РАСШИРЕННЫЙ КОДО-ЛОГИЧЕСКИЙ БАЗИС КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аноприенко А. Я.
Кафедра ЭВМ ДонГТУ
anoprien@dstu.donetsk.ua

Abstract

Anoprienko A. A Extented Logical and Numerical Basis for Computer Simulation. *The computer modelling and simulation of complex phenomena and processes of the real world claims for the development of adequate logic and numerical tools. The traditional binary logic and binary codes often appear in these cases insufficient and inefficient. In the report the scheme of 3D logic space is offered. Such unified system can be named as extended logical basis. 3D logic space of extended logical basis can be formed by three orthogonal axes ("true", "false", "membership degree") and can be used for construction of the various logical systems. The extended logic is also a basis for construction of the various numerical systems: from monocode to hipercodes.*

Введение

В 90-е годы как самостоятельное научное направление оформилась новая комплексная дисциплина, известная в настоящее время под названием "вычислительный интеллект"(ВИ), которую многие специалисты склонны рассматривать как альтернативу искусственному интеллекту (см., например, [1, 2, 3]). Одной из особенностей ВИ является ориентация на "мягкие вычисления" (считается, что термины "вычислительный интеллект" и "мягкие вычисления" введены Л. Заде в 1994 г. [4]). В настоящее время ВИ базируется не только на новой по сравнению с ИИ математике, но и на ее соответствующей аппаратной поддержке, что позволяет создавать дешевые конкурентоспособные автономные интеллектуальные системы, базирующиеся на методах ВИ: от миниатюрных мобильных роботов и средств интеллектуализации бытовой техники до сверхвысокопроизводительных вычислительных и моделирующих сред. Концепция "вычислительного интеллекта" в настоящее время положена в основу создания вычислительной техники так называемого 6-го поколения, в качестве альтернативного названия которого используется также определение RWC - Real World Computers - "компьютеры реального мира", что призвано подчеркнуть максимальное приближение новых компьютерных технологий к реально используемым человеком и живой природой средствам и методам кодирования, обработки, преобразования и передачи информации.

В качестве одной из важнейших составляющих "вычислительного интеллекта" представляется компьютерное моделирование, эффективно использующее весь спектр интеллектуализации вычислительных методов и средств. Предлагаемая концепция расширенного кодо-логического базиса предназначена, во-первых, для обобщения и систематизации уже имеющихся в этой области результатов. А, во-вторых, что наиболее существенно, - для обеспечения возможности синтеза новых эффективных методов и средств .

Основная идея данной концепции базируется на гипотезе о множественности эволюционирующих кодо-логических форм и методов человеческого мышления. Т. е. в основу данной концепции положено представление о том, что человеческий интеллект в зависимости от конкретной ситуации и решаемой задачи использует в процессе мышления не одну логическую систему, а некоторое достаточно представительное множество таких систем и связанных с ними количественных представлений. Традиционно используемая двоичная логика и основанные на ней системы счисления должны рассматриваться при этом в качестве одного из наиболее значимых, но отнюдь не единственного и не достаточного элемента современного интеллектуального инструментария. Другими важными составляющими являются как некоторые более ранние формы логики и представления количественной информации, так и целый ряд перспективных, которые существуют пока только в зачаточном или не полностью оформившемся виде, но обладают значительным информационным потенциалом.

1. Многомерное логическое пространство

Традиционные логические системы являются по сути одномерными, так как строятся в пределах оси, соединяющей логические 0 и 1. В простейшем случае классической бинарной логики используются только два противоположных логических значения. В наиболее сложных случаях, при построении непрерывных, в том числе нечетких, логик используется все пространство оси.

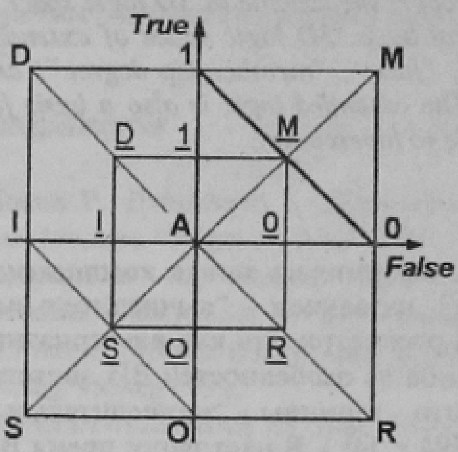

Рис. 1. Двумерное логическое пространство

Расширенное двумерное логическое пространство может быть порождено базисом, состоящим из ортонормированной системы векторов “Истина” (может обозначаться как T - True или Y - “Yes”) и “Ложь” (F - False или N - “No”) с положительной и отрицательной полуосями [5, 6]. Логические значения при этом могут задаваться либо соответствующими координатами (например, в случае построения непрерывных логик), либо фиксацией характерных точек. В качестве последних прежде всего должны быть выделены следующие:

1 и 0 - значения “истина” и “ложь” классической логики;

А - абсолютная неопределенность, “непроявленность”, неизвестность (обозначение А было выбрано исходя из известной критики закона исключения третьего в “Науке логики” Гегеля: “Закон исключения третьего утверждает, что нет ничего такого, что не было бы ни А, ни не-А. Однако третье есть в самой этой тезе: само А есть третье, ибо оно может быть и +А и -А” [7, с. 482], т. е. значение его на момент высказывания утверждения не известно, и эта неизвестность и есть фактически тем самым третьим);

М - множественность, многозначность (и “истина” и “ложь”, и да и нет);

S - симметричность (инверсная многозначность, отражение М относительно точки А);

I и O - инверсные “истина” и “ложь” (обозначения выбраны по подобию с 1 и 0, так как предполагается не только симметрия относительно точки А, но и относительно оси DR, при этом если 1 и 0 соответствуют положительному выбору некоторых значений из всего возможного множества, то I и O соответствуют отрицательному выбору, т. е. по принципу “все значения кроме данного”);

D и **R** - мнемонически соответствуют понятиям “дублирование” и “репликация”, т.е. формы многозначности, по разному комбинирующие свойства значений М и S.

Каждой из перечисленных характерных точек может быть поставлена в соответствие точка, расположенная на половине расстояния между ней и А. Значения, соответствующие таким точкам, обозначим аналогичными символами, но с подчеркиванием, что мнемонически может ассоциироваться с дробностью, половинчатостью. Суть данных значений состоит в том, что в них неопределенность принимает вероятностный характер, т. е. равновероятны равноудаленные значения. Например, значение <u>М</u> предполагает равновероятность 0 и 1.

Приведенные обозначения существенно отличаются от тех, которые ранее использовались в работе [6]. Изменение обозначений вызвано в основном двумя причі. необходимостью улучшения их мнемонических свойств и стремлением к максималы. соответствию используемых обозначений (с учетом возможных их расшифровс смысловому содержанию.

Смысл предложенных значений может быть проиллюстрирован на одном простом примере. Поведение монеты при бросании принято считать классическим случаем равновероятного события. Однако, если предположить, что равновероятность выпадения орла или решки не является обязательной, то можно выделить следующие варианты знания о поведении монеты при бросании: A - ничего не известно и возможны любые варианты; $\underline{M}$ - монета ведет себя классически, обеспечивая равновероятность орла и решки; M - монета всегда при бросании падает на ребро и остается в вертикальном положении, оставляя одновременно открытыми и орла и решку; 1 - при бросании всегда выпадает решка; 0 - всегда орел; $\underline{1}$ - монета доступна для наблюдения после бросания только в половине случаев, при этом каждый раз наблюдается решка; $\underline{0}$ - аналогично предыдущему случаю, но наблюдается орел. Таким образом, введение новых логических значений позволяет значительно расширить возможности формализованной логической оценки различных нюансов реальных процессов и ситуаций.

В двумерном логическом пространстве могут быть построены различные логические системы, отличающиеся прежде всего количеством используемых логических значений. Возможные логические системы будем обозначать как L_N^K, где K есть количество используемых логических значений или *порядок* логики, а N - порядковый номер логической системы в наборе рассматриваемых логик порядка K. В контексте данного раздела логическую систему будем интерпретировать лишь как множество соответствующих логических значений, т.е. $L_N^K = \{x_1, x_2, ..., x_K\}$, хотя в общем случае логическая система должна определяется также и множеством заданных логических функций. С целью терминологического единообразия для наименования логических систем будем использовать слово "логика" в комбинации с греческим корнем, соответствующим значению K. Введем, в частности, в рассмотрение следующие логические системы:

монологика: $L_1^1= \{1\}$(в принципе возможны и другие системы, например, $L_2^1= \{0\}$, но с практической точки зрения достаточно ограничиться L_1^1, что соответствует рассмотрению и фиксации лишь "положительных" фактов и суждений);

