons due to the energy of natural forces.

Virtually all applicable Geotechnology reduced to the well producing hydrocarbons and consist of:

- Drilling from the surface to the producing formation with its opening;
- The impact of different kinds of wells in the reservoir to increase its natural gas permeability;

- Pumping up filtering [3].

This approach is commonly referred to as "traditional".

Differences "alternative" approach to a "traditional" Truce in the second paragraph and theoretical assumptions [4]. For "alternative" approach to the second point can be formulated as "the creation of conditions for self-hills on well (exposure of the array into the well) to initiate (start) out of hydrocarbons". The basic idea of an alternative approach, except for changing the direction of the stimulation on the opposite, the assumption is that the permeability of the reservoir and discharge sources are shown simultaneously and technogenic origin.

If we consider a system of "productive layer - production (well)" in terms of synergy, the traditional scientific knowledge of saturated arrays undergo significant changes. For example, a well-known fact that from a certain depth of exploitation array acquires the ability to self-destruct with the formation of spin zone is interpreted as the formation of an ordered tree of man-made cracks – "dissipative structures". These and other kinds of dissipative structures, consisting of man-made cracks in the vicinity of the exposed surface, usually referred to as "tree" system of cracks [5].

Second example. The hydrocarbon layer appears "active" medium, i.e. environment in which there supposedly "canned" energy, which during the passage of the front of the softening process, "connected" and involved in the further development of this process. Consequently, the processes occurring in the saturated rock masses, at certain critical conditions, are autowave.

Basic (sufficient) evidence on which the system "saturated layer - production (well)", falls under the typical tasks of synergy, the following:

- The system is open for some time (some time because after the dynamic or gas-dynamic phenomena it closes itself, so there are conditions for the damping effects);

The system is very distant from its equilibrium, for example, at the opening of the producing formation or mining operations, as evidenced by, respectively, the gas-dynamic phenomena on the mega-level and self-destruction of the array at the macro level (the growing crack, spin, cartridge, etc.);

- Formed in the system dissipative structures on LI Prigogine type Benard cells, i.e. at the critical density of rock pressure environment clears excess mechanical energy by restructuring in the direction of increasing its capacity, which confirms the observations in the mine, such as peeling, cartridge, the destruction of the core. Cracks are not visually observed due to the small hiatus, but recorded a special laboratory tests of samples taken after a certain distance.

Medium under consideration is, in the terminology of

synergy, "active medium" as the medium contains sources of additional energy, which are the gravitational forces and the gas pressure, appearing immediately after the passage of the front of the formation of dissipative structures, as evidenced by the observed geodynamic phenomena.

Known techniques to stimulate extraction through the wells drilled from the surface, for example, hydraulic fracturing directed hydrodismemberment layers, etc. are used when drilling the resulting "tree" system cracks around technological injection well in which the working fluid or other agent in order to further their disclosure.

When designing technology schemes of pumping of liquid agent must make a preliminary calculation of the basic parameters, such as injection pressure, flow rate (tempo), and others.

To solve the problem, a linearized model of fluid flow in fractured porous media is applied [3]:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K(x) \frac{\partial P}{\partial x} \right)$$

The equations of the same type are obtained to describe the process of movement of air, or gas-liquid mix.

The automatic control system was effective for the treatment of an array, you must use the model in real time, and on the other hand, the filtration characteristics of the reservoir are actually random variables whose values are initially based on average data exploration. In the circumstances, the following approach adopted.

The system of using two models:

- the original model of the rock massive with its characteristics of geological data;
- a forecast model, reflecting the expected state at the moment, on the basis of the information on the results of the effects in real time.

This approach allows you to escape from the Selection and subsequent design of the system is complicated by uncertainty, which is a fundamental feature of the implementation process and the impact of management principles algorithmization. Table 1 shows the comparative characteristics of the main

types of management structure: functional, matrix and project [5].

In the context of the turbulent environment and significant parametric and structural uncertainties are more acceptable matrix and project management structure.

The simulation of the one-dimensional flow does not provide sufficient information for the theoretical understanding of the nature of the process. To solve the problem of mathematical modeling of hydraulic impact to an array with a two-dimensional (planar) formulation technique of longitudinal-transverse direction (Douglas)

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[k(p) \frac{\partial p}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k(p) \frac{\partial p}{\partial y} \right]$$

The mathematical models form the basis of a software management system. The main feature of the process is the impact that the object (mountain range) "closed" from direct observation, and a mathematical model to simulate the process of impact, based on information about the "reaction" to the impact of the object. Comparing the data, the system fulfills team correction controlled parameters.

Fig. 2 shows the functional- logical structure of automated control system (ACS).

The input selection block conditionally optimal set of parameters control receives information vectors, which are formed in databases quickly replenished by information from technical controls. The degree of correction, which is subjected to the input vectors, depends on several factors determine the trend of the process. If the value of the criterion ε decreases during the process, all the input vectors are considered candidates for review.

Simulation modeling to determine the overall trend in the direction of a process runs automated selection of parameters of operational management. However, it is necessary to have the current choice of the complex algorithm parameters. Fig. 3 shows a block diagram of the control of the selection algorithm set close to optimal.

When you build a system of control of an important component is the unit software, designed to simulate

Table 1. The main types of control structure.

Criteria for assessing the structure	Functional	Matrix	Project
Uncertainty medium	low	high	high
Technology implementation	standard	complex	new
The complexity of process	low	medium	high
Duration of the process	short	medium	high
Mutual relationship between the individual components	low	average	significant
Criticality runtime	low	medium	high
Communication with higher-level systems	strong	medium	weak

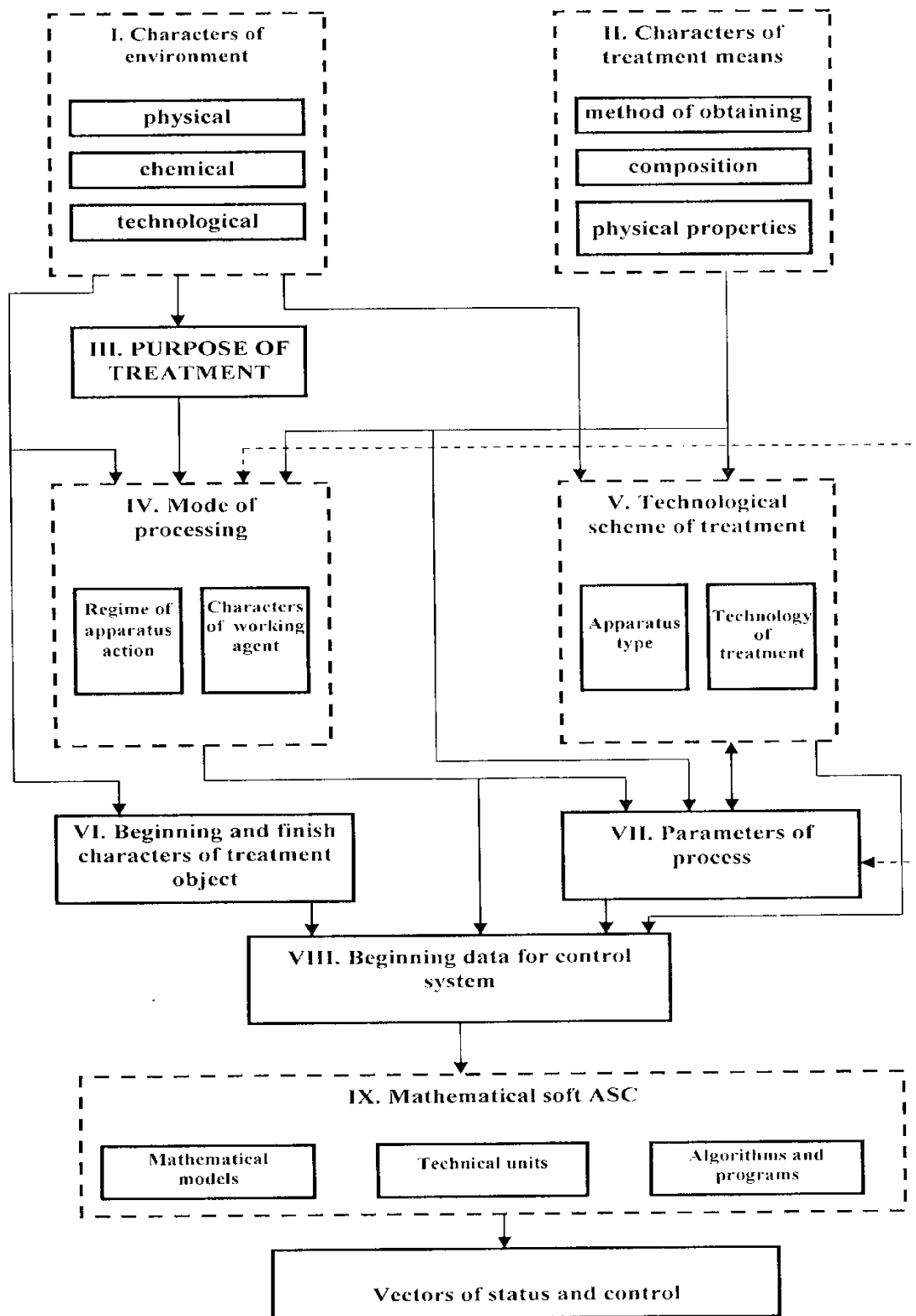


Figure 2. Functional-logical structure of the Automatic Control System (ACS)

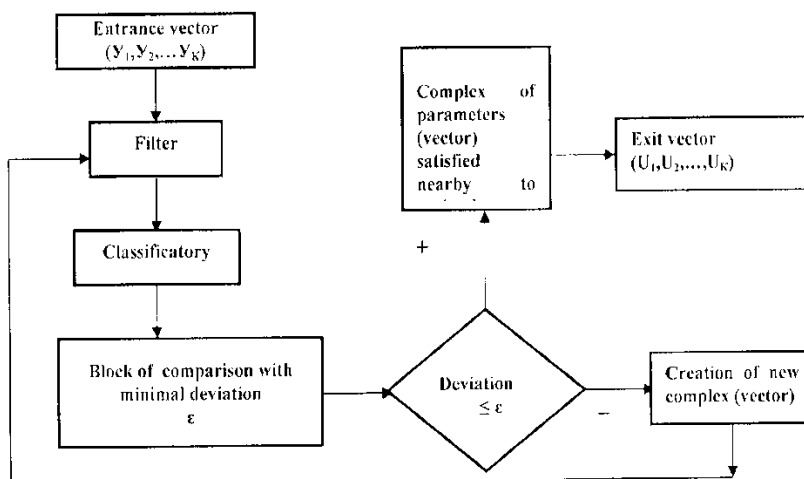


Figure 3. Flowchart selection of the current control vector.

the condition and operational definition of current results.

As stated above, the purpose of automation-stabilization technology options.

The system includes the technological schemes of all interventions, coordinating the work carries out central module (CM). The generalized structure of the system is shown in Figure 2. Here SB – a single borehole, LM – local method, RM – regional method, ELC – effects on a layer in the complex, CHT – cascade Hydro-treating.

The switch selects the specified flow chart and sets the direction of further operation.

3. Conclusions.

As a result of technological implementation process pneumohydrodynamic anisotropic effects on underground saturated mass is forced introduction of air and liquids under high pressure in natural cavities, causing an array of structural changes, accompanied by the expansion of pores and cracks. After discharge the activated selection of hydrocarbons into the well of the array.

On the basis of theoretical concepts, received practical advice on choosing the structure and technological parameters of the automated control system, developed an algorithm for selecting the optimal approximate vector control process pneumohydrodynamic impact.

Task selection and effects that improve the quality of treatment in spite of the unfavourable structure of the array. In other words, it is also necessary to improve technology to processing to compensate for unfavourable characteristics of the building of the reservoir. One possible way is the way of the hydraulic impact through the cascade of

wells (way to cascade moisturizing treatment). Studies of fluid discharge in coal seam through the cascade wells led to the conclusion that the use of this method to improve the uniformity of processing array.

4. Reference.

1. Hydrodynamic effects on gas-bearing coal seams / A.F. Bulat, K.K. Sophiyskiy, D.P. Silin, etc. - Dnepropetrovsk, 2003.-220 p.
2. Pavlysh V.N., Shtern Y.M. Basic theory and technology parameters hydropneumatic processes impact on coal seams / Monograph. - Donetsk: "VIC", 2007. – 409p.
3. Shestopalov A.V. Concept Geotechnology fishing methane production and coal exclusively by the energy of natural forces / A.V. Shestopalov // Horn. inf. - anal. Bull. Mosk. Reg. bugle. Univ. - Moscow: Moscow State University, 1999. - № 2. – p. 154-159.
4. Cherednikov V.V. Problem control process pneumohydrodynamic impact on gas-saturated rock massive in the mine them. A.F. Zasyadko / V.V. Cherednikov, K.K. Sophiyskiy, S.S. Seryozhnikov // Proc. science. w. "Geotechnology and production management XXI Century": Proceedings of the II International Scientific-Practical Conference (2-3 October, 2007). - Donetsk, 2007. - P. 58-63.
5. Nazimko V.V. Criterion of operational project management / V.V. Nazimko // Projects management manufacture development: Collection of scientific works // Edition V.A. Rach. – 2014, № 1 (23). -P. 74-84

УДК 004.04

Анализ алгоритма самоорганизации нейронной сети типа «неокогнитрон» при распознавании образов

Федяев О.И., Труханов Т.И.

Донецкий национальный технический университет
fedyaev@r5.dgtu.donetsk.ua

Abstract

Fedyayev O., Truhanov T. Analysis of neural network algorithm self-organization of the «neocognitron» in Pattern Recognition. This paper studies the principles of setting a multilayer neural network neocognitron to recognize different patterns. For this purpose, a software model of neocognitron with self-organization learning algorithm was developed. Neocognitron with competitive learning algorithm acquires the ability to correctly recognize patterns at various distortions in their form.

