

УДК 004.054:519.68:681.51

КМОП-реализации рефлексивных систем вероятностной логики

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

С.Д. Подгынный, 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, стр154.] 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} ∈ 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) = ¬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.(T(P1,P2),P3),..P_n)=T(T(..T(P1,P2)=P3),=P_n) описывают рефлексивные булевы высказывания.

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,1},..., a_{i,n}),i=1,N[9-11]**. Будем понимать под состоянием ситуации **A** в определенные моменты времени **t₁, t₂,..., 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 **П**. 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.

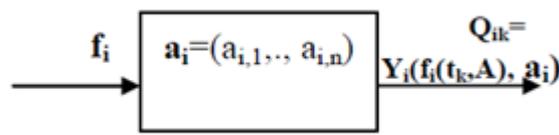


Рисунок 1 – Оценка значения воздействия **f_i(t_k,A)** агентом **a_i** логическим значением **Q_{ik}**.

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} ∈ (True, False)**.

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

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

Рассмотрим парадокс Журдэна. Учитывая кодировку True(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 связки-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	$\neg_q(x \vee_p y) \leftrightarrow \neg_1 y \wedge_r \neg_1 x$ $\neg_q(x \wedge_p y) \leftrightarrow \neg_1 y \vee_r \neg_1 x$

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 Pr-вероятность правильной оценки воздействия X и соответствующего ответа Y.

Мы интерпретируем X,Y как вероятности. Изображенный узел является простейшим вероятностным преобразователем, который при Pr близкому к 1 выполняет операцию T(X,Pr) при X=0 или 1. Это означает, что если Pr 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]

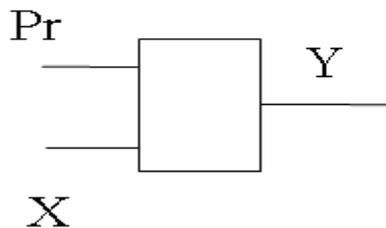


Рисунок 4 – Вероятностный преобразователь.

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 $(0,1)$.

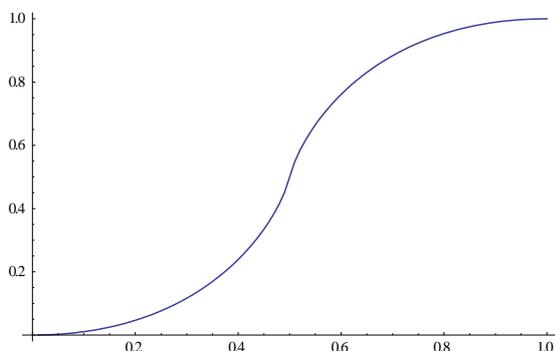


Рисунок 5 – Функция распределения $X + Y - 2XY$.

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

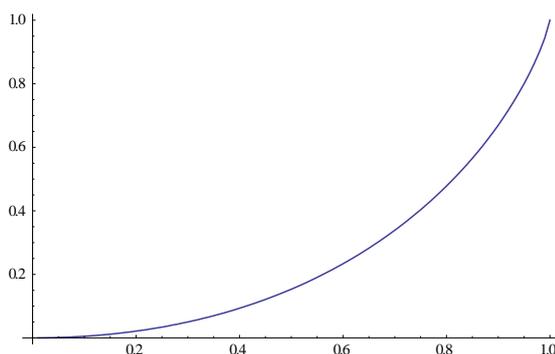


Рисунок 6 – Функция распределения $X + Y - XY$

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 $t \in (0,1)$.

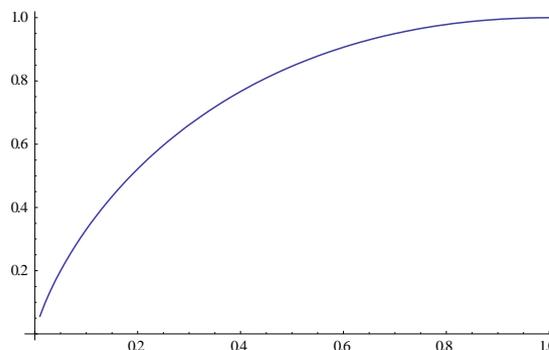


Рисунок 7 – Функция распределения XY

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.