дилогика: $L_1^2= \{1, 0\}$ - соответствует классической бинарной логике; возможно, но с практической точки зрения вряд ли целесообразно, построение и других вариантов дилогики, например $L_2^2= \{1, A\}$, $L_3^2= \{A, 0\}$ и т. п.;

трилогика: $L_1^3= \{1, 0, A\}$, $L_2^3= \{1, 0, \underline{M}\}$, $L_3^3= \{1, 0, M\}$, что покрывает практически все ранее предложенные варианты трилогики;

тетралогика: $L_1^4= \{1, 0, A, M\}$ и $L_2^4= \{1, 0, \underline{M}, M\}$, что соответствует ранее предложенным в работе [2] вариантам тетралогики; существенный интерес представляют также следующие варианты тетралогики $L_3^4= \{1, 0, S, M\}$, а также $L_4^4= \{1, 0, A, \underline{M}\}$.

пенталогика: $L_1^5= \{1, 0, A, \underline{M}, M\}$, $L_2^5= \{1, 0, A, S, M\}$ и т. п.;

гексалогика: $L_1^6= \{1, 0, A, \underline{M}, M, S\}$ и др.;

октологика: $L_1^8= \{1, 0, M, R, O, S, I, D\}$, $L_2^8= \{1, 0, M, S, R, D, A, \underline{M}\}$ и др.;

декалогика: $L_1^{10}= \{1, 0, M, R, O, S, I, D, A, \underline{M}\}$и др.;

гексадекалогика: $L_1^{16}= \{1, 0, M, R, O, S, I, D, \underline{1}, \underline{0}, \underline{M}, \underline{R}, \underline{O}, \underline{S}, \underline{I}, \underline{D}\}$и т. д.

Логики третьего и более высоких порядков, существенно отличающиеся от классической, целесообразно объединить одни термином, используя для этого, например, обозначение "**гиперлогика**".

Естественно, что перечисленные выше логики отнюдь не исчерпывают всех возможных вариантов. Выделены лишь те, которые уже сейчас можно идентифицировать как достаточно продуктивные, в т.ч. - с точки зрения образования на их базе эффективных систем кодирования количественной информации..

Аналогично тому, как бинарная логика является основой двоичной системы счисления, на базе перечисленных выше логических систем могут быть построены соответствующие системы кодирования количественной информации, обладающие некоторыми качественно новыми свойствами. Все вводимые системы кодирования будем рассматривать на машинном уровне, т. е. на уровне двоичной системы счисления, когда кодовый алфавит однозначно совпадает с алфавитом соответствующей логической системы. Системы кодирования при этом могут быть заданы так же, как и соответствующие логические системы. Таким образом в рассмотрение могут быть введены:

монокоды: $C_1^1 = \{1\}$;

дикоды: $C_1^2 = \{1, 0\}$ и др.;

трикоды: $C_1^3 = \{1, 0, A\}$, $C_2^3 = \{1, 0, \underline{M}\}$, $C_3^3 = \{1, 0, M\}$и др.;

тетракоды: $C_1^4 = \{1, 0, A, M\}$ и $C_2^4 = \{1, 0, \underline{M}, M\}$, $C_3^4 = \{1,0, S,M\}$, $C_4^4 = \{1,0,A,\underline{M}\}$ и др.;

пентакоды: $C_1^5 = \{1, 0, A, \underline{M}, M\}$, $C_2^5 = \{1, 0, A, S, M\}$ и т. п.;

гексакоды: $C_1^6 = \{1, 0, A, \underline{M}, M, S\}$ и др.;

октокоды: $C_1^8 = \{1, 0, M, R, O, S, I, D\}$, $C_2^8 = \{1, 0, M, S, R, D, A, \underline{M}\}$ и т. д...

Аналогично тому, как это было сделано для логических систем, для всех систем кодирования третьего и более высоких порядков может быть введен обобщающий термин "**гиперкоды**". В совокупности перечисленные логические и кодовые системы образуют **расширенный кодо-логический базис.**

С целью включения в расширенный кодо-логический базис и нечеткой логики (см., например, [3, 4, 8, 9]) представленное на рис. 1 логическое пространство может быть преобразовано в трехмерное путем **введения вектора функций принадлежности в качестве третьей составляющей ортонормированного базиса.** При этом двумерному пространству классических функций принадлежности нечеткой логики будет соответствовать плоскость, ортогональная осям "ложь" и "истина" и пересекающая их в точках логических значений 0 и 1.