Введение

В настоящее время предложено большое количество нейросетевых парадигм для решения задачи распознавания различных изображений. Значительные затруднения при распознавании вызывают образы, подверженные какому-либо искажению (зашумление, смещение, поворот, изменение образа в размерах). Эту проблему решают путём выбора соответствующей архитектуры и способа обучения. Анализ работ показывает, что пока не существует такой модели, которая была бы не чувствительна ко всем четырём видам искажений. Одним из перспективных способов распознавания искаженных образов считается применение специальных нейросетевых структур типа неокогнитрон. Это обусловлено особой структурой данного типа нейросетей, в определённой степени имитирующей работу зрительной системы человека. Неокогнитрон получает на входе двумерные образы, аналогичные изображениям на сетчатой оболочке глаза, и обрабатывает их в последующих слоях зрительной коре головного мозга человека [1,2].

Анализ существующих методов распознавания показывает, что большинство из них чувствительны к позиционным сдвигам входного образа и его искажениям по форме. Для устранения этого недостатка необходима предварительная нормализация позиции и формы распознаваемого образа. Однако, на сегодняшний день пока не найден хороший метод нормализации.

В 1980 году японским учёным К.Фукушимой (K.Fukushima) [1] предложена серия новых нейросетевых архитектур типа «когнитрон» (cognitron) с алгоритмом их

обучения по стратегии «обучение без учителя». Благодаря специфичной архитектуре и новому принципу самоорганизации мультислойного неокогнитрона он приобретает способность правильно распознавать образы в условиях различного вида помех. Для самоорганизации неокогнитрона на основе неконтролируемого обучения достаточно иметь только набор образов (например, рукописных букв или снимков лиц людей) и не иметь информации о классах (букв, людях), к которым принадлежат эти образцы. Путём многократного предъявления образцов нейроны неокогнитрона приобретают селективные способности обнаруживать характерные признаки и их расположение во входных образцах. Нейроны последующих слоёв сети формируют знания о более сложных особенностях образцов из комбинаций простых признаков, выделенных на предшествующих слоях сети. В конце обучения всей сети каждый выходной нейрон неокогнитрона будет настроен реагировать только на определённый образец (или близкий к нему), несмотря на позицию или размер распознаваемого образца.

Основная цель данной работы заключается в разработке программного эмулятора неокогнитрона с возможностью его обучения на распознавание определенного класса образов. Такой эмулятор позволит путём моделирования более детально изучить принципы самоорганизации многосвязной мультислойной структуры неокогнитрона и подбирать значения параметров прикладной модели нейросети для качественного распознавания изображений заданного класса.

Постановка задачи

На теоретико-множественном уровне параметрическую модель многослойного

неокогнитрона NC (NeoCognitron) можно представить в виде кортежа:

$$NC = \langle X, L, \{ \langle K^l, \{ a_{v,m}^{l,s,p,(i,j)} \}, \varphi^{l,s}, \{ b^{l,s} \}, \psi^{l,s}, \{ d_{v,n}^{l,c,p,(i,j)} \}, \phi^{l,c}, \{ c^{l,c} \}, \psi^{l,c} \rangle \}, Y \rangle,$$

где L – количество модулей в неокогнитроне; l – номер модуля, $1 \leq l \leq L$; K^l – количество плоскостей в одном слое (S или C) l -го модуля; X , Y – соответственно входы (выходы) неокогнитрона для приёма (снятия) входных (выходных) сигналов; $a_{v,m}^{l,s,p,(i,j)}$ – весовой коэффициент связи m -го входа (ij) нейрона p -й плоскости S -го слоя модуля l с выходом v -го нейрона ($v \in C_p^{l-1}, 1 \leq p \leq K^{l-1}, v$ – координаты нейрона в области связи); C_p^{l-1} – область связи на p -й плоскости C слоя ($l-1$ -го модуля; $d_{v,n}^{l,c,p,(i,j)}$ – весовой коэффициент связи n -го входа (ij) нейрона p -й плоскости слоя C модуля l с выходом v -го нейрона из его рецептивной области ($v \in S_p^l, 1 \leq p \leq K^l$); S_p^l – область связи для (ij) нейрона, расположенная на p -й плоскости S -го слоя модуля l .

В слоях S и C каждого модуля неокогнитрона имеются тормозящие нейроны, которые в кортеже описываются параметрами $b^{l,s}, c^{l,c}$. Это постоянные коэффициенты тормозящего входа для всех нейронов соответственно слоёв S и C модуля l . Функции активации базовых нейронов обозначены символами $c^{l,c}$ и $\phi^{l,c}$, а функции активации тормозящих нейронов – $\psi^{l,s}$ и $\psi^{l,c}$.

Параметрическая модель и многослойная структура неокогнитрона с последовательными связями позволяет в явном виде получить функциональную зависимость выходных сигналов Y нейросети от её входных сигналов X :

$$Y = f(X, NC(a, b)).$$

Задача состоит в разработке такой имитационной (программной) модели неокогнитрона и алгоритма его обучения, которые в совокупности минимизируют функционал $\Phi(a, b)$ и тем самым настраивают (обучают) его распознавать множество требуемых образов $\bar{Y}$:

$$\Phi(a, b) = \|Y - \bar{Y}\|_{a,b, X \in \{(X, \bar{Y})\}} \Rightarrow \min,$$

где a, b – настраиваемые весовые коэффициенты неокогнитрона; $Y, \bar{Y}$ – реальные и желаемые выходные сигналы неокогнитрона; $\|\cdot\|$ – выбранная норма вектора.

Структура неокогнитрона

Неокогнитрон является иерархической нейронной сетью, состоящей из некоторого числа идущих друг за другом слоёв и имеющих неполные (можно сказать достаточно редкие) связи между слоями. На рис.1 представлена упрощенная структура неокогнитрона.

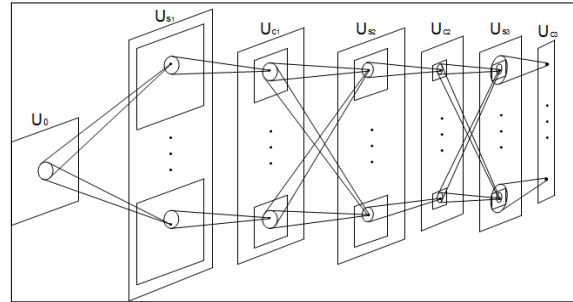


Рисунок 1 – Структура многослойной нейросети типа «неокогнитрон»

На рисунке изображены три модуля нейросети, в каждом из которых имеются два типа слоёв: «простые» (S -слои, от слова simple) и «комплексные» (C -слои, от слова complex), которые состоят соответственно из «простых матриц» (распознают характерные признаки во входных образах) и «комплексных матриц» (обобщают распознанную информацию). С целью простоты рисунка на нём не показаны плоскости с тормозящими нейронами. Из приведенной структуры видно, что размер первого слоя совпадает с размером входного образа (U_0) и к последнему слою размеры плоскостей уменьшаются. В последнем слое в каждой плоскости находится только по одному нейрону.

Входной слой U_0 обычно представляется как нулевой комплексный слой. Каждый нейрон как простого, так и комплексного слоя получает сигналы не от всех нейронов, а лишь от некоторых, с которыми он связан. Такие нейроны образуют «область видимости».

Для построения программной модели неокогнитрона была проведена его объектно-ориентированная декомпозиция. Основные абстракции неокогнитрона взяты из параметрической модели, которая подробно описана в предыдущем подразделе статьи. В результате выделены следующие основные объектные компоненты нейросети: S -слой, C -слой, Модуль и Нейросеть.

Логическая структура программной модели неокогнитрона показана на рис. 2 в виде UML-диаграммы классов. На ней каждая отдельная сущность представлена в виде отдельного класса со своими атрибутами и методами. Управляющим классом является класс Нейросеть, который агрегирует в себе объекты класса Модуль,

который в свою очередь агрегирует в себе объекты классов S-слой и C-слой. Обучение нейросети происходит с помощью вызова методов *обучить()*, *выбрать представителя()*, *усилить*

коэффициенты(), а распознавание инициируется методами *распознать()* и *посчитать выходы()*.

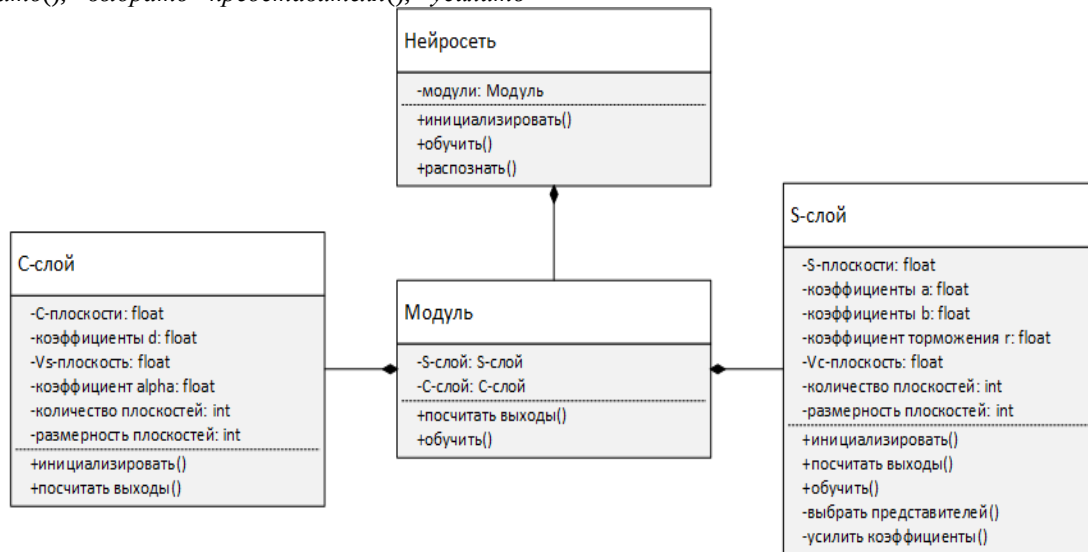


Рисунок 2 - Диаграмма классов программной модели многослойной нейросети типа «неокогнитрон»

Математическая модель неокогнитрона

Для вычисления выходных сигналов u_{sl} нейронов S-плоскости использовалась следующая формула [1]:

$$u_{sl}(k_l, n) = r_l \varphi \left(\frac{1 + \sum_{k_{l-1}=1}^{K_{l-1}} \sum_{v \in S_l} a_l(k_{l-1}, v, k_l) u_{cl-1}(k_{l-1}, n + v)}{1 + \frac{r_l}{1 + r_l} b_l(k_l) v_{cl-1}(n)} - 1 \right)$$

В этой формуле учитываются выходные сигналы тормозящей плоскости v_{cl-1} , которые вычисляются по формуле:

$$v_{cl-1}(n) = \sqrt{\sum_{k_{l-1}=1}^{K_{l-1}} \sum_{v \in S_l} c_{l-1}(v) u_{cl-1}^2(k_{l-1}, n + v)},$$

где L – количество модулей в неокогнитроне; l – номер модуля, $1 \leq l \leq L$; a , b – настраиваемые весовые коэффициенты неокогнитрона; φ – функция активации S-нейронов; r_l – параметр управления интенсивностью запрещения; n – позиция нейрона в плоскости k_l ; c_{l-1} – фиксированные весовые коэффициенты C-нейронов в модуле $l-1$; S_l – область связи для S-нейрона, расположенного в позиции n модуля l ; v – позиции нейронов в области связи S_l ; u_{cl-1} – выходные сигналы C-нейронов модуля $l-1$.

Алгоритм обучения неокогнитрона на

основе самоорганизации

Для обучения неокогнитрона применяют одну из двух классических стратегий: «обучение с учителем» или «обучение без учителя» [2,3]. Независимо от применяемой стратегии настраиваются только весовые коэффициенты S-плоскостей. Веса нейронов C-плоскостей задаются перед обучением и не изменяются [1]. В целом процесс обучения проводится последовательно, начиная с обучения S-плоскостей 1-го модуля и заканчивая обучением последнего S-слоя.

При распознавании, например, людей по изображениям их лиц необходимо иметь набор характерных признаков, чтобы проводить классификацию лиц с видеокамеры. Такой набор признаков всегда уникальный для каждого множества людей, на распознавание которых будет настроен неокогнитрон. Кроме того, признаки классификации априорно не известны, поэтому нами неокогнитрон рассматривался как самоорганизующаяся нейронная сеть, которая должна уметь самостоятельно в процессе обучения выделять характерные особенности, присущие всем распознаваемым образам, и представлять их в виде иерархической структуры. Способ самоорганизации неокогнитрона, предложенный К.Фукушимой [1], достаточно сложный для исследования аналитическими методами. Поэтому в работе особое внимание уделено программной реализации алгоритма самоорганизации с целью его всестороннего анализа методами имитационного моделирования.

В алгоритме самоорганизации можно условно выделить четыре этапа:

- подача входного образа и вычисление выходных сигналов обучаемого S-слоя;
- выбор кандидатов в представители по S-цилиндрам фиксированной ширины;
- выбор представителей из кандидатов;
- обучение нейронов тех плоскостей, в которых были отобраны представители.

Эти этапы повторяются на каждой итерации процесса обучения. В качестве критерия окончания алгоритма выбран модуль разности между максимальными сигналами S-слоя для каждого распознаваемого образа. Если эта величина не превышает заданное малое значение, то алгоритм завершает обучение текущего модуля и переходит к обучению следующего. При этом входными сигналами каждого следующего модуля служат выходные сигналы предыдущего. В каждой эпохе обучения входные образы подаются по очереди по одному разу.

Этап 1. Вычисление выходных сигналов нейронов на каждом S-слое происходит по формулам из математической модели. Эти вычисления на каждой итерации необходимы, потому что при обучении меняются коэффициенты a и b , и, следовательно, меняются и выходные сигналы обучаемого слоя.

Этап 2. После вычисления выходных сигналов S-нейронов находятся кандидаты в представители. Для этого в алгоритме используются, так называемые, S-цилиндры (или S-колонки [1]) (рис. 3). По сути они образованы подмножеством выходных сигналов тех нейронов, которые попадают внутрь цилиндра. Если расположить S-плоскости одна над другой, то получится цилиндр, фактически S-цилиндры - это срез цилиндра по высоте (определяемой количеством плоскостей в S-слое), заданной ширины и с заданными координатами. Эти цилиндры могут быть шириной от одного нейрона до ширины всей плоскости. Они могут пересекаться. Далее находятся нейроны с максимальными выходными сигналами в каждом S-цилиндре. Эти нейроны становятся кандидатами в представители. В одной плоскости могут оказаться более одного кандидата.

