

УДК 519.62

**АЛГЕБРО-ЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА. СООБЩЕНИЕ 3**

Г. Г. Четвериков

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, chetvergg@kture.kharkov.ua

На базе теоретических предпосылок двух предыдущих сообщений исследованы основные аспекты математического моделирования АКП-структур универсальных фундаментальных преобразователей пространственного типа на основе декомпозиции многозначных структур на дискретно-аналоговые и цифровые субблоки, в частности, в рамках их промежуточного пространственного преобразования символической информации.

**ЕСТЕСТВЕННЫЙ ЯЗЫК, ЛОГИКА, КОНЕЧНЫЙ ПРЕДИКАТ, АЛГЕБРА КОНЕЧНЫХ ПРЕДИКАТОВ, МНОГОЗНАЧНАЯ СТРУКТУРА, АКП-СТРУКТУРА.**

**Введение**

Развитие и совершенствование средств вычислительной техники лежит в основе процесса автоматизации умственной деятельности, что явилось отправной точкой возникновения понятия «искусственный интеллект». Однако успехи в области интеллектуализации вычислительной техники незначительны, особенно, если сравнивать достигнутое с ожидаемыми результатами и прогнозами. Ориентация на достижение качественно новых технологий обработки информации проявляется в попытках реализовать на фон-Неймановских компьютерах системы искусственного интеллекта (ИИ). Следовательно, новые требования к технологии обработки информации обусловлены необходимостью решать проблемы, которые плохо формализуются, и наличием пользователя, не являющегося профессиональным программистом. Таким образом, приходим к осознанию одного из вариантов на пути создания систем ИИ — это путь анализа, моделирования и синтеза естественно-языкового интеллектуального интерфейса средствами многозначной логической системы, в частности, алгебры конечных предикатов, а также теории многозначных структур и кодирования.

С момента возникновения вычислительной техники ведутся исследования и осуществляется реализация на уровне инженерных решений многозначных структур и кодирования в связи с высокой информационной насыщенностью их сигналов. Многозначными называют структуры средств обработки данных, построенные на базе многозначных логических элементов и модулей с соответствующими связями. К таким структурам относятся все объекты, которые описываются конечным структурным алфавитом: элементы, модули, структуры и системы вычислительной, измерительной, управляющей техники и технические средства обработки информации на естественном языке.

В настоящее время существует большое количество разрозненных подходов и методов построения

и применения многозначных структур, однако отсутствуют их систематизация и классификация (в каком-либо виде упорядоченная система средств реализации). В то же время оптимальное проектирование и техническая реализация вычислительных устройств на базе многозначных структур невозможны без одновременной разработки принципиально новых (нетрадиционных) видов математических моделей и их исследования для различных режимов работы и интерпретации результатов моделирования. Все это и создало критическую ситуацию, которая обусловлена отсутствием цельной теории построения высокоэффективных многозначных структур пространственного типа. Проведенный анализ показывает, что задача создания обобщенной теории построения высокоэффективных многозначных вычислительных структур и кодирования для языковых систем может быть решена только в рамках класса интуитивно-конструктивистских теорий [9, 10].

**1. Выбор математического аппарата**

Наличие алгебры конечных предикатов (АКП) дает интересную возможность осуществления перехода от алгоритмического описания информационных процессов к их описанию в виде уравнений на языке данной алгебры, а уравнения задают отношения между его переменными [11, 12]. Все переменные в уравнении равноправны, и любые из них могут выступать в роли как независимых, так и в роли зависимых. Наличие уравнений и их преимущество перед алгоритмами состоит в том, что появляется возможность рассчитать реакцию системы и в случае неполной определенности исходной информации, в то время как не полностью разработанный алгоритм является неработоспособным. Показано, что изменение знаний об объекте, представленное системой уравнений АКП и реализованное в виде соответствующей структуры, всегда готово к использованию, а алгоритм часто требует существенного его изменения. Отметим, что с помощью формул АКП строим АКП-структуры, которые реализуют

соответствующие конечные предикаты. Данный подход аналогичен процессу построения комбинационных схем по формулам алгебры логики. В зависимости от уровня функционально-структурной реализации имеем АКП-структуры первого, второго и третьего рода [13].