2. Монологика и монокоды

Весьма существенным представляется введение в рассмотрение понятий монологики и монокодов, что позволяет вовлечь в круг интересов компьютерных наук чрезвычайно важный массива интеллектуальных достижений человеческой культуры, практически выпавших из рассмотрения в современной информатике. Более того, анализ закономерностей и особенностей перехода от монологики к дилогике и от монокодов к дикодам позволит эффективно использовать этот опыт при переходе к гиперлогике и гиперкодам.

С уверенностью можно констатировать, что монологика явилась исторически первым логическим построением, освоенным человеческим мышлением. Этот факт однозначно отражен в особенностях построения так называемого праязыка, наиболее полно реконструированного сегодня на материалах индоевропейской языковой семьи. Из логических операций с монологикой уверенно может быть связана лишь **импликация** (лат. *Implicatio* - сплетение), соответствующая в современном обыденном языке связке "если..., то ...". Если отождествить импликацию с логическим следованием в форме $x \to y$, то содержание ее можно свести к следующим утверждениям: "если высказывание x истинно, то оно следует из любого высказывания y", и "если x ложно, то из него следует любое y". В современную формальную логику данные утверждения вписываются не без проблем, в связи с чем возникло понятие "парадокса материальной импликации" (см., например, [10, с.218]). Одной из причин такой ситуации является, по-видимому, реликтовость данной операции, унаследованной бинарной логикой из монологики, где она еще до оформления ее в языковую конструкцию являлась основой построения простейших суждений "от единичного к единичному".

Монокоды несколько упрощенно можно определить как коды без ноля. Другими характерным признаками монокодов является их непозиционность и представление значений соответствующим количеством определенных предметов или знаков. Другими словами, в случае монокодов некоторое количество чего-либо прямо репрезентуется соответствующим количеством счетных знаков или предметов. Простейшими примерами монокода есть нарастающие ряды зарубок или других однородных меток, которые не только сегодня служат простейшим средством для последовательного подсчета каких-либо событий, но и по многочисленным археологическим свидетельствам являлись на ранних этапах развития цивилизации единственным средством фиксации числовых значений. Несмотря на кажущуюся примитивность, уже простейшие формы монокода могли использоваться для весьма сложных вычислений и, что особенно важно в контексте данной статьи, построения довольно развитых средств вычислительного моделирования. Наиболее ярким (и пока фактически уникальным) примером такого рода является хранящаяся в Эрмитаже костяная пластина, возраст которой по разным оценкам может составлять от 15-ти до 25-ти тысяч лет. Детальная реконструкция и расшифровка точечных узоров на пластине позволяет достаточно уверенно идентифицировать ее как тщательно продуманный вычислительный прибор, позволяющий относительно просто отслеживать и прогнозировать основные календарные и астрономические события [11, 12].

3. Гиперлогика и гиперкоды

В вычислительной технике возможность и необходимость выхода за пределы одномерного логического пространства впервые была достаточно четко декларирована в 1976 году американским математиком Н. Белнапом в работах "Как нужно рассуждать компьютеру" и "Об одной полезной четырехзначной логике" [13], в которых была предложена четырехзначная логика со следующими значениями истинности: T - "только Истина" (True); F - "только Ложь" (False); N - "ни Истины, ни Лжи" (None); B - "и Истина и Ложь" (Both). Необходимость четырехзначной логики обосновывалась тем, что входные данные могут поступать в компьютер из различных независимых источников, что может привести к достаточно типичной информационной ситуации: появлению противоречивой информации. Предложенная логика рассматривалась как средство практического преодоления такой ситуации.

В 1996 году независимо и практически одновременно вводится специальное понятие "тетралогика" для обозначения четырехзначной логики в работах [6] и [14]. В частности, в работе [14] введение данного понятия аргументировалось следующим образом: "Простейший учет внешней неопределенности состоит в переходе к тетралогике с фатальным (квадратным) нулем, который метит абсурдные ситуации внешней неопределенности фактических и априорных знаний в шкале (0,1,Θ,□), и наличие на значимом входе любой функции квадратного нуля порождает на выходе функции знак □. При отсутствии в процессе фатальных ошибок и внутренних неопределенностей трилогика и тетралогика воспроизводят классическую логику".

