УДК 519.7

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ МНОГОЗНАЧНЫХ СТРУКТУР СРЕДСТВАМИ ПРЕДИКАТНО-ГИБРИДНОЙ ЛОГИКИ

БАВЫКИН В.Н., ЧЕТВЕРИКОВ Г.Г.

Предлагаются методы построения логических выражений для гибридных переключательных функций через операции предикатно-гибридной логики. При этом основной объем логических преобразований переходит с аналоговых устройств на цифровые с однородной структурой, что позволяет осуществить преобразование многозначных неоднородных кодов в двоичной логике. Здесь несомненно расширяется возможность использования средств современной элементной схемотехники для моделирования гибридных устройств сбора, обработки и преобразования информации, в частности, для автоматической обработки текстовой информации.

1. Введение

За последние десятилетия достигнут значительный прогресс в области информатизации и компьютеризации интеллектуальных систем. Но современный этап развития и существования средств вычислительной техники характеризуется некоторой кризисной ситуацией ее основ. Это связано со спецификой архитектурных решений вычислительных систем в целом и необходимостью обеспечения их соответствующими математическими (программными) средствами. Основным тупиковым моментом является принцип действия фон-Неймановского процессора с использованием исключительно двоичного кодирования. При этом отметим следующие основные трудности: общение с ЭВМ в полном объеме доступно лишь специалистам высокой квалификации; последовательный характер их функционирования; обработка данных также осуществляется с помощью последовательных языков программирования, что принципиально снижает быстродействие и возможность обработки данных в реальном режиме времени для сложных и сверхсложных задач, в частности при использовании современных технологий искусственного интеллекта [1,2]; наблюдается чрезмерное увеличение сложности математических средств при создании общих принципов построения и математических основ синтеза быстродействующих структур языковых систем искусственного интеллекта (ЭВМ пятого поколения) [2,3], так как в основу функционирования таких ЭВМ положен принцип организации работы мозга. Другими словами, если машины должны обладать способностью мыслить, т.е. быть интеллектуальными, то и размышлять (рассуждать) они будут на основе законов, которыми руководствуется и человек. Нейрофизиологические исследования естественного интеллекта мозга подтверждают наличие у него механизмов многозначного (k-значного) кодирования и пространственного (параллельного) характера активности многослойных сетей нервных клеток, а также организации механизмов мозга в целом. Анализ показывает перспективность такого подхода на базе многозначных пространственных элементов и структур (гомеостатических модулей [3]), которые обладают указанными выше свойствами. Поэтому так необходим обоснованный выбор и развитие тех математических средств, которые обеспечили бы адекватность элементарных операций описываемому объекту (естественному языку), а также позволили бы эффективно описывать и строить гибридные многозначные структуры, благодаря богатству своего логического и алгебраического аппарата.

2. Предикатно-гибридная логика и ее основные свойства

В задачах анализа и синтеза гибридных вычислительных устройств весьма перспективным аппаратом выступает непрерывная алгебра логики [4], которая позволяет задавать математические операции над переменными, пробегающими непрерывное (бесконечное) множество значений. Интересные ее практические приложения для построения неоднородных функциональных преобразователей. С другой стороны, часто возникают задачи адекватного математического описания связей, в которых одновременно могут быть дискретные и непрерывные переменные, а также появляется необходимость совместного использования логических и обычных алгебраических операций. Все это и поставило задачу исследования так называемой предикатно-гибридной логики, в рамках которой нашли бы решение ранее перечисленные задачи.

Определение 1. Безатомная булева алгебра сигнатуры ($\vee$, $\wedge$, $\neg$, 0, 1) типа (2, 2, 1, 0, 0), удовлетворяющая аксиомам:

1) идемпотентность: $x \vee x = x$, $x \wedge x = x$;

2) коммутативность: $x \vee y = y \vee x$, $x \wedge y = y \wedge x$;

3) ассоциативность:

$$x \vee (y \vee z) = (x \vee y) \vee z \;,\; x \wedge (y \wedge z) = (x \wedge y) \wedge z \;;$$

4) поглощение: $x \vee (x \wedge y) = x$, $x \wedge (x \vee y) = x$;

