

УДК 519.71

М.Ф. БОНДАРЕНКО, *д-р техн. наук, проф.*,
Г.Г. ЧЕТВЕРИКОВ, *канд. техн. наук, доц.*

Харківський національний університет радіоелектроніки

ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ЦИФРОВИХ МЕРЕЖ ТА СИСТЕМ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ СТАТИЧНИХ ПРОСТОРОВИХ К-ЗНАЧНИХ СТРУКТУР

Розглянуто основні проблеми створення ЕОМ за принципами побудови адекватних механізмів природного інтелекту мозку, які до цього часу не вирішені. Доведено, що нейрофізіологічні дослідження природного інтелекту мозку показують наявність у нього механізмів багатозначного (к-значного) кодування та просторового характеру активності мереж нервових клітин й організації мозкових механізмів.

Бурхливий розвиток комп'ютеризації, проникнення обчислювальної техніки в усі сфери науки, промисловості, суспільного життя та її використання для рішення найскладніших задач сьогодення вступили в протиріччя з технологією оброблення даних традиційними найманівськими комп'ютерами [1]. На сучасному етапі існування та розвитку електронної обчислювальної техніки спостерігається криза її основ, пов'язана із специфікою архітектури та принципів дії найманівського процесора із застосуванням послідовних алгоритмів роботи та виключно двозначного кодування.

Звісно, що такі засоби обчислювальної техніки найбільш поширені й в управлінських структурах ОВС та застосовуються для оперативної обробки інформації, зокрема, при ідентифікації особи, моделюванні та розрахунку тактико-спеціальних операцій та інше. Тому проблеми розвитку обчислювальної техніки конче зачіпають й інтереси МВС України відносно отримання швидкодіючих та надійних комп'ютерів, побудованих на нових принципах організації структури та програмних засобів, зокрема системах штучного інтелекту (ШІ); застосування просторового та часового паралелізму на структурному й алгоритмічному рівнях; створення процедурних та функціональних мов, паралельних машин баз знань і логічного виводу; застосування недвозначних методів кодування та введення надлишковості для за-

безпечення надійності обчислювальних систем.

Усе це породжує нові й непереборні труднощі, зокрема радикальні зміни архітектури обчислювальних систем з елементами паралелізму, за умов збереження в основі найманівського процесора - не дозволяє суттєво збільшити швидкодію й перейти до вирішення задач побудови та реалізації високопродуктивних систем ШІ, підвищити швидкодію під час оброблення окремих символів та макро- і примітивних операцій за умов застосування двозначного кодування й обчислювального характеру дії, розробляти ефективні методи паралельного оперування знаннями, а не даними; вирішити задачу створення інтелектуального інтерфейсу та семантичного розшарування знань про об'єкти механізмів логічного виводу [1-4].

Оскільки всі розумові здібності, які необхідно передати машині, вже наявні у людини на достатньо високому рівні розвитку, і ніякий інший інтелект, крім людського, науці недоступний, то міркувати машини будуть за тими ж законами, що й людина. Нейрофізіологічні дослідження природного інтелекту мозку людини показали наявність в ньому дво- та багатозначного (к-значного) кодування, просторового характеру активності мереж нервових клітин і організації діяльності мозку. Отже можна сформулювати основні вимоги щодо властивостей структур та елементів для побудови новітніх високоефективних систем ШІ. Вони повинні

реалізувати компараторні функції багатозначної логіки та кодування, а також володіти властивостями універсальності, просторовості, гнучкості, гнучкого перенастроювання без зміни структури, ієрархічності; за складністю бути порівняні зі складністю вирішуваних задач. Аналіз показує, що найближчими за вказаними властивостями є багатозначні універсальні просторові елементи та структури, і розвитку таких засобів надається велика увага в усьому світі.

