

елементів матриці використання трьох неоднорідних елементів матриці не збільшує структурну складність пристрою.

Отже, збільшення структурної складності внесенням змін в конфігурацію регулярних комп'ютерних побудов дає змогу істотно зменшити часову складність. "Середньої вартості" структурна складність обмінюється на "дорогу" часову складність.

Підсумки. Ми розглянули три операційні пристрої з різною структурою, які реалізують одну і ту саму операцію. Вони розрізняються характеристиками складності. Ці характеристики взаємозв'язані. Наприклад, мінімізації часової складності можна досягти зменшенням програмної складності або збільшенням структурної складності тощо. В статті розглянуто лише пристрої множення. Але немає формальних заперечень проти справедливості зроблених висновків для інших операційних для аналізу програмно-апаратних засобів на інших ієрархічних рівнях комп'ютерних систем.

Всі описані наукові результати стосовно взаємозалежності характеристики складності є новими і отримані вперше.

Висновки

1. Характеристики складності SH-моделі взаємозв'язані, що дає змогу оптимізувати комп'ютерні побудови.
2. Зменшення програмної складності не суперечить зменшенню часової складності
3. Програмну складність у загальному випадку треба мінімізувати, припускаючи зростання апаратної та структурної складностей.
4. Заміна однорідної структури пристрою неоднорідною дає змогу мінімізувати часову складність за рахунок збільшення структурної складності.

1. Таненбаум Э. *Архитектура компьютера*. – М., 2002. 2. Черкаський М.В. *SH-модель алгоритму* // Вісн. НУ "Львівська політехніка". – Львів, 2001. – №433. – С. 127–134. 3. Черкаський М. *Структурна складність* // Вісн. НУ "Львівська політехніка". – Львів, 2002. – №450. – С. 121–126.

УДК 621.3

М.В. Черкаський, Саїд Садек Абдалла
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра електронних обчислювальних машин

СТРУКТУРНА СКЛАДНІСТЬ АСОЦІАТИВНОЇ МАТРИЦІ ПОШУКУ ЗА КОМПАРАНДОМ

© Черкаський М.В., Абдалла Саїд Садек, 2005

Розглянуто характеристики складності асоціативної матриці на трьох ієрархічних рівнях. Показано, що значення характеристик складності взаємозалежні. Їхня взаємозалежність спостерігається також на різних ієрархічних рівнях. Вибір оптимального варіанта матричного пристрою визначається на підставі аналізу вартісної ваги характеристик складності всіх ієрархічних рівнів пристрою.

Characteristics of complexity of associative matrix are considered at three hierarchical levels. It is shown that values of characteristics of complexity are interdependent. Their interdependence is observed also at different hierarchical levels. The choice of optimum variant of matrix device is determined on the basis of analysis of cost weight of characteristics of complexity of all hierarchical levels of device.

Проблема оцінки складності асоціативної матриці. Асоціативна матриця широко використовується у сучасній комп'ютерній техніці. Її удосконалення є актуальною задачею. Аналіз літературних джерел показує, що асоціативні матриці звичайно оцінюють за допомогою технічних

характеристик – швидкодією та об’ємом обладнання [1]. Мовою теорії складності апаратно-програмних засобів вони еквівалентні часовій та апаратній (або об’єктній) складностям [2]. У останні роки, істотно зменшилась вартість елементів мікроелектроніки. Виникла потреба розширити список характеристик, які б враховували інтелектуальні витрати на проектування. SH-модель алгоритму дає таку можливість.

Мета та задача досліджень. Асоціативна матриця побудована на елементах, які містять тригери і комбінаційні схеми. Її функції полягають у здійсненні пошукових операцій операндів за наперед заданими ознаками. Ознаки характеризують зміст даних, причому під час пошуку дані нерухомі, пересуваються по масиву лише ці ознаки. Вихідним сигналом збігу даних у комірках асоціативної пам’яті з компарандом є одиниця на виході молодшого розряду кожної комірки.

В статті пропонують підхід, який передбачає здійснення досліджень за допомогою псевдо SH-моделі. Це поглиблює аналіз матриць, дає змогу разом із згаданими технічними використовувати інформаційну характеристику – структурну складність. Цю характеристику можна приймати як міру інтелектуального змісту комп’ютерних рішень. Метою статті є демонстрація переваг використання характеристик складності псевдо SH-моделі для оцінки однорідних матричних побудов [4].