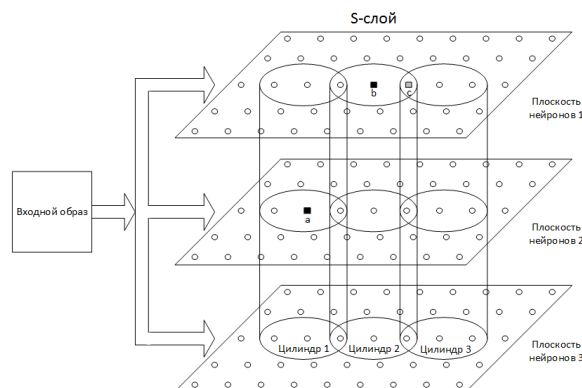


Рисунок 3 - Схема самоорганизации S-плоскостей нейронов на выделение характерных признаков во входном образе:

- - нейроны-кандидаты (a , b , c) в цилиндрах;
- - нейроны-представители (a , b) на плоскостях

Этап 3. После того как определены кандидаты в представители необходимо из них выбрать собственно представителей на обучение. Для этого все нейроны-кандидаты разбиваются на группы по плоскостям и в этих группах находится нейрон с максимальным выходным сигналом. Таким образом, должно получиться не более одного нейрона-представителя на каждой S-плоскости. Поскольку нейроны-представители могут появиться сразу в нескольких плоскостях, то в течение одной итерации можно сразу обучить несколько плоскостей, что значительно ускоряет процесс обучения в целом.

Этап 4. Плоскости, в которых есть нейроны-представители, обучаются по следующим формулам:

$$\Delta a_l(k_{l-1}, \vartheta, \hat{k}_l) = q_l c_{l-1}(\vartheta) u_{cl-1}(k_{l-1}, \hat{n} + \vartheta),$$

$$\Delta b_l(\hat{k}_l) = q_l v_{cl-1}(\hat{n}),$$

где q_l – положительная константа, определяющая скорость обучения; Δa , Δb – величины корректировки весовых коэффициентов S-нейронов по возбуждающему и тормозящему каналам; ϑ – позиции нейронов в области связи S_l .

После этого алгоритм неконтролируемого обучения повторяется с первого этапа, пока не выполнится критерий окончания.

Анализ алгоритма самоорганизации

Программная модель неокогнитрона написана на языке программирования Python [6]. Он хорошо подходит как для быстрого написания прототипов программ, так и для разработки полноценно работающих приложений. Python широко используется в научно-исследовательских проектах. Это объясняется в первую очередь простотой языка, а также наличием хорошо протестированных библиотек, которые позволяют

быстро и эффективно решать прикладные задачи. В работе использовались следующие библиотеки: NumPy (для эффективных вычислений), Matplotlib (для визуализации информации), PIL (для работы с изображениями).

Разработанная программная модель подробно визуализировала динамику обучения и конечное состояние сети. В частности на экран выводились результаты обучения сети на распознавание конкретного изображения, в частности, текущие значения выходных сигналов и весовых коэффициентов во всех слоях нейронной сети. Настраиваемыми коэффициентами выступали коэффициенты от нейронов комплексного слоя к нейронам простого слоя и коэффициент от тормозящего нейрона к нейрону простого слоя. Значения коэффициентов от комплексных нейронов к тормозящему нейрону и от простых нейронов к комплексным остаются фиксированными.

Таким образом, можно увидеть, какие признаки выделяются S-плоскостями на том или ином этапе обучения или распознавания. Для детального изучения внутренней самоорганизации неокогнитрона в данной работе были исследованы модели неокогнитрона, настроенные на распознавание простейших печатных символов Т, С, Н, Г, П.

Во всех описанных ниже экспериментах использовался неокогнитрон, структура которого состояла из трёх модулей. В начале он обучался на символы Т, С, Н, Г и П, расположенные по центру входного слоя U_0 , которые не имели искажений. Рассмотрим детально несколько примеров распознавания буквы «Н». На рис. 4 показаны изменяемые коэффициенты a для тех плоскостей, которые отреагировали на образ буквы «Н».

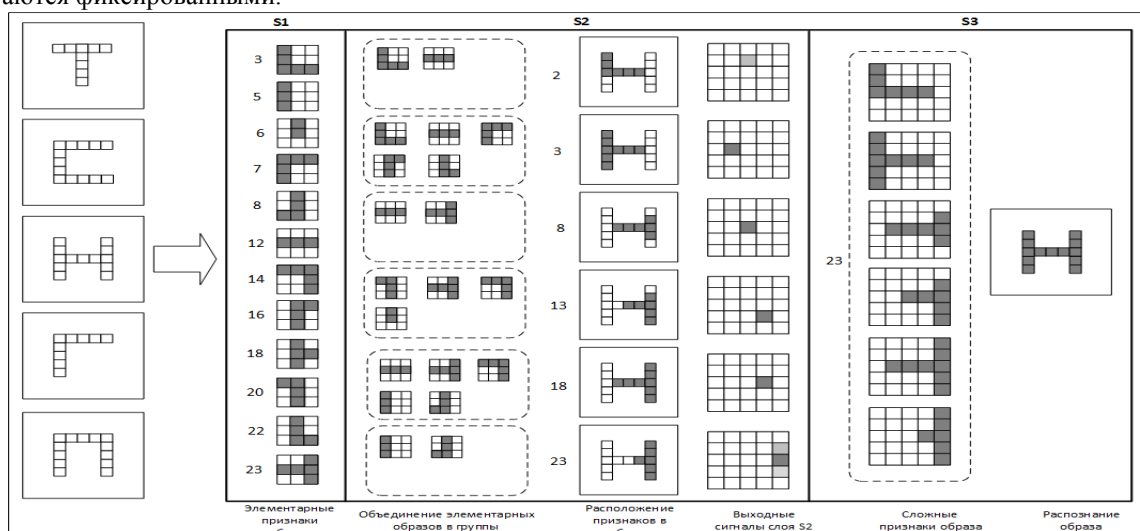


Рисунок 4 – Иллюстрация процесса распознавания символа «Н»

Как видно из рисунка, на первом модуле нейросеть выделила из образа простейшие характерные признаки. На втором модуле показаны выходные сигналы S-слоя и характерные признаки первого S-слоя, объединенные в группы. Второй и последующие слои получают входные сигналы со всех плоскостей предыдущего модуля, за счёт чего они формируют комплексные характерные признаки, состоящие из более простых признаков, выделенных на первом модуле.

На третьем модуле нейроны также получают входные сигналы со всех плоскостей предыдущего модуля, поэтому формируют более сложные характерные признаки из комплексных признаков второго модуля. В данном случае на третьем модуле нейросеть уже полностью распознаёт образ.

За счёт наличия S-слоя неокогнитрон способен различать образы даже со смещениями и искажениями. На рис. 5 приведен пример распознавания символов со сдвигами.

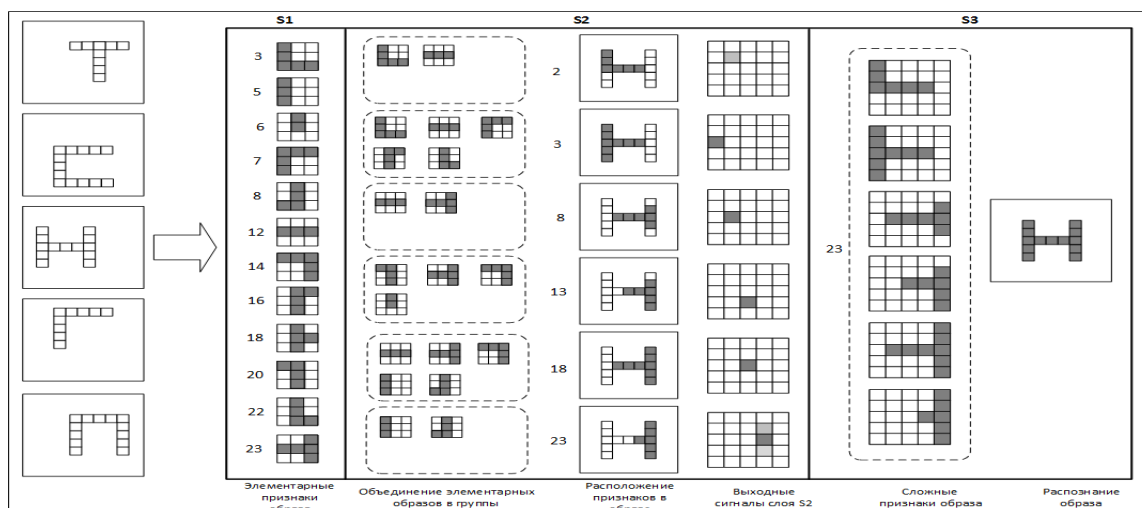


Рисунок 5 – Иллюстрация процесса распознавания символа «Н» со сдвигом влево

Из рисунка видно, что все характерные признаки выявились как в первом, так и во втором модуле. Однако следует отметить, что выходные сигналы второго модуля заметно слабее по сравнению с распознаванием образа без сдвига (см. рис. 4). Сила сигнала на рисунке изображена градацией серого - чем светлее сигнал, тем он слабее.

Однако, несмотря на слабость сигнала, нейросеть всё равно распознала символ «Н» хотя и с меньшей уверенностью. На сопротивление сдвигам и искажениям влияет большое количество различных параметров неоконгитрона, но сильнее всего: коэффициент торможения (r),

размерность области видимости С-слоя (D) и значения фиксированных коэффициентов С-слоя (d).

Кроме того, чтобы в данном случае повысить точность распознавания нужно увеличить размерность плоскостей на внутренних модулях, что позволит охватить все сигналы первых модулей, не «обрезая» их.

В результате проведенного следующего опыта, показанного на рис. 6, выяснилось, что при внесении искажений во входной (распознаваемый) образ, нейросеть перестаёт обнаруживать некоторые характерные признаки.

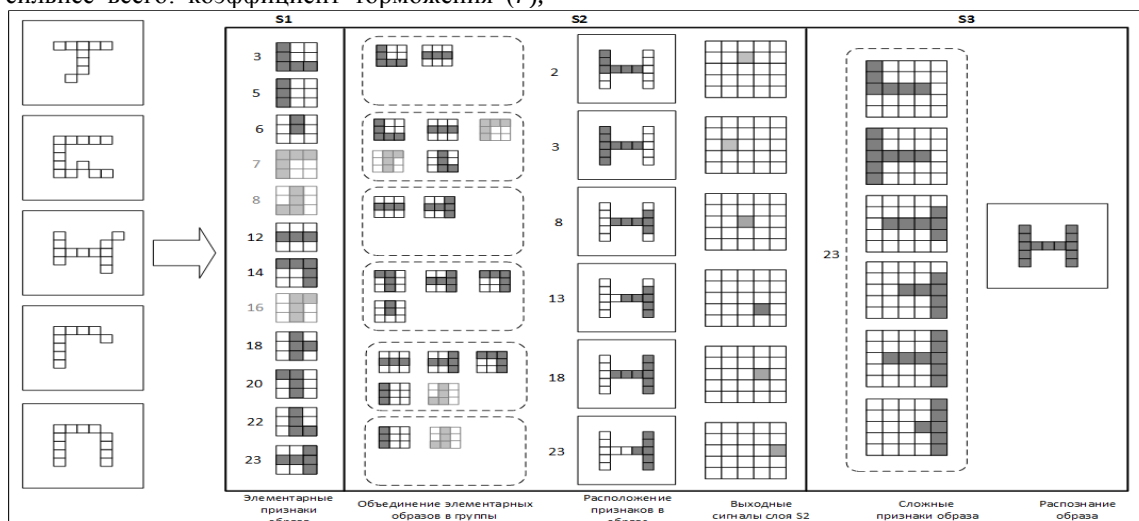


Рисунок 6 – Иллюстрация процесса распознавания символа «Н» с искажениями

Ещё часть нейронов начинает реагировать слабее обычного. Это приводит к заметному уменьшению сигналов на выходах внутренних слоёв.

Также как и в случае со сдвигом, сигналы на втором модуле заметно уменьшились. Однако нейросеть всё равно продолжает правильно

распознавать даже искажённые образы за счёт других характерных признаков.

Выходные сигналы нейронов тех плоскостей, которые отреагировали на символ «Н», во всех слоях неоконгитрона можно посмотреть на рис. 7. По номерам плоскостей

можно определить на какой признак они среагировали (см. рис. 4–6).

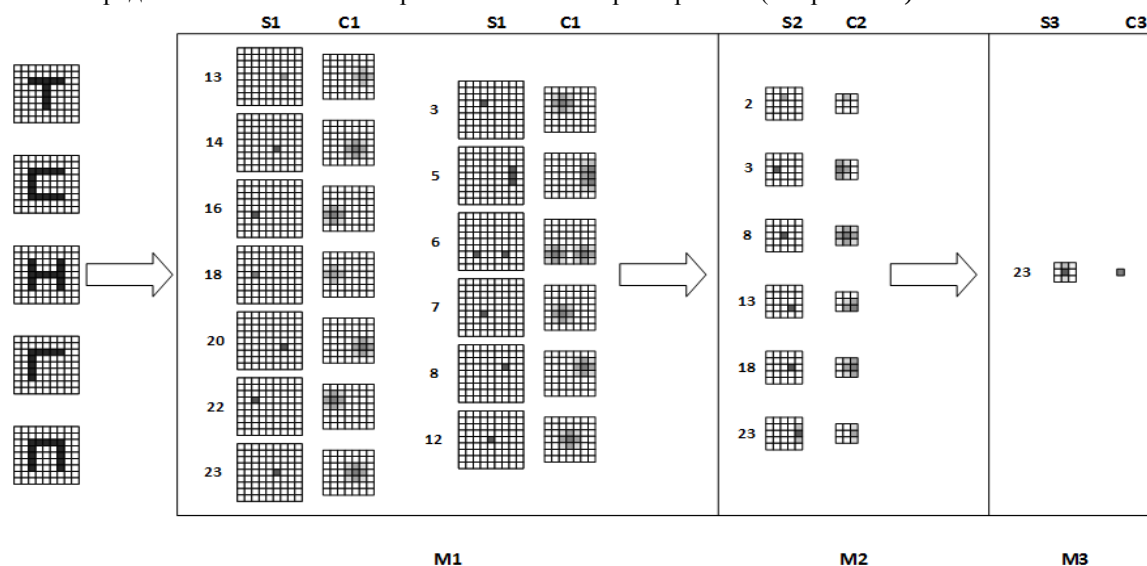


Рисунок 7 – Детальная иллюстрация выходных сигналов плоскостей, среагировавших на символ «H»

Из этого иллюстративного примера хорошо видно, что в процессе самоорганизации неоконитрон выделил на первом слое характерные признаки во входных образах. Эти признаки зафиксированы в значениях весовых коэффициентах нейронов соответствующих плоскостей, которые при распознавании будут выступать в роли «экспертов» по обнаружению своих признаков во всех позициях входного изображения и на их основе правильно его классифицировать независимо от его позиции и формы.