Основні напрямки розробки сучасної елементної бази інформатики орієнтовані на підвищення продуктивності та зниження вартості радіоелектронних та інформаційно-обчислювальних систем і мереж, завдяки розвитку напівпровідникової технології: збільшення функціональної щільності та міри інтеграції радіоелектронних схем [5]. Але граничні фізико-технічні показники щодо функціональної щільності та енергоспоживання й розсіювання тепла досягають своєї практичної межі, і тому одним з можливих виходів з цієї ситуації є створення та застосування k-значних елементів та структур [6]. Адже згідно з одним із основних законів кібернетики, *законом необхідної різноманітності* (складності) [7], для нормальної роботи керованої системи, при якій забез-

печується повне використання її потенціалу, необхідно, щоб різноманітність (складність) керуючої системи була не менша ніж різноманітність керованого об'єкту. Звідси й висновок, що двозначна елементна та структурна база не відповідає за складністю задачам III, які на них покладаються, і підлягає доповненню універсальною k-значною елементною та структурною базою, яка за своєю складністю (різноманітністю) стоїть значно вище.

Розробка теорії та інженерних методів проектування k-значних елементів та структур розпочалась з 60-х років. В 70-х роках ряд зарубіжних фірм (Signetics, Texas Instruments, Fairchild Camera and Instrument Corp., Hitachi та Philips) почали вести інтенсивні розробки інтегрованих схем із застосуванням k-значної логіки. В 80-х роках у нас в Україні теж були розроблені та виготовлені дослідні зразки першої мікросхеми з використанням k-значної логіки на базі I²L-схемотехніки (див. табл.). За 1970-1990 рр. проведено 20 міжнародних симпозиумів з k-значної логіки (International Symposium on Multiple-Valued Logic (ISMVL)), організаторами яких були Association for Computing Machinery, IEEE Computer Society, а також університети США та Канади [6].

Таблиця – Перелік розробок інтегрованих схем із застосуванням k-значної логіки

Дата опублікування	Інтегральна схема (ІС)	Фірма-розробник	Функціональні можливості ІС
1977	Серія 4-х значних I ² L-вентилів	Сигнетікс (США)	Комбінаційні схеми
1977	Повний набір 4-х значних I ² L-вентилів	Університет в Торонто (Канада)	Операційні схеми
1977	4-х значна ПЗЗ-пам'ять	Міцубісі (Японія)	Динамічна пам'ять великої місткості
1979	3-х значна операційна схема на МОН-структурі	Сигнетікс (США)	Операційна схема
1980	Повний 4-х значний підсумовувач ЕЗЛ	Каліфорнійський університет (США)	Паралельні лічильники в напівзамовл. ВІС
1980	4-значний логічний вентиль на ПЗЗ	Університет в Тоунті (Голландія)	Застосування при обробленні дискретних сигналів
1980	4-х значний постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП)	Інтел (США)	Вбудовуються в мікропроцесори 8087, iAPX 432
1982	4-х значний кодуєчий/декодуєчий пристрій на ЕЗЛ	Паризький університет (Франція)	Інтерфейс супер комп'ютера, сумісна розробка з виготовлювачем
1982	4-х значний ПЗП	Моторола (США)	Універсальна маска ПЗП

1984	4-х значний мультиплексор (Т-вентиль) на n-МОН-структурі і узгоджуюча матриця	Університет в Тохоку (Японія)	Використання для оброблення зображень
1984	4-х значний ПЗП	Дженерал Інструментс (США)	—
1984	4-х значний кодує-чий/декодуєчий пристрій на КМОН-структурі	Каліфорнійський університет (США)	Інтерфейс для зменшення числа виводів двозначних ВІС, спільна розробка з виготовлювачем
1984	4-х значний логічний вентиль на n-МОН-структурі	Науково-технічний університет в Техасі (Японія)	—
1984	4-х значні пристрої уведення/виведення даних	Фізико-механічний інститут АН України, Львівський політехн. інститут	ІС для зменшення числа зв'язків інтерфейсу "Спільна шина"
1992	Байтний I ² L-множник двох цифр в 4-х значному коді	ФМІ АН України, "Інтеграл" м. Мінськ	ВІС множника двох чисел

