УДК 004.047

С.В. Иваница, А.Я. Ануприенко
Донецкий национальный технический университет
ivanitsa-serg@rambler.ru, anoprien@cs.dgtu.donetsk.ua

Особенности реализации операций тетралогики

Рассмотрена реализация некоторых действий с элементами тетралогики (тетритами), которые представляются четырьмя логическими условиями — истина, ложь, неопределенность и множественность. Показаны основные возможности реализаций логических действий на базе тетритов. Выявлены зависимости между действиями тетралогики и некоторыми законами алгебры логики.

Ключевые слова: *двумерное логическое пространство, многозначная логика, тетралогика, тетракоды, тетриты.*

Введение

В различных вариантах многозначной логики кроме традиционных значений «истинно» и «ложно» рассматриваются и другие значения, например «неопределенно», «возможно», «бессмысленно» и т. п. [1, с.45]. Многозначные логики впервые детально были рассмотрены в 20-х годах XX века в работах Поста и Лукасевича. Несколько позднее было предложено еще несколько вариантов многозначных логик, таких как логика Бочвара, логики Геделя, логика Клини. Все эти логики объединяет важная отличительная особенность — концепция истинностной функциональности, согласно которой всякое высказывание имеет некоторое значение истинности, и это значение может быть однозначно вычислено некоторой заранее определенной функцией.

В целом можно констатировать, что двадцатый век ознаменовался прогрессирующим нарастанием протеста против двузначности: это и отвержение закона исключенного третьего, и различные попытки преодоления «парадокса материальной импликации», и введение трехзначной логики, и общее усиление активности в области многозначных логик, и, наконец, появление нечеткой логики Заде, справедливо квалифицируемой «как вызов, брошенный европейской культуре с ее дихотомическим видением мира в жестко разграничиваемой системе понятий» [2].

В 1996 году в рассмотрение были введены взаимосвязанные понятия «тетралогика» и «тетракоды» [3], основанные на использовании четырех логических состояний двумерного логического пространства (рис. 1). В таком пространстве логические значения задаются, прежде всего, фиксацией характерных точек. В рассматриваемой далее тетралогике используются следующие логические состояния:

0 и 1 — значения «ложь» и «истина» традиционной двоичной логики;

A — неопределенность, «непроявленность» (т.е. на данный момент логическое значение неизвестно);

M — многозначность, множественность («ложь» и «истина» одновременно).

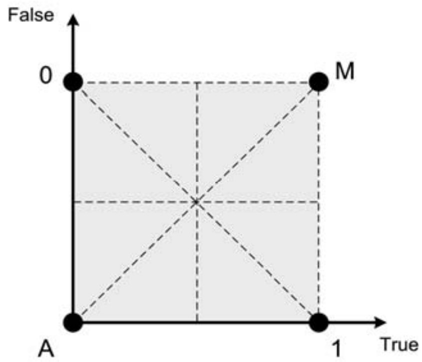

Рисунок 1 — Двумерное логическое пространство в виде базиса, состоящего из ортонормированной системы положительных полуосей векторов «Ложь» (False) и «Истина» (True)

Данный вариант тетралогики представим в виде множества четырех состояний $L_4 = \{0, 1, A, M\}$. Состояния тетралогики могут кодироваться тетракодом, представленным в виде значений $C_4 = \{0, 1, A, M\}$ и используемым по аналогии с бинарным кодом для поразрядного представления количественных значений. При этом в отличие от двоичной логики, где n-разрядное пространство определено 2^n двоичными значениями, в тетралогике количество увеличивается до 2^{2n} значений тетракодов.

Для поразрядного представления теракодов введем понятие **тетрит** (*англ.* **tetrit**), являющееся композицией корневых основ «тетра» (*англ.* tetra) — начальная часть сложных слов, вносящая значение слова «четыре», и «бит» (*англ.* binary digit) — один разряд в двоичной системе счисления. Следует отметить, что параллельно понятие «tetrit» было предложено использовать как средство для упрощения и разъяснения семантики обработки исключительных ситуаций при интервальных вычислениях [4], что в дальнейшем можно рассматривать как альтернативный (более узкий) вариант использования данного термина.