В качестве математического аппарата исследования используется алгебра конечных предикатов [12]. Последнюю трактуем как алгебру, носителем которой является множество  $M$  всех предикатов  $U^m$ , где  $U$  — непустое множество каких-либо переменных, которое называют универсумом, т.е.  $U = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ . Здесь  $x_1, x_2, \dots, x_m$  — какие-либо места предметов. Поэтому их иначе называют предметными переменными. Заметим, если предмет  $a$  находится на месте  $x_i$   $i = (\overline{1, m})$ , то говорят, что переменная  $x_i$  принимает значение  $a$  и при этом имеет такую запись  $x_i = a$ . Если  $a_1, a_2, \dots, a_m \in U$  и  $x_1 = a_1, x_2 = a_2, \dots, x_m = a_m$ , то справедлива запись  $(a_1, a_2, \dots, a_m) \in U^m$ , и говорят, что предметный вектор (набор) принадлежит предметному пространству  $U^m$ . Число  $m$  называют размерностью пространства  $U^m$ . Любое подмножество  $T$  пространства  $U^m$  называют  $m$ -местным отношением, заданным на  $U^m$ . Для формульной (аналитической) записи таких отношений используют явный способ задания конечного алфавитного оператора (КАО), который служит отправным моментом для аппаратурного метода решения уравнений алгебры конечных предикатов [7, с. 123].

Пусть  $T$  — множество всех отношений на  $U^m$ ,  $Q$  — множество всех предикатов на  $U^m$ . Отношение  $T$  и предикат  $Q$  называют соответствующими друг другу, если для любых  $x_1, x_2, \dots, x_m$  имеем:

$$Q(x_1, x_2, \dots, x_m) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_1, x_2, \dots, x_m \notin T \\ 1, & \text{если } x_1, x_2, \dots, x_m \in T. \end{cases} \quad (1)$$

В соответствии с (1) возможен переход от произвольного отношения  $T$  к соответствующему ему предикату  $Q$ . Предикат  $Q$ , который находят по выражению (1), называют характеристической функцией отношения  $T$ .

Предикатом распознавания предмета  $a \in U$  переменной  $x_i$   $i = (\overline{1, m})$  называют условия вида:

$$a(x_i) = x_i^a = \begin{cases} 0, & \text{если } a \neq x_i \\ 1, & \text{если } a = x_i. \end{cases} \quad (2)$$

Предикат  $a(x_i)$  следует рассматривать как предикат  $a(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_m)$  из  $P \subseteq Q$ , все аргументы которого, кроме  $x_i$ , несущественны. Выражение в виде  $a(x_i)$ , где  $i = (\overline{1, m})$ ,  $a \in U$ , заменим на  $x_i^a$  (здесь  $a$  называют показателем для переменной  $x_i$ ). Таким образом, алгеброй конечных предикатов над

$M$  называют множество  $T$  с базисными элементами  $x_i^a$  ( $i = \overline{1, m}, a \in U$ ) и базисными операциями: дизъюнкцией, конъюнкцией и отрицанием. Исключение из базиса данной алгебры операции отрицания позволяет получить так называемую дизъюнктивно-конъюнктивную алгебру предикатов (ДКАП). Доказана ее полнота [14, 15]. Таким образом, данная алгебра рассматривается как инструмент исследования, а не как его предмет.

## 2. Формализация концепции унификации многозначных структур пространственного типа

На базе проведенных архитектурных исследований, изложенных в работах [16–18], а также исходя из необходимости структуризации задач при разработке интуитивно-конструктивистской теории построения многозначных структур пространственного типа, для языковых систем предложена концепция унификации (приведение к единообразию и неразрывному взаимодействию) двужаночно-многозначных аналого-цифровых средств обработки соответствующих (символьных) данных, заданных на естественном языке [18]. Настоящий подход базируется на единой методологической и целевой основе путем применения предложенных методов теории интеллекта [12] для математического описания и соответствующей формализации концепции унификации входных/выходных данных [13] и их промежуточных преобразований [19] соответствующей АКП-структурой третьего рода (рис. 1) [20–21].



Рис. 1. Двухвходовой многозначный УФП (АКП-структура третьего рода)

АКП-структура третьего рода на основе двухвходового универсального многозначного функционального преобразователя [20] включает такие компоненты: элемент распознавания  $k$ -значной переменной, который образован параллельным аналого-цифровым преобразователем вместе с пространственным дешифратором, матричный селектор и коммутатор, блок управления, параллельный цифро-аналоговый преобразователь (ключевой коммутатор). Описав логику работы этих компонент

соответствующими уравнениями алгебры конечных предикатов, получим их математические модели. Использование концепции унификации и данной алгебры обеспечит граничный параллелизм и однородность структуры в целом. Получение аналитических соотношений входных/выходных переменных составляющих компонент позволит формализовать и автоматизировать процедуры синтеза многозначных структур пространственного типа [13–18].