Таким чином, була запропонована значна кількість підходів та методів побудови і застосування багатозначних структур, проте відсутня їх систематизація та упорядкована система засобів реалізації; недостатньо опрацьовані принципи їх побудови і методи кількісної та якісної оцінки застосування під час створення систем ШІ, що свідчить про недостатній рівень розвитку теорії побудови таких структур. Подальший прогрес суттєво залежить від узагальнення і систематизації на єдиній методологічній основі накопиченого досвіду, розвитку й удосконалення системи понять, що повинні узгоджуватись із теорією інтелекту.

Модель розвитку науки BRETAM [6], яку запропонував на початку 70-х років професор Чиказького університету Д. Грейн, передбачає шість періодів розвитку науки: 1) прорив (Break); 2) копіювання (Repeat); 3) емпірика (Empirical); 4) теорія (Theory); 5) автоматизація (Automation); в) зрілість (Mature). На сучасному етапі у галузі створення k-значних структур ми маємо всі прикмети проходження дослідниками 1-3 етапів: настав час переходу до створення теорії узагальнюючих принципів побудови структур, моделей, законів та методів досліджень. Зокрема, необхідні обґрунтовані методи та принципи побудови універсальних багатозначних просторових структур з відповідною їх формалізацією; математичні моделі точності дії багатозначних структур на етапах розпізнаван-

ня та формування багаторівневих сигналів; k-значного завадостійкого кодування та ентропійних властивостей k-значних апаратурних каналів, необхідної вводимі надлишковості, надійності та метричних властивостей k-значних кодів та функцій.

Багатозначні (k-значні) структури цифрових та радіоелектронних систем обробки інформації утворені множиною k-значних елементів й множиною відповідних зв'язків. Основні позитивні ефекти від їх застосування можна звести до наступного: створення систем штучного інтелекту, здатних до самоорганізації та самопрограмування, рішення надскладних задач розпізнавання образів мовних та зорових зображень, а також k-значних аналізаторів і синтезаторів сигналів, призначених для оперативного аналізу випадкових процесів та формування радіолокаційних зондуючих сигналів; створення систем завадостійкого кодування та захисту від несанкціонованого доступу із застосуванням теорії скінчених полів, що є за суттю k-значними.

Новий підхід складається в створенні високоефективної потоково-просторової архітектури систем з елементами штучного інтелекту, адекватної до складності задач, що ними виконується; спрощенні структури цифрових пристроїв оброблення даних через відсутність потреби проміжних перетворень десяткових чисел у двійкову форму та суттєве збільшення швид-

кості виконання арифметичних операцій; зменшенні апаратних затрат за рахунок зменшення довжини кодових зображень даних з ростом значності i , як наслідок, зниженні вартості та енергоспоживання. Сюди також можна віднести ріст продуктивності цифрових систем та ЕОМ за рахунок скорочення часу виконання таких непродуктивних операцій, як вирівнювання порядків та нормалізація; зменшення числа зв'язків на функціональному та системному рівнях i , як наслідок, підвищення надійності пристроїв передачі цифрових даних, зниження масогабаритних показників та втрат дорогоцінних металів; створення високоефективних методів та засобів аналого-цифрового перетворення, моделювання елементів та структур із суміщенням процесів логічного моделювання та кількісного аналізу (на основі більшої деталізації зображення форми реального фізичного сигналу); забезпечення вищої швидкості передачі цифрових сигналів у межах заданої смуги частот; оптимізація програм згідно із заданими критеріями з використанням k -значних алгебр Поста тощо.