Выводы

В статье проанализирован принцип настройки многослойной нейронной сети типа неоконитрон на распознавание различных образов. Для этого была разработана программная модель неоконитрона с алгоритмом обучения нейронов на основе их самоорганизации. Неоконитрон, настроенный по алгоритму конкурентного обучения, приобретает способность правильно распознавать образы при различных искажениях в их форме.

На модели проведен ряд экспериментов по изучению взаимовлияния каналов усиления и торможения нейронов сети, а также изучены особенности неконтролируемого обучения S-нейронов.

Для более детального изучения процессов, происходящих при обучении неоконитрона, а также при распознавании графических образов были проведены ряд экспериментов на простейших буквенных образах. В результате этих

экспериментов было улучшено понимания процессов, происходящих внутри нейросети. Кроме того были получены важные данные по влиянию различных параметров нейросети на её поведение во время обучения и распознавания. На примере графического образа буквы был проиллюстрирован процесс самоорганизации и приведены получившиеся коэффициенты a в наглядном виде, что позволило лучше прояснить логику формирования характерных признаков на первом модуле нейросети.

По результатам этих экспериментов можно сделать вывод о том, что полученная модель неоконитрона позволяет исследовать сложные алгоритмы неконтролируемого обучения и распознавания, а объектно-ориентированная концепция в дальнейшем обеспечит успешное наращивание функциональных и сервисных возможностей программного эмулятора неоконитрона.

Как известно, при решении задачи распознавания образов приходится сталкиваться с рядом проблем. Самая существенная из них – это выделение и учёт топологии входного изображения. Другой проблемой является вариация представления одного и того же образа, а также его деформация. Эти проблемы можно решать благодаря архитектуре и самоорганизации нейронной сети типа неоконитрон [4, 5, 7].

В перспективе на основе математического описания можно будет сформулировать и более точно решить задачу оптимизации многочисленных параметров модели неоконитрона, адекватных природе распознаваемых образов.

Литература

1. Kunihiro Fukushima, Sei Miyake Neocognitron: a new algorithm for pattern recognition tolerant of deformations and shifts in position — Great Britain: Pattern Recognition Vol 15, No 6, 1982. — pp 455-469.
2. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника. Теория и практика. — М.: Мир, 1992.
3. Руденко О.Г., Бодянский Е.В. Основы теории искусственных нейронных сетей. Уч. пособие. — Харьков: ТЕЛТЕХ, 2002. — 317 с.
4. Федяев О.И. Куликов С.А. Применение многоуровневых нейронных сетей типа неокогнитрон для распознавания символов // Сб. тр. междунар. науч. конф. «Нейросетевые технологии и их применение». — Краматорск: ДГМА, 2003. — С. 247-256.
5. Федяев О.И., Махно Ю.С. Распознавание графических образов при наличии искажений с помощью неокогнитронных нейросетей // Тр. 8-й междунар. науч. конф. «Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2008». — К.: Просвіта, 2008. — С. 512-521.
6. Труханов Т.И., Федяев О.И. Модель многослойной нейросети с архитектурой неокогнитрона // Інформаційні управляючі системи та комп'ютерний моніторинг / Матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції — Донецьк, ДонНТУ — 2013, Том 1, с. 456-462.
7. Труханов Т.И., Федяев О.И. Алгоритм самоорганизации неокогнитрона с целью формирования иерархической системы признаков из распознаваемых образов // Нейросетевые технологии и их применение / Материалы двенадцатой всеукраинской научной конференции с международным участием — Краматорск, ДГМА — 2013. — С. 123-128.

Статья поступила в редакцию 20.09.2015

Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.Н. Павлышом

УДК 621.313.333

Обзор современных систем учета и анализа потребления ресурсов и энергии

А.Ю. Харитонов

Донецкий национальный технический университет
ant.kharitonov@gmail.com

Харитонов А.Ю. Обзор систем учета и анализа потребления ресурсов и энергии. Целью данной статьи является обзор современных систем учета и анализа потребления ресурсов и энергии, для создания автоматизированной системы учета потребления энергоресурсов благодаря автоматизации процессов сбора, обработки и представления данных, алгоритмов анализа и прогнозирования потребления энергии и ресурсов для проведения эффективного и своевременного энергетического менеджмента.

Введение

Решением Донецкого городского совета от 20.05.2008 № 19/14 «О программе по реализации энергосберегающих мероприятий на объектах бюджетной сферы» во исполнение решения городского совета от 28.03.08 № 18/1 «О внесении изменений и дополнений в решение городского совета от 24.01.08 № 17/2 «О городском бюджете на 2008 год», рассмотрев предложения главного экономического управления городского совета по реализации энергосберегающих мероприятий, руководствуясь Законом Украины «О местном самоуправлении в Украине», городской совет решил утвердить Программу по реализации энергосберегающих мероприятий. Одним из пунктов значится осуществление постоянного контроля за работой учреждений бюджетной сферы в соответствии с действующим в Украине законодательством.

Исходя из того же Указа Президента № 679/2008 от 30 мая 2008 года создание системы мониторинга показателей энергоэффективности на государственном уровне и разработка методик проведения их расчетов по данным наблюдений являются важными направлениями повышения эффективности системы энергоменеджмента.

Информационной основой такой системы является база данных, периодически наполняемая как субъектами мониторинга, так и непрерывными данными, поступающими с автоматических постов. Такая автоматизированная система должна позволять решать следующие задачи:

- ввод, изменение и обработка информации, поступающей от всех энергопотребляющих объектов бюджетной сферы города;
- автоматический сбор, хранение и анализ

данных о состоянии ресурсо- и энергопотребления приоритетных объектов города;

- непрерывный мониторинг ресурсо- и энергопотребления объектами города;
- формирование и представление обобщенных данных о расходах энергоресурсов;
- краткосрочный и долгосрочный прогноз ресурсо- и энергопотребления города;
- контроль за наполнением муниципального фонда энергоэффективности и составление плана эффективного потребления ресурсов;
- обоснование разработки мероприятий по энергосбережению;
- создание оптимального механизма распределения лимитов на потребление энергоресурсов объектами бюджетной сферы;
- обоснование процесса подготовки договоров на приобретение энергии для всех объектов коммунальной энергетики;
- обоснование ежегодного энергетического плана для города и формирование отчета о его выполнении.

Для выполнения данных работ необходимо, в первую очередь, проанализировать существующие системы мониторинга в мире. Данному обзору и посвящена статья.

Обзор систем учета в других странах

1. Программный продукт “Utility Manager”

Программа Utility Manager (Pro) была создана компанией Save More Resources, Inc. (SMR) с целью предоставления помощи организациям любых масштабов контролировать

их так называемые фиксированные расходы на коммунальные услуги.

Программа позволяет:

- производить ввод информации о потребителе;
- осуществлять ввод показаний счетчиков ресурсов и энергии с учетом времени, единиц измерения и цен (рисунок А.1.);
- отслеживать все расходы организации на коммунальные услуги;
- обеспечить возможность импорта, экспорта и отчетности с хранением базы данных на локальном ПК и/или сети;
- создавать детальные отчеты по энергозатратам, цветные графики (рисунок А.2.);
- использовать погодные данные или другие эксплуатационные параметры.

Платформой базы данных является СУБД Microsoft Access [6][11].

Особенностью программы является поддержка дерегулированного энергетического рынка. Программа осуществляет поддержку принятия решения о приобретении энергии у тех или иных энергопоставляющих организаций.



Рисунок 1 – Внешний вид работы программы Utility Manager в режиме ввода информации о пользователе

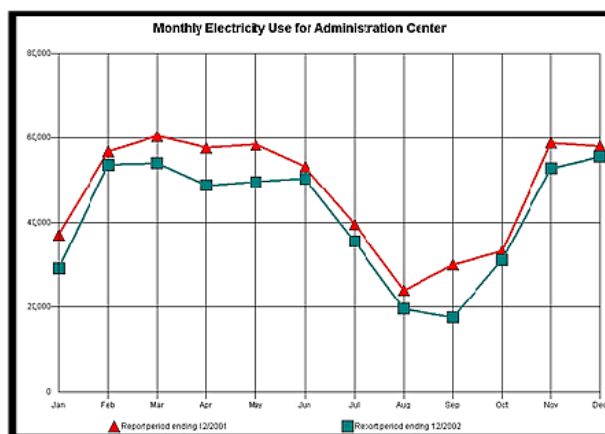
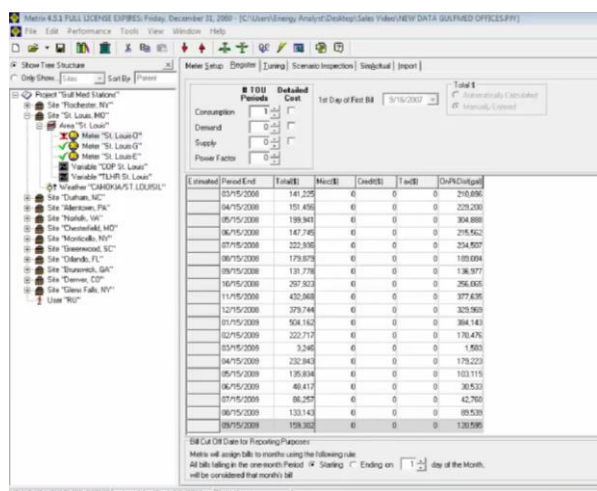


Рисунок 2. Внешний вид работы программы Utility Manager в режиме вывода графиков

Кроме этого, дополнительные опции (подпрограммы) фирмы SMR позволяют получать счета по электронной почте от поставщиков коммунальных услуг, взаимодействовать со счетами, которые подлежат оплате, или с системой общего бухгалтерского учета (американские стандарты бухгалтерии), экспортировать ющую базу данных в формат данных программы Utility Manager Pro из программ FASER, Metrix, Microsoft Excel и Microsoft СУБД Access и других [7]. Подготовка статьи осуществляется в текстовом редакторе MS Word for Windows.

2. Программный продукт “METRIX”

С помощью программы Metrix, относящейся к семейству программ для энергоаудита фирмы Abraxas Energy Consulting осуществляется мониторинг сооружений коммерческой, промышленной, учебной, жилой, и т.п. отраслей. Присутствует возможность подключения любого ресурса коммунальных услуг, включая энергию (электрику, природной газ, нефть, сжиженный газ, и т.п.), воду, твердые отходы и водоотводы. Программный продукт Metrix автоматически импортирует счета, что позволяет проводить мониторинг сразу большого количества счетчиков и объектов. Достоинством программы, по сравнению с предыдущим программным продуктом, является модуль анализа данных. Программный продукт Metrix использует историю данных потребления для установления «базовой линии» потребления. Базовая линия сравнивается с данными счетчиков, вспомогательных счетчиков и/или систем мониторинга после внедрения энергосберегающих мер для количественного определения эффекта от внедрения проекта [8][11].



Building Report for Project: Gulf Med Stations

This report displays bills for the last 2 Months.

Building	Fuel Type	Consumption	Units	Cost	Percent
7 Rochester, NY	Electric	200,509	kWh	\$ 19,136	93.9%
	Natural Gas	1,937	Therm	\$ 1,241	6.1%
				\$ 20,377	100.0%
11 St. Louis, MO	Electric	12,483,606	kWh	\$ 617,723	36.2%
	Natural Gas	1,081,289	Therm	\$ 735,512	46.6%
	Fuel Oil	210,134	gal	\$ 292,445	17.1%
				\$ 1,705,680	100.0%
16 Durham, NC	Electric	1,709,241	kWh	\$ 119,854	61.0%
	Natural Gas	75,309	Therm	\$ 76,576	39.0%
	Fuel Oil	34	gal	\$ 121	0.1%
				\$ 196,550	100.0%

Рисунок 5. Внешний вид работы программы Metrix в режиме построения линии тренда, а так же при создании отчетности

Рисунок 3. Внешний вид работы программы Metrix в режиме ввода информации

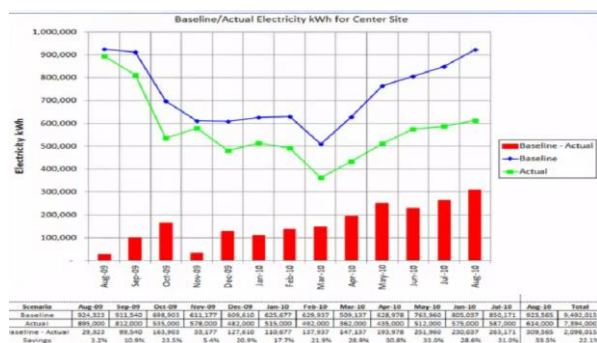


Рисунок 4. Внешний вид работы программы Metrix в режиме отображения разницы между текущим потреблением и базовой линией потребления

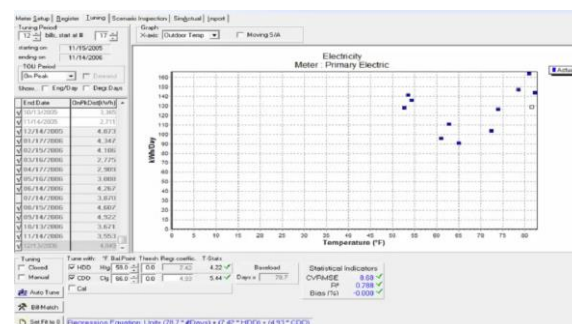
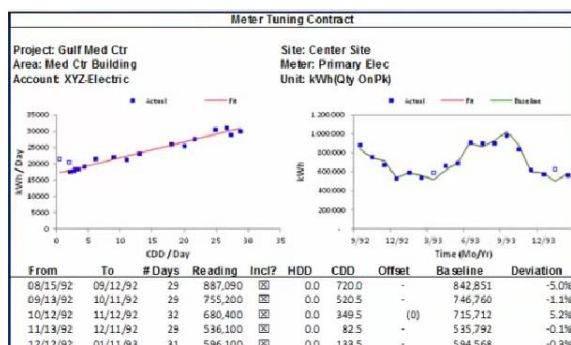


Рисунок 6. Внешний вид работы программы Metrix в режиме построения диаграммы «энергия-температура»

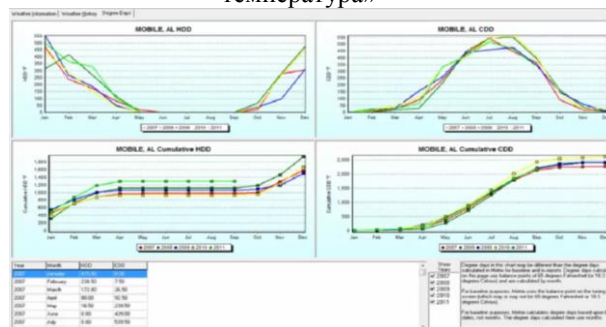


Рисунок 7. Внешний вид работы программы Metrix в режиме финансовых инструментов, применяемых в управлении погодными рисками

К возможностям и характеристикам программы Metrix относятся:

1. Мониторинг неограниченного количества объектов, систем и счетов.
2. Составление отчетов и графиков, экспорт и импорт данных.
3. Оценка потребления методом множественной линейной регрессии, с включением в анализ до 5 величин: отопления, охлаждения и трех пользовательских величин.
4. Финансовые показатели управления погодными рисками CDD и HDD [9].

