

УДК 007.681.5:519.714:519.766

*З.Д. Коноплянко*

Спілка підприємств Франківського району м. Львова

## **Принцип симбіозу багатозначних структур штучного інтелекту та його формалізація**

У статті обґрунтовано принцип симбіозу аналого-дискретних та цифрових засобів у багатозначних структурах штучного інтелекту та здійснена його формалізація.

Актуальність роботи. Сучасний стан розвитку обчислювальної техніки, яка є базою автоматизації розумової діяльності людей, пов'язаний з розвитком ЕОМ п'ятого покоління або систем штучного інтелекту (ШІ). Гальмує цей розвиток криза її основ, пов'язана із специфікою архітектури й принципів дії найманівського процесора та застосуванням виключно двозначного кодування.

Створення теорії інтелекту [1], що базується на застосуванні алгебри скінченних предикатів (АСП), вперше і однозначно постулювало необхідність використання багатозначної логіки, елементів та структур для задач моделювання засобів ШІ. Нейрофізіологічні дослідження природного інтелекту людського мозку (інший нам невідомий) теж показують наявність у ньому механізмів багатозначного ( $k$ -значного) кодування та просторового характеру активності мереж нейронів і організації мозкових механізмів.

Багатозначними ( $k$ -значними) називають структури засобів оброблення інформації, що побудовані на базі  $k$ -значних логічних елементів із відповідними зв'язками. Зазначене вище дозволяє сформулювати основні вимоги щодо властивостей багатозначних структур (БС) та елементів для побудови новітніх вискоелективних систем ШІ. Вони повинні реалізувати компараторні функції  $k$ -значної логіки та кодування, володіти властивостями універсальності, просторовості, гібридності, гнучкого переналагодження без зміни структури, ієрархічності, а також за складністю бути сумірними зі складністю вирішуваних задач.

Подальший прогрес у розвитку теорії суттєво залежить від узагальнення і систематизації на єдиній методологічній основі із застосуванням взаємопов'язаних методів подання БС у вигляді єдиного інформаційного каналу. Такий підхід дає можливість математичного опису і відповідної формалізації накопиченого досвіду, розвитку й удосконалення системи понять, узгоджених із термінологією і поняттями теорії інтелекту. Зокрема, для цього необхідні обґрунтовані методи та принципи структурних побудов універсальних просторових БС із відповідною їх формалізацією.

**Обґрунтування принципу симбіозу.** Перехід до  $k$ -значності багатьма спеціалістами сприймається як повне відкидання двозначних засобів та методів, хоча значність  $k=2$  завжди і всюди присутня в  $k$ -значних побудовах та завжди ними використовується і не є альтернативою  $k$ -значності.

Якщо поглянути на рівні логіки на кількісні оцінки [2] числа функцій однієї  $k$ -значної змінної, то число  $N_2$  двоцифрових функцій для  $k=3...10$  складає

$k$	3	4	5	6	7	8	9	10
$N_2$	18	184	300	930	2646	7112	18360	45990
$N_{2<01>}$	6	46	60	155	378	889	2040	4599

Очевидно, що число  $N_{2<01>} = C_k^2$  двозначних зображень двоцифрових  $k$ -значних функцій виду:  $\langle 001 \rangle$ ,  $\langle 0001 \rangle$ ,  $\langle 00001 \rangle$ ,  $\langle 000001 \rangle$  тощо, буде у  $k$  раз менше, а звідси наявність їх доведена й дає право стверджувати їх присутність та принципову вагомість у всіх логічних побудовах й існування їх поряд із  $k$ -значними зображеннями у симбіозі.

Отже,  $k$ -значні логіки характеризуються більшою мірою загальності та включають у себе двозначність, володіючи властивостями відкритих систем у відношенні логічної потужності. Цей нерозривний зв'язок необхідно не тільки відмітити, але й постулювати як основоположний принцип симбіозу дво- і  $k$ -значних логік та технічних засобів, а також вважати цей принцип однією з фундаментальних та об'єктивних ланок стратегії подальшого розвитку статичних БО. Така фундаментальна передумова дозволяє підійти до завдання створення та застосування  $k$ -значних структур із кардинально нових позицій, відмінних від загально прийнятих на сьогоднішній день.

До аналогічного висновку прийшли автори [3], що стверджують: «багатозначна логіка є симбіоз елементів двійкової логіки та елементів аналогової обробки сигналів», при якому зберігаються переваги підвищеної завадостійкості двозначних структур, а також використовуються властивості вищої інформаційної насиченості аналогових сигналів. Тобто принцип симбіозу забезпечує взаємовигідну взаємодію двох різних видів елементів та логік в одній структурі.

У даний час електронна обчислювальна техніка розвивається від обчислювальних пристроїв до машин ШІ, що здатні синтезувати знання про зовнішній світ у вигляді відповідних моделей та, обробляючи їх, формувати раціональні реакції у відповідь. Аналіз показав, що технічна реалізація концепції штучного інтелекту вимагає значного підвищення продуктивності ЕОМ. Одним із головних напрямків підвищення продуктивності засобів обчислювальної техніки є розробка паралельних (просторових) методів обробки інформації та проектування на цій основі просторових елементів, структур та систем. Робота у системах ШІ приводить до необхідності обробки інформації, що надходить від багаточисленних і різноманітних дачачів аналогових даних, а це у свою чергу веде до гібридизації обчислювальних структур та систем (гібрид – у біології це нащадок від схрещування двох організмів з різною спадковістю).