Элемент распознавания  $k$ -значной переменной реализует предикат распознавания (2) — базисного элемента алгебры конечных предикатов. АКП задается на множестве  $M$  всех  $n$ -местных  $k$ -значных предикатов, то есть функций вида  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , где  $x_1, x_2, \dots, x_n$  — буквенные переменные, заданные на алфавите букв  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_k\}$ ,  $y \in \{0, 1\}$  — логическая переменная, т. е.

$$x_i^a = \begin{cases} 0, & \text{если } a_j \neq x_i \\ 1, & \text{если } a_j = x_i \end{cases}, \quad (i = \overline{1, n}, j = \overline{1, k}). \quad (3)$$

Поскольку в элементе распознавания  $k$  уровней ( $0 + (k - 1)$ ), то и выходных сигналов распознавания для пространственного набора элемента распознавания будет  $k$ :  $a_1, a_2, \dots, a_{k-1}$ . Таким образом, уже на входе АКП-структуры обеспечивается распараллеливание процесса на уровне граничного быстродействия соответствующих преобразований.

Логику работы дешифраторов, в частности, дешифратора 2 (ДШ2), описывает система уравнений АКП следующего вида:

$$\begin{cases} b_{1,2,3}^0 = \bar{y}_1; \\ b_{1,2,3}^1 = y_1 \& \bar{y}_2; \\ \dots \\ b_{1,2,3}^{k-1} = y_{k-1}. \end{cases} \quad (4)$$

Логику работы матричного селектора (МС3) описывает система уравнений АКП следующего вида:

$$\begin{cases} g_{00} = b_1^0 \& b_2^0; g_{01} = b_1^0 \& \bar{b}_2^0; g_{0(k-1)} = b_1^0 \& b_2^{k-1}; \\ g_{10} = b_1^1 \& b_2^0; g_{11} = b_1^1 \& \bar{b}_2^0; g_{1(k-1)} = b_1^1 \& b_2^{k-1}; \\ \dots \\ g_{(k-1)0} = b_1^{(k-1)} \& b_2^0; g_{(k-1)1} = b_1^{(k-1)} \& \bar{b}_2^0; g_{(k-1)(k-1)} = b_1^{(k-1)} \& b_2^{k-1}, \end{cases} \quad (5)$$

где  $g_v$  — выходные сигналы матричного селектора, которые принимают значения из множества  $E_2 \in \{0, 1\}$ ,  $i, j \in \{0, 1, \dots, k-1\}$ .

Логика работы пространственного коммутатора в АКП-структуре первого рода описывается следующей системой АКП:

$$\begin{cases} g_{00}^0 \vee g_{01}^1 \vee \dots \vee g_{0(k-1)}^{(k-1)} = q_0, \\ g_{10}^0 \vee g_{11}^1 \vee \dots \vee g_{1(k-1)}^{(k-1)} = q_1, \\ \dots \\ g_{(k-1)0}^0 \vee g_{(k-1)1}^1 \vee \dots \vee g_{(k-1)(k-1)}^{(k-1)} = q_{(k-1)}. \end{cases} \quad (6)$$

Соответственно, входные сигналы коммутатора образуются за счет проводного ИЛИ для сигналов с одинаковыми индексами, но с разных уровней коммутации:

$$\begin{cases} z_0 = r_0 \vee s_0 \vee q_0, \\ z_1 = r_1 \vee s_1 \vee q_1, \\ \dots \\ z_{(k-1)} = r_{(k-1)} \vee s_{(k-1)} \vee q_{(k-1)}. \end{cases} \quad (7)$$

Окончательный результат универсального преобразования формально может быть представлен в виде следующего операторного изображения:

$$F(z_i) = \max_{i=0}^{k-1} \left( \min_{i=0}^{k-1} z_i t_i \right), \quad (8)$$

где  $i = \overline{1, k-1}$ ,  $(t_0, t_1, \dots, t_{k-1})$  — наборы сигналов настройки (выбора) выходных функций универсальной АКП — структуры третьего рода [21]. Таким образом, цель данного подхода достигается путем декомпиляции многозначных аппаратных средств (АКП-структур третьего рода) на многозначно-двухзначные дискретно-аналоговые и цифровые субблоки, особенно в части их промежуточного пространственного преобразования информации.