В работе [6] и данной статье тетралогика трактуется существенно шире. **Во-первых,** предполагается возможность построения различных вариантов тетралогики, включающих в качестве логических значений кроме классических 1 ("истина") и 0 ("ложь") также различные парные комбинации следующих значений: A ("неопределенность", "непроявленность" - аналогично N в логике Белнапа), M ("множественность" - аналогична B в логике Белнапа), $\underline{M}$ - ("возможность", "равновероятность" - аналогична значению "возможно" в трилогике Лукасевича), S ("симметричность", "отражение"), $\underline{S}$ ("возможность симметричности") и другие, представленные на рис. 1. **Во-вторых,** четко декларируется *три вида* логических значений, отличных от классических: *первый* вид - это значение полной неопределенности A; *второй* - неопределенность однозначных значений ($\underline{M}$, $\underline{S}$ и др., расположенные в логическом пространстве на границах квадратах $\underline{MRSD}$); и *третий* - выражающий многозначность или множественность значений (M, S и др. На границах квадрата MRSD), что, соответственно, в зависимости от конкретных ситуаций и задач, позволяет с максимальной эффективностью реализовывать и использовать одни или другие варианты тералогики. **В-третьих**, что наиболее существенно, тетралогика и другие гиперлогики рассматривается прежде всего как основа для построения эффективных систем кодирования количественной информации, обладающих по сравнению с традиционными рядом качественных преимуществ. В частности, представление чисел в виде гиперкодов дает возможность гибкого задания различных наборов значений на числовой оси. Получаемое при этом повышение степени информативности кодов вполне оправдывает определенное увеличение затрат на кодирование. Экспериментально, в частности, доказана эффективность использования тетракодов для представления различных произвольных структур на примере кодирования изображений [15].

Литература

1. Аверкин А.Н. Мягкие вычисления - основа новых информационных технологий / В кн. "КИИ-96", Сборник научных трудов 5-й национальной конференции с международным участием "Искусственный интеллект - 96", т. 2, Казань, 1996, с. 237-239.
2. Ильин В.В. Высокие информационно-вычислительные технологии. Вестник РАН, 6, 1996.
3. Ульянов С.В. Нечеткие модели интеллектуальных систем управления: теоретические и прикладные аспекты (обзор). Техническая кибернетика, № 3, 1991, с. 3-28.
4. Zadeh L. A. Soft computing and Fuzzy Logic. Software Engineering Journal, November, 1994.
5. Аноприенко А.Я., Кухтин А.А. *О некоторых возможностях расширения логического базиса информатики.* / В кн."Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції "Інформатизація в умовах переходу до ринку", Київ, 5-6 листопада 1992 р., с. 30-32.
6. Аноприенко А.Я. Тетралогика и тетракоды. / В кн. "Сборник трудов факультета вычислительной техники и информатики". Вып.1. Донецк, ДонГТУ, 1996, с.32-43.
7. Маковельский А.О. История логики. - М.: Наука, 1967. - 502 с.
8. Заде Л.А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений. / В кн. "Математика сегодня", М., 1974.
9. Zadeh L. A. Fuzzy Logic = Computing with Words. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 4, No. 2, May 1996, p. 103-111.
10. Словарь по кибернетике. Под ред. В.С. Михалевича. - К.: Гл. ред. УСЭ, 1989, 751 с.
11. Ларичев В. Е. Мудрость змеи: Первобытный человек, Луна и Солнце.-- Новосибирск: Наука, 1989.-- 272 с.
12. Anoprienko A. Interpretation of some artefacts as special simulation tools and environments/ European simulation multiconference ESM'97. June 1-4, 1997. Short papers proceedings. Istanbul, 1997, p. 23-26.
13. Белнап Н., Стил Т. Логика вопросов и ответов. - М., 1981. - 214 с.
14. Зверев Г. Н. Точные и аппроксимационные логики в машинных рассуждениях/ В кн. "КИИ-96", Сборник научных трудов 5-й национальной конференции с международным участием "Искусственный интеллект - 96", т. 1, Казань, 1996, с. 46- 49.
15. Анопрієнко О., Кривошеєв С. Тетракоди: новий метод кодування сигналів і зображень/ В кн. "Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів. Праці Всеукраїнської міжнародної конференції УкрОБРАЗ'96. Київ, 1996.