Національне агентство з питань інформатизації
при Президентові України
Державний науково-дослідний інститут
інформаційної інфраструктури

*Надала Ігор Мирославович*

*УДК 621.391.01*

# Математичне моделювання асоціативної пам'яті, побудованої на точкових відображеннях

Спеціальність 01.05.02 - *Математичне моделювання та обчислювальні методи*

***Автореферат***
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів-1997

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Львівському державному університеті ім. Івана Франка

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, *Синицький Лев Аронович* Львівський державний університет ім. І.Я.Франка, професор

**Офіційні опоненти:** доктор фіз.-мат. наук, ст. наук. співр. *Яворський Ігор Миколайович* Фізико-механічний інститут НАН України, зав. відділом

кандидат тех. наук, ст. наук. співр *Заячук Ігор Михайлович* Інститут прикладних проблем механіки і математики НАН України Центр математичного моделювання

**Провідна організація:** Державний університет *"Львівська політехніка"* (кафедра загальної електротехніки) Міністерства освіти України, м.Львів

Захист відбудеться "11" грудня 1997 р. о 16 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.813.01 при Державному науково-дослідному інституті інформаційної інфраструктури за адресою: 290601, Львів-53, МСП, вул. Наукова, 5а.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту (290601, Львів-53, МСП, вул. Наукова, 5а).

Автореферат розісланий "6" листопада 1997р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради, докт. техн. наук — Бунь Р.А.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

***Актуальність теми дослідження.*** В останні роки значно зріс інтерес до обробки, запам`ятовування та збереження інформації у живих системах. Він у значній мірі пов`язаний із розробкою ЕОМ п`ятого і наступних поколінь, які по своїй структурі та принципах дії повинні суттєво відрізнятися від традиційних обчислювальних систем, запропонованих ще фон Нейманом.

Серед проблем, що виникають при розробці таких обчислювальних систем важливе місце займає проблема запису та розпізнавання інформації. На відміну від принципів запису та зчитування, що застосовуються сьогодні у ЕОМ (адресна пам`ять), пам`ять людини та тварин є асоціативною, тобто як запис так і відтворення інформації відбуваються не за номером комірки пам`яті, а у відповідності із змістовною стороною інформації.

Простими і змістовними моделями, які використовуються для реалізації принципу асоціативності є одновимірні та багатовимірні динамічні системи, теорія яких бурхливо розвивається. На таких моделях вивчають роль циклів великих періодів в інформаційних процесах.

Поряд з цим неможливо уявитити собі дослідження подібних моделей без викоритання ЕОМ, які працюють не тільки у дискретному часі, а й з квантуванням змінних по рівню. Врахування даного факту по відношенню до неперервної[1] моделі веде до виникнення небажаних періодичних режимів у фазовому просторі моделі, які зменшують ефективність відтворення інформації.

До інших подібних методів обробки інформації слід віднести роботи Дж.Хопфілда, Л.Чуа та Л.Янга, в яких пропонуються математичні моделі нейронних мереж для обробки зображень.

У дисертаційній роботі використовуючи методи дослідження цифрових систем досліджено оптимальні умови для ефективного відтворення інформації як у неперевній так і у дискретній моделях асоціативної пам`яті, побудованої на точкових відображеннях.



[1] Тут і далі під неперервною моделлю розуміється модель, в якій не враховується квантування змінних по рівню.

***Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.*** Дослідження дисертаційної роботи проводилися в рамках держбюджетного замовлення по темі "Розробка методів та програм математичного моделювання складних режимів в нелінійних динамічних системах" (Львівський державний університет ім. І.Франка).

***Мета і задачі дослідження.*** Метою дисертаційної роботи є створення методів математичного моделювання асоціативної пам`яті, побудованої на основі одновимірних та багатовимірних точкових відображень. В першу чергу це стосується забезпечення оптимальних умов при відтворенні інформації, як у неперервній так і у дискретній моделях асоціативної пам`яті.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- побудова неперервної та цифрової моделей асоціативної пам`яті;
- визначення фазового простіру та динамічних властивостей обох моделей асоціативної пам`яті для дослідження періодичних режимів та їх природи;
- створення алгоритмів усунення паразитних режимів, які негативно впливають на ефективність моделі;
- розробка програмного забезпечення для прикладного застосування запропонованої моделі асоціативної пам`яті.

