



Архітектура процесорів і систем обробки та розпізнавання сигналів і зображень

Processor and System Architecture for Signal/Image Processing and Recognition

Паралельні обчислювальні структури
для обробки багатовимірних сигналів

Микола Аліпов, Олександр Григор'єв, Леонід Ребезюк

Харківський інститут радіоелектроніки

310726 Харків, МСП
просп. Леніна, 14
Тел.: (057) 243-30-53

Виникнення проблеми створення високопродуктивних інформаційних систем зумовлено обробкою в реальному часі великого об'єму інформації, що швидко надходить. Розв'язання цієї проблеми пред'являє до технічних засобів настільки високі вимоги по оперативності, що вони не забезпечуються в межах традиційних методів перетворення і обробки інформації та принципів побудови обчислювальних структур.

Підвищити ефективність обчислювальних структур можливо за рахунок удосконалення складу і принципів апаратної реалізації основних операцій, які при заданій точності функціонування вузлів обчислювальних структур забезпечують швидкодію обробки інформації. Основним напрямком при створенні високопродуктивних обчислювальних структур є напрямок по розпаралелюванню обчислювальних процесів з використанням методів апаратної реалізації алгоритмів.

Сучасна обчислювальна математика має в своєму розпорядженні достатній арсенал методів, які дозволяють проводити алгебраїзування початкових математичних залежностей, під яким мають на увазі процес заміни початкових математичних операцій (наприклад: диференціювання, інтегрування і т.п.) алгебраїчними залежностями, складеними тільки з арифметичних операцій.

В доповіді розглядається новий принцип побудови обчислювальних структур і основи програмування обчислювальних перетворювачів, на основі яких реалізуються різні паралельні обчислювальні структури обробки багатовимірних сигналів. Основу таких паралельних обчислювальних структур складають каскадно-включені обчислювальні перетворювачі. Кожний розряд таких обчислювальних перетворювачів має чотири регістри для запису в них відповідно по одному значенню оброблюючих функцій, що дозволяє виконувати операції одночасно над чотирма функціями. В надшвидкісному перетворювачі організовані шини синхронізації і керування. Це шини, за допомогою яких здійснюється передача інформації у вигляді коду вздовж перших, других, третіх і четвертих регістрів як уздовж розрядів одного перетворювача, так і уздовж однойменних розрядів суміжних перетворювачів, а також шини для безпосереднього запису інформації в регістри перетворювача. Такі паралельні обчислювальні структури виконують п'ять елементарних операцій:

♦ операція додавання цифрових відліків першої і другої, третьої і четвертої функцій, записаних в реєстри одного розряду, множення одержаних сум і підсумовування добутоків, утворених в розрядах;

♦ операція занесення інформації за синхроімпульсом на перший, або на другий, або на третій, або на четвертий реєстри першого розряду з одночасною передачею (зсувом) інформації відповідно з першого, або з другого, або з третього, або з четвертого реєстрів другого розряду на відповідні реєстри третього розряду і т. д.;

♦ операція занесення інформації за синхроімпульсом на всі перші або другі, або треті, або четверті реєстри перетворювача, а за наступним синхроімпульсом заміна всієї інформації в реєстрах на нову. Ця операція описує рух інформації в реєстрах одного із розрядів перетворювача;

♦ операція занесення інформації за синхроімпульсом на перший або на другий, або на третій, або на четвертий реєстри першого розряду і одночасного занесення інформації на один з перших реєстрів будь-якого наступного розряду другої половини перетворювача з одночасним зсувом інформації на наступні розряди відповідно;

♦ операція занесення інформації за синхроімпульсом на перший або на другий, або на третій, або на четвертий реєстри першого розряду з одночасним зсувом інформації відповідно з першого, або з другого, або з четвертого реєстрів першого розряду другого перетворювача на відповідні реєстри першого розряду наступного перетворювача. Ця операція описує рух інформації в реєстрах однойменних розрядів суміжних перетворювачів.

Виконання цих п'яти елементарних операцій, на базі яких здійснюється перетворення інформації в паралельних обчислювальних структурах, забезпечується різними комбінаціями сигналів на інформаційних і керуючих входах. За допомогою цих основних операцій можна реалізувати, крім алгебраїчних операцій, операції інтегрального і диференціального обчислень, дисперсійного і спектрального аналізу сигналу, заданого як в одновимірній, так і в багатовимірній області, в реальному масштабі часу, інтегрування при змінних межах («ковзні» інтегрування).

Відміна пропонованих паралельних обчислювальних структур по обробці сигналів від інших в тому, що елементарна операція виконується не алгоритмічно, а за один такт, тобто одночасно над всіма значеннями чотирьох реєстрів, що і визначає високу їх продуктивність.

Програмування паралельних обчислювальних структур по обробці багатовимірних сигналів на виконання тієї чи іншої операції зводиться до занесення у визначені реєстри відповідних розрядів інформації, яка відповідає тій чи іншій операції, при наявності до того ж керуючих потенціалів і синхроімпульсів на входах.

Паралельні обчислювальні структури такого типу, завдяки високому ступеню паралелізму і універсальності, можуть знайти широке застосування при обробці зображень, в цифровій фільтрації, при аналізі багатовимірних сигналів в реальному масштабі часу.



Гібридний оптико-електронний процесор обробки зображень

Михайло Баженов, Володимир Вінецький, Станіслав Поліщук,
Юрій Сорокін, Олександр Столяренко

Інститут напівпровідників АН України

*Україна, 252028, Київ
просп. Науки, 45
Тел.: (044) 265-61-78*

Для багатьох застосувань систем обробки зображень та розпізнавання образів найбільш критичною є вимога розпізнавання та аналізу зображень в темпі, наближеному до реального часу. Така вимога реалізується лише при використанні інтегральних перетворень над зображеннями. Одним з найшвидших є сумісне Фур'є-перетворення в оптичному каналі з наступним цифровим представленням та вводом в ПЕОМ просторового розподілу кореляційної функції.

Складовими елементами такого гібридного процесора, що працює у когерентному оптичному каналі є:

- система формування поточного зображення у когерентному оптичному каналі;
- система формування порівняльних зображень;
- реверсивна система реєстрації та динамічного відображення голограм;
- система цифрового представлення і вводу зображення в ПЕОМ.

Повідомляється про розробку складових частин процесора з використанням технологій рідкокристалічних просторових модуляторів світла, фоточутливих пристроїв, необхідних для голографічних елементів з високою роздільною здатністю на основі фототермопластичних матеріалів та системи вводу в ПЕОМ і аналізу зображень IMAGIX.

Проведено аналіз можливостей реалізації гібридного оптоелектронного процесора в інтегрально-оптичному виконанні.

Наведено результати роботи лабораторного зразка гібридного оптоелектронного процесора обробки зображень.



Комутаційна зі здатністю до реконфігурації структура систоличної системи обробки інформації

Станіслав Березовський

Одеський політехнічний інститут

*Україна, 270044, Одеса
просп. Шевченка, 1
Тел.: (048) 228-85-11*

Велике наукове та практичне значення мають питання модернізації техніко-економічних характеристик сучасної апаратури цифрової обробки інформації, що передбачає удосконалення відомих і розробку нових алгоритмів і нових структур обчислювальних систем.