Исследования показали, что применение традиционных методов комбинационного синтеза в функционально полных базисах в виде совершенных дизъюнктивных (конъюнктивных) нормальных форм для многозначных структур пространственного типа малоэффективно с точки зрения сохранения свойств однородности и параллелизма структурных построений [7, 17]. Необходим поиск наиболее естественных и приближенных к внутренней логике функционирования объектов исследования, в частности, естественного языка, разновидности алгебро-логических средств моделирования и новых методов синтеза на основе [19–21].

В задачах обработки информации на естественном языке (например, славянском) уже на уровне фонетики необходимо распознавать и обрабатывать не менее 33 букв. Следовательно, начиная с задач фонетического уровня обработки языковой информации, увеличение значности является неизбежной задачей дальнейших исследований. Очевидно, что рассмотрение такого подхода к исследованию проблем создания и построения АКП-структур третье-

го рода на основе универсальных многозначных функциональных преобразователей необходимо расширять с точки зрения нарастания значности структурного алфавита ( $k \geq 3$ ) [21].

Поскольку преобразователь обладает свойством универсальности, то мощность множества функций, которые могут быть реализованы одноходовой АКП-структурой третьего рода, составляет величину  $N = k^k$ . Нарастивание значности структурного алфавита (количества параллельных каскадов АЦП из линейки компараторов с совместным опорным делителем напряжения) с 3 до 10 позволяет повысить функциональные возможности относительно реализации множества логических функций одной переменной в  $10^{10}/10^3$  раз. Таким образом, применение двухходовых АКП-структур третьего рода, а также построение пространственного дешифратора, матричного селектора и коммутатора на элементах конъюнкции позволило обеспечить однотипность и однородность ее внутренней структуры, а также повысить быстродействие за счет граничного параллелизма структуры. В АКП-структуре используются логические, а не вычислительные методы промежуточных преобразований с применением концепции унификации двух- и  $k$ -значного кодирования, что обеспечивает упрощение структуры промежуточных субблоков матричного селектора и коммутатора (рис. 2).

**Результаты и перспективы исследований**

Таким образом, приведенные выше результаты позволяют сделать следующий важный вывод: использование новых алгебро-логических средств моделирования естественно-языковых конструкций в виде системы уравнений на языке алгебры конечных предикатов и явного способа задания конечного алфавитного оператора, который лежит в основе аппаратного метода решения этих уравнений, обеспечивает реализацию свойства обратимости АКП-структур и широкое распараллеливание обработки символьной информации. Фундаментальные исследования алгебро-логической структуры естественного языка, а также алгебро-логических средств его моделирования в виде соответствующих АКП-структур первого, второго и третьего рода позволяют вплотную подойти к решению важной научной проблемы: достижению качественно новых технологий обработки символьной информации на основе концепции унификации и методов синтеза обратимых пространственных многозначных структур языковых систем.

**Список литературы:** 1. Будущее искусственного интеллекта. — М.: Наука, 1991. — 302 с. 2. Лачинов В.М., Поляков А.О. Информодинамика, или Путь к Миру открытых систем. — СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. — 432 с. 3. Загоруйко Н. Г. Искусственная мудрость // Proc. of the X-th International Conf. «Knowledge-Dialog-Solution» (KDS-