У кібернетиці [4] є поняття гібридної обчислювальної машини – це обчислювальна машина, у якій поєднуються особливості цифрових та аналогових обчислювальних машин. Причому там, де необхідна висока точність – використовується цифрова машина, а де необхідна висока швидкість і допускається менша точність – аналогова. Спосіб цифрової обробки інформації в системах вимагає перетворення сигналів первинних джерел інформації, що надходять у ці системи, з аналогової форми на цифрову. При цьому неперервні

вихідні сигнали – необхідно піддати зворотному дискретно-неперервному перетворенню. Під гібридністю  $k$ -значних елементів [5] та структур розуміють здатність до обробки як дискретних, так і неперервних сигналів, що дозволяє вводити до складу  $k$ -значної структури низку елементарних неперервних перетворювачів при збереженні цифрової форми зображення інформації.

Нейрофізіологічний підхід до проблеми кодування у природному інтелекті [6] виділяє такі аспекти активності нервових клітин та організації механізмів мислення природного інтелекту: реферування – відображення аналогової інформації, що надходить у нервові закінчення; закон перетворення цієї інформації (передобробка та кодування); передавання перетвореної інформації; її подальша інтерпретація (розпізнавання, усвідомлення).

Одночасно, згідно з [7, 8], «нейрон є не пристрій з двома станами (спокій та збудження), а пристрій з декількома станами (спокій та ряд збуджених на різних частотах станів), що суттєво збільшує його інформаційну місткість». Отже, на рівні нейрофізіології дослідження мозку показують, як наявність всіх ознак симбіозу (єдності й співіснування у послідовності: аналог-цифра-аналог), так і механізмів  $k$ -значного кодування та просторового характеру активності нервових клітин й організації мозкових механізмів (симбіоз  $k$  у біології це форма співжиття організмів різних видів, яка забезпечує їм взаємну вигоду).

Згідно з думкою В.Д. Глезера [9], у вищих відділах зорової системи людини діють два механізми обробки інформації: інваріантний, відносно просторових перетворень, аналоговий (неперервний) опис образу предмета та опис просторових (дискретних) відношень як усередині предмета, так і між його елементами та окремими предметами.

Розвиток мікроелектроніки та комп'ютерної техніки, створивши технічну базу для моделювання складних нейронних структур, призвів до розуміння того, що суттєво підвищити швидкість обробки інформації можна лише за рахунок паралелізму, що органічно властивий нейронним мережам мозку. При цьому суттєвим внеском у розвиток уяви про роботу мозку [10] була концепція нейронних ансамблів, робота яких опирається на самоорганізацію та асоціативну обробку, а не на логіко-цифрову, як у фоннейманівського комп'ютера. Обробка величезних обсягів інформації мозком здійснюється дуже швидко, хоча до сьогоднішнього дня не в'яснено, яким чином мозкові вдається забезпечити вражаюче поєднання надійності й швидкодії. На сьогодні достатньо добре вивчена структура та функції окремих нейронів, наявні дані про організацію внутрішніх та зовнішніх зв'язків між нейронами деяких структурних утворень мозку, зовсім мало відомо про участь різних структур у процесах переробки інформації. За функціональним призначенням нейрони мозку можна розбити на три групи: рецепторні, що забезпечують введення в мозок сенсорної інформації; проміжні – здійснюють обробку інформації, що надходить від рецепторів, та формують керуючі сигнали для ефекторів (вони ж утворюють центральну нервову систему); ефекторні, що передають сигнали, які приходять на них, до виконавчих органів.

Із іншого боку, для того, щоб отримати загальні закономірності будь-яких процесів перетворення, тобто забезпечити достатню абстракцію під час опису, Е.І. Гітисом [11] запропоновано відволіктись від природи величин, що перетворюються, та використовуваних еталонів, систем зображення чисел та технічної реалізації, а для опису процесів аналого-цифрового перетворення

використовувати такі оператори: аналоговий ( дискретизацію та порівняння аналогових величин); цифрові: логічний (керування процесом перетворення) та арифметичний (обчислення згідно з формулами). Очевидно, що зворотне перетворення описується тими ж операторами тільки в порядку: цифрові-аналогові. А звідси очевидний висновок, що будь-яка система автоматичного опрацювання даних повинна на загальному рівні описуватися послідовністю ознак (операторів): аналог  $\rightarrow$  цифра-цифра  $\rightarrow$  аналог, що й призводить до симбіозу вказаних методів та засобів.

Принциповість такого симбіозу відмічається у фізиці та системотехніці ШІ багатьма авторами. Зокрема, до них можна віднести теорію компараторної ідентифікації [12], що у своїй основі теж базується на даному принципі. Суть компараторної ідентифікації полягає в перетворенні шляхом порівняння сигналів довільної природи у бінарний сигнал та в інтерпретації (розпізнаванні) людиною перетворених сигналів. Там же відмічається, що відкрив метод компараторної ідентифікації І. Ньютон і вперше застосував його до вивчення кольорового зору людини.

Проаналізувавши та співставивши усе викладене вище, із метою підвищення ефективності, швидкодії, забезпечення універсальності, гнучкості перенастроювання компонентів систем ШІ, у даній роботі пропонується спиратися на принцип симбіозу під час створення статичних  $k$ -значних просторових структур, який передбачає необхідну наявність та взаємодію всередині структур як аналогових, так і цифрових засобів. На рівні логіки цей принцип відображає постійну присутність у всіх  $k$ -значних логіках ще й двозначної, як її меншої та невід'ємної складової частини, на рівні технічних засобів – аналогові та цифрові засоби обробки та кодування інформації взаємодіють між собою одночасно і нерозривно й у залежності від того, де і що вигідніше використовувати, а на фізичному рівні – адекватний корпускулярно-хвильовій природі елементарних часток та можливих на цій основі математичних моделей  $k$ -значних елементів [13, 14].