Тетралогика в простейшем варианте является конечнозначной, и, согласно теории функциональных систем [5], может быть описана классом k-значных функций при $k = 4$. Таким образом, имеет место запись так называемой тетрафункции $\mathrm{Tr}^n \to \mathrm{Tr}$, где $\mathrm{Tr} = \{0, 1, A, M\}$ — выбранное множество тетралогики, $n \in \mathbb{Z}$, $n \geq 0$ — арность или местность функции. В данном представлении тетрафункции, элементы Tr^n можно назвать векторами тетралогики (тетравекторами). В случае $n = 0$ тетрафункция превращается в константу — в одно из представленных состояний тетритов.

Максимальное количество возможных логических операций тетралогики определимо как число функций в k-значной системе: $(k)^{k^n \cdot m}$, где k — число знаков (основание системы счисления), n — число аргументов (входов), а m — число выходов [6]. Таким образом, в тетралогике определено $(4)^{4^n \cdot m}$ простейших n-арных тетрафункций с m-арным результатом (выходом).

В данной работе определены возможности выполнения основных операций тетралогики, в частности реализация ряда унарных и бинарных поразрядных логических операций с тетритами. При этом проанализированы свойства логических операций тетралогики и выполнение некоторых законов традиционной алгебры логики.

Реализация нульарных и унарных логических операций

В тетралогике могут быть определены $\left(4\right)^{4^0 \cdot 1} = 4^1 = 4$ простейших нульарных ($n = 0$) тетрафункций, которые имеют следующие обозначения:

0 — логический тождественный ноль;

1 — логическая тождественная единица;

A — неопределенность логического состояния, принимающая значение тождественных ноля или единицы;

M — множественность логического состояния, принимающая значение тождественных ноля и единицы.

Унарные функции тетралогики определены в количестве $(4)^{4^1 \cdot 1} = 4^4 = 256$ (в отличие от 4-х и 27-ми унарных функций двоичной и троичной логики). Количество возможных унарных функций тетралогики также равно числу размещений с повторениями $\overline{A}_n^k$ при $k = n = 4$:

$$\overline{A}_n^k = n^k = 4^4 = 256.$$

В табл. 1 приведены названия и обозначения 16-ти базовых унарных тетрафункций. Столбец «№» обозначает номер тетракода в упорядоченном множестве из 256 значений: 0000, 0001, 000A, 000M, …, MMM0, MMM1, MMMA, MMMM.

На рис. 2, 3 приведена графическая интерпретация некоторых базовых унарных тетрафункций для тетрита X, определенного на двумерном логическом пространстве как множество $X \in C_4$.

Для унарных логических операций инверсной группы справедлив положенный в основу классической логики закон двойного отрицания [1], который в контексте тетралогики представляет явление, расширяющее не только концепцию двойного отрицания как такового, но и принадлежность к его определенному виду. Соответствующая речевая конструкция данного закона может быть, например, расширена до следующего выражения: «если известно, как именно неверно, что неверно X, то аналогичным образом известно, что верно X».

В классической логике двойное отрицание высказывания X является следствием суждения X, поэтому в рамках тетралогики имеет место тавтология:

$X \to \mathrm{SWAP\_\Psi}(\mathrm{SWAP\_\Psi}(X))$

при $\Psi = \{A/M, 0/1, FL, TR\}$.

Обратное утверждение

$\mathrm{SWAP\_\Psi}(\mathrm{SWAP\_\Psi}(X)) \to X$

при $\Psi = \{A/M, 0/1, FL, TR\}$

также не противоречит закону двойного отрицания в классической логике.

Здесь Ψ определяет один из видов отрицания (инверсии), и выражает первую часть адаптированной под тетралогику речевой конструкции: «если известно, как именно…».

В обобщенной записи закона двойного отрицания инверсных операций тетралогики можно воспользоваться свойствами математической равнозначности:

$X \leftrightarrow \mathrm{SWAP\_\Psi}(\mathrm{SWAP\_\Psi}(X))$.

Для унарных логических операций сдвиговой группы определены направления сдвига. Так, под словом «назад» (сдвиговая операция SHIFT_<i>B), следует понимать направление сдвига, совпадающее с направлением оси «False» двумерного логического пространства (рис. 3). Аналогичным образом, под словом «вперед» (сдвиговая операция SHIFT_<i>F) — направление сдвига, совпадающее с направлением оси «True». Целое положительное число <i> ($i=0 \cup i \in \mathbb{N}$) определяет количество сдвигов (или «поворотов» условной плоскости в концепции двумерного логического пространства).