***Наукова новизна одержаних результатів*** полягає в тому, що:

- визначено структуру фазового простору неперервної моделі асоціативної пам`яті та доведено неможливість існування паразитних циклів у частинному випадку при записі одного блоку інформації;
- запропоновано модифікації відображення в неперервному випадку, при яких розширюється область притягання корисних циклів, які несуть інформацію;
- використовуючи методи математичного моделювання та принципи теорії цифрових систем побудовано дискретну модель асоціативної пам`яті;

- визначено умови існування паразитних циклів у фазовому просторі дискретної моделі;
- розроблено методи підвищення ефективності вказаної моделі та запропоновано критерії оцінки областей притягання як корисних, так і паразитних циклів;
- запропоновано підходи до практичного використання розробленої математичної моделі асоціативної пам\`яті для обробки текстової інформації.

***Практичне значення одержаних результатів.*** Теоретичні дослідження та чисельні експерименти дозволили розробити методи та критерії забезпечення оптимальних умов обробки інформації у запропонованій моделі асоціативної пам\`яті. Результати роботи можуть бути використані для створення систем обробки інформації, які по своїх принципах дії відрізнялися б від методів обробки інформації, що існують сьогодні.

***Особистий внесок.*** У роботах, що написані у співавторстві, автори взяли рівну творчу участь.

***Апробація результатів дисертації.*** Основні положення та окремі результати роботи доповідалися і обговорювалися на наступних науково-технічних конференціях та семінарах:

- Науково-технічна конференція "Проблеми фізичної та біомедичної електроніки", м.Київ, 1995 р., 1996 р.
- Ювілейна науково-технічна конференція "Математичне моделювання в електротехніці та електроенергетиці", присвячена 150-ти річчю Державного університету "Львівська політехніка", м.Львів, 1995 р.
- Щорічні звітні наукові семінари фізичного факультету Львівського державного університету ім. І.Франка (1994-1997).

***Публікації.*** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 7 друкованих праць.

***Структура та обсяг дисертації.*** Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 62 найменувань, 15 малюнків та 5 таблиць, викладених на 18 сторінках. Загальний обсяг дисертації 149 сторінок.

## *ЗМІСТ РОБОТИ*

***У вступі*** дисертаційної роботи обгрунтована актуальність теми дослідження, сформульована мета та завдання дослідження, новизна та практична цінність отриманих результатів, наведено дані про їх апробацію.

***Перший розділ*** присвячено огляду наступних математичних моделей асоціативної пам`яті: модель Хопфілда, модель коміркових нейронних мереж та модель асоціативної пам`яті О.С.Дмітрієва.

Нейронна мережа Хопфілда складається власне з моделі нейрона з ступінчатим відкликом і структури з симетричними зв`язками, що об`єднує нейрони. Припустимо, що мережа утворена з $N$ пов`язаних між собою формальних нейронів. Кожен такий нейрон являє собою бістабільний елемент з двома стійкими станами $x_i = \pm 1$. Нейрони в мережі пов`язані по принципу "кожен з кожним", причому зв`язок між двома довільно-вибраними елементами $i$ та $j$ характеризується вагою $a_{ij} \in R$. При подачі сигналу на вхід мережа змінює свій стан до тих пір, поки збудження не стане постійним, тобто досягається стійка конфігурація мережі. В такому випадку кожен з нейронів знаходиться в стані, що визначається діючим на нього полем інших елементів мережі:

$$x_i = \mathrm{sign}((1/N) \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} a_{ij}\, x_j).$$

При довільному виборі коефіцієнтів $a_{ij}$, що задають ваги зв`язків, система має, як правило, багато стійких конфігурацій. Для кожної з них можна вказати свою множину початкових конфігурацій, яку називають областю притягання цієї стійкої конфігурації.

Нейронні мережі Хопфілда дозволяють запам`ятовувати симетричні образи. Л.Чуа та Л.Янг запропонували математичну модель несиметричної коміркової нейронної мережі (CNN) з наперед відомою структурою зв`язків між комірками, яка дозволяє перетворити множину деяких векторів у образи пам`яті. Однак трохи змінена початкова організація CNN може бути застосована для моделювання процесів в асоціативній пам`яті.