**Формалізація принципу симбіозу  $k$ -значних структур.** Під час проектування та розробки  $k$ -значних структур найважливіше [3, 21] забезпечити реалізацію принципу симбіозу елементів двозначної логіки та елементів аналогового опрацювання сигналів.

Для того щоби отримати загальні закономірності будь-яких процесів перетворення, тобто забезпечити достатню абстракцію під час опису, необхідно, згідно з [12], відволіктись від природи величин, що перетворюються, та використовуваних еталонів, систем зображення чисел та технічної реалізації, а для опису процесів перетворення використовувати такі оператори: аналоговий (дискретизацію та порівняння аналогових величин); цифрові: логічний (керування процесом перетворення) та цифро-аналогового перетворення (перетворення цифрових кодів на дискретно-аналоговий код). Очевидно, що зворотне перетворення описується тими ж операторами, тільки в порядку: цифрові-аналогові. А звідси висновок, що будь-яка система автоматичного опрацювання даних повинна на загальному рівні описуватися послідовністю ознак (операторів): аналог  $\rightarrow$  цифра-цифра  $\rightarrow$  аналог, що й призводить до симбіозу вказаних методів та засобів.

Крім того, щоби в узагальненому вигляді аналітичне описати та сформулювати принцип симбіозу в просторових БС вкажемо, що присвоювання

значень алфавіту  $E_k \in \{0, 1, 2, K, k-1\}$  здійснюється за рахунок вхідних сигналів  $X \in \{0, 1, 2, K, k-1\}$ . У загальному випадку кожному станів вхідного сигналу  $X$  відповідає певне значення вихідного сигналу  $Y \in \{0, 1, 2, K, k-1\}$ . Функціональний перетворювач є багатополносником, що має  $n$  входів і один вихід, який відображає прямий добуток  $n$  множин  $\{x\}_i$  ( $i = 1, 2, K, n$ ) на множину  $\{y\}$ . Об'єднання множин  $\prod_{i=1}^n \{x\}_i$  називається вхідним алфавітом, а множина  $Y$  – вихідним.

В узагальненому вигляді універсальні просторові  $k$ -значні структури [15-20], згідно з узагальненим способом завдання функцій  $k$ -значної логіки за допомогою таблиць істинності [13] та принципу симбіозу [21] дво- та багаторівневого кодування і засобів, об'єктивно включають до свого складу такі компоненти: паралельний аналого-цифровий перетворювач (елемент розпізнавання  $k$ -значної змінної); дешифратор (ДШ), селектор, комутатор, паралельний цифро-аналоговий перетворювач (ключовий комутатор або підсумовувач струмів).

Елемент розпізнавання  $k$ -значної змінної (один пороговий елемент розпізнавання поодинокого  $k$ -значного рівня) реалізує предикат

$$t_i = X^{k_i}, \quad (1)$$

де  $t$  – двозначна (логічна) змінна,  $X$  –  $k$ -значна вхідна змінна,  $k_i \in \{0, 1, 2, K, k-1\}$  –  $i$ -те значення  $k$ -значної змінної. Оскільки рівнів  $k$ , то і вихідних сигналів розпізнавання для просторового набору порогових елементів буде  $k$ :  $t_0, t_1, t_2, K, t_{k-1} \in \{0, 1\}$ . За допомогою ДШ на другому етапі здійснюється перехід до двозначного просторового відображення результату розпізнавання. Уведемо наступні позначення для формалізації алгоритму:  $t_1 K t_{k-1}$  – сигнали прямих виходів компараторів;  $\bar{t}_1 K \bar{t}_{k-1}$  – сигнали інверсних виходів компараторів;  $\&$  – операція кон'юнкції;  $Y_{1,2,3}^{k_i}$  – вихідні сигнали розпізнавання  $k$ -значних змінних, що приймають значення з множини  $E_2 \in \{0, 1\}$ .

Логіку роботи дешифраторів описує така система предикатних рівнянь

$$\begin{cases} y_{1,2,3}^0 = \bar{t}_1; \\ y_{1,2,3}^1 = t_1 \& \bar{t}_2; \\ \text{К К К К К К} \\ y_{1,2,3}^{k-1} = t_{k-1}. \end{cases} \quad (2)$$

Вихідні сигнали першого та другого розпізнавачів вхідних змінних надходять на входи селектора матричного для однозначного встановлення відповідності кортежа вхідних сигналів  $X_1 X_2 K X_n$  для кожного значення таблиці істинності  $k$ -значної функції.

Логіку роботи селектора матричного у випадку двовходової одновихідної універсальної БС (рис.1) описує така система рівнянь алгебри скінченних предикатів

$$\begin{cases} f_{00} = y_1^0 \& y_2^0; f_{01} = y_1^0 \& y_2^1; \text{К}; f_{0k-1} = y_1^0 \& y_2^{k-1}; \\ f_{10} = y_1^1 \& y_2^0; f_{11} = y_1^1 \& y_2^1; \text{К}; f_{1k-1} = y_1^1 \& y_2^{k-1}; \\ \text{К К} \\ f_{k-1\ 0} = y_1^{k-1} \& y_2^0; f_{k-1\ 1} = y_1^{k-1} \& y_2^1; \text{К}; f_{k-1\ k-1} = y_1^{k-1} \& y_2^{k-1}; \end{cases}$$

де  $f_{mn}$  - вихідні сигнали селектора матричного 7, що приймають значення з множин  $f = E_2 \in \{0, 1\}$ ,  $m, n = E_k \in \{0, 1, \text{К}, k-1\}$ .