5) дистрибутивность: $x \wedge (z \vee y) = x \wedge z \vee x \wedge y$,

$$x \vee (y \wedge z) = (x \vee y) \wedge (x \vee z) \;;$$

6)существование нейтральных элементов:

$$x \vee 0 = x \;,\; x \wedge 1 = x \;;$$

7) аксиома Клини:

$$x \wedge \bar{x} \wedge (y \vee \bar{y}) = x \wedge \bar{x} \;,\; x \wedge \bar{x} \vee (y \vee \bar{y}) = y \vee \bar{y} \;,$$

называется непрерывной логической алгеброй. Примером непрерывной алгебры (иногда в литературе она называется алгеброй Клини) может служить полная булева алгебра регулярных открытых подмножеств отрезка [0,1] числовой прямой.

Заметим, что из аксиом 1-7 вытекают другие привычные аксиомы булевой алгебры:

8) закон двойного отрицания: $\overline{\overline{x}} = x$;

9) законы де Моргана: $\overline{x \wedge y} = \overline{x} \vee \overline{y}$; $\overline{x \vee y} = \overline{x} \wedge \overline{y}$.

Введем операции в непрерывной алгебре по следующим правилам: пусть задан отрезок $[\alpha, \beta]$ множества вещественных чисел. Середина этого отрезка $\gamma = (\alpha + \beta)/2$. Тогда для любой пары чисел $\{x,y\} \in [\alpha, \beta]$ операция конъюнкции определяется как $x \wedge y = \min(x, y)$; операция дизъюнкции − как $x \vee y = \max(x, y)$; операция отрицания − $\overline{x} = 2\gamma - x$.

Из данного определения отрицания непосредственно видно, что отрицание точки x на числовой прямой дает точку $\overline{x} \in [\alpha, \beta]$, симметричную точке x относительно центра γ.

Заметим, что законы исключенного третьего в бесконечной логике выглядят несколько сложнее:

$$x \vee \overline{x} = \begin{cases} x, x \geq \gamma \\ \overline{x} = 2\gamma - x, x < \gamma \end{cases} = \gamma + |x - \gamma|;$$

$$x \wedge \overline{x} = \begin{cases} x, x < \gamma \\ \overline{x} = 2\gamma - x, x \geq \gamma \end{cases} = \gamma - |x - \gamma|.$$

Часто возникает необходимость привести к наиболее простому виду выражения, содержащие помимо операций бесконечной логики также и обычные алгебраические операции. Комбинирование этих классов операций вполне естественно, поскольку и в тех, и в других используют непрерывные переменные и функции, принимающие непрерывные значения.

Эквивалентные преобразования логико-алгебраических выражений в целях их упрощения основаны на возможности представления операций бесконечной логики через обычные алгебраические операции. Так, уже определена операция отрицания; что касается операций конъюнкции и дизъюнкции, то они в терминах алгебраических операций могут быть определены следующим образом:

$$x \wedge y = 1/2(x + y - |x - y|) = x\eta(y - x) + y\eta(y - x);$$

$$x \vee y = 1/2(x + y + |x - y|) = x\eta(x - y) + y\eta(y - x).$$

Здесь $\eta(z) = \begin{cases} 1, z \geq 0, \\ 0, z < 0, \end{cases}$ −стандартная функция Хевисайда.

Основываясь на таком определении логических операций, можно получить другие законы преобразования логико-алгебраических выражений непрерывной логики:

1. Дистрибутивность алгебраического сложения:

$$x + (y \vee z) = (x + y) \vee (x + z),$$

$$x + (y \wedge z) = (x + y) \wedge (x + z),$$

$$x - (y \vee x) = (x - y) \wedge (x - z),$$

$$x - (y \vee x) = (x - y) \vee (x - z),$$

$$(x \vee y) + (z \vee u) = (x + z) \vee (x + u) \vee (y + z) \vee (y + u),$$

$$(x \wedge y) + (z \wedge u) = (x + z) \wedge (x + u) \wedge (y + z) \wedge (y + u),$$

$$(x \vee y) - (z \wedge u) = (x - z) \vee (x - u) \vee (y - z) \vee (y - u),$$

$$(x \wedge y) - (z \vee u) = (x - z) \wedge (x - u) \wedge (y - z) \wedge (y - u).$$