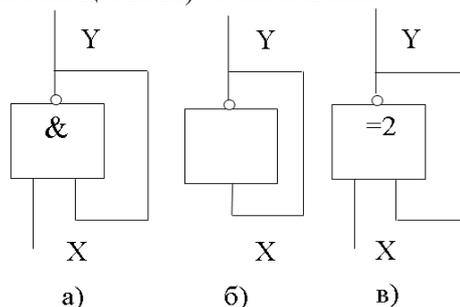


Рисунок 8 – Расчет параметров ОС для примитивов.

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.

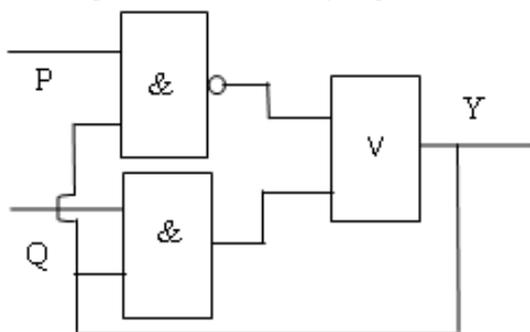


Рисунок 9 – Пример схемы с ОС.

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.

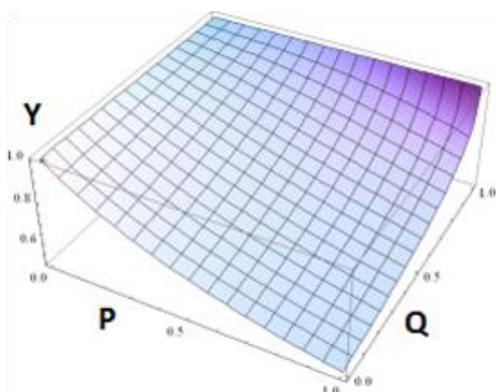


Рисунок 10 –График функция Y.

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.

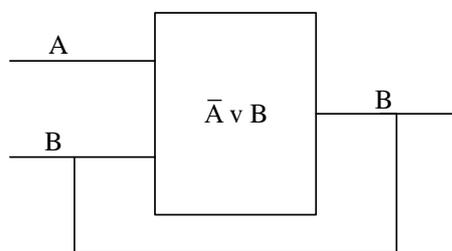


Рисунок 13 – Рефлексивная модель импликации.

Аналогичные рассуждения для правила MP приводят к рис.14.

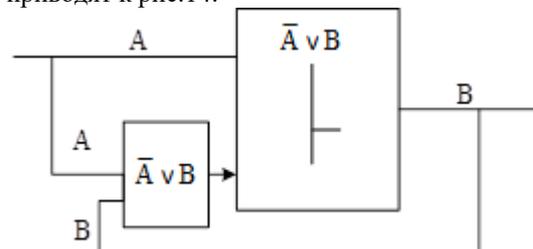


Рисунок 14 – Рефлексивная модель MP.

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 $X_s = PY_p = PX_p$ и $X_p = SY_s = S(1 - PX_p)$. Следовательно, стационарные частоты $X_p = S/(1 + PS)$ и $X_s = PS/(1 + PS)$.

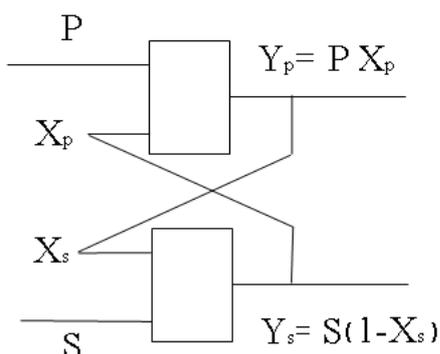


Рисунок 11 – Парадокс Платон-Сократ.

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

- Q1: «Предложение Q2 ложно»;
- Q2: «Предложение Q3 ложно»;
- Q3: «Предложение Q1 ложно».