5. Импорт и экспорт данных в форматы представления данных других продуктов (Market Manager, FASER, импорт погодных данных из сети Интернет)

3. Программный продукт “EnergyCAP”

Система учета энергии и составления отчетности FASER появилась на рынке еще в 1980г. С 2010г. программный продукт носит имя EnergyCAP и применяется для регистрации счетов, которые подлежат оплате. Программный продукт содержит планы тарифов и имеет возможность импорта. База данных использует SQL сервер. Так же особенностями программы являются:

- определение ошибок в выставленных счетах за коммунальные услуги, устранение переплат, используя систему проверки счетов;
- библиотека со свыше 1000 разных тарифных планов на коммунальные услуги (только американское законодательство) для сравнения расходов, используя фактическую историю учета, а так же создание собственного тарифного плана;
- создание виртуальных вспомогательных счетчиков на базе формулы для выставления счетов субпотребителям (аренда и субподрядчики).
- анализ корреляции ежедневной температуры в зависимости от использования энергии, примененный к периоду базовой линии для уменьшения расходов [11].



Рисунок 8. EnergyCAP: Режим отчетности и графиков

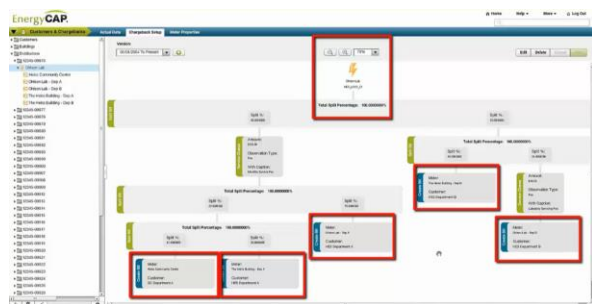


Рисунок 9. EnergyCAP: Диаграмма

последовательности потребления и оплаты



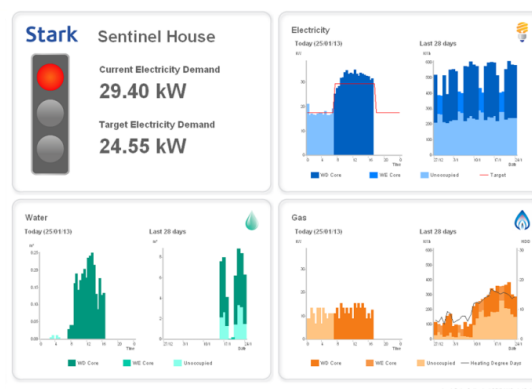
Рисунок 10. EnergyCAP: Визуализация экономии потребления

4. Программный продукт “Stark Display”

Продукция компании Stark включает в себя набор аппаратного и программного обеспечения по сбору, подсчету и анализу информации о потреблении энергии. Кроме счетчиков и дата-центров, компания предлагает программу Stark Display. Это система мониторинга и контроля потребления начального уровня для организаций. Эта программа предназначена для использования, главным образом, в Великобритании, потому что она имеет базу данных погодных данных, поставщиков коммунальных услуг, официальных тарифов, и т.д.

Программный продукт Stark Display обладает следующими возможностями:

- установка контрольной цифры уменьшения потребления энергоресурсов;
- определение наиболее и наименее энергоэффективных зданий;
- распределение расходов по счетам для улучшения общей отчетности [12].



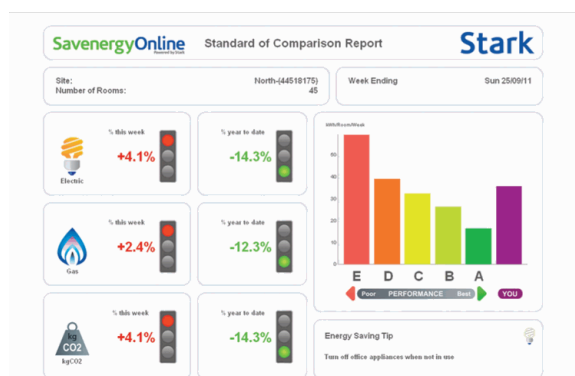


Рисунок А.11. Stark Display: экранные формы в различных режимах анализа

5. Программный продукт “EZ Sim”

Программный продукт EZ Sim - это инструмент, построенный на базе электронных таблиц, обладает следующими возможностями:

- определяет энергетические схемы объекту и уровень потребления энергии;
- проверяет данные энергосбережения для согласования с данными фактического потребления;
- оценивает конечное потребление энергии в зданиях.

Программный продукт EZ Sim позволяет пользователю использовать счета за коммунальные услуги для моделирования потребления ресурсов. Если полученная модель согласовывается со счетами за коммунальные услуги, то такую модель можно использовать для оценки потенциальной экономии энергии. С помощью EZ Sim можно выяснить, каким образом используется энергия в пределах здания для определения причин избыточного потребления энергии или недостаточного функционирования систем здания. EZ Sim может использоваться для прогнозирования будущих счетов, а также может помочь установить количественные показатели, при проведении энергоэффективных мероприятий [13].

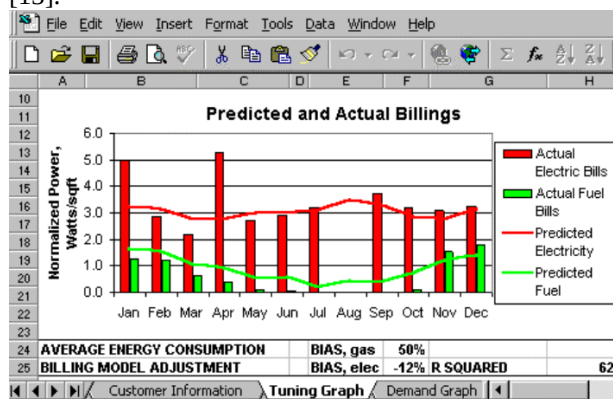


Рисунок 12. EZ Sim: разница потребленного и ожидаемого потребления ресурса

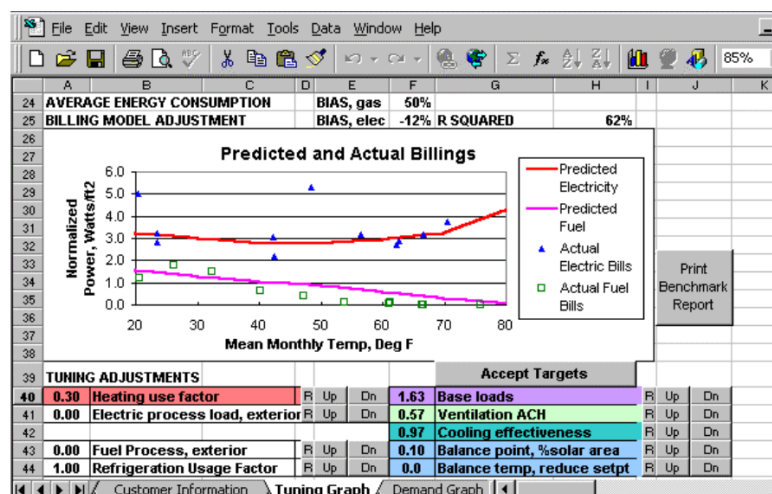


Рисунок 13. EZ Sim: анализ «энергия-температура»

6. On-line пещуры “Energy Watchdog (Pro)”

Energy Watchdog (Pro) компании UtiliVision Inc. является интерактивной услугой в сети Интернет для проверки счетов, мониторинга, анализа и отчетности со встроенным энергетическим руководством.

Energy Watchdog (Pro) позволяет:

- осуществлять мониторинг всех видов коммунальных услуг: потребление электроэнергии, природного и сжиженного газа, твердого и жидкого горючего, водоснабжения и стоков, а так же телефонные услуги и вывоз мусора;

- составлять отчеты и графики анализа расходов энергоресурсов и использовании коммунальных услуг с помощью возможностей WEB-страниц;

- использовать внедренное в программу энергетическое руководство, которое помогает определить возможности экономии энергии.

- работать с базовым уровнем (периоды выставления счета, общий уровень потребления, потребность в энергии, стоимость) и уровнем высшего приоритета (к информации базового уровня добавляются такие детали как пиковые данные, налоги, плата за обслуживание, оплаты за производство, транспортирование и доставку энергоносителей, показатели мощности, и т.п.) [14].

Особенностью услуги Energy Watchdog (Pro) является система оплаты, которая зависит от числа счетов, которые пользователь отслеживает в системе.

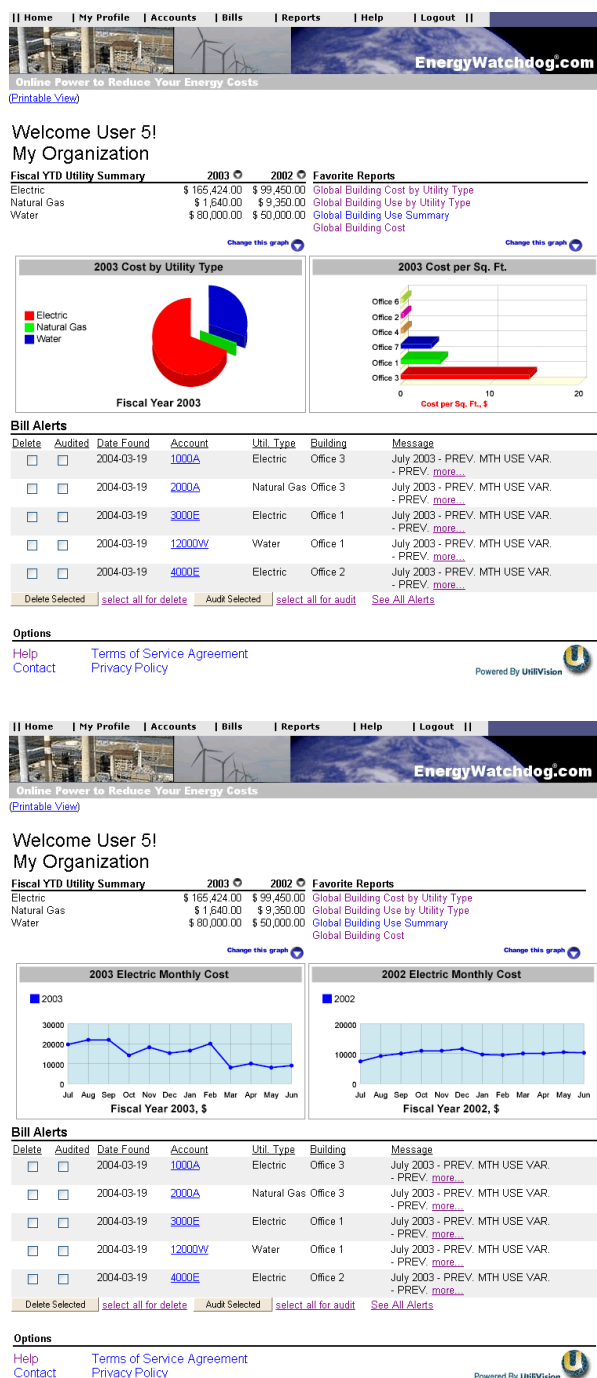


Рисунок 14. Energy Watchdog: экранные формы web-приложения

7. On-line ресурс "EnergyTrax"

Программный продукт EnergyTrax фирмы Alliant Energy Integrated Services так же является услугой сети Internet для составления отчетности, которая позволяет контролировать использование энергии и ресурсов. EnergyTrax сохраняет все архивные и текущие данные на web-сервере. Кроме этого, в функции EnergyTrax входит:

- сравнение данных использования энергии и данных оплаты за использованную энергию по

всей организации для определения наименее энергоэффективных зданий;

- сравнение доходов, рабочих часов, средних показателей в области промышленности и базовых годовых показателей потребления.

Услуга EnergyTrax позволяет работать с различными уровнями доступа, отличающихся функциями и использует для анализа данные состояния погоды [15]. К сожалению, вход в услугу и просмотр экранных форм возможны только после оплаты.

8. Система оперативного энергомониторинга фирмы ENSI

Система оперативного энергомониторинга фирмы ENSI (Норвегия) позволяет осуществлять мониторинг энергопотребления в зданиях.

Для этого используется информация о параметрах зданий, включая климатические данные, типы зданий и конкретные счетчики, а последующие показания счетчиков регистрируются для мониторинга и анализа потребления энергии в зданиях как до, так и после возведения нового здания, либо осуществления энергосберегающих мероприятий.