Сучасна реалізація обчислювальних структур на основі машин з архітектурою фон Неймана не дозволяє реалізувати високі вимоги до продуктивності, які можна реалізувати лише на основі нетрадиційних паралельних методів і засобів обробки інформації, що максимально використовують всі можливості мікроелектронної технології.

Перегляд основних принципів організації й архітектури систем дозволяє забезпечувати безперервне виконання корисних функцій всіма елементами системи обробки сигналів.

Аналіз відомих структур обчислювальних систем дозволяє виділити як найбільш здатні до мікроелектронної реалізації паралельно-конвейерні системи, частковим випадком яких є так звані «систоличні структури».

Систоличні структури являють собою множини ідентичних функціональних модулів процесорних елементів, з'єднаних між собою за допомогою локальних зв'язків в мережу; кожний процесорний елемент з'єднаний лише з найближчими сусідніми елементами для передачі даних. Систологічним структурам властива висока обчислювальна продуктивність і ефективність за рахунок розпаралелювання обчислень і скорочення обміну з зовнішніми пристроями, який здійснюється через обмежене число крайніх процесорних елементів, розташованих на краях. Численні систологічні алгоритми можуть бути виконані на систологічних системах з дуже подібною внутрішньою структурою, тому незначні додаткові затрати забезпечують необхідну гнучкість і дозволяють виконати достатньо широкий набір функцій.

Гнучкі програмовані систоличні системи можуть бути побудовані за рахунок здатності процесорних елементів програмуватись, а також завдяки зв'язкам між ними, що дозволяє одержувати різноманітні паралельні системи різних розмірів і форм.

В матеріалах розглядається комутаційна зі здатністю до реконфігурації структура СИСТОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ з програмованими зв'язками між процесорними елементами.

Враховуючи природні обмеження на обсяг і складність задачі, яка може бути розв'язана в системі, в комутаційній структурі передбачений автоматизований режим реконфігурації. Для виконання алгоритму реконфігурації — побудови маршруту з'єднань — використовуються асоціативні ознаки, за допомогою яких кодується інформація про переходи структури в новий стан, а також про багаторазове використання ділянок структури для кількох з'єднань одночасно. Перегляд ознак здійснюється у відповідності з підпрограмою аналізу, що дозволяє виявити вільні комірки для розводки в інших рівнях — шарах структури. Асоціативний блок дозволяє скоротити обсяги оперативної пам'яті, що використовується, а також скоротити час реконфігурації структури.

Комутаційна структура дозволяє звертатися процесорним елементам до запам'ятовуючого пристрою, як до багатовимірного масиву із змінною розмірністю, або переформувувати дані в послідовності, що необхідні для виконання ШПФ, ШПХ або інших цифрових алгоритмів.

Комутаційна зі здатністю до реконфігурації структура реалізується на запатентованих елементах Березовського, які відзначаються універсальністю та підвищеною життєздатністю.



Метод виділення заданих об'єктів на бінарному зображенні і його програмна псевдопаралельна реалізація

Роман Воробель, Сергій Негода, Богдан Попов

Фізико-механічний інститут АН України

Україна, 290601, Львів
вул. Наукова, 5
Тел.: (032) 265-47-29

Однією з задач, яка виникає при побудові систем технічного зору, при обробці зображень в мікробіології, медицині, розпізнаванні образів є виділення об'єктів, які більші від заданого квадрата. Як правило, для розв'язування таких задач використовують рівномірний стиск бінарного зображення вздовж горизонтально-

вертикального напрямку. Цю процедуру виконують шляхом m -кратної рекурентної операції цифрової фільтрації [1] вхідного зображення

$$b_{ij}^{(t)} = \bigcap_{l=-1}^1 \bigcap_{k=-1}^1 b_{i+k, j+l}^{(t-1)}, \quad (1)$$

де $t = \overline{1, m}$; $b_{ij}^{(0)} = a_{ij}$, $b_{ij}^{(m)} = b_{ij}$.

Щоб відновити розміри і форму заданих об'єктів на бінарному зображенні, необхідно потім отримане проміжне зображення ізотропно розфокусувати, що досягається виконанням перетворення

$$c_{ij} = \bigcup_{k=-m}^m \bigcup_{l=-m}^m b_{i+k, j+l}. \quad (2)$$

Після цього порівнюють між собою елементи вхідного зображення a_{ij} та перетвореного зображення c_{ij} . Ті одиничні елементи обох зображень, які співпадають, залишають, а всі інші — прирівнюють до нуля. Для цього здійснюють операцію логічного множення

$$c_{ij}^* = a_{ij} \cap c_{ij}, \quad (3)$$

де c_{ij}^* — елементи вихідного опрацьованого бінарного зображення.

Перетворення (2) може бути виконано рекурентно за m кроків за допомогою операції

$$c_{i,j} = \bigcup_{k=-1}^1 \bigcup_{l=-1}^1 c_{i+k, j+l}^{(t-1)}, \quad (4)$$

де $t = \overline{1, m}$, $c_{ij}^{(0)} = b_{ij}$, $c_{ij}^{(m)} = c_{ij}$.

Проте використання описаного методу дозволяє здійснювати виділення об'єктів, які більші заданого квадрата, але тільки з непарною кількістю елементів сторони квадрата. Крім того, в процесі реалізації методу немає можливості виділяти контури об'єктів. Безпосередня програмна реалізація громіздка і вимагає великих затрат часу на обчислення описаних перетворень.

Пропонуємо метод, який дозволяє здійснювати виділення об'єктів, більших від заданого квадрата, з довільною кількістю елементів сторони квадрата. В процесі реалізації цього методу можна також виділяти контури об'єктів, а безпосередні обчислення при програмній реалізації мікропроцесорними системами здійснювати псевдопаралельно [2]. Кількість паралельно виконуваних операцій при цьому визначатиметься розрядністю мікропроцесора. Розглянемо запропонований метод детальніше.

Нехай задано вхідне бінарне зображення $a_{i,j}$. На цьому зображенні необхідно виділити об'єкти, які рівні або більші від квадрата з стороною n елементів, де $n = 2m + 1$ — для непарної кількості елементів сторони квадрата, і $n = 2m$ — для парної ($n = 3, 4, \dots$). Для цього здійснюємо такі дії.

Крок 1. Встановлюємо парність величини n . Якщо n парне, то параметру P присвоюємо $P := 1$, в іншому випадку — $P := 0$.

Крок 2. Знаходимо кількість рекурентних ітерацій обробки зображення

$$m = \text{Ent} \left(\frac{n - p}{2} \right).$$

Крок 3. Проводимо рекурентну процедуру горизонтально-вертикального стиску бінарного зображення за формулою (1), що відповідає виконанню операції логічного множення елементів хрестоподібної апертури.

Крок 4. Перевіряємо, чи $P=1$. Якщо так, то здійснюємо ізотропний стиск зображення за формулою

$$b_{i,j}^{(t+1)} = \bigcap_{k=0}^1 \bigcap_{l=0}^1 b_{i,j}^{(t)}, \quad (5)$$

де $t=m$, що відповідає виконанню операції логічного множення елементів квадратної апертури. Після цього здійснюємо операцію ізотропного розфокусування отриманого бінарного зображення (5) за формулою

$$c_{i,j} = \bigcup_{k=0}^1 \bigcup_{l=0}^1 b_{i,j} \quad (6)$$

і взаємно обмінюємо елементи зображень $c_{i,j} \leftrightarrow b_{i,j}$.