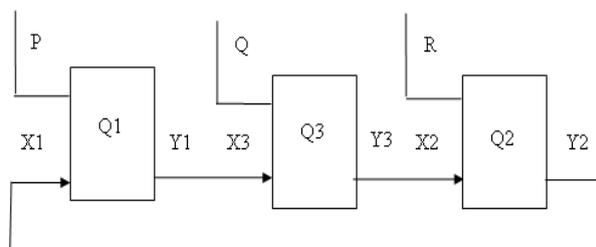


Рисунок 12 – Модель парадокса Альберта Саксонского.

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 истинности и существования

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.

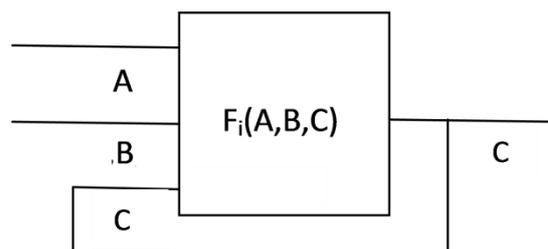


Рисунок 15 – Рефлексивная модель трех представлений.

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 $T(A \vee B \vee C) = C$
 - II $T(A \wedge B \wedge C) = C$

III $T(\neg A \wedge B \wedge C \vee A \wedge \neg B \wedge C \vee A \wedge B \wedge \neg C = 1) = C$
 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 .

I $C=A(1-A)/(1+A(1-A))$

II $C=0$

III Кубическое уравнение для C
 $A \cdot A^2 + (-4A + 6A^2 - 4A^3 + 2A^4)C + (A - 4A^2 + 7A^3 - 6A^4 + 3A^5 - A^6)C^2 + (-A^3 + 3A^4 - 3A^5 + A^6)C^3 = 0$

IV Кубическое 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.

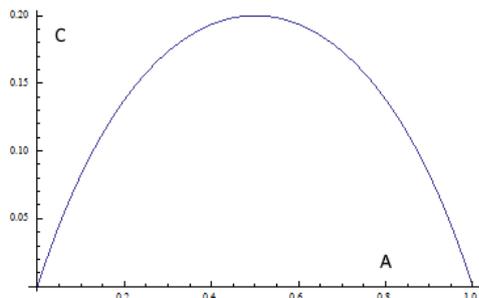


Рисунок 16 – Зависимость $C(A)$ в I.

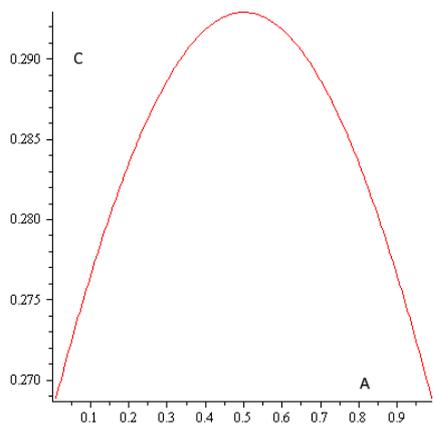


Рисунок 17 – Зависимость $C(A)$ в III.

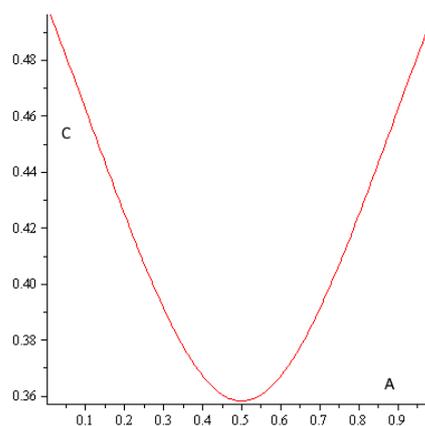


Рисунок 18 – Зависимость $C(A)$ в IV.

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.