На рис. 3 пунктирными линиями показаны соответствия при выполнении сдвиговых унарных операций тетралогики. При $i = 0$ сдвиговые унарные операции SHIFT_<i>ϑ при $\vartheta = \{B, F\}$ идентичны и соответствуют тождественной функции, т. е. являются повторителями:

Таблица 1. Базовые унарные функции тетралогики

№		*x*				*Название функции*	*Обозначение*
		A	*1*	*M*	*0*		
1		0	0	0	0	тождественный ноль	O(x)=0
29		0	1	M	0	минимизация неопределенности	MIN_A(x)
40		0	A	1	M	циклический сдвиг (поворот, вращение) назад на 1 (1/4 оборота) или вперед на 3 (3/4 оборота)	SHIFT_1B(x), SHIFT_3F(x)
55		0	M	1	A	вероятностная инверсия по оси «FALSE»	SWAP_FL(x)
86		1	1	1	1	тождественная единица	I(x)=1
93		1	1	M	0	максимизация неопределенности	MAX_A(x)
100		1	A	0	M	вероятностная инверсия по оси «TRUE»	SWAP_TR(x)
115		1	M	0	A	циклический сдвиг (поворот, вращение) вперед на 1 (1/4 оборота) или назад на 3 (3/4 оборота)	SHIFT_1F(x), SHIFT_3B(x)
142	*F(x)*	A	0	M	1	инверсия около неопределенности и множественности (традиционная инверсия)	$\overline{x}$, #x, SWAP_A/M(x)
145		A	1	0	0	минимизация множественности	MIN_M(x)
149		A	1	1	0	максимизация множественности	MAX_M(x)
157		A	1	M	0	тождественная функция, повторитель	x, SHIFT_0B(x), SHIFT_0F(x),
171		A	A	A	A	абсолютная неопределенность	A(x)=A
202		M	0	A	1	циклический сдвиг (поворот, вращение) вперед на 2 (1/2 оборота) или назад на 2 (1/2 оборота)	SHIFT_2F(x), SHIFT_2B(x)
217		M	1	A	0	инверсия около нуля и единицы	SWAP_0/1(x)
256		M	M	M	M	абсолютная множественность	M(x)=M

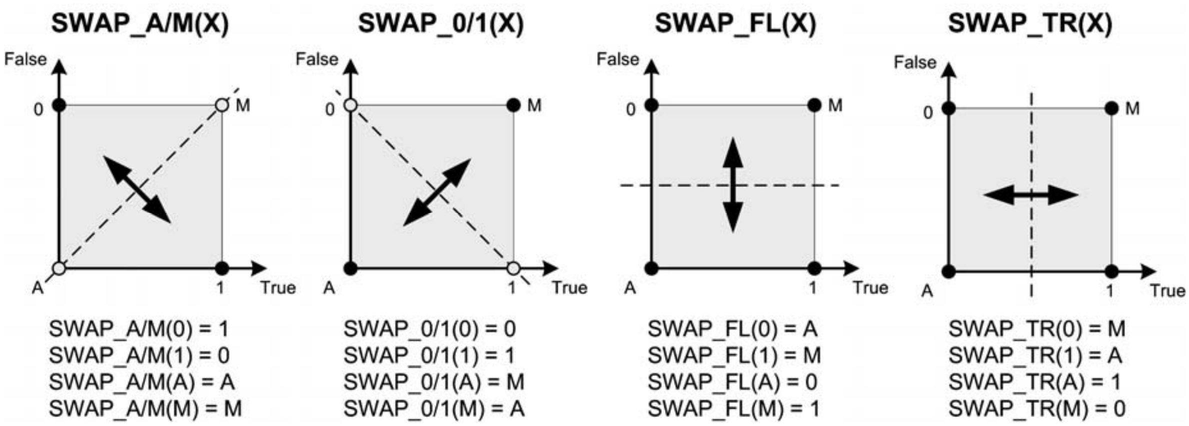

Рисунок 2 — Графическая интерпретация унарных логических операций инверсной группы (swap group)