Система online энергомониторинга ENSI основана на модели клиентского сервера с использованием инфраструктуры сети Интернет для организации связи между пользователями и базой данных. База данных хранится и обслуживается в главной компьютерной системе ENSI в г. Осло [2].

Имеется возможность анализировать как каждое здание в отдельности, так и проводить анализ обобщенной информации.

Процедуры, используемые в системе оперативного энергомониторинга ENSI, делятся на процедуры создания и периодические процедуры. В процессе создания необходимо организовать базис проекта, определив пользователей, здания и все счетчики. Помимо этого, необходимо для каждого здания рассчитать энерго-тепловую кривую (ЭТ-кривую) и составить бюджеты. Обычно ЭТ-кривая не меняется, но, если в здании проводилась реконструкция либо модернизация энергетического оборудования, следует обновить ЭТ-кривую. Также следует раз в год изменять бюджеты. Периодическими называются те операции, которые относятся к текущей регистрации показаний счетчиков и созданию отчетов. Эти процедуры могут выполняться один раз в день, неделю или месяц, в зависимости от установленных требований. Так же система online энергомониторинга поддерживает создание отчетов и графиков.

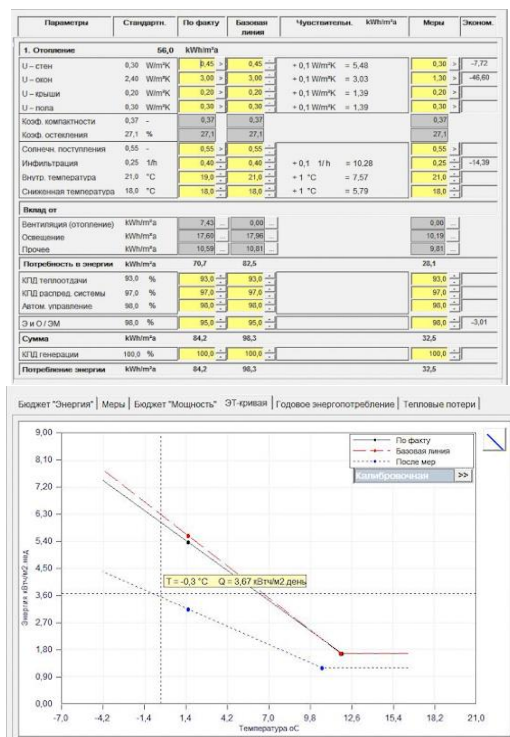


Рисунок 15. Energy Watchdog: экранные формы web-приложения

9. Программа «Энергоплан» фирмы «ИТ-менеджмент»

Программа «Энергоплан» фирмы «ИТ-менеджмент» разработана для энергоменеджмента, учета энергии, планирования использования средств энергоресурсов, а также для комплексного учета и анализа использования энергии и естественных ресурсов в общественных зданиях. Программа осуществляет учет энергоресурсов в бюджетных учреждениях: в школах, детских садах, больницах, библиотеках, административных зданий и т.д.

На сегодня программа используется в г. Львов для учета энергопотребления домов бюджетных учреждений.

С помощью программы Энергоплан формируется база данных всех бюджетных домов города. При этом выстраивается иерархическая структура базы данных от уровня города к

уровню конкретного оборудования в здании, установленного в одном из домов. Энергоплан осуществляет несколько типов учета энергоносителей исходя из данных счетов за коммунальные услуги, исходя из показов счетчиков и исходя из расчета мощностей установленных приборов [3].

Выводы

В настоящее время в мире функционирует большое количество программно-технических средств мониторинга над потреблением ресурсов и энергии. Средства учета энергии можно распределить на две основных группы – программы для персональных компьютеров и Интернет-услуги. Каждая группа имеет свои преимущества и недостатки. Некоторые версии программ для персонального компьютера могут быть связаны с сервером (многопользовательские программы FASER, METRIX). Такие программы удобны для компаний, которые занимают большие территории, а также для правительственных и муниципальных организаций. Для использования Интернет услуг для учета энергии (Energy Watchdog, EnergyTrax, ENSI), нужна постоянная связь с Интернетом (таблица 1).

Выполненный анализ состояния вопроса и приведенный выше обзор позволили сформулировать следующие задачи разрабатываемой системы:

- разработать информационную модель и организационную структуру системы мониторинга энергоэффективности объектов бюджетной сферы;
- предложить математические модели анализа и прогнозирования данных при автоматизированной обработке информации;
- создать программный продукт, включающий в себя автоматизированные рабочие места субъектов мониторинга и серверный модуль;
- разработать, апробировать и внедрить региональную автоматизированную систему мониторинга энергоэффективности муниципальных объектов.

Таблица 1 Обзор программных продуктов и систем

Наименование программы	Страна	Поддержка принятия решений	Платформа	Виды анализа	Цена
Utility Manager	США	нет	СУБД Microsoft Access	нет	\$ 2500
METRIX	США	Установка бюджета и лимитов потребления	Прикладное ПО	Многовариантная линейная регрессия	\$4,995.00.

FASER	США	Формирование бюджета	Прикладное ПО	Анализ корреляции ежедневной температуры	\$3995
Stark Essentials Level 1	Велико-британия	Формирование бюджета и прогнозирование движения средств	Прикладное ПО	Нет данных	Нет данных
EZ Sim	США	Прогнозирование счетов за коммун. услуги, установление колич. показателей, при проведении энергосберегающих мероприятий	БД Microsoft Excel	Использование счетов за коммунальные услуги для моделирования потребления ресурсов	\$299
Energy Watchdog	США	нет	WEB-интерфейс	Сравнительный анализ потребления	Зависит от количества объектов
EnergyTrax	США	нет	WEB-интерфейс	сравнение данных	\$700 за 1 объект
ENSI	Норвегия	нет	WEB-интерфейс	ЭТ-диаграмма	Нет данных
Энергоплан	Украина	нет	Прикладное ПО	нет	250 тыс.грн

Литература

1. Программа для проведения энергоаудита зданий [Электронный ресурс] / мат. сайта <http://www.ensi.no> – Систем. требования: Pentium-500; 128 Мб RAM; Windows 98/2000/NT/XP; MSIE – Название с тит. экрана. – Режим доступа: <http://www.ensi.no/index.php?ledd2ID=140&sideID=277&sprakID=ru>
2. Копець А. Комп'ютеризовані системи управління споживанням енергії для бюджетних установ // Інформаційно-аналітичний бюлетень «Державні закупівлі України». – 2007. – №1(31). – С. 10-15.
3. Практическое руководство по повышению энергоэффективности муниципальных систем / Под ред. А.С. Копеца и Р.В. Кишканя. – Донецк, 2007. – 204 с.
4. Указ Президента Украины «О состоянии реализации политики по обеспечению использования ресурсов» № 679/2008 от 28 июля 2008 года [Электронный ресурс] / мат. сайта www.president.gov.ua/: Администрация президента Украины. – Систем. требования: Pentium-500; 128 Мб RAM; Windows 98/2000/NT/XP; MSIE 6.0. – Название с тит. экрана. – Режим доступа: <http://www.president.gov.ua/ru/documents/8158.html>
5. Решение Донецкого городского совета от 20.05.2008 г. № 19/14 О Программе по реализации мероприятий на объектах бюджетной сферы [Электронный ресурс] / мат. сайта lukyanchenko.dn.ua: Официальный сайт городского головы и городского совета г. Донецка. – Систем. требования: Pentium-500; 128 Мб RAM; Windows 98/2000/NT/XP; MSIE – Название с тит. экрана. – Режим доступа: http://lukyanchenko.dn.ua/public_echo.php?id=459
6. Юрий Гаврилюк. Обзор компьютерных программ для учета и анализа энергопотребления муниципальными зданиями [Электронный ресурс] / мат. сайта <http://www.uneec.lviv.ua/>. – Систем. требования: Pentium-500; 128 Мб RAM; Windows 98/2000/NT/XP; MSIE – Название с тит. экрана. – Режим доступа: <http://www.uneec.lviv.ua/index.php?page=../1/2/1/p92.ru>
7. Utility Accounting Software & Services [Электронный ресурс] / мат. сайта <http://utilityaccounting.com>. – Систем. требования: Pentium-500; 128 Мб RAM; Windows 98/2000/NT/XP; MSIE – Название с тит. экрана. – Режим доступа: http://utilityaccounting.com/sites/utilityaccounting.com/themes/utilityms/um_movie.html
<http://utilityaccounting.com/software-compare>
8. Metrix 4 Utility Accounting System [Электронный ресурс] / мат. сайта <http://www.abraxasenergy.com>. – Систем. требования: Pentium-500; 128 Мб RAM; Windows 98/2000/NT/XP; MSIE – Название с тит. экрана. – Режим доступа: <http://www.abraxasenergy.com/utility-bill-accounting-software/metrix>
9. Финансовые инструменты управления погодными рисками [Текст] : матеріали міжнар. наук. конф. [“Информационно-телекоммуникационные технологии и матмоделирование — 2012”], (23-27 квітня 2012 р.) /

Російський університет дружби народів [та ін.] / Долгова Е. А., Марков П. Н., Щетинин Е.Ю. – Москва: Російський університет дружби народів, 2012. – 372 с.

10. EnergyCAP [Электронный ресурс] / мат. сайта <http://info.energycap.com>. – Систем. требования: Pentium-500; 128 Мб RAM; Windows 98/2000/NT/XP; MSIE – Название с тит. экрана. – Режим доступа: <http://info.energycap.com/faser-energy-accounting-software>

11. Review of Energy Accounting Tools [Электронный ресурс] / мат. сайта <http://www.munee.org> – Систем. требования: Pentium-500; 128 Мб RAM; Windows 98/2000/NT/XP; MSIE – Название с тит. экрана. – Режим доступа: http://www.munee.org/files/acct_software_review.pdf

12. Reduce energy waste, cut costs and lower emissions with Stark [Электронный ресурс] / мат. сайта <http://stark.co.uk> – Систем. требования: Pentium-500; 128 Мб RAM; Windows 98/2000/NT/XP; MSIE – Название с тит. экрана. – Режим доступа: http://stark.co.uk/information_display.aspx

13. EZ Sim [Электронный ресурс] / мат. сайта <http://advancedbuildings.net/> – Систем. требования: Pentium-500; 128 Мб RAM; Windows 98/2000/NT/XP; MSIE – Название с тит. экрана. – Режим доступа: <http://advancedbuildings.net/ez-sim>

14. 12 Reasons You Should Use Energy Watchdog Pro [Электронный ресурс] / мат. сайта <http://www.energywatchdog.com> – Систем. требования: Pentium-500; 128 Мб RAM; Windows 98/2000/NT/XP; MSIE – Название с тит. экрана. – <http://www.energywatchdog.com/ewdpro-faq.php>

15. About EnergyTrax Program [Электронный ресурс] / мат. сайта <https://www.energy-trax.com> – Систем. требования: Pentium-500; 128 Мб RAM; Windows 98/2000/NT/XP; MSIE – Название с тит. экрана. – Режим доступа: <https://www.energy-trax.com/energy-trax.com/About.aspx>

16. Программа для проведения энергоаудита зданий [Электронный ресурс] / мат. сайта <http://www.ensi.no> – Систем. требования: Pentium-500; 128 Мб RAM; Windows 98/2000/NT/XP; MSIE – Название с тит. экрана. –: <http://www.ensi.no/index.php?ledd2ID=140&sideID>

Kharitonov. Review of modern accounting and analysis systems of energy consumption. The purpose of this article is to review current accounting and analysis systems of energy consumption. It's need to create an automated accounting system of energy consumption by automating the collection and data presentations, algorithms, analysis and energy's forecasting and resources for the effective and timely energy management.

Keywords: Automated system, energy management, accounting and auditing

Статья поступила в редакцию 15.09.2015
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.Н. Павлышом

УДК 004.04

Сегментация изображений с помощью смешанного и экспоненциального алгоритмов роя частиц

С.А. Эль-Хатиб

Донецкий национальный технический университет
samer_elkhatib@mail.ru

Эль-Хатиб С.А. Сегментация изображений с помощью смешанного и экспоненциального алгоритмов роя частиц. Представлены для рассмотрения два алгоритма сегментации изображений: смешанный алгоритм К-средних и роя частиц и экспоненциальный алгоритм роя частиц. Разработана система для сегментации изображений с помощью приведенных алгоритмов. Выполнено тестирование алгоритмов с помощью бенчмарка Berkley, проведено сравнение результатов с другими алгоритмами сегментации. Выполнено сравнение точности сегментации по сравнению с другими алгоритмами.

Постановка проблемы

Сегментацией называется процесс разделения изображения на различные по некоторому признаку или признакам области. Области должны соответствовать непосредственно реальным объектам или их частям, а соответственно границы разбиений – границам реальных объектов или их частей.

Широкий спектр методов сегментации изображений описан в различной литературе, например, хороший обзор таких методов можно найти в [1-2].

На данный момент существует достаточно большое количество алгоритмов сегментации, которые имеют свои преимущества и недостатки. Но не существует одного универсального метода, поэтому для каждой задачи в общем случае необходимо подбирать вручную метод, способный выдавать наилучший результат.

Объектом исследования является процесс сегментации изображений.

Предметом исследования являются методы сегментации изображений: смешанный алгоритм К-средних и роя частиц и экспоненциальный алгоритм роя частиц.

Анализ литературы

В литературе представлен обширный перечень методов сегментации изображений, например в [1-2].

Среди них метод с использованием нейронной сети Кохонена (Kohonen Map), являющийся одним из наиболее часто используемых [3]. Метод представляет собой двухслойную сеть. Каждый нейрон первого (распределительного) слоя соединен со всеми нейронами второго (выходного) слоя, которые расположены в виде двумерной решетки.

Методы сегментации делятся на два класса:

- автоматические [1] – (не требуют взаимодействия с пользователем);

- интерактивные [2] – (в процессе работы требуется участие пользователя).

Существует два класса задач автоматической сегментации:

- извлечение областей изображения с определенными свойствами;

- дробление изображения на однородные области.

Хороший обзор автоматических методов сегментации приведен в [1]. Но у них есть один существенный недостаток – недостаточная точность работы. Наиболее популярные и известные алгоритмы автоматической сегментации – алгоритм к-средних, гистограммные методы, операторы выделения краев, методы разрастания областей, методы разреза графа.