Ще однією простою та змістовною математичною моделлю, що використовується для побудови асоціативної пам`яті є одновимірні відображення. На таких моделях вивчається роль циклів великих періодів. В роботах О.С.Дмітрієва пропонується принцип організації динамічної асоціативної пам`яті на основі як стійких, так і нестійких циклів одновимірних відображень.

Розглянуто принцип побудови відображення з атрактором, що відповідає записаному блоку інформації $x_1, x_2, \ldots, x_n$ . Нехай маємо алфавіт з $M$ символів, і потрібно побудувати відображення, що містить цикл заданої структури та довжини $n$. Для початку будемо вважати, що елементи алфавіту в блоці інформації не повторюються. Розіб`ємо одиничний інтервал [0;1] на $M$ рівних частин (відповідно до кількості елементів в алфавіті), і пронумеруємо їх від 1 до $M$. Тоді шукане відображення може складатися з $n$ відрізків, що мають кутові коефіцієнти нахилу менші 1.0, з`єднаних між собою прямими лініями. Довжина проекції відрізка на вісь рівна $1/M$. Виходячи з цього ліві границі відрізків мають абсциси:

$$(m_1 - 0.5)/M,\ (m_2 - 0.5)/M,\ \ldots,\ (m_n - 0.5)/M,$$

і відповідно праві:

$$(m_1 + 0.5)/M,\ (m_2 + 0.5)/M,\ \ldots,\ (m_n + 0.5)/M,$$

де $j$ - номер елементу послідовності,

$m_j$ - номер, що відповідає $j$-му елементу одиничного відрізку.

Шуканий стійкий цикл проходить через середини відрізків, кутові коефіцієнти нахилу яких менші 1.0, тобто через точки:

$$m_1/M,\ m_2/M,\ \ldots,\ m_n/M.$$

***У другому розділі*** досліджено властивості як неперервної, так і дискретної математичних моделей асоціативної пам`яті О.С.Дмітрієва для забезпечення оптимальних умов обробки інформації. Перш за все це стосується доведення єдиності та стійкості корисних циклів, які відповідають записаній інформації, та можливих модифікацій відображення для підвищення надійності моделі.

Очевидно, що перша і головна вимога до $f(x)$ - відсутність стійких циклів за виключенням того, що відповідає записаній послідовності $\{x_m\}$. При вибраному способі побудови $f(x)$ ця властивість зберігається для циклів довільного порядку. Це твердження випливає з того, що прямі, які з'єднують два сусідні відрізки безпосередньої збіжності і перетинають бісектрису $y=x$, мають кутовий коефіцієнт нахилу більше 1.0. Дійсно, розглянемо дві сусідні точки $(x_s, x_{s+1})$ та $(x_r, x_{r+1})$ на площині відображення, причому $x_s<x_r$ сусідні точки вздовж осі $x$. Нехай на ділянці прямої, що з'єднує ці точки є нерухома точка відображення. Не зменшуючи загальності приймемо:

$$x_{s+1} > x_s,\ x_{r+1} < x_r .$$

Оскільки $x_s$ та $x_r$ сусідні точки вздовж осі $x$, то $x_{s+1}$ і $x_{r+1}$ не можуть бути розміщеними між ними, тобто

$$x_{s+1} > x_r \text{ і } x_{r+1} < x_s, \quad \text{тому} \quad |(x_{s+1} - x_{r+1})/(x_s - x_r)| > 1.$$

Аналогічна нерівність справедлива і у випадку, коли $x_{s+1}<x_s$ та $x_{r+1}>x_r$. Значить, нерухома точка для $f(x)$, тобто цикл першого порядку, є нестійкою.

Нестійкість $p$-циклів, при $p > 1$, доведено подібним чином. Для цього використано властивість кутових точок: якщо $x_k$ кутова точка $T^k$ перетворення ( $k < p$ ), то вона обов'язково переходить у кутову точку $T^p$ перетворення. Розглядаючи тепер відрізок прямої, яка перетинає бісектрису $y = x$ і з'єднує дві сусідні точки відображення $T^p$ приходимо до висновку, що кутовий коефіцієнт нахилу цієї прямої по модулю > 1, оскільки викладки, наведені вище не пов'язані із значенням $p$. Таким чином для функції $f(x)$ не існує стійких паразитних циклів будь-якого порядку.