Якщо ж $P=0$, то виконуємо наступний крок.

Крок 5. Здійснюємо рекурентну операцію ізотропного розфокусування отриманого бінарного зображення за формулою

$$c_{i,j}^{(t)} = \bigcup_{k=-1}^1 \bigcup_{l=-1}^1 c_{i,j}^{(t-1)},$$

де $t = \overline{1, m}$, $c_{i,j}^{(0)} = b_{i,j}$, $c_{i,j}^{(m)} = c_{i,j}$.

Крок 6. Перемножуємо логічно вхідне зображення $a_{i,j}$ і отримане зображення $c_{i,j}$.

Результатом виконання описаної обробки бінарного зображення є таке зображення, в якому відсутні об'єкти, які менші заданого квадрата зі стороною в n елементів.

Якщо є необхідність виділити контури об'єктів, то для цього потрібно виконати логічну операцію «Виключаюче АБО» поелементно, між відповідними елементами вхідного зображення $a_{i,j}$ і зображення $b_{i,j}^{(1)}$ отриманого після першої ітерації горизонтально-вертикального стиску зображення $a_{i,j}$ за формулою (1).

Для програмної реалізації запропонованого методу в мікропроцесорних системах доцільно використати можливості виконання паралельних операцій в межах розрядної сітки — байт або слів (16 розрядів) [2]. Це здійснюється через представлення алгоритму локальної обробки формулами алгебри логіки. Введемо позначення: S_i — i -та стрічка бінарного зображення; S_i^{-1} — i -та стрічка, зсунута на 1 розряд вліво; S_i^1 — i -та стрічка, зсунута на 1 розряд вправо.

Для обчислення однієї ітерації формули (1), (4), (5) та (6) можна записати відповідно у вигляді

$$S_1 = S_{i-1} \cap S_i \cap S_i^{-1} \cap S_i^1 \cap S_{i+1}, \quad (7)$$

$$S_2 = S_i^{-1} \cup S_{i-1} \cup S_{i-1}^1 \cup S_i^{-1} \cup S_i \cup S_i^1 \cup S_{i+1}^{-1} \cup S_{i+1} \cup S_{i+1}^1, \quad (8)$$

$$S_3 = S_i^{-1} \cap S_{i-1} \cap S_i^{-1} \cap S_i, \quad (9)$$

$$S_4 = S_i^{-1} \cup S_{i-1} \cup S_i^{-1} \cup S_i. \quad (10)$$

Використання формул (7)–(10) дозволяє підвищити у 8–16 разів швидкість обробки зображень, а в сукупності з запропонованим методом виділення об'єктів — усувати з бінарного зображення ті об'єкти, які менші заданого квадрата.

Література

1. *Авт. свид. СССР №1059585*. В.К. Ковшов, И.П. Пчелинцев, Чельшев М.М. Устройство для коррекции изображений. Оpubл. в БИ, 1983, №45.
2. *Воробель Р.А., Негода С.В.* Псевдопараллельный алгоритм обработки бинарных изображений апертурой 5×5 элементов // УП Всесоюзная школа-семинар «Распараллеливание обработки информации». Тез. докл. и сообщ. Львов, 1989. — Ч. II. — С. 30–31.

Лінійно-алгебричні процесори для паралельної обробки зображень

Наталя Заболотна, Володимир Красиленко

Вінницький політехнічний інститут

Україна, 286021, Вінниця
Хмельницьке шосе, 95
Тел.: (043) 223-93-80

Універсальність процесорів, в яких обчислювальний процес організовано у вигляді послідовності дій над значним об'ємом даних, представлених як числові матриці, та їх різноманітне призначення не викликають сумніву. Підтвердженням цьому служить ряд наведених нижче практичних задач, що зводяться до операцій лінійної алгебри, виконуваних над матрицями та векторами. В радіолокації, гідролокації, радіозв'язку в останній час значно зріс інтерес до адаптивних антенних решіток, до створення яких підходять через виконання векторно-матричного перемноження та обчислення оберненої матриці [1]. При розробці моделей асоціативного вибору з пам'яті в нейронних системах потрібно виконати операції накопичення матриць — результатів зовнішнього добутку векторів при навчанні системи [2]. До виконання операцій векторно-матричного перемноження можна звести такі задачі цифрової обробки та аналізу зображень, як згортку, кореляцію, масштабування зображень [3] та інші.

Таким чином, очевидна необхідність синтезу високопродуктивного процесора, названого далі лінійно-алгебраїчним процесором (ЛАП), який виконує набір базових операцій лінійної алгебри над даними, представленими у вигляді матриць (картин зображень), і є спеціалізованим з достатньо високим рівнем універсальності для вирішення широкого кола практичних задач.

З метою забезпечення високої точності обробки вхідні операнди в ЛАП повинні бути представлені в цифровій формі з форматом у вигляді матриць (векторів), що однозначно описують вхідне зображення. Багатотонове зображення, якому однозначно відповідає числова матриця $A (N \times N)$, представляється в ЛАП набором бінарних розрядних зрізів (бінарних матриць) [3, 4]:

$$A (N \times N) = \sum_{l_A=0}^{L-1} 2^{l_A} A_{l_A} (N \times N),$$

де $A_{l_A} (N \times N)$ — бінарний зріз числової матриці, L — число бінарних розрядних зрізів числової матриці $A (N \times N)$.

Відомі ЛАП автори класифікують за функціональною ознакою на чотири основні групи: арифметично-логічні пристрої картинного типу (АЛП КТ); векторно-матричні перемножувачі; обчислювачі обернених матриць; пристрої для виконання інших операцій над матрицями.

Особлива увага приділяється розгляду перспективних алгоритмів роботи паралельних матрично-матричних перемножувачів. Результуючу матрицю $C (N \times N) = A \times (N \times N) \times B (N \times N)$ можна визначити як

$$C^t(N \times N) = \sum_{l_A=0}^{L-1} \sum_{l_B=0}^{L-1} (A_{l_A}(t)(N \times N) \times B_{l_B}(t)(N \times N)) \cdot 2^{l_A(t)},$$

де $A_{l_A}(t)(N \times N), B_{l_B}(t)(N \times N)$ — бінарні зрізи відповідно матриць $A(N \times N), B(N \times N)$, номери яких є функціями часу; $2^{l_A(t)+l_B(t)}$ — результуючий ваговий коефіцієнт. В залежності від послідовності перебору бінарних розрядних зрізів $l_A(t), l_B(t)$ числових матриць $A(N \times N)$ і $B(N \times N)$, що беруться до обробки в даний момент часу, автори синтезували декілька груп алгоритмів множення числових матриць методом цифрового інтегрування в часі з різним ступенем розпаралелювання обчислювального процесу. Це алгоритми: 1) з послідовною обробкою бінарних зрізів; 2) з паралельною обробкою бінарних зрізів; 3) з послідовно-паралельною обробкою бінарних зрізів при формуванні часткових добутків з різними ваговими коефіцієнтами в кожному момент часу; 4) з послідовно-паралельною обробкою бінарних зрізів при формуванні часткових добутків з однаковими ваговими коефіцієнтами в кожному момент часу; 5) модифікований алгоритм 4 (таблиця).