2. Дистрибутивность алгебраического умножения (предполагается, что переменные x, y, z, u положительны):

$$x(y \vee z) = xy \vee xz,$$

$$x(y \wedge z) = xy \wedge xz,$$

$$-x(y \vee z) = (-xy) \wedge (-xz),$$

$$-x(y \wedge z) = (-xy) \vee (-xz),$$

$$(x \vee y)(z \vee y) = xz \vee xu \vee yz \vee yu,$$

$$(x \wedge y)(z \wedge y) = xz \wedge xu \wedge yz \wedge yu,$$

$$(x \vee y)[(-z) \wedge (-u)] = (-xz) \wedge (-xu) \wedge (-yz) \wedge (-yu),$$

$$(x \wedge y)[(-z) \vee (-u)] = (-xz) \vee (-xu) \vee (-yz) \vee (-yu).$$

Если переменные x, y, z произвольного знака, тогда дистрибутивность несколько усложняется:

$$(x \vee y)z = (xz \vee yz)\eta(z) + (xz \wedge yz)\eta(-z),$$

$$(x \wedge y)z = (xz \wedge yz)\eta(z) + (xz \vee yz)\eta(-z).$$

В некоторых случаях полезными оказываются следующие формулы упрощения логико-алгебраических выражений:

$$(x \vee y) + (x \wedge y) = x + y,$$

$$(x \vee y) - (x \wedge y) = |x - y|,$$

$$(x \vee y)(x \wedge y) = xy,$$

$$(x \wedge y) \vee [(-x) \wedge (-y)] = 1/2[|x + y| - |x - y|],$$

$$(x \vee y) \wedge [(-x) \vee (-y)] = -1/2[|x + y| - |x - y|],$$

$$(x \vee 0) + (y \wedge 0) = (x \vee 0) \wedge y = x \vee (0 \vee y), (y \geq 0).$$

Покажем справедливость еще одного важного свойства отрицания:

$$\overline{x + y} = \overline{x} - y.$$

Действительно, согласно определению отрицания:

$$\overline{x+y} = 2\gamma - x - y,$$

$\bar{x} - y = 2\gamma - x - y$, что и требовалось доказать.

Определение 2. Функциями непрерывной логики назовем те функции, которые можно получить из непрерывных переменных $x_1, x_2, ..., x_n$ путем конечной суперпозиции операций $< \vee, \wedge, - >$ и констант 0, 1.

Нетрудно показать, что число функций непрерывной логики конечно. Действительно, на основании аксиом всякую функцию можно представить в виде ДНФ - дизъюнктивной нормальной формы. Очевидно, что каждый конъюнкт является некоторым подмножеством множества

$$\{x_1, x_2, ..., x_n, \overline{x_1}, \overline{x_2}, ..., \overline{x_n}\},$$

содержащего 2n элементов. Общее число конъюнктов не превосходит суммы всех возможных сочетаний элементов из данного множества:

$$\sum_{i=0}^{2n} C_{2n}^{i} = 4^n.$$

Всякая функция есть подмножество множества конъюнктов, поэтому число функций непрерывной логики не превосходит 2^{4^n}.

Учитывая тот факт, что математической основой дискретной и непрерывной логик является теория множеств и алгебр, используем в качестве базового аппарата алгебру конечных предикатов [1] . При этом получаем возможность моделировать логику работы исходного класса гибридных устройств с расширением в область параллелизма и многозначности.

3. Формализация принципов построения многозначных пространственных структур

В обобщенном виде двувходовая универсальная k-значная структура пространственного типа содержит два элемента распознавания (ЭР) 1,2, блок управления (БУ) 3, матричный селектор (МС) 4, коммутатор (КМ) 5 и ключи (КЛ) 6 или ЦАП (рисунок).