В тому випадку, коли запам'ятовуються декілька блоків інформації, наведені міркування втрачають силу. Простий приклад для запису двох блоків на другому рівні запису свідчить про те, що існують такі початкові умови, при яких траєкторія системи прямує до стійкого циклу, який не відповідає жодному із записаних блоків інформації. Паразитні цикли виникають з тієї причини, що відображення містить один або декілька відрізків з кутовим коефіцієнтом нахилу меншим 1.0. Позбутися цього неприємного явища можна збільшуючи розміри відрізків безпосередньої збіжності двох сусідніх точок до тих пір поки тангенс нахилу відрізку, що їх з`єднує не стане більшим 1.0. Така модифікація не порушує структуру зображення, і в той же час потрібні зміни внести не складно, якщо врахувати принцип побудови відображення.

В граничному випадку відображення можна побудувати із самих відрізків безпосередньої збіжності, причому кожен з них повинен мати певну довжину. Зокрема, відрізок безпосередньої збіжності, що відповідає $i$-тій точці блоку інформації може бути записаний у вигляді:

$$((x_i + x_{i-1})/2\ ;\ (x_i + x_{i+1})/2).$$

Слід однак підкреслити, що в даному випадку зображення стає розривним і траєкторія системи вже з першого кроку попадає на один із записаних блоків інформації.

Тривалість перехідного процесу також залежить і від довжини відрізку безпосередньої збіжності. Чисельний експеримент показує, що середня тривалість перехідного процесу $t$ обернено-пропорційна довжині відрізку безпосередьої збіжності $l$ в степені 0.85.

Однак ця формула стосується лише малих довжин відрізків безпосередньої збіжності. При їх сумарній довжині більше ніж 10% від області визначення тривалість перехідного процесу становить наближено 20 ітерацій і не залежить від розміру самих відрізків.

Очевидно, що якщо змінна $x$ точкового перетворення:

$$x_{m+1} = f(x_m)$$

приймає тільки $N_0$ дискретних значень на відрізку визначення $f(x)$ (множина $B$), то хаотичні режими неможливі. Однак поряд з існуванням періодичних режимів для системи з неперервною змінною $x$ можливе виникнення нових періодичних режимів для моделі із змінними, що квантовані по рівню. Питання про те, яка структура їх областей притягання заслуговує спеціального обговорення.

Розгляд розпочато з найпростішого $T$ - перетворення виду:

$$x_{m+1} = ax_m (mod\ N_0), \tag{2.1}$$

де $a$ і $N_0$ цілі взаємно прості числа. Якщо змінна $x$ неперевна, то в системі (2.1) всі періодичні режими при $a > 1$ нестійкі. При переході до змінних, квантованих по рівню, періодичні режими, що виникають, можуть бути в деякій мірі пов`язаними з періодичними режимами, які існували раніше, або з хаотичними режимами. Не виключається, зрозуміло, виникнення їх незалежно від тих, що спостерігалися в неперервній системі.

Для перетворення (2.1), якщо $a$ і $N_0$ взаємно прості числа, у відповідності з теоремою Ейлера про існування циклів, максимальна тривалість періодичного режиму становить $2^{N-1}$, де $N$ - ціле число, $N_0=2^N$. Для вивчення циклів довжиною $k$ ($k$ - циклів) даного відображення розглянуто перетворення $T^{k}$, лінійні ділянки якого мають нахил $a^k$, тобто одиничний відрізок [0;1] розбитий на $a^k$ ділянок. В результаті розгляду математичної моделі такого відображення доведено, що для $N$ - розрядної двійкової системи максимальна довжина циклу в такому $T$-перетворенні становить $2^{N-2}$. Отже максимальна довжина цихлу виявляється в два рази меншою ніж оцінка по теоремі Ейлера.

В роботі також показано аналітично існування більш коротких циклів типу $2^p$, де $p = 0 \dots N$-3.

Отже, показано, що для відображення (2.1) при $a$ і $N_0$ взаємно простих числах фазовий простір утворений виключно замкнутими траекторіями, причому область притягання кожної з траектрій обмежена точками самої траекторії. Проблема визначення кількості циклів типу $2^p$ однакової довжини також потребувала особливої уваги. Теоретично показано, що в перетворенні (2.1) при $a$ і $N_0$ взаємно простих числах існують принаймі два різних цикли, що мають одну і ту ж довжину.