І разом з тим, практичні здобутки у даній галузі вражають бідні в порівнянні з важливістю проблеми та величезними зусиллями, що затрачені упродовж третини віку на їх реалізацію. Дуже мало створено технічних засобів, що виявилися придатними для вирішення реальних задач автоматизації праці людини. Причини такого положення не переосмислені й до сьогоднішнього дня.

На наш погляд, справа у тому, що в підходах до аналізу та синтезу k -значних елементів і структур є ряд концептуальних помилок. Хибною є точка зору, що для k -значних структур $k \geq 3$. Практично ж $k \in \{0, 1, 2, \dots, k-1\}$, отже значність $k=2$ існує у неперервному зв'язку з будь-якою іншою значністю. Ця очевидна й проста обставина приводить нас до наступного неочевидного висновку, що не існує необхідності альтернативного розмежування та протиставлення дво- та k -значних елементів та структур, і, навпаки, слід шукати підходів, що поширювали б властивості співжиття (симбіозу) цих логік на елементний та структурний рівні.

По друге, присвоєння k -значною структурою значень алфавіту з множини $E_k \in \{0, 1, \dots, k-1\}$ здійснюється за допомогою багаторівневих

сигналів. Розпізнавання значень рівнів під час роботи k -значних структур фактично зводиться до вимірювання деякого фізичного параметру X (наприклад, напруги, струму, електричного заряду тощо). Для того, щоб k -значний елемент чи структура могли безпомилково розпізнавати відображені сигналами значення алфавіту, вони повинні вимірювати їх з певною мірою точності.

Під точністю вимірювання чи формування k -значних сигналів розуміють інтервал припустимих відхилень, у якому з встановленою ймовірністю перебуває їх сумарна похибка. Дослідження [6, 8, 9] підтвердили, що найголовнішою задачею під час створення k -значних структур є врахування та забезпечення вимог щодо точності їх роботи. Переважна ж більшість розробок k -значних структур базувалася на неадекватному теоретичному фундаменті двозначних елементів та структур, який взагалі не передбачає під час оброблення сигналів їх вимірювання з заданою точністю. Багато хто з дослідників, що займалися проблемою створення та застосування k -значних елементів та структур, і до сьогодні намагаються створити функціонально повні набори гранично простих елементів для задач форматного синтезу цифрових систем з k -значним структурним алфавітом за аналогією з тим, як це прийнято в двозначних методах та підходах. У результаті немає ні елементів, ні структур, ні систем.

У сучасних цифрових системах переважно використовується двозначне кодування, але оскільки обсяг даних, що передається, неухильно зростає, перед розробниками стає завдання підвищення перепускної здатності двозначних каналів обміну даними. Одним із шляхів його розв'язку є розпаралелювання каналів передачі аж до побітного передавання кожним з них. При цьому, чим більший обсяг даних необхідно передати, тим більше число зв'язків необхідно мати, а це приводить до збільшення ваги, габариту та вартості апаратури, знижує її надійність. Отже найперспективнішим є використання просторових (паралельних) схем, структур та систем k -значної логіки, які забезпечують побудову швидкодіючих засобів обробки інформації та володіють вищими показниками щодо перепускної здатності за умов меншого числа зв'язків і компонент, ніж двозначні.

Багатозначні логічні елементи (БЛЕ) [1-4, 6,

9] за своєю структурною побудовою та принципами дії є перетворювачами інформаційних повідомлень, які характеризуються певними інформаційними ознаками. Якщо види вхідної та вихідної інформаційних ознак збігаються, то перетворювач називають *однорідним*. Задача створення однорідного перетворювача розв'язується з використанням проміжного перетворення, яке здійснює перехід від однієї інформаційної ознаки до іншої, використовуючи елементарні неоднорідні перетворювачі.