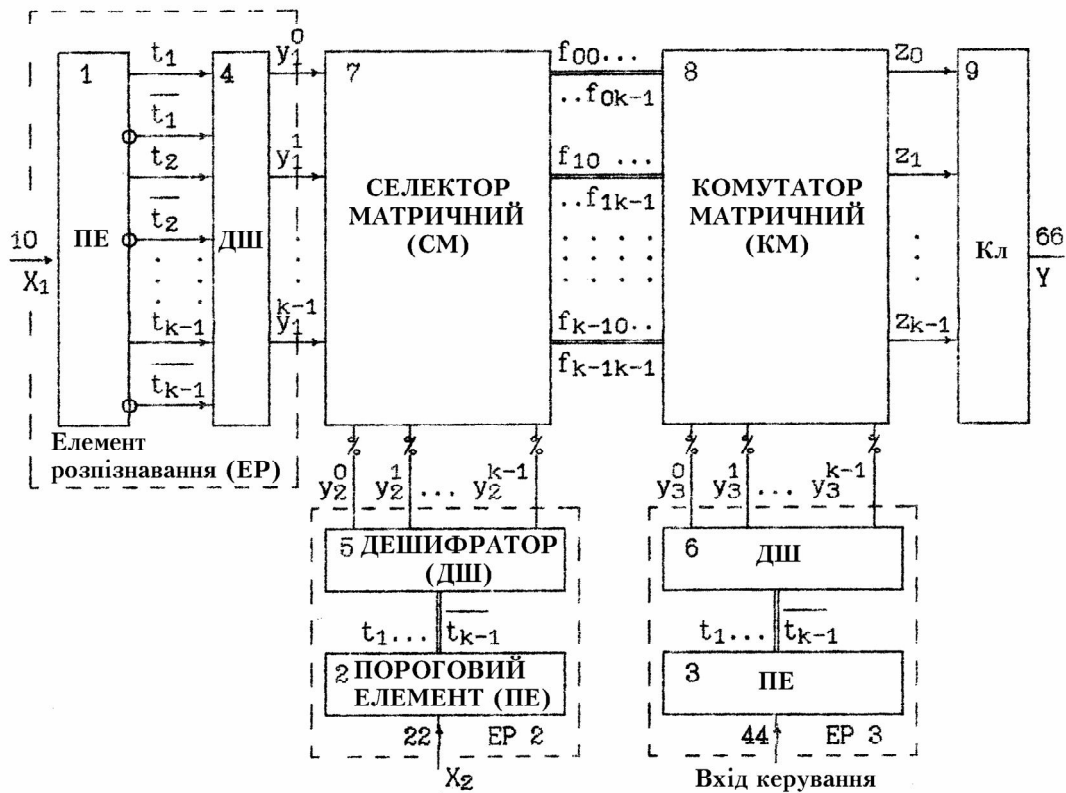


Рис. 1. Двовходова універсальна  $k$ -значна просторова структура

Комутатор для двовходової універсальної  $k$ -значної структури є двовимірним просторовим утворенням, що має дві групи по  $k$  входів двовходових елементів I, на першу з яких надходить сигнали від дешифратора схеми керування, а на іншу – від селектора. Відповідні виходи елементів I, об'єднані разом, і утворюють виходи комутатора. Формально, у явному вигляді, робота просторового комутатора описується такою системою рівнянь АСП

$$\left\{ \begin{array}{l} f_{00} t \vee f_{01} t \vee K \vee f_{0k-1} t = r_0; \\ f_{10} t \vee f_{11} t \vee K \vee f_{1k-1} t = r_1; \\ \text{К К К К К К К К К К К К К К К К} \\ f_{10} t \vee f_{11} t \vee K \vee f_{1k-1} t = r_1; \end{array} \right. \quad (4)$$

Для тривиходової універсальної структури просторового типу тримісної  $k$ -значної функції із її таблиці істинності (табл. 1) впливає внутрішня потреба в наступних структурних одиницях: три набори алфавітних розпізнавачів, що складаються з порогових елементів (ПЕ, компараторів) із дешифраторами, тривимірні просторові селектор і комутатор та схема керування вибором виду реалізованої функції.

Таблиця 1  
Узагальнена таблиця істинності тримісної  $k$ -значної функції

$x_3$	0	0	...	0	1	1	...	1	...	$k-1$	$k-1$	...	$k-1$
$x_2$	0	1	...	$k-1$	0	1	...	$k-1$	...	0	1	...	$k-1$
0	$f_{000}$	$f_{010}$	...	$f_{0k-10}$	$f_{001}$	$f_{011}$	...	$f_{0k-11}$	...	$f_{00k-1}$	$f_{01k-1}$	...	$f_{0k-1k-1}$
1	$f_{100}$	$f_{110}$	...	$f_{1k-10}$	$f_{101}$	$f_{111}$	...	$f_{1k-11}$	...	$f_{10k-1}$	$f_{11k-1}$	...	$f_{1k-1k-1}$
.	.	.	...	.	.	.	...	.	...	.	.	...	.
.	.	.	...	.	.	.	...	.	...	.	.	...	.
.	.	.	...	.	.	.	...	.	...	.	.	...	.
$k-1$	$f_{k-100}$	$f_{k-110}$	...	$f_{k-1k-10}$	$f_{k-101}$	$f_{k-111}$	...	$f_{k-1k-11}$	...	$f_{k-10k-1}$	$f_{k-11k-1}$	...	$f_{k-1k-1k-1}$
$x_1$	$f$												