Розгляду матєматичної моделі перетворення, для якого область притягання циклу не обмежується точками самого циклу, присвячена друга половина розділу. Оцінка області притягання періодичних режимів в дискретній системі особливо важлива при використанні точкових перетворень в моделі асоціативної пам`яті. Для вирішення поставленого завдання необхідно ввести поняття про *точку-витік*.

Витоком названо точку множини $B$, яка не має прообразів серед інших точок множини $B$. Витік є початковою точкою траєкторії, яка обов`язково приводить до деякого циклу, тобто і витік, і сама траєкторія включаються в область притягання цього циклу. Якщо відображення $f(x)$ не має витоків, то область притягання кожного з циклів формується лише з точок самого циклу. Множину витоків у відображенні можна визначити з допомогою наступних міркувань: витоки можуть існувати тільки на тих ділянках відображення, де функція $f'(x)$ по модулю перевищує 1.0. Причому кількість витоків оцінюється виразом:

$$W = \int_{x_1}^{x_2} (f'(x) - 1)dx\,, \tag{2.2}$$

де $(x_1, x_2)$ - відрізок на якому задовільняється умова $|f'(x)| > 1$.

Звернемося тепер до нерегулярних точкових відображень, тобто таких перетворень, для яких хоча б для одного значення $x \in B$ виконується умова: $f(x) \notin B$. Тому при обчисленні $f(x)$ обов`язково присутня операція заокруглення. Якщо $f(x)$ багатоекстремальна функція, як в моделях асоціативної пам`яті, то слід очікувати, що взаємнооднозначна відповідність для $f(x)$ відсутня. Тому існують витоки, і як наслідок, область притягання кожного з циклів не обмежується точками самого циклу.

Проведені чисельні експерименти поставили нове завдання, яке необхідно вирішити при розгляді цифрових систем запам`ятовування інформації. Суть його полягає у виясненні природи паразитних циклів, і окресленні шляхів боротьби з ними. Раніше вже було зроблено припущення про те, що стійкі паразитні цикли у цифровій системі можуть виникати відповідно до тих циклів, які були у неперервній системі, але там були нестійкими. Причиною виникнення таких циклів є обмежена кількість розрядів $N$ цифрової системи, а точніше, заокруглення до якого вона спричиняє.

Одним з методів боротьби з стійкими паразитними циклами може бути перехідний процес, що відбувається за законом:

$$x_{m+1} = f(x_m) + \gamma.$$

Причому дана методика застосовується лише у випадку, коли в результаті перехідного процесу ми попали на паразитний цикл. І таке примусове відхилення від паразитного циклу відбувається аж до того моменту поки ми не прийдемо до корисного циклу, або до циклу, який містить фрагмент початкових умов.

Важливим парметром даної дискретної математичної моделі асоціативної пам'яті є імовірність надійного зчитування інформації. Поряд із введеною раніше множиною $B$ позначимо через $T$ - період циклу і $V$ - кількість точок, які попадають на відрізки безпосередньої збіжності. Знайдемо імовірність $p$ того, що множини $T$ і $V$ не перетинаються:

$$p = C_B^V / C^V_{B-T} = ((B - T)!V!(B-V)!))/((V!(B - T - V)!B!) =$$
$$= ((B-T-V+1)(B-T-V+2)...(B-V))/((B-T+1)(B-T+2)...B).$$

Після нескладних перетворень отримаємо:

$$p = (1 - V/B)(1 - V/(B-1))(1 - V/(B-2))... (1 - V/(B - (T - 1)).$$

Імовірність можна оцінити співвідношенням

$$(1 - V/(B - (T - 1))^T < p < (1 - V/B)^T. \qquad (2.3)$$

Звідси випливає, що імовірність перетину множин $T$ і $V$ в першу чергу залежить від довжини циклу.

***У третьому розділі*** розглядаються двовимірні та багатовимірні математичні моделі асоціативної пам'яті, які використовуються для збільшення інформативної ємності.