Логику работы дешифраторов в элементах распознавания 1, 2 описывает система уравнений:

$$f_0 = (x_0, x_{1,...,} x_{k-1}) = y^0,$$

$$f_1 = (x_0, x_{1,...,} x_{k-1}) = y^1,$$

$$...,$$

$$f_{k-1} = (x_0, x_{1,...,} x_{k-1}) = y^{k-1}.$$

или в явном виде на языке алгебры конечных предикатов [1]:

$$y_{1,2}^0 = \overline{x_1},$$

$$y_{1,2}^1 = x_1 \wedge \overline{x_2},$$

$$y_{1,2}^2 = x_2 \wedge \overline{x_3},$$

$$...,$$

$$y_{1,2}^{k-1} = x_{k-1}.$$

где x_i и $\bar{x}_i$ ($i = \overline{0, k-1}$) — сигналы, соответственно, прямых и инверсных выходов блоков АЦП в элементах распознавания 1, 2. Логику работы матричного селектора описывает следующая система уравнений:

$$b_{00} = y_1^0 \wedge y_2^0, b_{01} = y_1^0 \wedge y_2^1, ..., b_{0(k-1)} = y_1^0 \wedge y_2^{k-1}$$

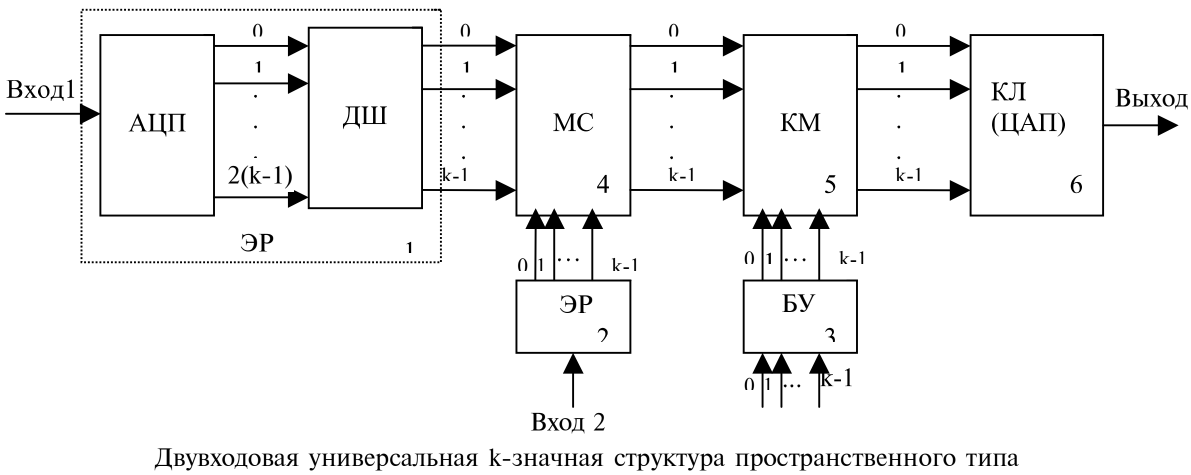
$$b_{10} = y_1^1 \wedge y_2^0, b_{11} = y_1^1 \wedge y_2^1, ..., b_{1(k-1)} = y_1^1 \wedge y_2^{k-1}$$

$$...$$

$$b_{(k-1),0} = y_1^{k-1} \wedge y_2^0, ..., b_{(k-1)(k-1)} = y_1^{k-1} \wedge y_2^{k-1}$$

где b_{ij} ($i, j = \overline{0, k-1}$) — выходные логические сигналы матричного селектора 4.

Коммутатор 5 имеет две группы по k входов: на первую — подаются сигналы от селектора, а на вторую — значения управляющего сигнала *l*. В



Двувходовая универсальная k-значная структура пространственного типа явном виде работа коммутатора описывается следующей системой:

$$b^{k_0} l^0 \vee b^{k_0} l^1 \vee ... \vee b^{k_0} l^{k-1} = z^{k_0} ,$$

$$b^{k_1} l^0 \vee b^{k_1} l^1 \vee ... \vee b^{k_1} l^{k-1} = z^{k_1} ,$$

$$...$$

$$b^{k_{k-1}} l^0 \vee b^{k_{k-1}} l^1 \vee ... \vee b^{k_{k-1}} l^{k-1} = z^{k_{k-1}} .$$

Так как все k ключей выходного формирователя постоянно подключены к соответствующим k значениям выходных сигналов, то на выход преобразователя (структуры), по ходу изменений k-значных функций на входах преобразователя, будут поступать значения функции, выбранной коммутатором и блоком управления соответственно. Управление процессом логической перекоммутации осуществляется под воздействием внешних управляющих сигналов [5,6].