Номер групи алгоритмів	Час структурної обробки (T_i)	Об'єм пам'яті (Π_i), сторінок
1	$T_1 = L^2 \cdot N \cdot \Delta T$	$\Pi_1 = 2L + \{ \log_2 N \}$
2	$T_2 = (N + L^2 \{ \log_2 N \}) \Delta T$	$\Pi_2 = 2L + \{ \log_2 N \} / (1 + L^2)$
3	$T_3 = (LN + L^2 \{ \log_2 N \}) \Delta T$	$\Pi_3 = 2L + \{ \log_2 N \} / (1 + L)$
4	$T_4 = ((2L - 1)N + (\{ \log_2 N \} + L)L) \Delta T$	$\Pi_4 = 2L + L^2 \{ \log_2 N \} + L \{ \log_2 N \} + \{ \log_2 N \}$
5	$T_5 = (2L - 1)N \cdot \{ \log_2 L \} \cdot \Delta T$	$\Pi_5 = \{ \log_2 L \} + \{ \log_2 N \} + 2L$

Найефективніші алгоритми — 1, 3, 5. Мінімальне T_i дає алгоритм 2, але сутєвий вииграш можна отримати при $N > 32, L > 3$. Алгоритм 3 для зменшення T_i бажано використовувати, коли $L > 10; 16$, а $N > 64$. До мінімальних апаратурних затрат приводить орієнтація на алгоритми 1 та 5. Використовуючи відому методику оцінки продуктивності перемножувачів матриць, отримано такі показники продуктивності (виражені в кількості Г біт/с (Π_i) та Г слів/с (Π'_i) для найефективніших алгоритмів 1 та 5:

$$\text{для алгоритму 1: } \Pi_1 \approx N^2 / \tau_1; \quad \Pi'_1 \approx 2N^2 / \tau_1 \cdot L;$$

$$\text{для алгоритму 5: } \Pi_5 \approx N^2 L / 2 \tau_2 \{ \log_2 L \}; \quad \Pi'_5 \approx N^2 / \tau_2 L \{ \log_2 L \},$$

де τ_i — такт обробки згідно i -го алгоритму (в нс).

Очевидно, що при цілком можливих $\tau_1 = 10$ нс, та $N = 100$ продуктивність Π_1 може досягнути 10^{12} біт/с. Алгоритм 5 в порівнянні з 1 дасть вииграш в продуктивності тільки при $L \geq 16$, що приведе до підвищення вимог до розрядності АЦП при зниженні швидкості роботи останнього.

В доповіді розглянута структура та можливості практичної реалізації перемножувача, орієнтованого на алгоритм 1.

Подальші дослідження в плані пошуку ефективних архітектурних рішень ЛАП КТ слід вести, спираючись на приведену вище структуру перемножувача.

Література

1. Бахрах Л.Д. та др. Оптична обробка сигналів приймальних антенних решіток // Радіотехніка. — 1990. — № 5. — С. 50–62.
2. Кисельов Б.С. та ін. Оптична асоціативна пам'ять високого порядку на основі нейронних систем // Радіотехніка. — 1990. — № 10. — С. 54–62.
3. Красиленко В.Г. Оптикоелектронні структури в інформаційно-вимірювальних системах обробки зображень // Автореферат дис. ... к.т.н. — Вінниця, 1988.
4. Денисов В.М. та ін. Структура цифрового оптикоелектронного процесора багатоградаційних зображень по неперервним розрядним зрізам // Електронне моделювання. — 1984. — № 6. — С. 99–102.



До питання про створення оптикоелектронних око-процесорів

Володимир Кожем'яко, Ольга Головань

Вінницький політехнічний інститут

Україна, 286021, Вінниця
Хмельницьке шосе, 95
Тел.: (043) 222-57-18

Стимулювання розробки нових принципів організації технічних засобів обробки та розпізнавання зображень визначилось, в першу чергу, появою високоефективної елементної бази та нових каналів передачі інформації, зокрема, розвитком оптикоелектронних структур та волоконно-оптичних каналів зв'язку. В останній час проводиться комплекс робіт по створенню оптикоелектронних око-процесорів.

Око-процесор являє собою кібернетичну систему, котра сприймає інформацію, представлена у вигляді зорового середовища довільної природи, виділяє певні ознаки середовища та обробляє їх для прийняття рішень. Сукупність ознак, з якими взаємодіє око-процесор, включає такі складові: геометричну, яскравості, спектральну, колірну, тепловізорну та інші.

Кінцевою метою зорового процесу є розпізнавання образів. Око-процесор вирішує ряд взаємопов'язаних задач виявлення та супроводження образів. При розпізнаванні деякого об'єкту в заданому класі зображень постають дві задачі: за наявними еталонними об'єктами (частинами об'єкту) виділити із безлічі об'єктів зображення потрібний; розпізнавання деякого об'єкту, котрий відрізняється від безлічі інших, коли немає еталону з апріорними ознаками, а ознаки виділяють в процесі аналізу зображень. Задачу супроводження образів сформулюємо так: необхідно забезпечити супроводження координат центру образу при наявності двох обмежень — образ у процесі супроводження еволюціонує і може перекриватися частково чи повністю іншими образами.

Об'єднання розглянутих функцій дозволяє вирішувати широкий клас задач обробки зображень. При цьому око-процесор виконує ряд допоміжних функцій, пов'язаних з нормуванням зображень: масштабування, зсув, поворот, фільтрація, виділення контурів, визначення центрів об'єктів та інші. Невід'ємною особливістю око-процесора є можливість прийняття адаптивних рішень. Це зумовлено:

- різноманітністю простору ознак зорового середовища;
- наявністю функцій прийняття рішень, які мають вагові коефіцієнти;
- можливою наявністю непередбачених ситуацій в умовах реального функціонування;
- наявністю ситуацій з пороговим прийняттям рішень;
- функціонуванням в умовах апріорної невизначеності.

Щоб не знижувати продуктивність системи при передачі зображень, доцільно проводити її паралельно масивами інформації. В умовах використання око-процесора повинна бути забезпечена його стійкість до перешкод, живучість.

Сформульовані вимоги задовольняють саме структури оптоелектронного око-процесора, що складається з набору спеціалізованих модулів. Кожен модуль має як спільні для всієї системи частини, так і відмінні, які виконують конкретні функції. Спільна частина модулів містить решітку фотоприймачів та світлодіодів і волоконно-оптичні жгути з торцями, що дорівнюють за геометричними розмірами решіткам вводу/виводу. Спеціалізована частина модулів виконується на універсальних оптоелектронних елементах — квантронах [1]. Квантрони володіють функціональною повнотою щодо виконання операцій нормалізації (зсув, масштабування, порогова обробка тощо). Сумісно з спеціальною організацією жгутів у волоконно-оптичній лінії модулі дозволяють виконувати операції паралельного повороту зображень та різноманітні види фільтрації (контрастування, видалення фонових точок, анізотропна обробка) [2].

Розробка принципів організації оптоелектронних око-процесорів дозволить вирішувати задачі створення високоефективних технічних засобів обробки оптичної інформації.