Перспективною при цьому вважається наступна група інформаційних ознак [6]: S - статична ознака (кожному з символів багатозначного структурного алфавіту ставиться у відповідність один з рівнів напруги чи струму); P - просторова ознака (символи алфавіту відображаються збудженим станом одного з k просторових полюсів); D - динамічна ознака (символам алфавіту відповідають певні інтервали часу для вибраного виду періодичних послідовностей імпульсів). Для цієї групи інформаційних ознак повідомлень існує тільки 3 елементарних неоднорідних перетворювача:

$$\begin{aligned} S \rightarrow D; D \rightarrow S; P \rightarrow S; \\ S \rightarrow P; D \rightarrow P; P \rightarrow D. \end{aligned}$$

Початково найперспективнішими, у відношенні простоти схемної реалізації, були елементи, що будуються за структурою $S \rightarrow D - D \rightarrow S$, але ці ж елементи, на жаль, найменш швидкокодуючі. З іншого боку, з удосконаленням твердотілої інтегральної схемотехніки та технології, число компонент (вентилів) не грає переважної ролі й на перше місце виходить вимога забезпечення високої швидкодії БЛЕ. Тому, у подальшому, статичні просторові k-значні структури реалізуються за схемою $S \rightarrow P - P \rightarrow S$, як такі, що мають гранично високу швидкодію та можуть бути реалізовані із застосуванням твердотілої технології.

Під час реалізації БЛЕ згідно з принципом базису [6] здійснюється їх налагодження шляхом перекомутації базисних входів до відповідних виходів джерела базисних сигналів. Застосування окремого джерела каліброваних базисних сигналів обумовлене необхідністю забезпечення відповідного рівня точності формування k-значних сигналів, і, як наслідок, необхідної ймовірності безвідмовної роботи k-значної структури в цілому, а також можливіс-

тю забезпечення універсальності БЛЕ за рахунок мультиплексування базисних входів. Хоча з іншого боку, застосування k-значної І²Л - схемотехніки і технології привело до створення розподілених у структурі ВІС та квантованих за рівнем струму інжекторів, які виконують роль локальних джерел базисних сигналів. При цьому були втрачені можливості забезпечення необхідної точності та повторюваності k-значних сигналів і принципово добра ідея створення струмових k-значних схем так і не знайшла свого втілення в промисловій зразки. Більше того, дослідження просторових універсальних багатозначних функціональних перетворювачів (УБФП) потенційного типу, які проведені у роботах [1-4, 6, 9, 10], теж довели перспективність використання розподілених у структурі параметричних формувачів опорних і базисних сигналів.

Отже, аналіз стану справ у галузі розроблення автоматизованих систем управління з елементами штучного інтелекту свідчить про те, що основними орієнтирами на магістральному напрямку ШІ є створення швидкодіючих (просторових), універсальних, гнучко переналагоджуваних структур, і більшість з цих ознак володіють якраз просторові k-значні структури, зокрема комплекс, до якого входять перетворювачі двозначних кодів у багатозначні й навпаки, універсальні багатозначні функціональні перетворювачі та просторово-об'ємні k-значні комутатори. Застосування k-значної логіки та універсальних k-значних структур виправдане також і тим, що мовні і зорові образи природного інтелекту багатозначні, а його механізми дії дискретні.

Аналізуючи стан справ в теорії інформації, теорії обчислювальних систем, теорії кодування, теорії автоматичних систем керування, теорії радіосистем, тільки в теорії інформації та кодування і k-значній логіці знаходимо ті першооснови, що із самого початку, в якості формальних математичних понять, використовують поняття k-значних основ систем числення. Оскільки багатозначні елементи та структури за принципами дії є перетворювачами інформаційних повідомлень, які, як апаратурні канали, характеризуються певними інформаційними ознаками, то для формування теорії багатозначних структур та відповідних їх досліджень

використовуються математичні моделі Шеннона [11] каналів передачі даних з k -значним кодуванням за умов виникнення завад. Отже, теорія побудови k -значних структур розвивається зі стику декількох дисциплін, ряду теорій k -значної логіки та теорій кодування, точності та чутливості. Такий підхід забезпечує поєднання результатів досліджень точності роботи k -значних елементів та структур з методами й моделями теорії кодування і розроблення методів їх оптимізації за єдиними та спільними імовірнісними критеріями.