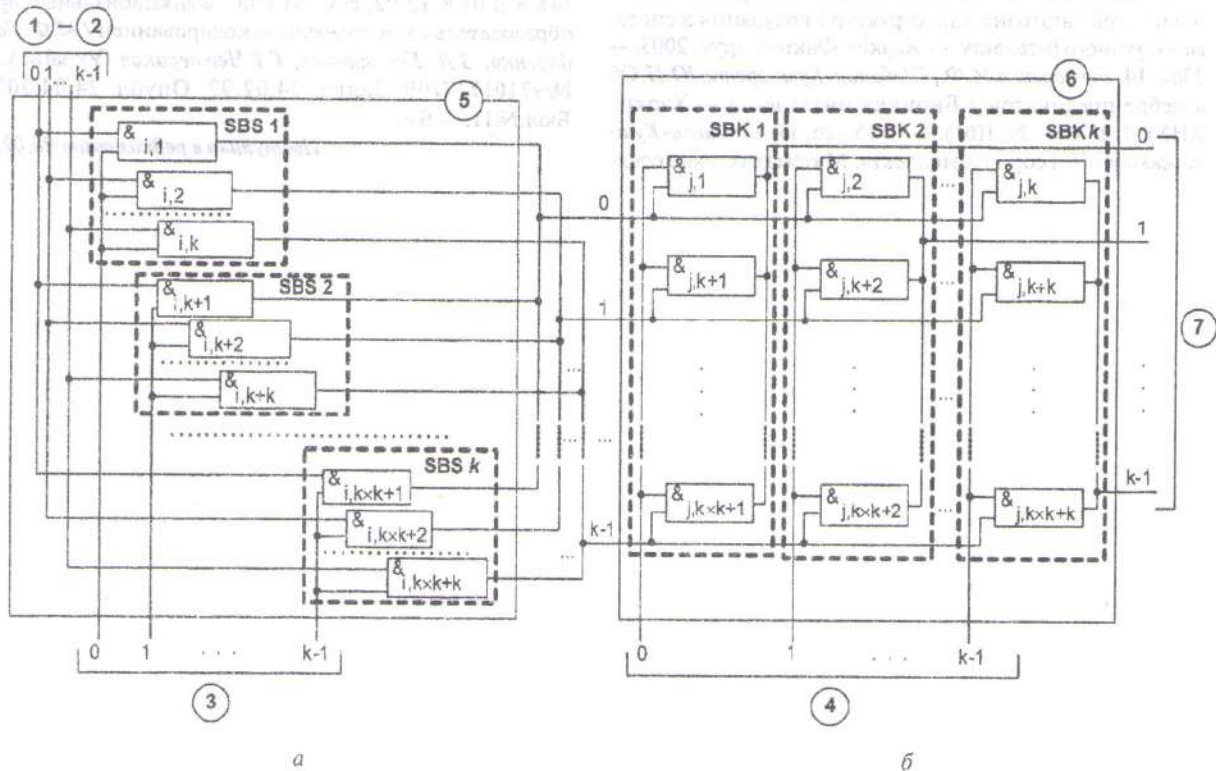


Рис. 2. Структура и логика реализации комбинационно-матричных схем: а — селектора; б — коммутатора

го рода на основе универсальных многозначных функциональных преобразователей необходимо расширять с точки зрения нарастания значности структурного алфавита ( $k \geq 3$ ) [21].

Поскольку преобразователь обладает свойством универсальности, то мощность множества функций, которые могут быть реализованы одноходовой АКП-структурой третьего рода, составляет величину  $N = k^k$ . Нарастание значности структурного алфавита (количества параллельных каскадов АЦП из линейки компараторов с совместным опорным делителем напряжения) с 3 до 10 позволяет повысить функциональные возможности относительно реализации множества логических функций одной переменной в  $10^{10}/10^3$  раз. Таким образом, применение двухходовых АКП-структур третьего рода, а также построение пространственного дешифратора, матричного селектора и коммутатора на элементах конъюнкции позволило обеспечить однотипность и однородность ее внутренней структуры, а также повысить быстродействие за счет граничного параллелизма структуры. В АКП-структуре используются логические, а не вычислительные методы промежуточных преобразований с применением концепции унификации двух- и  $k$ -значного кодирования, что обеспечивает упрощение структуры промежуточных субблоков матричного селектора и коммутатора (рис. 2).

**Результаты и перспективы исследований**

Таким образом, приведенные выше результаты позволяют сделать следующий важный вывод: использование новых алгебро-логических средств моделирования естественно-языковых конструкций в виде системы уравнений на языке алгебры конечных предикатов и явного способа задания конечного алфавитного оператора, который лежит в основе аппаратного метода решения этих уравнений, обеспечивает реализацию свойства обратимости АКП-структур и широкое распараллеливание обработки символической информации. Фундаментальные исследования алгебро-логической структуры естественного языка, а также алгебро-логических средств его моделирования в виде соответствующих АКП-структур первого, второго и третьего рода позволяют вплотную подойти к решению важной научной проблемы: достижению качественно новых технологий обработки символической информации на основе концепции унификации и методов синтеза обратимых пространственных многозначных структур языковых систем.