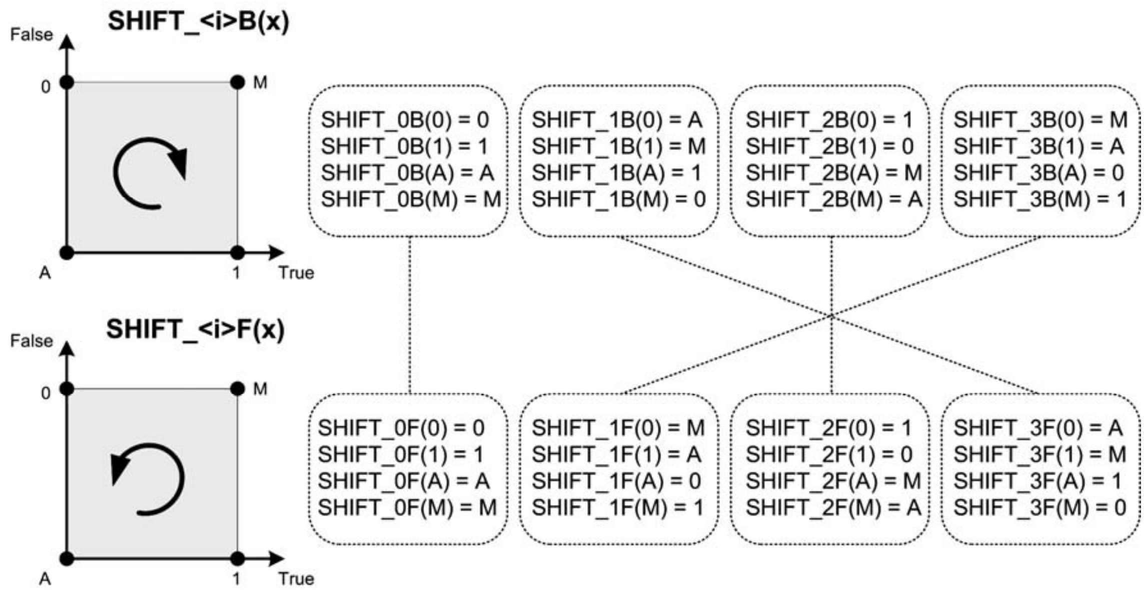

Рисунок 3 — Графическая интерпретация унарных логических операций сдвиговой группы (shift group)

X → SHIFT_0B(X) → X;

X → SHIFT_0F(X) → X.

Очевидно, что

X ↔ SHIFT_0B(X), X ↔ SHIFT_0F(X),

откуда следует соответствие

SHIFT_0B(X) ↔ SHIFT_0F(X).

Аналогичным образом прослеживаются следующие идентичности (равнозначности):

SHIFT_3B(X) ↔ SHIFT_1F(X);

SHIFT_1B(X) ↔ SHIFT_3F(X);

SHIFT_2B(X) ↔ SHIFT_2F(X).

Множество сдвиговых унарных операций SHIFT_<i>ϑ ($\vartheta = \{B,\ F\}$) определено также для $i > 3$, при условии, что для любого $\omega \in \mathbb{N}$ количества сдвигов (поворотов) справедливо равенство $i = (\omega)_{mod4}$. В частности, циклическое вращение вперед или назад на 4 ($i = 4$), условная плоскость логического пространства совершает 4/4 = 1 полный оборот, повторяя его предыдущее состояние. В таком случае $i = (4)_{mod4} = 0$, и функция циклического сдвига принимает вид SHIFT_0ϑ при $\vartheta = \{B,\ F\}$. Такая организация логических сдвиговых операций подчиняется закону *n*-ного сдвига в *n*-ичной логике, согласно которому *n* сдвигов вперед/назад равносильны повторению (утверждению).

Ниже приведены примеры унарных тетрафункций сдвиговой группы, возвращающих значение тетрита X после поворота логического пространства на i/4 оборота при значениях i, приведенных к диапазону значений 0 ÷ 3:

SHIFT_16B(X) = SHIFT_0B(X);

SHIFT_18F(X) = SHIFT_2F(X);

SHIFT_25B(X) = SHIFT_1B(X);

SHIFT_31F(X) = SHIFT_3F(X).

Унарные функции MIN_Θ(X) и MAX_Θ(X) при Θ = {A, M} — тетрафункции, приводящие неоднозначное значение тетрита, выраженное в состоянии неопределенности A или множественности M, к определенным (однозначным) значениям логических нуля и единицы. Здесь в качестве минимального возвращаемого логического состояния выбрано значение нуля, а в качестве максимального возвращаемого логического состояния — значение единицы.