Принцип побудови відображення для двовимірного перетворення мало відрізняється від одновимірного випадку. Механізм запису інформаційного блоку на двовимірне відображення квадрату [0;1]x[0;1] площини $XY$ в себе полягає в наступному. У відповідність кожному $j$-му елементу алфавіту поставлено у відповідність півінтервали на осях $X$ та $Y$:

$$I_j^X = [(j - 1)/N; j/N), \; I_j^Y = [(j - 1)/N; j/N),$$

і центральні точки цих півінтервалів $(j - 0.5)/N \in I_j^{XY}$. При цьому парі елементів $(a_i, a_{i+1})$ блоку інформації ставиться у відповідність квадрат:

$$I_{m_i}{}^X I_{m_{i+1}}{}^Y = [(m_i - 1)/N, m_i/N) \times [(m_{i+1} - 1)/N, m_{i+1}/N),$$

де $m_i$ - номер елементу $a_i$ в алфавіті. Далі, по аналогії до одновимірного випадку, такі квадрати названо інформаційними.

Блоку інформації в цьому випадку ставиться у відповідність цикл періоду $n$, який проходить через центральні точки відповідних інформаційних квадратів

$$((m_1 - 0.5)/N, (m_2 - 0.5)/N), ((m_2 - 0.5)/N, (m_3 - 0.5)/N), ...,$$
$$((m_{n-1} - 0.5)/N, (m_n - 0.5)/N), ((m_n - 0.5)/N, (m_1 - 0.5)/N).$$

Відзначимо, що $y$-координата $i$-ї точки циклу і $x$-координата $(i+1)$-ї точки циклу відповідають одному і тому ж елементу $a_{i+1}$ алфавіту, тому шукане двовимірне відображення записується у вигляді:

$$(x_{i+1}, y_{i+1}) = \Phi(x_i, y_i) = (y_i, f(x_i, y_i)).$$

Згідно побудови, відображення одиничного квадрату в себе має граничний цикл довжиною $n$, який відповідає записаній інформації. Далі розглянуто узагальнення методу формування двовимірного відображення для побудови $q$-вимірної математичної моделі асоціативної пам`яті.

***У четвертому розділі*** розглянуто методи забезпечення оптимальних умов обробки інформації для практичного використання моделі асоціативної пам`яті та наводиться приклад використання запропонованого принципу для збереження та відтворення текстової інформації.

Для відповіді на питання про інформаційну ємність моделі слід вияснити, скільки існує ортогональних образів довжиною $n$, які мають своїми складовими символи алфавіту $M$ при записі на рівні $q$. Повне число можливих фрагментів довжиною $n$ в розглянутому випадку рівне $M^q$. При запису одного інформаційного блоку використовується $n$ з них, причому усі вони різні за умовою "ортогональності". Решта блоків, що містять ці фрагменти, вже не можуть бути записані. Записаний інформаційний блок довжини $n$ і містить $n$ різних фрагментів довжини $q$. Тому з усіх можливих інформаційних блоків довжини $n$ (а таких є $\geq M^n/n$) можна записати максимум $M^q/n$ блоків. Інформаційна ємність даної моделі пам`яті при запису наступних циклів одновимірних відображень виражається:

$$E \le \begin{cases} M^{n}/n, \; n \le q, \\ M^{q}/n, \; n \ge q. \end{cases}$$

Парадокс заключається в тому, що найбільші труднощі при запису інформації виникають при запису інформаційних блоків, що містять однорідні фрагменти. З загальних міркувань зрозуміло, що вони містять дуже обмежену кількість інформації, і в той же час, саме з ними пов`язані основні труднощі. Тому, якщо при перегляді інформаційного блоку (або їх сукупності), який потрібно записати на рівні $q$ з допомогою алфавіту з $M$ символів, знаходять два ідентичних фрагменти довжиною $q$, то в алфавіт вводиться новий елемент, який являє собою цей фрагмент, і усі такі фрагменти (їх може виявитися більше двох) в інформаційному блоці (блоках) замінюються на новий елемент алфавіту.