**Список литературы:** 1. Будущее искусственного интеллекта. — М.: Наука, 1991. — 302 с. 2. Лачинов В.М., Поляков А.О. Информодинамика, или Путь к Миров открытым систем. — СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. — 432 с. 3. Загоруйко Н. Г. Искусственная мудрость // Proc. of the X-th International Conf. «Knowledge-Dialog-Solution» (KDS-

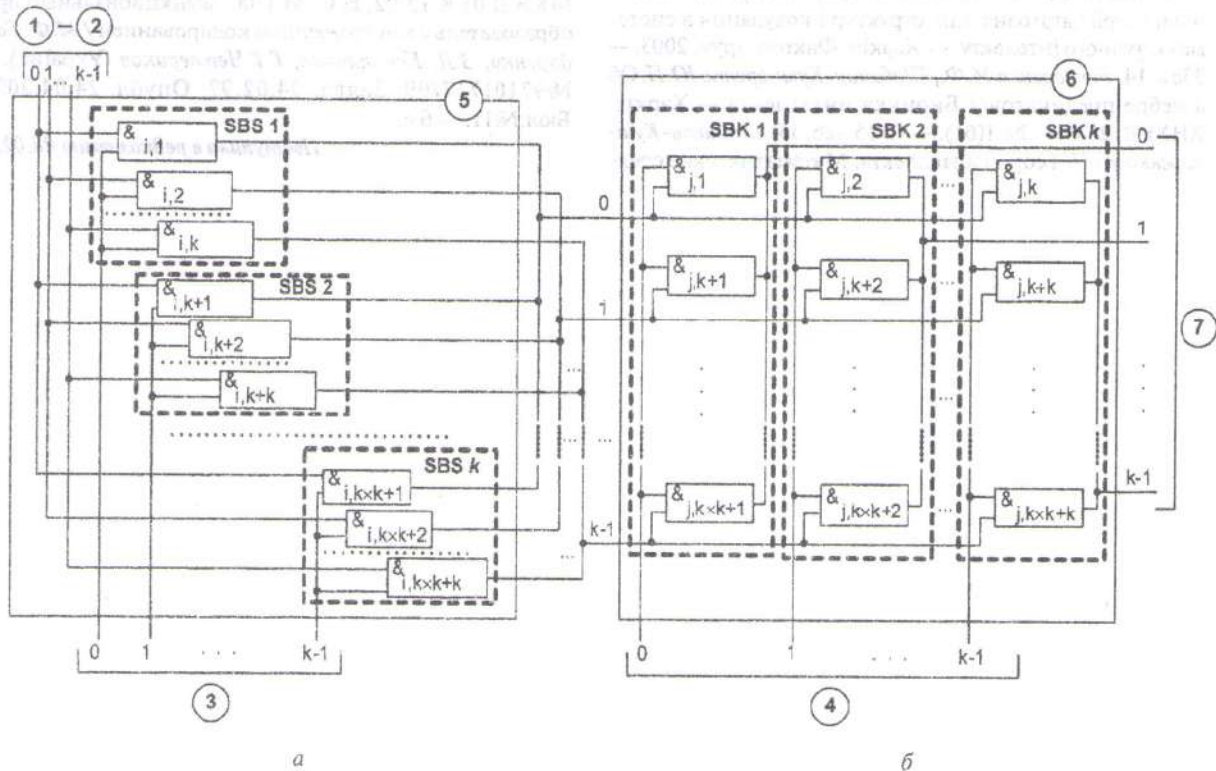


Рис. 2. Структура и логика реализации комбинационно-матричных схем: а — селектора; б — коммутатора