Таким чином, з появою та широким застосуванням багатозначних універсальних просторових структур у системах ШІ виникає комплекс взаємопов'язаних теоретичних, методичних та схемотехнічних задач їх побудови й реалізації, що є складною проблемою. Вирішення її є актуальним і має стратегічне значення для виходу кризової ситуації під час створення систем ШІ зі зменшенням величезних затрат часу та засобів фінансування, а стислий аналіз стану свідчить про *актуальність і велике наукове та прикладне значення даної проблематики.*

ЛІТЕРАТУРА

1. Бондаренко М.Ф., Коноплянко З.Д., Четвериков Г.Г. Основи теорії синтезу надшвидкодіючих структур мовних систем штучного інтелекту. -К.: ІЗМН, 1997. -264 с.
2. Четвериков Г.Г. Формалізація принципів побудови універсальних k -значних структур мовних систем штучного інтелекту // Доповіді НАН України. -2001. -№ 1. -С.73-76.

3. Четвериков Г.Г. Аналіз нових шляхів побудови швидкодіючих універсальних k -значних структур для систем штучного інтелекту // АСУ и приборы автоматки. -Харьков: ХНУРЭ. -2001. -№ 114. -С.39-42.

4. Пат. 2147789 РФ, МКИ НОЗК 19/02, НОЗМ 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.

5. Функционально-ориентированные процессоры /А.И. Водяхо, В.Б. Смолов, В.У. Плюснин и др.; Под ред. В.Б. Смолова. -Л.: Машиностроение, 1988. -224 с.

6. Реализация многозначных структур автоматки /Под ред. М.А. Ракова. -Киев: Наук. думка, 1976. -350 с.

7. Эшби У. Р. Введение в кибернетику. -М.: ИЛ, 1959. -345 с.

8. Будущее искусственного интеллекта. -М.: Наука, 1991. -302 с.

9. Григорьев В.В., Кметь А.Б., Коноплянко З.Д. и др. Надежность многозначных структур. -К.: Наук. думка, 1981. -157 с.

10. Пат. 14935 Україна, МКВ НОЗК 19/08. Функциональный перетворювач /М.Ф. Бондаренко, З.Д. Коноплянко, Г.Г. Четвериков. -Опубл. 04.03.97, Бюл. № 2.

11. Шеннон К.-Э. Работы по теории информации и кибернетике. -М.: Изд-во иностр. лит., 1963. -870 с.

Надійшла до редколегії 22.04.2002

БОНДАРЕНКО М.Ф., ЧЕТВЕРИКОВ Г.Г. ПРОБЛЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ЦИФРОВЫХ СЕТЕЙ И СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ СТАТИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ K -ЗНАЧНЫХ СТРУКТУР

Рассмотрены основные проблемы создания ЭВМ на принципах построения адекватных механизмов естественного интеллекта мозга, не решенных до настоящего времени. Доказано, что нейрофизиологические исследования естественного интеллекта мозга показывают наличие у него механизмов многозначного (k -значного) кодирования и пространственного характера активности сетей нервных клеток и организации мозговых механизмов.

BONDARENKO M.F., CHETVERIKOV G.G. PROBLEMS OF INTELLECTUALIZATION OF DIGITAL NETWORKS AND SYSTEMS ON THE BASIS OF THE THEORY STATIC SPACE K -SIGN OF PATTERNS

The basic problems of creation of a computer on principles of construction of adequate gears of natural intellect of a brain not resolved till now are reviewed. Is demonstrated, that neurophysiological research of natural intellect of a brain demonstrate presence for it of gears multivalued (k -sign) of coding and spatial nature of activity of networks of nervous cages and organization of cerebral gears.