Література

1. Кожем'яко В.П. Оптоелектронні логіко-часові інформаційно-обчислювальні середовища. — Тбілісі : Мецніереба, 1984.
2. Анисимов Б.В., Курганов В.Д., Злобин В.К. Распознавание и цифровая обработка изображений. — М. : Высшая школа, 1983.



Особливості організації багатомісних операцій для паралельної обробки інформації

Володимир Кожем'яко, Тетяна Мартинюк

Вінницький політехнічний інститут

Україна, 286021, Вінниця
Хмельницьке шосе, 95
Тел.: (043) 223-93-80

Беручи до уваги, що найбільш поширеною операцією у сучасних прикладних задачах обробки сигналів та зображень є операція множення з накопиченням, особливу актуальність набуває реалізація арифметичного пристрою, здатного ефективно виконувати операцію множення з накопиченням. Одним з засобів підвищення швидкості перемноження з накопичуванням поряд зі скороченням кількості часткових добутків та прискоренням формування часткових добутків є прискорення додавання часткових добутків [1]. В цьому плані перспективним є напрямок, пов'язаний з розробкою багатомісних арифметичних операцій, а саме багатомісної операції додавання, особливість котрої полягає в одночасному додаванні не пари операндів, а групи n числових величин.

Аналіз відомих розробок в цій галузі показав, що можливі два засоби реалізації багатомісної операції додавання: з використанням або бінарних зрізів [2, 3], або запропонованих нами зрізів різниць [4]. Подальший розвиток другого засобу з застосуванням математичного апарату базових матричних операцій є метою даних розробок. Суть засобу, що використовує зріз різниць, полягає в порівнянні між собою вихідних числових величин, визначенні загальної значимої (мінімальної) частини серед вихідних числових величин та формуванні зрізів різниць, тобто різниць n величин з загальною частиною [5]. При цьому на кожному кроці виконання операції багатомісного додавання формується величина,

кратна текучій загальній частині, а кінцевий результат додавання одержується в процесі накопичення кратних на всіх n кроках додавання. Універсальність засобу, що розглядається, обумовлена можливістю його використання при обробці як цифрових кодів, так і сигналів, які задані, наприклад, значенням протяжності імпульсів, тобто в аналоговій формі.

Пропонується використовувати для запису вихідної групи A_0 і проміжних груп n числових величин n -елементний вектор-стовпчик вигляду:

$$A_j = \begin{pmatrix} a_{1,j} \\ \dots \\ a_{i,j} \\ \dots \\ a_{n,j} \end{pmatrix},$$

де $a_{i,j}$ — i -й елемент j -го вектора-стовпчика A_j ; $i = \overline{1, n}$; $j = \overline{0, n}$, а для загальних значимих величин q_j — вектор-стовпчик Q вигляду:

$$Q = \begin{pmatrix} q_1 \\ \dots \\ q_j \\ \dots \\ q_n \end{pmatrix},$$

де q_j — j -й елемент вектора-стовпчика Q , причому

$$q_j = \min_{i} A_{j-1} = \min_{i} \{ a_{i, j-1} \}_{i=1}^n.$$

Тоді результат багатомісної операції додавання можна записати у вигляді

$$S = \sum_{j=1}^n S_j = \sum_{j=1}^n q_j \cdot p_j,$$

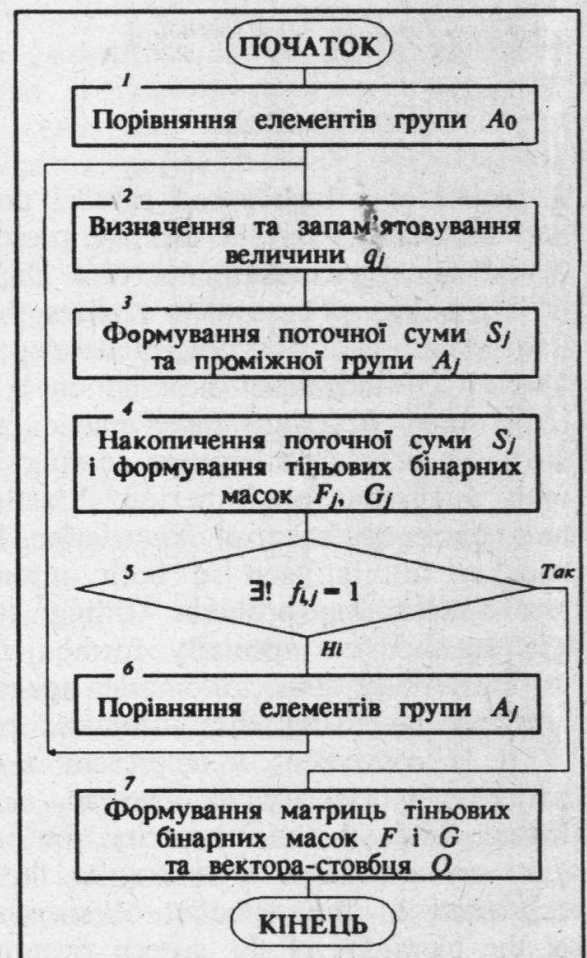
де p_j — кількість ненульових чисел у групі A_{j-1} .

Алгоритм виконання багатомісної операції додавання подається на рисунку, де також подані сформовані матриці тінювих бінарних масок F і G . Крім того, необхідно відмітити, що оскільки для елементів проміжної групи A_j ($j = \overline{1, n}$) характерне співвідношення

$$A_j = \{ a_{i,j} \} = \{ a_{i, j-1} - q_j \}_{i=1}^n,$$

то останні можна розглядати як величини різниці між вихідними числовими величинами $a_{i,0}$ та текучою мінімальною величиною в проміжній групі A_j , положення якої фіксується відповідним одиничним елементом $g_{i,j}$ у матриці G .

Результатом запропонованого засобу, в процесі використання якого формуються матриці ознак, якими є матриці тінювих бінарних масок F і G , а також вектор-стовпчик Q , є можливість виконання не тільки багатомісних арифметичних операцій додавання та віднімання, але й реалізація задач асоціативного пошуку інформації, до яких належить визначення екстре-



мальних (мінімальних і максимальних) значень чисел та впорядкована вибірка (сортування) чисел. Крім того, існує можливість реалізації обернених операцій, котрі на відміну від прямих операцій (додавання та віднімання) відновлюють як проміжні групи A_1, \dots, A_{n-1} , так і вихідну групу A_0 числових величин.

Література

1. Кун С. Матричные процессоры на СБИС. — М. : Мир, 1991. — 672 с.
2. А.с. 1396139 СССР № 4149955/24-24, МКИ G06F 7/50. Суммирующее устройство / О.Г. Кокаев и др. Опубл. 15.05.88, Бюл. № 18.
3. А.с. 1424011 СССР № 4165174/24-24, МКИ G06F 7/50. Ассоциативное суммирующее устройство / М. — М.А. Исмаилов и др. Опубл. 15.09.88, Бюл. № 34.
4. Свечников С.В., Кожемяко В.П., Тимченко Л.И. Квазиимпульсно-потенциальные оптоэлектронные устройства логико-временного типа. — Киев : Наук. думка, 1987. — 256 с.
5. А.с. 1119035 СССР №3528309/18-24, МКИ G06G 7/14. Способ параллельного сложения длительностей группы временных интервалов / В.П. Кожемяко и др. Опубл. 15.10.84, Бюл. № 38.