Логіку роботи селектора матричного у випадку  $n = 3$  описує наступних  $k$  систем рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} f_{000} = y_1^0 \& y_2^0 \& y_3^0; f_{010} = y_1^0 \& y_2^1 \& y_3^0; K; f_{0k-10} = y_1^0 \& y_2^{k-2} \& y_3^0; \\ f_{100} = y_1^1 \& y_2^0 \& y_3^0; f_{110} = y_1^1 \& y_2^1 \& y_3^0; K; f_{1k-10} = y_1^1 \& y_2^{k-1} \& y_3^0; \\ \text{К К} \\ f_{k-100} = y_1^{k-1} \& y_2^0 \& y_3^0; f_{k-110} = y_1^{k-1} \& y_2^1 \& y_3^0; K; f_{k-1k-10} = y_1^{k-1} \& y_2^{k-1} \& y_3^1; \\ f_{001} = y_1^0 \& y_2^0 \& y_3^1; f_{011} = y_1^0 \& y_2^1 \& y_3^1; K; f_{0k-11} = y_1^0 \& y_2^{k-1} \& y_3^1; \\ f_{101} = y_1^1 \& y_2^0 \& y_3^1; f_{111} = y_1^1 \& y_2^1 \& y_3^1; K; f_{1k-11} = y_1^1 \& y_2^{k-1} \& y_3^1; \\ \text{К К} \\ f_{k-101} = y_1^{k-1} \& y_2^0 \& y_3^1; f_{k-111} = y_1^{k-1} \& y_2^1 \& y_3^1; K; f_{k-1k-11} = y_1^{k-1} \& y_2^{k-1} \& y_3^1; \\ \text{К К} \\ \text{К К} \end{array} \right.$$

$$\begin{cases}
f_{00k-1} = y_1^0 \& y_2^0 \& y_3^{k-1}; f_{01k-1} = y_1^0 \& y_2^1 \& y_3^{k-1}; \dots; f_{0k-1k-1} = y_1^0 \& y_2^{k-1} \& y_3^{k-1}; \\
f_{10k-1} = y_1^1 \& y_2^0 \& y_3^{k-1}; f_{11k-1} = y_1^1 \& y_2^1 \& y_3^{k-1}; \dots; f_{1k-1k-1} = y_1^1 \& y_2^{k-1} \& y_3^{k-1}; \\
\text{К К} \\
f_{k-10k-1} = y_1^{k-1} \& y_2^0 \& y_3^{k-1}; f_{k-11k-1} = y_1^{k-1} \& y_2^1 \& y_3^{k-1}; \dots; f_{k-1k-1k-1} = y_1^{k-1} \& y_2^{k-1} \& y_3^{k-1};
\end{cases}
\tag{5}$$

У порівнянні з одно- та двовходовою структурою [19, 20, 23] тривимірний матричний селектор (рис. 2) складається із  $k$  груп двовимірних селекторів, побудованих на тривходових елементах І. Дві групи входів елементів І підключені до відповідних виходів алфавітних розпізнавачів  $x_1$  та  $x_2$ , а третя група входів, у кожній з  $k$  груп, підключена до виходів алфавітного розпізнавача змінної  $x_3$ . У кінцевому підсумку маємо в тривимірному селекторі  $k^n$  виходів, що відповідає числу  $f_{mnp}$  у таблиці істинності. Усі  $k^n$  виходів необхідні для здійснення однозначного автоматичного вибору значень  $f_{mnp}$  ( $m, n, p \in E_k = \{0, 1, K, k-1\}$ ), використовуючи просторовий характер дії розпізнавачів вхідних змінних.