Таким образом,

$$\text{MIN\_A(X)} = \begin{cases} 0, & \mathit{if}\ \text{X} = \text{A}, \\ \text{X}, & \mathit{if}\ \text{X} \neq \text{A}; \end{cases}$$

$$\text{MAX\_A(X)} = \begin{cases} 1, & \mathit{if}\ \text{X} = \text{A}, \\ \text{X}, & \mathit{if}\ \text{X} \neq \text{A}; \end{cases}$$

$$\text{MIN\_M(X)} = \begin{cases} 0, & \mathit{if}\ \text{X} = \text{M}, \\ \text{X}, & \mathit{if}\ \text{X} \neq \text{M}; \end{cases}$$

$$\text{MAX\_M(X)} = \begin{cases} 1, & \mathit{if}\ \text{X} = \text{M}, \\ \text{X}, & \mathit{if}\ \text{X} \neq \text{M}. \end{cases}$$

Рассмотренные нульарные и унарные функции тетралогики представляют собой теоретическую основу, на безе которой возможна аппаратная реализация 4-х безвходовых и 16-ти (из 256-ти возможных) базовых одновходовых логических элементов тетралогики с унарным выходом.

Реализация базовых двуместных логических операций

Двуместные функции тетралогики позволяют создать множество полных систем функций представленной логики. В частности, для достаточного набора тетрафункций возможна адаптация критерия Поста и для алгебры тетралогики, в котором появится возможность сформулировать необходимое и достаточное условие для того, чтобы некоторый набор тетрафункций обладал достаточной выразительностью для представления любой тетрафункции из полного набора. Однако следует учесть, что на данный момент в тетралогике, как и в любой *k*-значной логике не существует полного описания замкнутых классов при $k > 2$. Полное описание системы замкнутых классов для двузначной логики ($k = 2$) было предложено Эмилем Постом в 1940 году [7, с.9]. Отсутствие замкнутых классов является одним из барьеров, сдерживающих развитие и распространение *k*-значной (гипер-) логики.

В качестве базовых двуместных тетрафункций можно выделить конъюнкцию и дизъюнкцию, как операции, которые определенны для непустого множества {0, 1, A, M}, элементами которого являются высказывания.

Следует отметить, что высказывания в тетралогике могут быть истинными, ложными, содержащими или истину или ложь, содержащими и истину и ложь одновременно. Таким образом, под алгеброй тетралогики следует понимать ту ее часть (раздел), которая определяет логические операции над высказываниями.

Операция логического умножения (конъюнкция) по своему применению максимально приближена к союзу «и». Словосочетание «логическое умножение» может быть равнозначно заменено выражениями «И» или «логическое И». Для обозначения операции логического умножения в данной работе используется знак «∧», т. е. верно тождество $\wedge \equiv$ «И».

В традиционной логике высказывание $X \wedge Y$ истинно тогда и только тогда, когда хотя оба высказывания X, Y истинны. В тетралогике в качестве одного из способов определении операции конъюнкции может использоваться схема $X \wedge Y = \min(X, Y)$ где $X, Y \in \{0, 1, A, M\}$, при которой сохраняется совместимость с булевой алгеброй для значений высказываний «0» и «1».

В контексте выражения $X \wedge Y = \min(X, Y)$ необходимо определить бинарную тетрафункцию BMIN(X, Y)[1], которую в силу наличия неявных, неподдающихся однозначному сравнению, значений тетритов (неопределенность A, многозначность M), целесообразно разбить на две функции минимума BMIN_A(X, Y) и BMIN_M(X, Y). Так, для функции BMIN_A (BMIN_M), значение одного тетрита-операнда, равное A (M), принимается **меньшим** (уступающим) по отношению к значению другого тетрита-операнда, равного M (A). В остальных случаях, значение логического нуля принято как минимальное значение, значение логической единицы — как максимальное. Аналогичным образом определима бинарная тетарфункция максимума BMAX(X, Y).

Следовательно, если BMIN_A(A, M) = A (BMIN_M(A, M) = M), то BMAX_A(A, M) = M (BMAX_M(A, M) = A). Реализация объявленных тетрафункций BMIN(X, Y) и BMAX(X, Y) приведена в табл. 2-3.

[1] Буква «B» в названии функции MIN (а далее и в названии функции MAX) указывает на то, что она бинарная (от англ. binary), во избежание путаницы с определенной ранее унарной функцией минимума (максимума).