- 2003). — Varna (Bulgaria). — 2003. — С. 3–15. 4. Коноплянко З.Д., Четвериков Г.Г. Проблеми інтелектуалізації та українізації цифрових систем та мереж телекомунікацій // Труды УНИИРТ. — 1995. — №4. — С.72–81. 5. Bondarenko M., Chetverikov G., Karpuhin A. Structural Synthesis of Universal Multiple-Valued Structures of Artificial Intelligence Systems // Proc. of the 9th World Multi-Conference in Systemics, Cybernetics and Informatics (WMSCI 2005). — Orlando, Florida (USA). — 2005. — Vol. VII. — P. 127–130. 6. Bondarenko M., Karpuhin A., Chetverikov G., Leshchinsky V. Synthesis Methods of Multiple-valued Structures of Biological Networks // Proc. of the 12-th International Conf. «Mixed design of integrated circuits and systems» (MIXDES 2005), Krakow (Polska). — 2005. — P. 201–204. 7. Bondarenko M., Chetverikov G., Karpuhin A., Roshka S., Deyneko Zh. Synthesis Methods of Multiple-valued Structures of Language Systems // Proc. of the Third International Conf. «Information Research, Applications and Education» (i.TECH 2005). — Varna (Bulgaria). — 2005. — P. 102–107. 8. Реализация многозначных структур автоматки. Под ред. М.А.Ракова. — К.: Наукова думка, 1976. — 350 с. 9. Самофалов К.Г., Корнейчук В.И., Романкевич А.М., Тарасенко В.П. Цифровые многозначные элементы и структуры. — К.: Вища школа, 1974. — 168 с. 10. Г.Г. Четвериков. Многозначные структуры (анализ, сравнение, синтез, обобщение). Ч. I. — К.: ИСМО, 1997. — 192 с. 11. Коноплянко З.Д., Чаплыга В.М., Чаплыга М. В. Багатозначні структури та кодування систем економічної кібернетики. — Львів: ЛБІ НБУ, 2004. — 314 с. 12. Бондаренко М.Ф., Коноплянко З.Д., Четвериков Г.Г. Основи теорії синтезу надшвидкодійних структур мовних систем штучного інтелекту — К.: ІЗМН, 1997. — 264 с. 13. Бондаренко М.Ф., Коноплянко З.Д., Четвериков Г.Г. Основи теорії багатозначних структур і кодування в системах штучного інтелекту. — Харків: Фактор-друк, 2003. — 336 с. 14. Бондаренко М.Ф., Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Об алгебре предикатов// Бионика интеллекта — Харків: ХНУРЭ, 2004. — № 1(61). — С. 15–26. 15. Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Теория интеллекта. Математические средства. — Харків: Вища шк., 1984. — 144с. 16. Четвериков Г.Г. Формалізація принципів побудови універсальних  $k$ -значних структур мовних систем штучного інтелекту // Доповіді НАН України. — 2001. — №1 (41). — С. 76–79. 17. Четвериков Г.Г. Алгебро-логічні засоби моделювання природної мови. Повідомлення 1 // Бионика интеллекта. — 2004. — №1(61). — С. 42–45. 18. Четвериков Г.Г. Алгебро-логічні засоби моделювання природної мови. Повідомлення 2 // Бионика интеллекта. — 2005. — № 2 (62). — С. 12–19. 19. Бондаренко М.Ф., Четвериков Г.Г. Особливості архітектурних побудов просторових  $k$ -значних структур мовних систем штучного інтелекту // Проблеми бионики. — Харьков: ХНУРЭ. — 2002. — Вып. 56. — С. 3–9. 20. Бондаренко М.Ф., Коноплянко З.Д., Четвериков Г.Г. Методи завадостійкого  $k$ -значного кодування та захисту інформації в україномовних інтерфейсах систем штучного інтелекту // Відбір і обробка інформації. — Львів: ФМІ НАН України. — 1998. — Вип. 11 (87). — С. 16–19. 21. Четвериков Г.Г. Концепция построения сверхбыстродействующих многозначных структур языковых систем искусственного интеллекта // Автоматизация производственных процессов. — 1996. — №2. — С. 89–94. 22. Четвериков Г.Г., Бондаренко М.Ф., Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Модуль для преобразования кодов, заданных логическими уравнениями: А.с. 1241483 СССР, МКИН03М 7/00 / (СССР). — №3844735/24; Заявлено 11.12.84; Опубл. 30.06.86, Бюл.№324.—5 с.ил. 23. Пат. 20462 А. Україна, МКВ Н 03 К 19/02. Двовходовий багатозначний логічний елемент / М.Ф.Бондаренко, З.Д. Коноплянко, Г.Г. Четвериков (Україна). — №97031289; Дата подання 20.03.97; Опубл. 15.07.97, Бюл. № 3. — 4 с. 24. Пат. 2147789 РФ, МКВ Н 03 К 19/02, Н 03 М 1/00. Функциональный преобразователь с многозначным кодированием / М.Ф. Бондаренко, З.Д. Коноплянко, Г.Г. Четвериков (Україна). — №97101717/09; Заявл. 04.02.97; Опубл. 24.04.2000, Бюл.№11. — 6 с.

Поступила в редколлегию 08.02.07