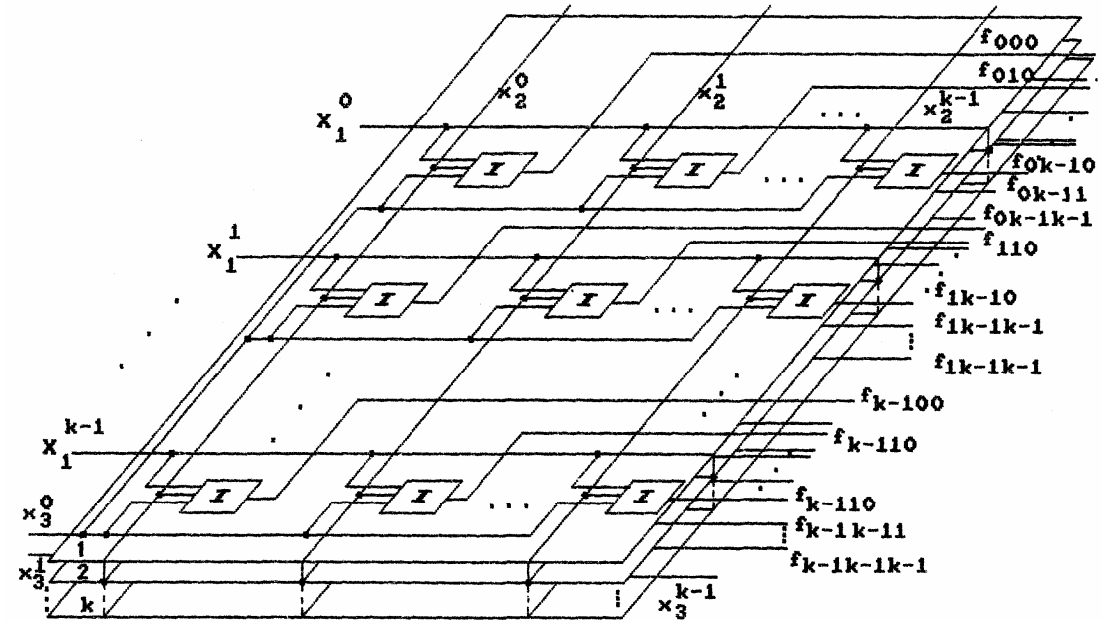


Рис.2. Матричний селектор універсальної 3-входової просторової багатозначної структури

Для керування роботою комутатора із  $k^n$  вихідних сигналів селектора формується  $k$  груп по  $k^2$  виходів, у кожний такт роботи селектора активним є тільки один вихід із  $k^n$ .

Формально, у явному вигляді, робота просторового комутатора, у випадку  $n = 3$ , описується такою системою рівнянь алгебри скінченних предикатів:



а) для першої площини комутатора при нульових значеннях  $x_3$  та керуючих сигналах  $y_4$ , що відповідають будь-якому значенню із  $E_k = \{0, 1, K, k-1\}$

$$\left\{ \begin{array}{l}
 y_4^0 (f_{000} \ V \ f_{010} \ VK \ V \ f_{0k-10} \ V \\
 V \ f_{100} \ V \ f_{110} \ VK \ V \ f_{1k-10} \ V \\
 KKKKKKKKKKKKKKK \\
 V \ f_{k-100} \ V \ f_{k-110} \ VK \ V \ f_{k-1k-10}) = q_0; \\
 y_4^1 (f_{000} \ Vf_{010} \ VK \ V \ f_{0k-10} \ V \\
 V \ f_{100} \ V \ f_{110} \ VK \ V \ f_{1k-10} \ V \\
 KKKKKKKKKKKKKKK \\
 V \ f_{k-100} \ V \ f_{k-110} \ VK \ V \ f_{k-1k-10}) = q_1; \\
 KKKKKKKKKKKKKKK \\
 KKKKKKKKKKKKKKK \\
 KKKKKKKKKKKKKKK \\
 y_4^{k-1} (f_{000} \ V \ f_{010} \ VK \ V \ f_{0k-10} \ V \\
 V \ f_{100} \ V \ f_{110} \ VK \ V \ f_{1k-10} \ V \\
 KKKKKKKKKKKKKKK \\
 V \ f_{k-100} \ V \ f_{k-110} \ VK \ V \ f_{k-1k-10}) = q_{k-1};
 \end{array} \right. \quad (6.1)$$

б) для другої площини комутатора при одиничних значеннях  $x_3$  та керуючих сигналах  $y_4$ , що відповідають будь-якому значенню із  $E_k = \{0, 1, K, k-1\}$

$$\left\{ \begin{array}{l}
 y_4^0 (f_{001} \ V \ f_{011} \ VK \ V \ f_{0k-11} \ V \\
 V \ f_{101} \ V \ f_{111} \ VK \ V \ f_{1k-11} \ V \\
 KKKKKKKKKKKKKKK \\
 V \ f_{k-101} \ V \ f_{k-111} \ VK \ V \ f_{k-1k-11}) = r_0; \\
 y_4^1 (f_{001} \ Vf_{011} \ VK \ V \ f_{0k-11} \ V \\
 V \ f_{101} \ V \ f_{111} \ VK \ V \ f_{1k-11} \ V \\
 KKKKKKKKKKKKKKK \\
 V \ f_{k-101} \ V \ f_{k-111} \ VK \ f_{k-1k-11}) = r_1; \\
 y_4^{k-1} (f_{001} \ V \ f_{011} \ VK \ V \ f_{0k-11} \ V \\
 V \ f_{101} \ V \ f_{111} \ VK \ V \ f_{1k-11} \ V \\
 KKKKKKKKKKKKKKK \\
 V \ f_{k-101} \ V \ f_{k-111} \ VK \ V \ f_{k-1k-11}) = r_{k-1};
 \end{array} \right. \quad (6.2)$$

в) для  $k$ -ої площини комутатора при  $k-1$ -му значенні  $x_3$  та керуючих сигналах  $y_4$ , що відповідають будь-якому значенню із  $E_k = \{0, 1, K, k-1\}$

$$\left\{ \begin{array}{l}
 y_4^0 (f_{00k-1} \quad V \quad f_{01k-1} \quad VK \quad V \quad f_{0k-1k-1} \quad V \\
 V \quad f_{10k-1} \quad V \quad f_{11k-1} \quad VK \quad V \quad f_{1k-1k-1} \quad V \\
 K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \\
 V \quad f_{k-10k-1} \quad V \quad f_{k-11k-1} \quad VK \quad V \quad f_{k-1k-1k-1}) = s_0; \\
 y_4^1 (f_{00k-1} \quad V \quad f_{01k-1} \quad VK \quad V \quad f_{0k-1k-1} \quad V \\
 V \quad f_{10k-1} \quad V \quad f_{11k-1} \quad VK \quad V \quad f_{1k-1k-1} \quad V \\
 K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \\
 V \quad f_{k-10k-1} \quad V \quad f_{k-11k-1} \quad VK \quad V \quad f_{k-1k-1k-1}) = s_1; \\
 y_4^{k-1} (f_{00k-1} \quad V \quad f_{01k-1} \quad VK \quad V \quad f_{0k-1k-1} \quad V \\
 V \quad f_{10k-1} \quad V \quad f_{11k-1} \quad VK \quad V \quad f_{1k-1k-1} \quad V \\
 K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \quad K \\
 V \quad f_{k-10k-1} \quad V \quad f_{k-11k-1} \quad VK \quad V \quad f_{k-1k-1k-1}) = s_{k-1}.
 \end{array} \right. \quad (6.k)$$