Таблица 2. Реализация функции BMIN

BMIN_A / *BMIN_M*	*0*	*1*	*A*	*M*
0	0	0	0	0
1	0	1	A	M
A	0	A	A	A / M
M	0	M	A / M	M

Таблица 3. Реализация функции BMAX

BMAX_A / *BMAX_M*	*0*	*1*	*A*	*M*
0	0	1	A	M
1	1	1	1	1
A	A	1	A	M / A
M	M	1	M / A	M

Таким образом, следует различать операцию конъюнкции тетритов как операцию, определенную тождествами

$X \wedge Y = BMIN\_A(X, Y);$

$X \wedge Y = BMIN\_M(X, Y).$

В первом случае символ конъюнкции «$\wedge$» можно представить как «$\wedge^{<A>}$» или «$\underline{\wedge}$», во втором — как «$\wedge^{<M>}$» или «$\overline{\wedge}$». Реализация операции конъюнкции для тетритов-операндов тетрафункции полностью соответствует приведенной в табл. 2 тетрафункции BMIN, причем

$\wedge^{<A>} \equiv BMIN\_A, \ \wedge^{<M>} \equiv BMIN\_M.$

Операция логического сложения (дизъюнкция) по своему применению максимально приближена к союзу «или» в смысле «или то, или это, или оба сразу». Словосочетание «логическое сложение» равнозначно заменимо выражениями «ИЛИ», «логическое ИЛИ», «включающее ИЛИ». Для обозначения операции логического сложения в данной работе используется знак «$\vee$», т. е. $\vee \equiv$ «ИЛИ».

В традиционной логике высказывание $X \vee Y$ истинно тогда и только тогда, когда хотя бы одно из высказываний X, Y истинно. В тетралогике в качестве одного из способов определения операции дизъюнкции может использоваться схема $X \vee Y = \max(X, Y)$ где $X, Y \in \{0, 1, A, M\}$, при которой также сохранена совместимость с булевой алгеброй для значений высказываний «0» и «1».

Таким образом, следует различать операцию дизъюнкции тетритов как операцию, определенную тождествами

$X \vee Y = BMAX\_A(X, Y);$

$X \vee Y = BMAX\_M(X, Y).$

В первом случае символ дизъюнкции «$\vee$» можно представить как «$\vee^{<A>}$» или «$\underline{\vee}$», во втором — как «$\vee^{<M>}$» или «$\overline{\vee}$». Реализация операции дизъюнкции для тетритов-операндов тетрафункции полностью соответствует приведенной в табл. 3 тетрафункции BMAX, причем

$\vee^{<A>} \equiv BMAX\_A, \ \vee^{<M>} \equiv BMAX\_M.$

Следует отметить, что полученные логические операции конъюнкции и дизъюнкции тетралогики не нарушают ни один из основных законов, присущих аналогичным операциям традиционной логики. Поскольку выполнение законов логики позволяет проверять правильность рассуждений и доказательств, а нарушения этих законов приводят к логическим ошибкам и вытекающим из них противоречиям, то можно утверждать о корректности сформулированных логических операций тетралогики.

Рассмотрим выполнение законов коммутативности, ассоциативности и дистрибутивности для логических операций конъюнкции и дизъюнкции тетралогики:

1) Законы коммутативности (переместительности):

$X \wedge Y \equiv Y \wedge X, \ X \vee Y \equiv Y \vee X.$

Например,

$A \underline{\wedge} M \equiv M \underline{\wedge} A \Leftrightarrow A \equiv A;$

$A \overline{\wedge} M \equiv M \overline{\wedge} A \Leftrightarrow M \equiv M;$

$A \underline{\vee} M \equiv M \underline{\vee} A \Leftrightarrow M \equiv M;$

$A \overline{\vee} M \equiv M \overline{\vee} A \Leftrightarrow A \equiv A,$

2) Законы ассоциативности (сочетательности):

$(X \wedge Y) \wedge Z \equiv X \wedge (Y \wedge Z),$

$(X \vee Y) \vee Z \equiv X \vee (Y \vee Z).$

Например,

$(A \overline{\wedge} M) \overline{\wedge} M \equiv A \overline{\wedge} (M \overline{\wedge} M) \Leftrightarrow M \equiv M;$

$(M \overline{\vee} A) \overline{\vee} A \equiv M \overline{\vee} (A \overline{\vee} A) \Leftrightarrow A \equiv A.$