Після цього знову проводиться перегляд блоку інформації (сукупності блоків інформації). Якщо в ньому знову з`являються, тепер вже при алфавіті $M+1$, однакові фрагменти довжини $q$, то вводиться наступний елемент алфавіту і т.д. Іншими словами, фіксуємо рівень запису $q$, збільшуючи $M$ (і зменшуючи $n$) до тих пір, поки інформаційний блок не зможе бути записаним. Така процедура дозволяє записати довільний інформаційний блок на будь-якому рівні запису, починаючи з другого.

Принцип асоціативності, який використовують у моделі запам`ятовування та відтворення інформації О.С.Дмітрієва може бути використаний і для обробки текстової інформації. Як вже говорилося вище, алфавітом в даній системі може виступати будь-який набір символів. Проте, використання знаків кирилиці для формування блоків текстової інформації створює значні труднощі. Перш за все це стосується того, що при записі текстової інформації подібність багатьох слів та словосполучень вимагає високого рівня запису. Для того, щоб позбутися цього неприємного явища елементами алфавіту вибирають цілі слова. Як приклад запису інформації в цьому випадку було реалізовано запам`ятовування та відтворення у системі 10 фрагментів віршів Т.Г.Шевченка.

## *ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ*

Результатом виконаної роботи є розробка неперервної та дискретної математичних моделей асоціативної пам`яті, побудованої на основі одновимірних та багатовимірних точкових відображень, дослідження методів підвищення ефективності їх роботи. При цьому отримано такі основні результати:

1. В рамках запропонованої моделі для запису одного блоку інформації доведено, що у відображенні існує лише один стійкий цикл, який і відповідає записаній інформації. Решта періодичних режимів, що виникають при побудові відображення, є нестійкими.

2. Підтверджено результатами чисельних експериментів твердження, що область притягання у випадку запису двох або більше блоків інформації має складну фрактальну будову. Розподіл областей притягання сильно залежить від вигляду самого відображення, тобто не тільки від одного конкретного блоку, а й від решти записаної інформації.

3. Враховуючи те, що при відтворенні інформації важливу роль відіграють відрізки безпосередньої збіжності запропоновано модифікації математичної моделів відображення, які підвищують надійність роботи асоціативної пам`яті. Зокрема, це стосується збільшення довжини цих відрізків, до межі, яка б не порушувала структури самого відображення, і в той же час дозволяла б вводити початкові умови з більшою похибкою ніж у номінальному випадку. В граничному випадку відображення може бути побудоване тільки з самих відрізків безпосередньої збіжності.

4. Доведено, що для випадку, коли сумарна довжина відрізків безпосередньої збіжності знаходиться в межах 10% від усього відрізку визначення тривалість перехідного процесу обернено пропорційна довжині відрізку безпосередньої збіжності в степені 0.85.

5. Показано, що при переході від неперервної до дискретної математичної моделі відображення у системі відбуваються зміни фазового простору. Перш за все це стосується появи стійких циклів, які не відповідають інформації, записаній у системі. В результаті розгляду доведено, що для $N$-розрядної двійкової системи, у відображенні існують лише цикли з довжинами $2^p$, де $p = 0...(N-2)$,

причому всі вони існують попарно. З допомогою відомих обчислювальних методів доведено також теоретично, що для кожного з цих циклів відсутня область притягання.

6. Доведено, що якщо $a$ і $N_0$ не взаємно прості числа, то наведені міркування втрачають силу, тобто область притягання періодичних режимів вже не обмежується точками самого циклу. Для дослідження цього випадку у модель введено поняття точки-витоку. В роботі дана методика оцінки кількості можливих витоків у системі, та визначено критерії, по яких можна дати відповідь про існування витоків у системі взагалі.

7. Розроблено методи визначення меж коливань максимальної тривалості ітераційного процесу при відтворенні інформації як у неперервній, так і у дискретній моделі.

8. Враховуючи те, що при зчитуванні інформації у багатовимірних системах важливу роль відіграють інформаційні квадрати, в роботі запропоновано модифікації метематичної моделі пам`яті та критерії місцезнаходження траєкторії у фазовому просторі системи.

9. Як приклад одного з підходів до практичної реалізації даного методу асоціативного відтворення інформації в роботі представлено запис 10 фрагментів віршів Т.Г.Шевченка. Кожен із записаних віршів може бути відтворений по фрагменту, що складається з чотирьох слів (слів та символів), причому не має значення який саме фрагмент вибрано - початковий, середній чи кінцевий.