Структурно комутатор для реалізації тримісної функції теж є тривимірним просторовим утворенням, що має  $k$  площин матричних комутаторів розмірності  $k^2 \times k$ . На перший вимір (на  $k^2$  рядків КМ) надходить один із сигналів від селектора, а на другий (на  $k$  стовпців КМ) – від входу керування вибором виду реалізованої функції. Третій вимір виникає через те, що змінна  $x_3$  утворює в таблиці істинності  $k$  субтаблиць розмірності  $k^2$  значень  $f_{mnp}$  і в процесі пробігання змінною  $x_3 \in E_k = \{0, 1, K, k-1\}$  спричиняє відповідну просторову зміну площини селекції та площини  $k^2$  вихідних сигналів селектора. Такий підхід зберігає однорідність проміжних просторових перетворювачів та величину затримки в один такт на кожному з них. Можливе інше вирішення [21] алгоритму дії та структури комутатора із використанням базової моделі ієрархічних бан'яноподібних комутаційних структур, але із втратою незмінності затримки на один такт проміжних перетворень.

Таким чином, структурно будь-яка площина комутатора може бути реалізована на базі матриці розмірності  $k^2 \times k$  двовходових елементів І, на один вхід яких надходять сигнали  $t_4^i$ , а на інший –  $f_{mnp}$ . Один вхід для  $k^2$  сигналів  $f_{mnp}$  достатній, оскільки у кожному такті роботи структури в цілому можлива поява тільки одного з них. Багатовходовою функцією АБО у такому випадку реалізується без додаткових затрат із допомогою шинного об'єднання усіх  $k^2$  сигналів  $f_{mnp}$ . Відповідно вихідні сигнали комутатора в цілому будуть утворені за рахунок провідного АБО сигналів із однаковими індексами, але із різних площин комутації:

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

Остаточний результат універсального перетворення формально можна подати у вигляді операторного зображення

$$Y(z_i) = \text{Max}_{i=0}^{k-1} (\text{min}_{i=0}^{k-1} z_i g_i). \quad (8)$$

де  $\langle g_0, g_1, \dots, g_{k-1} \rangle = \text{PSf}$  - сигнали налагоджень вихідних функцій універсальної структури.

Отже, зростання значності та числа вхідних змінних універсальної  $k$ -значної структури веде до суттєвих зміни в побудові компонентів, що входять до її складу. Зокрема, на вході структури зростає пропорційно  $k$  число елементів розпізнавання; структури селекторів і комутаторів перетворюються на  $n$ -вимірні об'ємно-просторові утворення, а на виході структури зростає пропорційно  $k$  число ключів. Таким чином, в узагальненому вигляді універсальна просторова структура (рис. 3) може бути описана такою системою ознак  $S \rightarrow P_V \rightarrow P_V \rightarrow S$ , де  $V$  - об'єм (вимірність) простору селектора і комутатора.

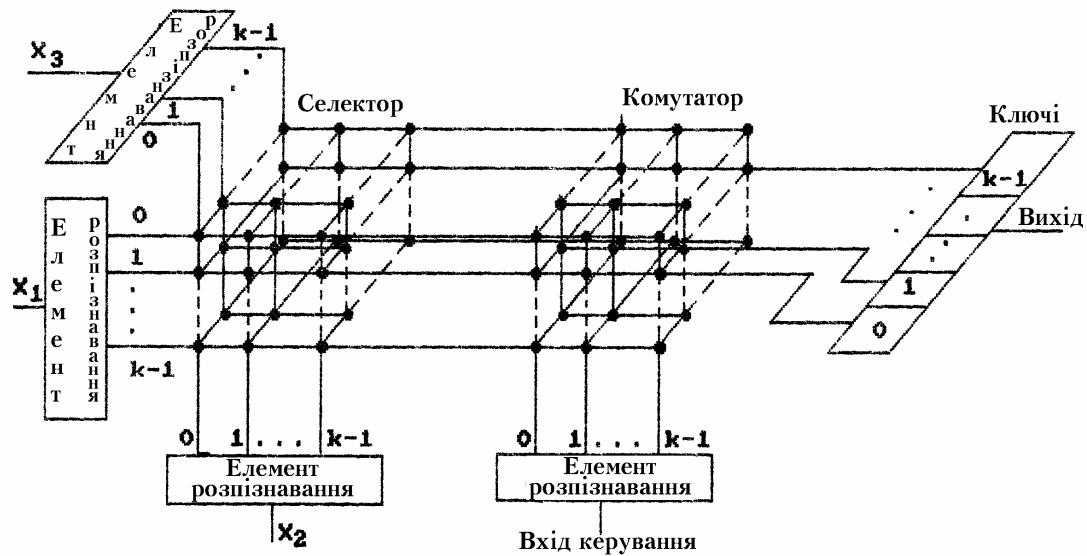


Рис.3. Узагальнена функціональна схема універсальної 3-входової багатозначної просторової структури

Вирішення задач формалізації принципів організації багатомовних  $k$ -значних структур забезпечує побудову новітньої концепції синтезу структур для систем ШІ; застосування просторового та часового паралелізму на

структурному й алгоритмічному рівнях та  $k$ -значних методів кодування; створення процедурних і функціональних мов, паралельних машин баз знань і логічного виводу.