3) Законы дистрибутивности (распределительности):

$X \wedge (Y \vee Z) \equiv (X \wedge Y) \vee (X \wedge Z),$

$X \vee (Y \wedge Z) \equiv (X \vee Y) \wedge (X \vee Z).$

Например,

$A \overline{\wedge} (M \overline{\vee} A) \equiv (A \overline{\wedge} M) \overline{\vee} (A \overline{\wedge} A) \Leftrightarrow A \equiv A;$

$$\mathrm{A} \underline{\wedge} (\mathrm{M} \underline{\vee} \mathrm{A}) \equiv (\mathrm{A} \underline{\wedge} \mathrm{M}) \underline{\vee} (\mathrm{A} \underline{\wedge} \mathrm{A}) \Leftrightarrow \mathrm{A} \equiv \mathrm{A}.$$

Заключение

Тетралогика представляет собой существенно расширенную по сравнению с традиционной бинарной логикой логическую систему. Это связано, прежде всего, с тем, что в тетралогике имеются функции, невыразимые в двузначной логике.

В данной работе проанализирована реализация 16-ти базовых унарных поразрядных операций тетралогики, объединенных в две группы — инверсную и сдвиговую, и 4 двуместных поразрядных операции тетралогики. Показано, что при этом соблюдаются следующие законы:

– двойного отрицания для реализованных логических унарных операций инверсной группы;

– n-го сдвига в n-чных логических системах для реализованных унарных операций сдвиговой группы;

– коммутативности, ассоциативности и дистрибутивности для реализованных логических бинарных операций.

В последующем на базе проведенного анализа планируется развитие исследование в следующих направлениях [8]:

1. Дальнейшая разработка логических основ тетралогики и других логических систем, реализуемых на базе двумерного и трехмерного логического пространства.
2. Разработка теоретических основ и практическая реализация вычислений на базе тетракодов. В первую очередь это необходимо реализовать в контексте так называемых «нормированных интервальных вычислений», ориентированных на специальную форму представления тертракодов, предполагающих использование значений множественности и/или неопределенности в младших разрядах численного представления значений с ограниченной точностью [9, 10].

Литература

1. Ивин А. А. Логика. Учебное пособие; 2-е изд. / А.А. Ивин. – М.: Знание, 1998. – 228 с.

2. История троичной логики. Материал из свободной русской энциклопедии «Традиция». – Электронный ресурс; Режим доступа: http://traditio.ru/wiki/Троичная_логика.

3. Аноприенко А. Я. Тетралогика и тетракоды / А. Я. Аноприенко // Сборник трудов факультета вычислительной техники и информатики. – 1996. – Вып.1. – С. 32-43.

4. Hayes N. T. Trits to Tetrits. Электронный ресурс. Режим доступа: http://grouper.ieee.org/groups/1788/PositionPapers/Tetrits.pdf.

5. Яблонский С. В. Введение в дискретную математику: учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / С. В. Яблонский. – М.: Наука, 1986. – 384 с.

6. Троичная логика. Материал из Википедии — свободной энциклопедии. Электронный ресурс. Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Троичная_логика.

7. Марченков С.С. Замкнутые классы булевых функций / С.С. Марченков. – М.: ФизМатЛит, 2000. – 128 с.

8. Аноприенко А.Я. Обобщенный кодо-логический базис в вычислительном моделировании и представлении знаний: эволюция идеи и перспективы развития / А.Я. Аноприенко // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия «Информатика, кибернетика и вычислительная техника» (ИКВТ-2005) – 2005. – Вып. 93. – С. 289-316.

9. Аноприенко А.Я. Интервальные вычисления и перспективы их развития в контексте кодо-логической эволюции / А.Я. Аноприенко, С.В. Иваница // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия «Проблемы моделирования и автоматизации проектирования динамических систем» (МАП-2010). – 2010. – Вып. 8(168) – С. 150-160.

10. Аноприенко А.Я. Особенности постбинарного кодирования на примере интервального представления результатов вычислений по формуле Бэйли-Боруэйна-Плаффа / А.Я. Аноприенко, С.В. Иваница // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия: «Информатика, кибернетика и вычислительная техника» (ИКВТ-2010). – 2010. – Выпуск 11(164). – С. 19-23.

Надійшла до редакції 30.12.2010