4. Заключение

Таким образом, решение задач формализации принципов организации универсальных k-значных структур пространственного типа средствами предикатно-гибридной логики обеспечит построение современной концепции для систем искусственного интеллекта; использование пространственного параллелизма на структурном и алгоритмическом уровнях; создание функциональных языков параллельных машин баз знаний; применение симбиоза двух- и многоуровневого неоднородного кодирования.

Литература: 1. *Шабанов-Кушнаренко Ю.П.* Теория интеллекта. Математические средства. Харьков. 1984. 144с. 2. *Бондаренко М.Ф., Четвериков Г.Г., Коноплянко З.Д.* Основи теорії синтезу надшвидкодіючих структур мовних систем штучного інтелекту. Київ: ІЗМН, 1997. 264с. 3. *Будущее* искусственного интеллекта. М.: Наука, 1991. 302с. 4. *Шимбирев П.Н.* Гибридные непрерывно-логические устройства. М.: Энергоатомиздат, 1990. 174с. 5. Пат. 20462 А. Україна, МКВ НОЗК 19/02. Двовходовий багатозначний логічний елемент / *М.Ф. Бондаренко, З.Д. Коноплянко, Г.Г. Четвериков* (Україна). Опубл. 15.07.97, Бюл. №3. 4с. 6. Пат. 2147789 РФ, МПК НОЗК 19/02, НОЗМ 1/00. Функциональный преобразователь с многозначным кодированием / *М.Ф. Бондаренко, З.Д. Коноплянко, Г.Г. Четвериков* (Украина). Опубл. 22.04.2000, Бюл. №11.-6с.

Поступила в редколлегию 07.12.2000

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Алексеев О.П.

Бавыкин Виктор Николаевич, старший научный сотрудний кафедры ПО ЭВМ ХТУРЭ. Научные интересы: вопросы анализа и синтеза многозначных логических элементов и структур в системах искусственного интеллекта. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. ((380)-0572)-409446.

Четвериков Григорий Григорьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры ПО ЭВМ ХТУРЭ. Научные интересы: разработка теории и практика использования методов синтеза многозначных пространственных структур языковых систем искусственного интеллекта. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. ((380)-0572)-409446, ((380)-0572)-279748

УДК 519.71

ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА НЕЧЕТКИХ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ

КУЧЕРЕНКО Е. И.

Предлагается комплекс задач моделирования и анализа процессов управления, которые представлены в виде отношений “условие - действие” и характеризуются существенной нечеткостью, а также эффективная нечеткая сетевая модель (НСМ). Приводятся правила интерпретации процессов в пространстве состояний НСМ, формулируются утверждения, определяющие подходы к решению комплекса поставленных задач.

Широкий класс процессов управления и обработки данных сложных технологических комплексов, функционирующих в нечеткой среде и характеризующихся сложным параллельно-последовательным взаимодействием функционально и территориально распределенных объектов, может быть представлен в виде отношений “условие-действие”.

1. Комплекс решаемых задач

Выделим группы задач, решение которых существенно влияет на эффективность функционирования технологических комплексов:

– задачи, связанные с моделированием и совместным анализом структуры и пространства состояний процессов принятия решений и управления;

– задачи, связанные с моделированием и анализом процессов принятия решений и управления в пространстве состояний;

– комплексное решение задач, отнесенных выше к первой и второй группам, ориентированных на моделирование и совместный анализ структуры и пространства состояний процессов принятия решений и управления.

К первой группе в первую очередь нужно отнести следующие задачи:

– анализ и выявление свойств достижимости принимаемых решений $\{Ds_j\}, j \in J$ при взаимодействии процессов в нечеткой среде функционирования объектов анализа;

– анализ, выявление и локализация конфликтных ситуаций $\{C_k\}, k \in K$ при взаимодействии процессов в нечеткой среде функционирования объектов анализа;

– поиск и оптимизация альтернативных решений и путей развития процессов $\{A_r\}$, $r \in R$ по критериям четкости, надежности, временным, стоимостным параметрам и при заданных ограничениях;

– анализ, выявление, локализация нерациональных и бесполезных зацикливаний процессов $\{Z_m\}, m \in M$