High Speed Parallel Processing System for Speech Recognition and Synthesis

Walter Kosonocky, Constantine Manikopoulos

New Jersey Institute of Technology

University Heights, Newark, New Jersey 07102, U.S.A.

Phone: (201) 596-35-38, (201) 596-35-53

Fax: (201) 596-65-13, (201) 596-56-80

E-mail address: CNM8784@TESLA.NJIT.EDU

Taras Vintsiuk

Glushkov Institute of Cybernetics
of the AS of Ukraine

40, Academician Glushkov Avenue,

Kyiv, 252207, Ukraine

Phone: (044) 266-43-56 Fax: (044) 266-15-70

E-mail address: vintsiuk%golos.kiev.ua@relay.ussr.eu.net

A project of a high speed parallel processing system for speech recognition and synthesis and the state of art in this are presented. The system is based on the TMS320C30/C40 digital signal processing net (4/6 chips on one board), proposed in New Jersey Institute of Technology. The system realizes the HCDP-technology for automatic speech recognition, understanding and synthesis developed in Glushkov Institute of Cybernetics since 1966. The HCDP-technique is based on both the hierarchy (H) in the prototype speech signal composition (C) and the dynamic programming (DP) in the optimal solution.

A speech signal preprocessing is doing by the analysis that is synchronized with a current pitch period. Starting from this preprocessing the personal acoustic and phonetic base of knowledge for each speaker is established. This so called speaker file is used in both automatic speech recognition and synthesis. Training and selftraining problem (filling up of the base of knowledge) is solved once for the speaker on specially formed training samples.

Essentially the automatic speech analysis (recognition and understanding) is realized by using the automatic model speech synthesis in the feedback.

It is convenient to represent a speech signal variety by the hierarchy of speech patterns by specifying observed element subsequence (segment) distributions of the lowest level of the hierarchy, but the segment distribution of higher speech pattern level are calculated according to the transcription of these higher level speech patterns expressed in the alphabet of speech patterns of the nearest low level. The examples of the hierarchy of the speech patterns are: microphoneme-diphone-syllable-word-sentence-

meaning to be transmitted; phoneme-syllable-word-sentence-meaning to be transmitted; phoneme(triphone)-word-sentence-meaning to be transmitted. In any case the recognized speech signal probabilities under condition of the highest level speech pattern (meaning to be transmitted) is calculated by recurrent manner starting from segment probabilities of lowest level patterns of the hierarchy. The segment bounds of all level of the speech pattern hierarchy are changing (preventing) parameters here.

The deterministic nature of the model becomes apparent by both the transcriptions and the speech pattern hierarchy, but stochastic one is shown by the speech segment distributions. Under recognition directed sorting out of model speech signals, comparison them with a signal to be recognized and search the best solution are realized. For this it is used the multistage DP-maximization or DP-summation.

HCDP-technology gives the possibility to solve such problems: word and connected speech recognition, discrete and continuous speech understanding, continuous speech synthesis with individual peculiarities. Vocabulary size—100000 words, basic languages: Ukrainian, Russian, English.



Асоціативно-проективний нейрокомп'ютер та деякі питання створення пристроїв для задач розпізнавання образів

Михайло Куссуль, Наталія Куссуль,
Алла Лавренюк, Вадим Чумак

Інститут кібернетики АН України

*Україна, 252207, Київ
просп. Академіка Глушкова, 40
Тел.: (044) 265-58-51*

Багато задач розпізнавання образів потребують використання алгоритмів та апаратури, які дозволяють працювати в реальному масштабі часу. Такі задачі виникають під час ідентифікації об'єктів, які рухаються, управління роботами, розпізнавання зв'язного мовлення тощо. Одним із шляхів розв'язування задач розпізнавання в реальному масштабі часу є створення спеціалізованих обчислювальних пристроїв. Зараз великі надії в задачах розпізнавання покладаються на нейрокомп'ютери.

В порівнянні з традиційними ЕОМ нейрокомп'ютери мають ряд відмінних властивостей, що обумовлені їх архітектурою, яка в певній мірі відображає динаміку інформаційних процесів головного мозку. Саме тому вони добре пристосовані для розв'язування задач розпізнавання образів. Причому, на відміну від традиційних розв'язків цього класу задач, час розпізнавання в нейрокомп'ютерах не залежить від кількості образів, що розпізнаються.

Ринок нейрокомп'ютерів безперервно зростає. Дослідження ведуться одночасно в кількох напрямках:

- апаратна реалізація нейронних сіток шляхом фізичного моделювання нейронів і міжнейронних зв'язків;
- розробка спеціальних процесорів, які дозволяють максимально прискорити виконання специфічних операцій, що потрібні для моделювання нейронних сіток;
- використання сучасних паралельних універсальних обчислювальних машин.

В галузі розробки і застосування нейрокомп'ютерів працюють такі фірми як *HNC* і *SAIC* (США), *NEC* і *FUGJITSU* (Японія) та ін.

Авторами ведуться роботи по створенню асоціативно-проективних (АП) нейрокомп'ютерів та інших засобів апаратної підтримки для задач розпізнавання. АП нейрокомп'ютери забезпечують підтримку моделювання асоціативно-проективних нейронних мереж. Ці мережі складаються з асоціативних нейронних

полів, в яких зв'язки між нейронами можуть змінюватися під час навчання. Асоціативні поля зв'язані між собою проєктивними зв'язками, незмінними для даної мережі.

АП-нейрокомп'ютери, що розробляються, являють собою приставку до персонального комп'ютера, структура якої дозволяє з максимальною ефективністю моделювати асоціативно-проєктивні нейронні мережі. Ідеологія АП нейронних сіток запропонована і розвивається в Інституті кібернетики АН України.

Одна із останніх моделей АП-нейрокомп'ютера за запропонованими нами функціональними схемами виготовлена японською фірмою WACOM. Результати застосування цієї моделі в задачах розпізнавання наводяться у доповіді Kussul E.M., Baidyk T.N., Rachkovskij D.A. «Neural Network for Recognition of Small Images», представлений на дану конференцію.

Згаданий АП-нейрокомп'ютер є спеціалізованою обчислювальною машиною з редукованим набором команд, котра працює в парі з ПЕОМ IBM PC. Інтерфейс та деякі допоміжні операції реалізуються у вигляді програм для ПЕОМ, а нейронна мережа та її робота моделюються в нейрокомп'ютері.

Ми займаємося розробкою двох типів АП нейрокомп'ютерів:

1. Одноплатний варіант, котрий підключається безпосередньо в слот ПЕОМ і містить лише обчислювальне середовище, а все управління здійснюється за командами від ПЕОМ. Ці дослідницькі варіанти нейрокомп'ютерів, орієнтовані на відносно нескладні задачі розпізнавання, можуть застосовуватися для навчання користувачів АП-нейрокомп'ютерів, а також як бортові пристрої для діагностики або управління автономними системами в нескладному середовищі. Виготовлені зразки «одноплатного» нейрокомп'ютера мають 64-розрядну шину даних і 2МБ ОЗП, що дає змогу моделювати сильно зв'язані мережі з кількістю нейронів до 4 тисяч. Перевагами такого нейрокомп'ютера є невисока вартість і відносна простота у користуванні.