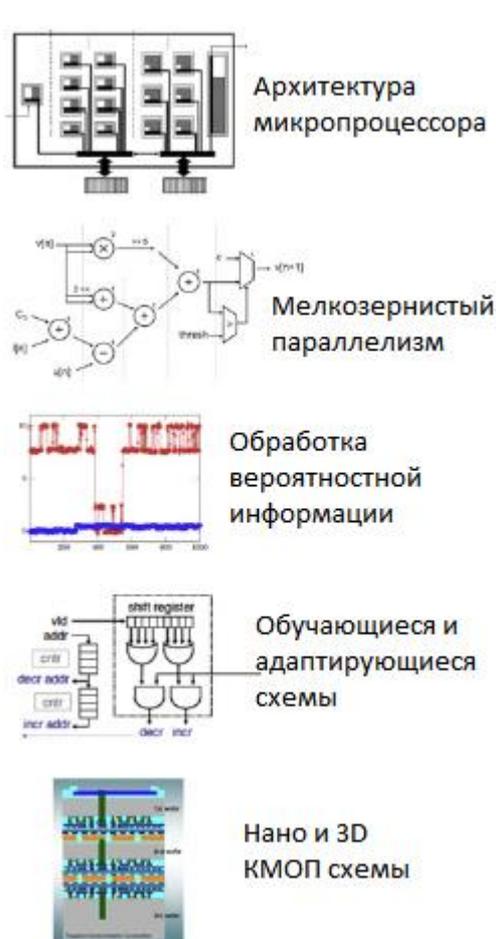


Рисунок 19 – Уровни исследований кремниевых нейрочипов.

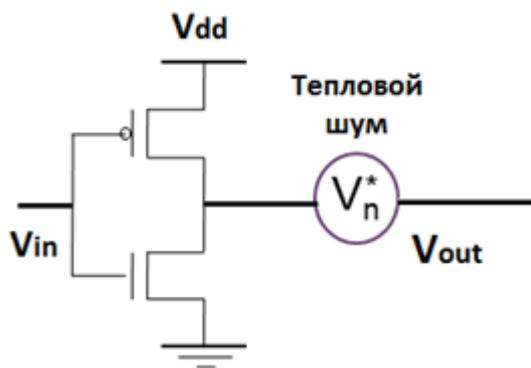


Рисунок 20 – МОП-инвертор.

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

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

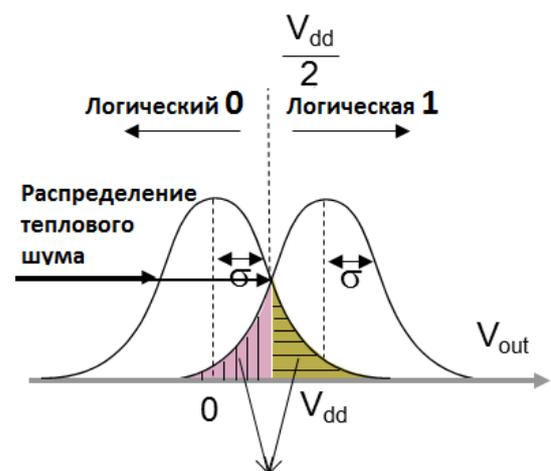


Рисунок 21 – Вероятностная модель инвертора.

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.

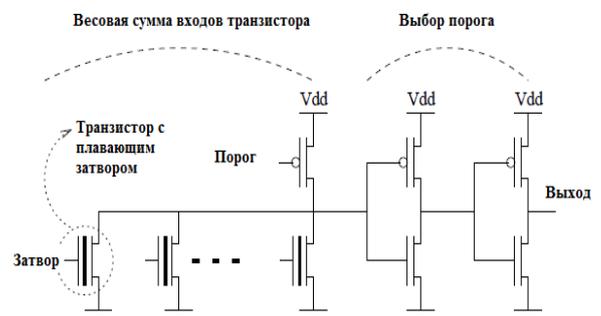


Рисунок 22 - Универсальная реализация пороговых функций.

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. ...
4. ...
5. ...
6. Pinar Korkmaz, "Probabilistic CMOS (PCMO) 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.Pidtyunnyi.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.

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