## *СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ*

1. Надала І.М., Синицький Л.А. Про швидкість та надійність запам`ятовуючих одновимірних динамічних систем//Теоретична електротехніка.- 1995.- Вип. 52.- С. 163-169.

2. Надала И.М., Синицкий Л.А. Динамические свойства ассоциативной памяти на основе одномерного точечного отображения//Радиотехника и электроника.- 1995.- Т. 40.- №7.- С. 1106-1112.

3. Надала И.М., Синицкий Л.А. О сложных периодических режимах в одномерных многоэкстремальных цифровых системах// Электронное моделирование.- 1996.- Т. 18.- №6.- С. 9-15.

4. Надала І.М. Про швидкодію та динамічність запам`ятовуючих одновимірних динамічних систем/ Тез. доп. ювілейної наук.-техн. конф. присвяченої 40-річчю фізичного факультету Львівського державного університету ім. І.Франка.- Львів, 1993.- С. 39.

5. Надала І.М. Про динаміку одновимірних систем запам`ятовування інформації/ Тез. доп. міжнар. наук.-техн. конф. "Проблемы физической и биомедицинской электроники".- Київ, 1995.- С. 234-237.

6. Любунь З.М., Надала І.М., Синицький Л.А. Динамічні властивості пам`яті Хопфілда/ Тез. доп. міжнар. наук.-техн. конф. "Проблемы физической и биомедицинской электроники".- Київ, 1996.- С. 200-204.

7. Надала І.М. Про фазовий простір одновимірних багатоекстремальних цифрових систем/ Тез. доп. міжнар. конф. "Математичне моделювання в електротехніці та електроенергетиці".- Львів, 1995.- С. 32-33.

Надала І.М. *Математичне моделювання асоціативної пам`яті, побудованої на точкових відображеннях.* - Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 - математичне моделювання і обчислювальні методи. Державний науково-дослідний інститут інформаційної інфраструктури, м. Львів, 1997.

Розроблено неперервну та дискретну математичні моделі асоціативної пам`яті, побудованої на основі одновимірних та багатовимірних точкових відображень. Для обох моделей досліджено критерії досягнення оптимальних умов для зчитування інформації, зокрема, це стосується структури фазового простору та надійності відтворення інформації. Отримано оцінки максимальної довжини періодичних режимів для дискретної системи. Отримані результати використано для побудови моделі обробки текстової інформації.

*Ключові слова:* асоціативна пам`ять, неперевна модель, дискретна модель, фазовий простір, область притягання, обробка інформації.

**Надала И.М.** *Математическое моделирование ассоциативной памяти, построенной на точечных отображениях.* - Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.05.02 - математическое моделирование и вычислительные методы. Государственный научно-исследовательский институт информационной инфраструктуры, г.Львов, 1997.

Разработаны непрерывная и дискретная математические модели ассоциативной памяти, построенной с использованием одномерных и многомерных точечных отображений. Для обоих моделей исследованы методы достижения оптимальных условий для считывания информации, в частности, это касается структуры фазового пространства и надежности воспроизведения информации. Получены оценки масимальной длины периодических режимов для дискретной системы. Полученные результаты используются для построения модели обработки текстовой информации.

*Ключевые слова:* ассоциативная память, непрерывная модель, дискретная модель, фазовое пространство, область притяжения, обработка информации.

**Nadala I.M.** *Mathematical modeling associative memory based on point's maps.* - Manuscript. Thesis for a candidat`s degree by speciality 01.05.02 - mathematical modeling and calculating methods. State Scientific and Research Institute of Information Infrastructure, Lviv, 1997.

The continuous and digital mathematical models of associative memory which based on one-dimentional and multi-dimentional point`s maps are designed. For both models researched methods of obtaining the optimal condition for reading information, in particular, the structure of phase`s space and reliability of informations reproducing . The estimations of maximum cycle period are presented. The results of investigations are used for design system for processing text informations.

*Key words:* associative memory, continuous model, discret model, phase's space, domain of attraction, information processing.

134410

Підписано до друку 04.11.97 р. Формат 60x84/16
Друк офсетний. Ум. друк. арк. 1.0. Тираж 100. Зам. 314.
Друк ПТУ № 58. 290008, Львів, вул. Ів. Федорова, 9.