Исходя из результатов исследований автоматических алгоритмов сегментации, стало понятно, что новые алгоритмы автоматической сегментации не смогут решать абсолютно любые задачи по сегментированию изображений с заранее гарантированным результатом. И более того, есть основания предполагать, что и в ближайшее время такие методы не появятся. В связи с этим, большее внимание стало уделяться интерактивной сегментации. Хороший обзор подобных методов приведен в [2].

При сегментации достаточно часто используется алгоритм к-средних, который основан на минимизации квадратичной ошибки. Данный алгоритм, как правило, неплохо выполняет кластеризацию точек (пикселей) на изображении, но в процессе обработки изображения он не может исключить лишнюю информацию, такую, как например, шумы различного рода. Алгоритм к-средних выполняет построение k различных кластеров [5]. Выбор числа кластеров k, как правило, базируется на

результатах предыдущих исследований либо на основании экспертной оценки.

В основе разработанных методов лежит алгоритм роя частиц (PSO, Particle Swarm Optimization), который показал свою конкурентоспособность при решении NP-полных комбинаторных задач по сравнению с генетическими алгоритмами [5] (genetic algorithms) или алгоритмами имитации отжига (simulated annealing algorithms).

Цель статьи - разработка методов сегментации изображений с помощью смешанного алгоритма К-средних и роя частиц и экспоненциального алгоритма роя частиц, разработка программной системы для исследований алгоритмов, а также получение выходных результатов работы алгоритмов.

Материалы и методы

Роевые алгоритмы (РА, Particle Swarm Optimization) – метод стохастической оптимизации, моделирующий сложные вычислительные задачи с использованием поведения стаевых природных организмов (стая птиц, стая насекомых в рое, косяк рыб и т.д.) [6]. Термин введен в 1989 году Х.Бени и В.Цзином [7].

Начальная популяция возможных решений также, как и в эволюционных алгоритмах генерируется случайным образом, а далее итеративно ведется поиск оптимального (субоптимального) решения.

Было предложено несколько моделей PSO. Среди них три наиболее успешные: LBEST [9], Inertia Weighted PSO [10], Time-Varying Inertia Weighted PSO [11] и Canonical PSO [12].

Основной роевой алгоритм

РА использует рой частиц, где каждая частица представляет потенциальное решение проблемы [6]. Поведение частицы в гиперпространстве поиска решения все время подстраивается в соответствии со своим опытом и опытом своих соседей. Кроме этого, каждая частица помнит свою лучшую позицию с достигнутым локальным лучшим значением целевой (фитнесс-) функции и знает наилучшую позицию частиц - своих соседей, где достигнут глобальный на текущий момент оптимум. В процессе поиска частицы роя обмениваются информацией о достигнутых лучших результатах и изменяют свои позиции и скорости по определенным правилам на основе имеющейся на текущий момент информации о локальных и глобальных достижениях. При этом глобальный лучший результат известен всем частицам и немедленно корректируется в том случае, когда некоторая частица роя находит лучшую позицию

с результатом, превосходящим текущий глобальный оптимум. Каждая частица сохраняет значения координат своей траектории с соответствующими лучшими значениями целевой функции, которые обозначим y_i , которая отражает когнитивную компоненту. Аналогично значение глобального оптимума, достигнутого частицами роя, будем обозначать $\hat{y}_i$, которое отражает социальную компоненту. Таким образом, каждая частица роя подчиняется достаточно простым правилам поведения (изложенным ниже формально), которые учитывают локальный успех каждой особи и глобальный оптимум всех особей (или некоторого множества соседей) роя.

Каждая i -я частица обладает такими характеристиками, как скорость $v_i(t)$ и местоположение $x_i(t)$ в момент времени t [8]. Местонахождение частицы меняется в соответствии с формулой:

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (1)$$

где $x_i(0) \sim U(x_{\min}, x_{\max})$.

Процессом поиска решения управляет вектор скорости $v_i(t+1)$. Данный вектор состоит из компонент, для вычисления которых используется когнитивная и социальные составляющие роя:

$$v_{ij}(t+1) = v_{ij}(t) + c_1 r_{1j}(t)[y_{ij}(t) - x_{ij}(t)] + \quad (2)$$

$$c_2 r_{2j}(t)[\hat{y}_j(t) - x_{ij}(t)]$$

где $v_{ij}(t)$ - j -ая компонента скорости ($j=1, \dots, n_x$)

частицы i в момент t , $x_{ij}(t)$ - j -я координата позиции частицы i , c_1 и c_2 - коэффициенты ускорения (положительные), $r_{1j}(t), r_{2j}(t) \sim U(0,1)$ - случайные величины от $[0,1]$, задача которых вносить случайность в процесс поиска, $y_{ij}(t)$ - лучшая позиция частицы i по координате j .

Для задачи минимизации лучшая позиция (gbest) в момент $(t+1)$ рассчитывается следующим образом:

$$y_i(t+1) = \begin{cases} y_i(t) & \text{if } f(x_i(t+1)) \geq f(y_i(t)) \\ x_i(t+1) & \text{if } f(x_i(t+1)) < f(y_i(t)) \end{cases} \quad (3)$$

где $f: R^{n_\infty} \rightarrow R$ - целевая функция, которая определяет насколько текущее решение близко к оптимальному.

$\hat{y}_j(t)$ (pbest) в момент t рассчитывается как

$$\hat{y}_j(t) \in \{y_0(t), \dots, y_{n_s}(t)\} \quad (4)$$

$$f(\hat{y}(t)) = \min\{f(y_0(t)), \dots, f(y_{n_s}(t))\}$$

где n_s – общее число частиц роя.

Данные действия повторяются с каждой частицей во время поиска. Псевдокод основного роевого алгоритма представлен ниже.

Algorithm 1 gbest PSO

```

Create and init  $n$ -dimensional swarm;
repeat
  for each particle  $i=1, \dots, n$  do
    // set best personal position
    if  $f(x_i) < f(y_i)$  then
       $y_i = x_i$ ;
    end
    // correct global best position
    if  $f(y_i) < f(\hat{y})$  then
       $(\hat{y}) = y_i$ ;
    end
  end
  for each particle  $i=1, \dots, n$  do
    UpdateVelocity (2);
    UpdatePosition (1);
  end
until finish condition is true;

```

Смешанный алгоритм частиц роя и к-средних для задачи сегментации изображений

Для получения эффективного алгоритма сегментации изображений предлагается метод, в котором используется преимущества роевого алгоритма и метода к-средних. На первом этапе необходимо установить значение количества кластеров и случайным образом инициализировать их центры. Далее, согласно алгоритму кластеризации к-средних, определяется принадлежность каждого пикселя изображения определенному кластеру.

Смешанный алгоритм роя частиц и к-средних (PSO-K-means) реализуется по тем же принципам, что и алгоритм муравьиных колоний [13]. Здесь каждая частичка x_i представляет N кластеров таким образом, что $x_i = (m_{i1}, \dots, m_{ij}, \dots, m_{iN})$

, где m_{ij} представляет центр кластера j для частицы i . Фитнесс-функция для каждого набора кластеров рассчитывается согласно выражению:

$$f(x_i, Z_i) = \omega_1 \bar{d}_{\max}(Z_i, x_i) + \omega_2 (z_{\max} - d_{\min}(x_i)) \quad (5)$$

где $z_{\max} = 2s-1$ для S -bit изображения; Z – матрица, отображающая связь между пикселем и центром кластера для частицы i . Каждый элемент этой матрицы z_{ip} показывает, принадлежит ли пиксель z_p кластеру C_{ij} , для частицы i . Константы ω_1 и ω_2 определяются пользователем; $\bar{d}_{\max}$ – максимальное среднее евклидово расстояние от частиц до связанных с ними кластеров. Оно вычисляется согласно выражению:

$$\bar{d}_{\max}(Z_i, x_i) = \max_{j=1..N} \left\{ \sum_{p \in C_{ij}} d(Z_p, m_{ij}) / |C_{ij}| \right\} \quad (6)$$

где $d_{\min}(x_i)$ – минимальное евклидово расстояние между парами кластерных центров:

$$d_{\min}(x_i) = \min_{\forall j_1, j_2, j_1 \neq j_2} \{d(m_{ij_1}, m_{ij_2})\} \quad (7)$$

Пошаговое описание смешанного алгоритма роя частиц и к-средних приведено далее:

- 1) Инициализируем количество кластеров K , количество частиц m
- 2) Инициализируем m наборов для K кластеров, которые будут использованы m частицами.
- 3) Для каждой частицы, пусть каждый пиксель x принадлежит тому кластеру, ближе к центру которого он находится.
- 4) Рассчитываем новые центры кластеров. Если он схож с предыдущим, то идем дальше, иначе – возвращаемся к пункту 3.
- 5) Сохраняем лучшее решение для каждой частицы ($pbest$).
- 6) Сохраняем лучшее решение среди всех m частиц ($gbest$).
- 7) Обновляем кластерные центры согласно решениям $pbest$ и $gbest$
- 8) Если выполняется условие останова, то выводим решение, иначе – возвращаемся к пункту 3.

Экспоненциальный алгоритм роя частиц для задачи сегментации изображений

Использование алгоритма роя частиц в задаче сегментации показывает замечательные результаты в большинстве случаев. В задаче сегментации изображений, задача алгоритма роя частиц заключается в получении качественной кластеризации на основании переданных параметров. Это обеспечивается самообучающимся подходом, что очень помогает в процессе кластеризации. В случае сегментации изображений, каждая частица PSO представляется пикселем. Более того, на каждом шаге такие свойства пикселя, как интенсивность и др., используются в качестве входных параметров РА для получения оптимального результата.

Ниже приведено пошаговое описание алгоритма:

- 1) Создать исходную популяцию пикселей (частиц) распределенных по пространству изображения S ;
- 2) Рассчитать значения пикселей на основе целевой функции (задается пользователем);
- 3) Если текущий пиксель (текущая позиция частицы) лучше, лучше предыдущей, обновить ее;
- 4) Определить лучший пиксель (основываясь на предыдущем лучшем пикселе);
- 5) Обновить скорость пикселя согласно (2). Рассчитать $pbest$ согласно (3) и $gbest$ согласно (4);

- 6) Переместить частицу в новую позицию согласно (1);
- 7) Вернуться к шагу 2 до тех пор, пока условие окончания не выполнится.

Так как алгоритм роя частиц является эволюционным процессом, алгоритм будет повторяться до тех пор, пока условие завершения не будет выполнено, а изменение скорости приблизительно устремится к нулю. Каждая частичка X_i представляет N кластеров таким образом, что $x_i = (m_{i1}, \dots, m_{ij}, \dots, m_{iN})$, где m_{ij} представляет центр кластера j для частицы i.

Фитнесс-функция рассчитывается согласно (5).

$\bar{d}_{\max}$ - максимальное среднее евклидово расстояние от частиц до связанных с ними кластеров и рассчитывается согласно (6).

$d_{\min}(x_i)$ - минимальное евклидово расстояние между парами кластерных центров и рассчитывается согласно (7).

В пункте 3.1 обсуждался алгоритм роя частиц. В данном алгоритме, частицы стремятся лететь непосредственно к позиции gbest, найденной самой успешной частицей. Данная социальная кооперация, помогает им обнаружить перспективные решения за довольно короткое время. Тем не менее, именно данное социальное взаимодействие, чаще всего приводит к устремлению к локальным минимумам, а не глобальным, что приводит к нахождению не оптимальных, а субоптимальных решений задачи. Как только находится новый gbest, он оказывает влияние на все частицы роя таким образом, что они притягиваются к данной позиции на последующих итерациях до тех пор, пока лучшее решение не будет найдено. Нахождение субоптимальных решений, связано в первую очередь общей диффузией скорости недавно найденного gbest и было описано El-Desouky в [14].

Улучшение в исходном алгоритме роя частиц состоит в том, что значение ω не остается постоянным. Предлагается изначально полагать $\omega = \omega_{\max}$, а далее уменьшать его значение с каждой итерацией, пока не будет достигнуто значение $\omega = \omega_{\min}$. $\omega_{\max} = 0.9, \omega_{\min} = 0.4$ в начале алгоритма. Предлагается снижать ω до значения $\omega_{\min}$ на протяжении первых 1500 итераций. Далее, если алгоритм все еще не сошелся, ω рассчитывается как

$$\omega = (\omega - 0.4) \frac{(\max - i)}{\max} + 0.4 \quad (8)$$

$\max$ – максимальное число итераций;

i – номер текущей итерации.

Экспоненциальный алгоритм роя частиц (ЭкспРА, Exponential PSO) оказывает большое

влияние на исследование глобальных и локальных экстремумов. Процесс становится более быстрым и менее инертным, если инерционный вес ω модифицировать и представить в экспоненциальном виде.

Таким образом, модифицировав (8), движение частиц становится более быстрым и более отдаленным друг от друга. Таким образом формула (8) модифицируется в

$$\omega = (\omega - 0.4) e^{\frac{(\max - i)}{\max} - 1} + 0.4 \quad (9)$$

Описание разработанной системы

Разработана система, позволяющая производить визуализацию и индивидуально настраивать процесс сегментации. Имеется возможность сохранения результатов обработки в базе данных для последующего сравнения и визуального определения лучших результатов. Система разработана на платформе Microsoft.NET Framework в среде Microsoft Visual Studio.

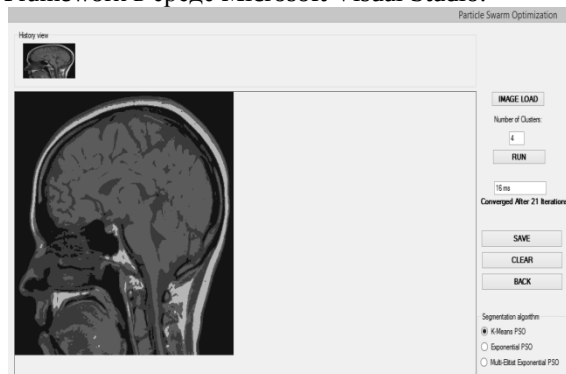


Рисунок 1 – Интерфейс запуска алгоритма роя частиц

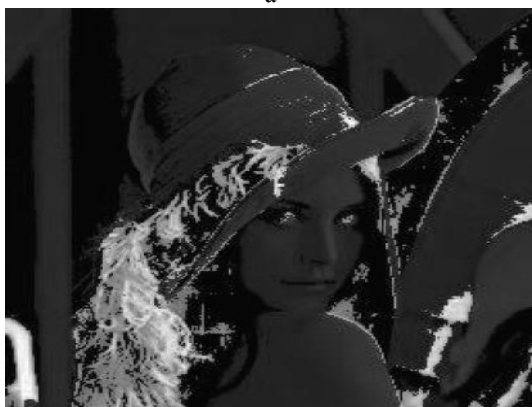
На рис.1 находится интерфейс окна запуска выполнения алгоритма. На вход передается количество кластеров, на которые необходимо разбить изображение и само изображение. Результатом является результирующее изображение. Добавленный модуль роевого алгоритма является дополнением к уже существующей системе в [15].