## Література

1. Шабанов-Кушнарєнко Ю.П. Теория интеллекта. Математические средства. – Харьков: Вища шк., 1984. – 144 с.
2. Коноплянко З.Д. Дослідження метричних властивостей  $k$ -значних функцій // Труды УНИИРТ. – 1995. – № 2. – С. 46-53.
3. Mangin J.L., Current K.W. Characteristics of prototype CMOS quaternary logic encoder-decoder circuits // IEEE Trans. Comput. – 1986. – 35. – № 2. – P. 157-161.
4. Словарь по кибернетике / Под ред. акад. В.М. Глушкова. – К.: Гл. ред. УР8, 1979. – 621 с.
5. Кузнецова В.Л., Раков М.А. Самоорганизация в технических системах. – К.: Наук. думка, 1987. – 200 с.
6. Вехтерева Н.П., Гоголицыш Ю.Л., Кропотов Ю.Д. и др. Нейрофизиологические механизмы мышления. Отражение мыслительной деятельности в импульсной активности нейронов. – Л.: Наука, 1985. – 272 с.
7. Каляев А.В., Чернухин Ю.В. Нейроподобные моделирующие и вычислительные структуры // Электронное моделирование. – 1986. – № 2. – С. 3-9.
8. Stubbs D.F. Frequency and the brain // Life Sci. – 1976. – Vol.18. – P. 1-14.
9. Глезер В.Д. Зрение и мышление. – Л.: Наука, 1985. – 246 с.
10. Нейрокомпьютеры и интеллектуальные роботы // Н.М. Амосов, Т.Н. Байдык, А.Д. Гольцев и др. – К.: Наук. думка, 1991. – 272 с.
11. Гитис Э.И. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств. – М.: Энергия, 1975. – 418 с.
12. Шабанов-Кушнарєнко С.Ю. Компараторна ідентифікація скінченномірних процесів кількісної оцінки. - Автореф. дис. ... доктора техн. наук: 05.13.01/ХДТУРЕ. – Харків, 1995. – 40 с.
13. Яблонский С.В. Функциональные построения в  $k$ -значной логике // Труды математического института им. Стеклова. – Т.51. – М.: Издательство АН СССР, 1958. – 142 с.
14. Лапшинов О.Н. Физические ограничения универсальных многозначных логических элементов // ХМоделирующие системы с многозначным и гибридным кодированием. – К.: Наук. думка, 1980. – С. 102-106.
15. А.С. 1510095 СССР, МКИ НОЗМ 7/00. Устройство для приема и передачи информации // З.Д. Коноплянко (СССР). – №4364534/24; Заявлено 13.01.88. – Оpubл. 23.09.89, Бюл. № 35. – 6 с.
16. А.С. 1510077 СССР, МКИ Н ОЗК 19/08. Функциональный преобразователь / З.Д. Коноплянко (СССР). – N 4363776/24; Заявлено 13.01.88; Оpubл. 23.09.89, Бюл. № 35. – 10 с.
17. Пат.20462 Україна, МКВ Н03К 19/08. Двовходовий багатозначний логічний елемент / Бондаренко М.Ф., Коноплянко З.Д., Четвериков Г.Г. – № 97031289/24; Заявлено 20.03.97; Оpubл. 15.07.97; Бюл. №3. – 5 с.
18. Пат. 19664 Україна, МКВ Н03К 19/08. Універсальний функційний перетворювач // З.Д. Коноплянко, Т.В. Лосева, Г.Б. Попович та В.М. Чаплига. – №93005907/24; Заявлено 17.06.93; Оpubл. 25.12.97, Бюл. №6. – 5 с.
19. Пат.№14936 Україна, МКВ Н03К 19/02. Функціональний перетворювач із багатозначним кодуванням // М.Ф. Бондаренко, З.Д. Коноплянко та Г.Г. Четвериков. – №96073064/24; Заявлено 30.07.96; Оpubл. 04.03.97; Бюл. № 3; – 5 с.
20. Пат.14935 Україна, МКВ Н03К 19/08. Функціональний перетворювач // М.Ф. Бондаренко, З.Д. Коноплянко та Г.Г. Четвериков. - №96010250/24; Заявлено 22.01.96; Оpubл.04.03.97; Бюл. №3. – 11 с.
21. Коноплянко З.Д. Принципи построения многозначных систем искусственного интеллекта // Проблемы бионики. – 1990. – Вып. 45. – С. 27-35.
22. Тобаги Ф.А. Архитектура высокоскоростных коммутаторов для широкополосных цифровых сетей интегрированного обслуживания // ТИИ9Р. – 1990. – №1. – С. 105-142.
23. Бондаренко М.Ф., Коноплянко З.Д., Четвериков Г.Г. Основы теории синтеза надшвидкодіючих структур мовних систем штучного інтелекту. – К.: ІЗМН, 1997. – 264 с.

*Матеріал постуїл в редакцію 18.04.01.*