2. Універсальний варіант, здатний працювати повністю самостійно, і лише інтерфейс реалізується на базі ПЕОМ. Нейрокомп'ютери такого типу можуть використовуватися для розв'язування широкого кола задач розпізнавання, асоціативного виводу та ін. До цього типу відносяться зразки, виготовлені фірмою WACOM. Вони мають 512-тирозрядну шину даних, 8МБ і 64МБ ОЗП, що дає змогу моделювати повнозв'язні сітки з кількістю нейронів до 22 тисяч. Загальна структура, деякі функціональні схеми та характеристики вже діючих АП-нейрокомп'ютерів будуть наведені у доповіді.

Серед задач розпізнавання образів зустрічаються такі, де необхідна лише класифікація об'єктів за деякою сукупністю характерних ознак. В таких задачах досить добре працює метод потенціальних функцій. Недоліком цього методу при реалізації на універсальних ЕОМ є різке збільшення часу обробки вхідної інформації із збільшенням кількості опорних точок. Отже, для великої кількості класів і високої точності класифікації використання методу потенціальних функцій на універсальних ЕОМ стає недоцільним.

Нами розроблена плата, що підключається в слот IBM PC, яка реалізує метод потенціальних функцій. За рахунок своєрідної архітектури ця «машина потенціальних функцій» може працювати в реальному часі. Власна пам'ять плати розрахована на зберігання 32 тисяч опорних точок. Функціональна схема та деякі характеристики цього пристрою будуть наведені у доповіді.

Проведені дослідження показують, що використання АП-нейрокомп'ютерів та «машин потенціальних функцій», що розробляються, дозволить ефективно розв'язувати багато задач розпізнавання.

Функціональні процесори реального часу для первинної обробки телевізійних та радіолокаційних зображень

Сергій Мірошніченко

Київський інститут військово-повітряних сил

Україна, 252186, Київ
Повітрофлотський проспект, 30
Тел.: (044) 271-62-70

Ефективне використання автоматичного розпізнавання образів і аналізу зображень для широкого класу телевізійних та радіолокаційних систем утруднено внаслідок значних адитивних та мультиплікативних завад, присутніх у сигналі зображень. Подавлення завад можливе за допомогою алгоритмів інверсної та гомоморфної фільтрації, маскування та інших.

Проблема реалізації процесорів реального часу, інтегрованих з датчиками сигналів зображень, єбумовлена невідповідністю принципу парної обробки кодів чисел алгоритмам обробки. Невідповідність може бути усунена, якщо використати функціональні середовища, які описуються диференціальним рівнянням

$$\sum_{l+q+l=0}^{\alpha} \alpha_{lq} \frac{\partial^{l+q+l} U_{\text{вих}}}{\partial x^l \partial y^q \partial t^l} = \sum_{l+q+l=0}^{\alpha} \beta_{lq} \frac{\partial^{l+q+l} U_{\text{вх}}}{\partial x^l \partial y^q \partial t^l},$$

де α і α_1 — степені диференціальних операторів; α , β — постійні коефіцієнти; $U_{\text{вих}}$ — реакція середовища на вхідне діяння.

Доведені теореми про коефіцієнт передачі, еквівалентну схему середовища, зрізання вимірності та синтез фільтра. Загальний підхід використовується при синтезі багатовимірних фільтрів сигналів зображень на ємнісно-ключових, зарядозв'язаних і цифро-аналогових середовищах, які можуть бути реалізовані технологією мікроелектроніки. Наведені приклади функціональних процесорів на матрицях ПЗЗ у режимах керованого усереднення зарядів і на цифро-аналогових фільтруючих перетворювачах з продуктивністю $10^9 \dots 10^{11}$ оп/с. Порівняно з цифровими вони мають на порядок менші габарити, енергоживлення і вартість.

Розглянуті теоретичні оцінки та експериментальні результати застосування функціональних процесорів при реалізації нерізкого маскування, вирівнювання дисперсії та σ -фільтрації зображень збуреної морської поверхні в задачах виділення складових морського хвилювання.



Метод і пристрій для діагностики лінійних динамічних об'єктів

Сергій Юхимчук

Вінницький політехнічний інститут

Україна, 286021, Вінниця
Хмельницьке шосе, 95
Тел.: (043) 224-79-67

Добре відомо, що перед здачею в експлуатацію всі промислові об'єкти технологічного контролю і управління (ОТКУ) проходять метрологічну атестацію. В результаті атестаційних випробувань нормалізуються основні метрологічні характеристики таких об'єктів, в тому числі й динамічні. В умовах реальної експлуатації, під дією ряду збурень (температури, ударних навантажень, вібрацій тощо) характеристики промислових об'єктів змінюються, і потрібно їх періодично діагностувати для того, щоб визначити, що відхилення характеристик не перевищують допустимих. Підкреслимо, що вищезгадані збурення більше впли-

вають на динамічні характеристики ОТКУ. Природно, що для зменшення невиробничих втрат періодичну діагностику таких об'єктів логічно проводити, не порушуючи нормальний хід технологічних процесів.

В даній роботі пропонується метод діагностування лінійних або лінеаризованих промислових ОТКУ, а також розглянута технічна реалізація пристрою, що реалізує запропонований метод діагностування.

В основі методу діагностування лежить розв'язок рівняння Вінера-Хопфа в частотній області:

$$R_{yx}(\tau) = \int_0^{\infty} R_x(\tau-t) k(t) d(t), \quad (1)$$

де $R_x(t)$ — кореляційна функція вхідного $x(t)$ сигналу ОТКУ; $R_{yx}(t)$ — взаємнокореляційна функція вихідного $y(t)$ і вхідного $x(t)$ сигналів ОТКУ; $k(t)$ — імпульсна перехідна функція ОТКУ.

Припустимо, що $\tau_{\text{в.к.}}$ — час взаємної кореляції сигналів $y(t)$ і $x(t)$. Тоді на відрізку $[-\tau_{\text{в.к.}}, \tau_{\text{в.к.}}]$ обидві кореляційні функції $R_x(\tau)$ та $R_{yx}(\tau)$ можна розкласти в ряди Фур'є такого виду:

$$R_x(\tau) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} a_i \cos i \omega_1 \tau, \quad (2)$$

$$R_{yx}(\tau) = \frac{b_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} b_i \cos i \omega_1 \tau + \sum_{i=1}^{\infty} c_i \sin i \omega_1 \tau. \quad (3)$$

Підставляючи ряди (2) і (3) в рівняння (1), здобудемо такий вираз [1]:

$$\begin{aligned} & \frac{b_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} b_i \cos i \omega_1 \tau + \sum_{i=1}^{\infty} c_i \sin i \omega_1 \tau = \\ & = \frac{a_0}{2} P(0) + \sum_{i=1}^{\infty} a_i [P(i \omega_1) \cos i \omega_1 \tau - Q(i \omega_1) \sin i \omega_1 \tau]. \end{aligned} \quad (4)$$

Із тотожності (4) випливає, що:

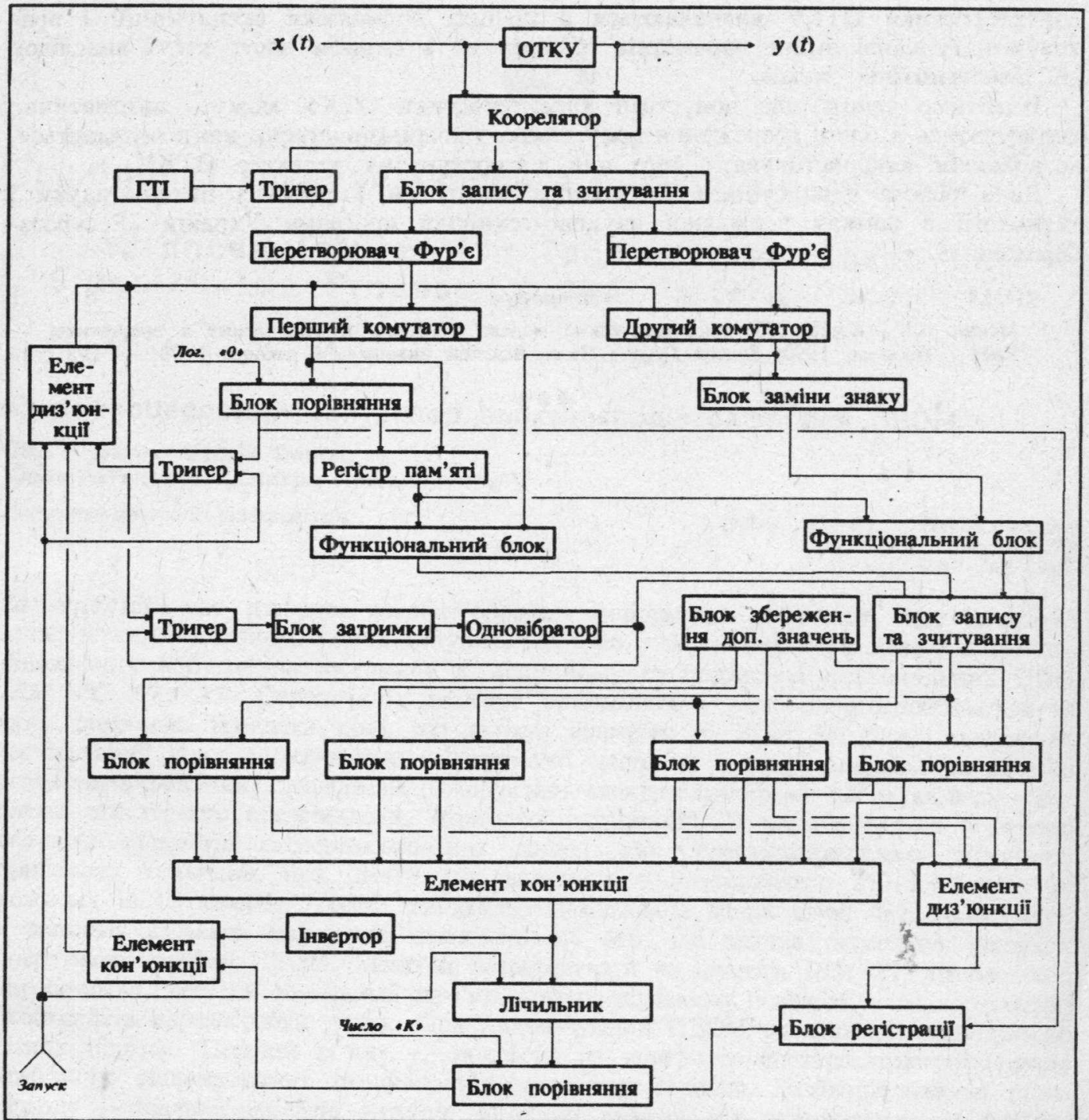
$$\begin{cases} P(i \omega_1) = \frac{b_i}{a_i}, & i = 0, 1, 2, \dots \\ Q(i \omega_1) = -\frac{c_i}{a_i}, & i = 1, 2, 3, \dots \end{cases} \quad (5)$$

де $P(i \omega_1)$ та $Q(i \omega_1)$ — значення, відповідно, дійсної та уявної частотних характеристик ОТКУ на частотах $\omega = i \omega_1$ ($i = 0, 1, 2, \dots, \infty$).

Враховуючи, що в дійсності всі ОТКУ мають обмежену смугу пропускання сигналів, кількість гармонічних складових в рядах (2) і (3) і, внаслідок цього, в виразах (4) і (5), обмежується певним числом K .

Підкреслимо, що вирази (5) дозволяють знайти динамічні характеристики ОТКУ в ході їх нормальної експлуатації без тестових сигналів.

Як відзначалося раніше, для ряду ОТКУ такі динамічні характеристики нормалізуються, задаються їх мінімально допустимі значення $P_{\min}(i \omega_1)$ та $Q_{\min}(i \omega_1)$ і максимально допустимі значення $P_{\max}(i \omega_1)$ та $Q_{\max}(i \omega_1)$ (для $i = 0, 1, 2, \dots, K$). Вихід знайдених в процесі нормальної експлуатації значень $P(i \omega_1)$ та $Q(i \omega_1)$ за ці межі говорить про те, що внаслідок виходу одного або кількох параметрів, які характеризують динаміку ОТКУ, за межі допусків, ОТКУ є неприцездатним через погіршення його метрологічних характеристик. При цьому найчастіше необхідно об'єкт зупиняти і проводити відповідне налагоджування.



Структурна схема пристрою діагностування лінійних динамічних об'єктів

Для працездатності ОТКУ необхідно, щоб виконувались такі умови:

$$P_{\min}(i\omega_1) \leq P(i\omega_1) \leq P_{\max}(i\omega_1), \quad (6)$$

$$Q_{\min}(i\omega_1) \leq Q(i\omega_1) \leq Q_{\max}(i\omega_1), \quad (i = \overline{0, K}) \quad (7)$$

Структурна схема пристрою, що реалізує розроблений метод діагностування, приведена на рисунку. Відзначимо, що на даний пристрій отримано позитивне рішення по заявці на винахід. В доповіді описується робота цього пристрою.

На закінчення відзначимо, що використання для роз'язку задачі діагностування ОТКУ коефіцієнтів розкладу в ряди Фур'є дозволяє також підвищити точність діагностування тому, що знайдені за їх допомогою значення дійсної та уявної частотних характеристик вільні від впливу адитивного шуму з нульовим середнім значенням із-за властивостей саморегуляризації рядів Фур'є. Крім того, частотні

характеристики ОТКУ визначаються в процесі нормальної експлуатації і враховують можливі зміни параметрів об'єктів як з плином часу, так і внаслідок дії різноманітних шумів.

Відмітимо також, що допустимі характеристики ОТКУ можуть автоматично коригуватись в блоці збереження допустимих значень пристрою, що розглядається, дозволяючи використовувати його для діагностування великого ОТКУ.

Дана робота фінансується Державним комітетом України з питань науки і технології в рамках державної науково-технічної програми України «Ресурсозбереження».

Література

1. Мокин Б.И., Корбич Ю. Математические модели контроля и управления в энергетике. — Киев : Техника, 1990; Зелена Гура : Из-во Высшей инженерной школы, 1990. — 192 с.