Эксперименты

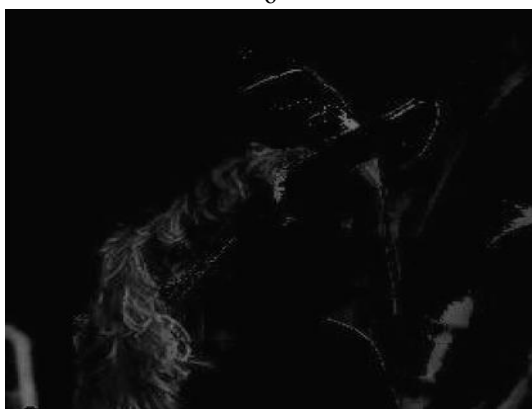
Для тестирования был выбран бенчмарк Беркли [16]. Далее будут приведены результаты сегментации изображений двумя модификациями PSO – PSO - K-means, EPSO, а также с помощью обычного алгоритма к-средних (K-means).



а



б



в



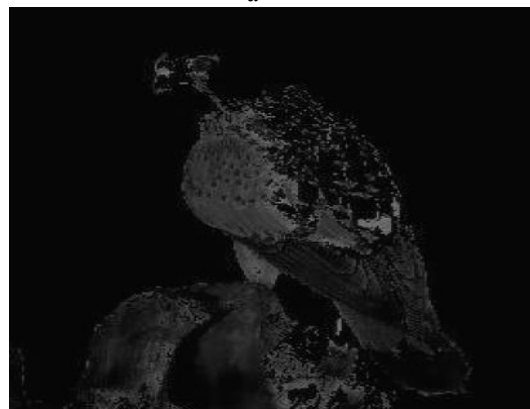
г

Рисунок 2 - Изображение Lena из бенчмарка Беркли: а – исходный снимок, б

– K-means, в – PSO-K-means, г – EPSO



а



б



в



г

Рисунок 3 - Изображение Bird из бенчмарка

Беркли: а – исходный снимок, б – K-means, в – PSO-K-means, г – EPSO

Были проведены исследования по представленным выше алгоритмам с 120 изображениями из бенчмарка Беркли, также некоторые изображения были искусственно предобработаны для воссоздания разных начальных условий (хорошее качество (отсутствуют шумы и прочие артефакты), наличие шума, нечеткие границы (контрастные изображения), изображения разной разрешающей способности).

На рисунках 2-3 приведены примеры изображений из исследований. Рисунок а – исходное изображение, б – сегментированное с помощью алгоритма K-means, в - PSO-K-means, г – EPSO.

Эталонные изображения были заранее подготовлены для всей заданной выборки (далее они же используются для тестирования алгоритмов роя частиц).

Анализ точности сегментации – один из способов расчета производительности алгоритма сегментации. Наиболее часто для такой оценки используют расчет матрицы ошибок (contingency table or an error matrix) [17]. Главная причина использования матрицы ошибок – простота ее использования. Эталонное изображение может быть наложено на результирующее изображение. Основываясь на предположении, что оба изображения обладают одинаковым соотношением пикселей и их значений, рассчитывается разница. В расчёте принимает участие каждый пиксель изображений. Основанная на разнице значений, вычисляется матрица. Для расчетов используется формула

$$\text{Процент точности} = \frac{N-D}{N} * 100 \quad (10)$$

где N – общее число пикселей,

D – число пикселей отличающихся от эталона.

Результаты сегментации представлены в виде матрицы ошибок - исследованы 3 группы изображений - хорошее качество (отсутствуют шумы и прочие артефакты), наличие шума, нечеткие границы (контрастные изображения). Ниже приведены результаты исследований для данных групп (рисунки 4-6).

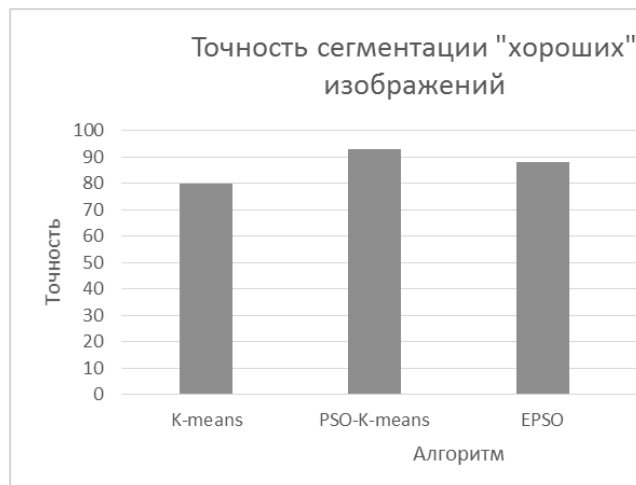


Рисунок 4 – Оценка качества сегментации для изображений хорошего качества

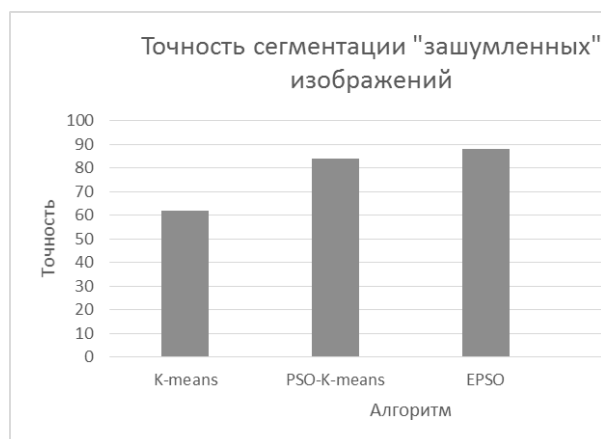


Рисунок 5 – Оценка качества сегментации для зашумленных изображений



Рисунок 6 – Оценка качества сегментации контрастных изображений

Как видно из результатов, наилучшую динамику показал смешанный алгоритм к-средних и частиц роя. В 2 из 3 групп его результаты оказались лучшими по качеству. Экспоненциальный алгоритм роя частиц лучше справился с зашумленными изображениями (рисунок 5).

Выводы

Была разработана компьютерная система сегментации изображений на основании модифицированного алгоритма роя частиц и К-средних. Апробация показала высокую эффективность разработанного алгоритма.

Использованные алгоритмы показали в некоторых случаях свое превосходство по качеству результатов по сравнению с существующими алгоритмами сегментации изображений (в 2 из 3х тестовых групп лучшие результаты были получены с помощью алгоритма PSO-K-means, с зашумленными изображениями лучше справился EPSO алгоритм).

Литература

1. Конушин В.В., Вежнев В.А. Методы сегментации изображений: автоматическая сегментация // Вестник МГУ им. Ломоносова – №5, 2009. – с. 50-55.
2. Конушин В.В., Вежнев В.А. Методы сегментации изображений: интерактивная сегментация // Вестник МГУ им. Ломоносова – №4, 2008. – с. 107-118.
3. Dong G., Xie M. Color clustering and learning for image segmentation based on neural networks // Neural Networks, IEEE Transactions. – 2005, P. 925-936.
4. Hartigan J. A., Wong M.A. Algorithm AS 136: A K-Means Clustering Algorithm // Journal of the Royal Statistical Society. – 1979. - Series C **28** (1). - P. 100–108.
5. Goldberg D.E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Addison-Wesley : Reading, MA. 1989 – 525p.
6. Скобцов Ю.А., Сперанский Д.В. Эволюционные вычисления: учебное пособие. М.:Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ» 2015.331с.
7. Beni G., Wng J. Swarm Intelligence in Cellular Robotic Systems, Proceed // NATO Advanced Workshop on Robots and Biological Systems, Tuscany, Italy, June 26-30. – 1989.
8. Kaewkamnerdpong, B. Perceptive Particle Swarm Optimisation: an Investigation // IEEE Swarm Intelligence Symposium,

- Pasadena, CA, USA, June, 2005, pp. 169-176.
9. Kennedy J., Eberhart R. Particle swarm intelligence // In Proceedings of the IEEE International Joint Conference on Neural Networks.- LA, 1995. - P. 1942-1948.
 10. Shi Y. A., Eberhart R. A modified particle swarm optimizer // The 1998 IEEE International Conference on Evolutionary Computation Proceedings, 1998, P. 69–73.
 11. Shi Y., Eberhart R. Empirical study of particle swarm optimization // Proceedings of the 1999 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 1999, P. 1945–1950.
 12. Clerc M., Kennedy J. The particle swarm – explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space // IEEE Transactions on Evolutionary Computation, №6 (1), 2012. - P. 58–73.
 13. Скобцов Ю.А., Эль-Хатиб С.А., Эль-Хатиб А.И. Сегментация изображений методом муравьиных колоний // Вестник Херсонского Национального Технического Университета. – Херсон, 2013. – №1(46). – С.204 – 211.
 14. El-Desouky N., Ghali N., Zaki M. A New Approach to Weight Variation in Swarm Optimization // Proceedings of Al-azhar Engineering, the 9th International Conference, April 12-14, 2007
 15. Эль-Хатиб С.А., Скобцов Ю.А. Система сегментации медицинских снимков методом муравьиных колоний // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского Политехнического университета. «Информатика. Телекоммуникации. Управление». – Санкт-Петербург, № 2(217) – 3(222), 2015. – с. 9-19.
 16. Berkeley Segmentation Dataset: Images [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.eecs.berkeley.edu/Research/Projects/CS/vision/bsds/BSDS300/html/dataset/images.html>
 17. Confusion matrix [Electronic resource]. – Access mode : https://en.wikipedia.org/wiki/Confusion_matrix

Сегментація зображень за допомогою змішаного та експоненціального алгоритмів рою часток.

Наведено для розглядання два алгоритма сегментації зображень: змішаний алгоритм К-середніх та роя часток та експоненціальний алгоритм рою часток. Розроблена система для сегментації зображень за допомогою наведених алгоритмів. Виконано тестування алгоритмів за допомогою бенчмарка Berkley, наведено порівняння результатів з іншими алгоритмами сегментації. Виконано порівняння точності сегментації в порівнянні з іншими алгоритмами.

Ключові слова: алгоритм к-середніх, сегментація, алгоритм рою часток, ройовий інтелект.

Image segmentation using combined and exponential particle swarm optimization.

Presented two image segmentation algorithms : combined k-means and particle swarm optimization and exponential particle swarm optimization algorithms. Developed PC system for image segmentation using those algorithms. Done algorithms testing using Berkley benchmark, also done results comparison with other segmentation algorithms. Done accuracy comparison of developed algorithms with other segmentation algorithms.

Keywords: K-means, segmentation, particle swarm optimization, swarm intelligence.

Стаття поступила в редакцію 20.09.2015

Рекомендована к публикации д-ром техн. наук Ю.А. Скобцовым

CONTENT

Introduction.....	4
Anopriyenko A. Main directions of professional training improvement in the field of computer science and technology.....	5
Andruckin A.I. Computer performance evaluation of multidimensional operations and objects. I. ...	16
Andruckin A.I.,Pidtynnyi.S.D. CMOS implementation of reflexive systems in probabilistic logic.	25
Anokhina I.Yu. Comparative analysis of the content management system for distance learning.	35
Belkov D.V., Edemskaya E.N. Discrete map for traffic simulation	44
Grigoriev A.V. The invention as a method of automating the process of learning design techniques in semiotic CAD model.....	51
Dobrovolsky Yu.N. Application of test of Fuchs - Kovalevskaya – Painleve for the solution of a model task of a pressure filtration of gas mix in the solid environment (on the example of pneumoprocessing of coal stratum).	67
Zemlyansky S. Y Study of the effect of Distributed corporate information system optimizing model parameters influence on the criterion of efficiency	
Zvyagintseva A.V. Construction of models for integrated assessment of complex systems based on the phenomenological analysis of the experimental data.....	76
Karabchevsky V.V., Rudenko M.P. Automated calculation of functional zoning in the civil buildings design.	92
Malcheva R.V., Yunis M., Zavadskaya T.V. Control of a color difference to save the image quality in modified ray-tracing algorithm.....	97
V.N. Pavlysh, L.A. Lazebnaya, Ismail Haser Dayeh, E.V. Perinskaya. The mathematical modeling and automatic control of pneumohydrodynamic treatment process on underground rock massifs.....	104
Fedyaev O., Truhanov T. Analysis of neural network algorithm self-organization of the «neocognitron» in Pattern Recognition.....	109
Kharitonov A. Review of modern accounting and analysis systems of energy consumption.....	117
Elkhatib S.A. Image segmentation using combined and exponential particle swarm optimization...	126
Content.....	134

Научное издание

ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

Научный журнал

(на русском, украинском, английском языках)

№ 1-2015

Ответственный за выпуск А.И. Андриухин

Технические редакторы Т.В.Завадская, А.В.Звягинцева

Компьютерная верстка Д.А. Филипишин

Подписано к печати 25.12.2015. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать ризографическая.
Усл. печ. лист. 10. Уч.- изд. лист. 7,1. Тираж 100 экз.

Адрес редакции: ДНР, 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, ГВУЗ «ДонНТУ», 5-й учебный корпус,
к. 425, а. Тел.: +38 (062) 301-08-51 E-mail: infkybdonntu@gmail.com, URL:
<http://infcyb.donntu.org>

Издатель Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет» ДНР, 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58. Тел.: +38 (062) 301-08-67, +38 (062) 301-09-67 Свидетельство о государственной регистрации субъекта издательского дела: серия ДК №2982 от 21.09.2007

Отпечатано ООО фирма «ДРУК-ИНФО» ДНР, 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, к. 113, тел.: +38 (062) 335-64-55