Задачею статті є аналіз трьох характеристики складності асоціативної матриці. Для синтезу SH-моделі асоціативної матриці необхідно сформулювати умову її роботи. Для матриці з вибіркою за компарандом такою умовою є збіг змісту компаранда із змістом однієї чи декількох комірок матриці пам’яті. Можливо побудувати декілька варіантів матриці, що задовольняють цю умову. Розглянемо особливості синтезу двох варіантів – із зосередженою та розподіленою схемою “Г” Аналіз матриць здійснимо на трьох ієрархічних рівнях: рівні вузлів, комірок пам’яті і вентильних схем. Пристрої на кожному з цих рівнів подають у вигляді псевдо SH-моделей алгоритму [4].

Пристрій на рівні вузлів. У першому варіанті сигнал вибору комірки формується збігом сигналів всіх елементів комірки єдиною схемою “Г”. Якщо значення, що записані в тригерах компаранда, збігаються зі значеннями, що зберігаються в тригерах комірки, то на виході схеми “Г” утворюється одиниця, якщо ні, то нуль. Отже, схема пристрою на рівні вузлів, крім компаранда і матриці, має додатково N схем “Г”, кожна з них має n- входів (N – кількість комірок пам’яті, n – кількість елементів в одній комірці). Структура пристрою на рівні вузлів показана на рис. 1, а.

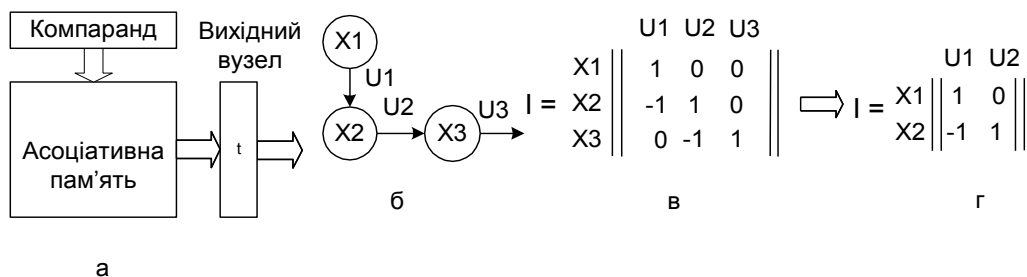


Рис. 1

У цьому і наступних прикладах не розглядаються засоби запису даних в компаранд і комірки пам’яті, а також вибірки знайденого в матриці операнда. Приймають, що дані вже завантажені в компаранд і пам’ять. Кожну комірку пам’яті порівнюють з компарандом. На виходах кожної комірки з боку молодших розрядів формується ознака, що комірка вибрана.

Значення характеристик складності псевдо SH-моделі за структурою рис. 1, а такі.

Часова складність $L = \max \langle x_i \rangle$, де x_i - кількість елементів схеми, що належать максимальному критичному шляху поширення у схемі сигналу. Для схеми рис. 1, а $L = 2$.

Апаратна (або об’єктна) складність $A = |X|$, де $|X|$ – потужність множини вузлів схеми. Для схеми рис. 1, а $A = 3$.

Структурна складність визначається як ступінь нерівномірності елементів матриці інцидентності у такій послідовності:

- схема перетворюється на граф (рис. 1, б);
- за графом будують матрицю інцидентності (рис. 1, в);
- з матриці виключають фрагменти, що повторюються. В результаті отримуємо матрицю без надлишковості (рис. 1, г).

Значення структурної складності знаходимо за формулою

$$S = -E \log_2 \frac{E}{n \cdot m},$$

де E – кількість елементів матриці інцидентності графа схеми, що не повторюються; n – кількість вузлів схеми; m – кількість зв'язків схеми.

Для нашого випадку $S = -3 \log_2 \frac{3}{2 \cdot 2} \approx 1,245$.

Асоціативний пристрій на рівні комірок. Після дослідження схеми пристрою на рівні вузлів виконують синтез і аналіз схеми на наступному рівні – рівні комірок. Структура пристрою подана на рис. 2.

Логіка роботи пристрою полягає в порівнянні розрядів компаранда з розрядами комірок пам'яті однієї ваги з подальшим об'єднанням сигналів збігу різних розрядів кожної комірки багатовходовою схемою "Г"

Неважко показати, що для схеми рис.2 часова складність операції пошуку $L=2$. Апаратна складність $A=(n+1)N$, де n – кількість розрядів в комірці; N – кількість комірок.

Матриця рис.2 складається з ідентичних комірок, тому розрахунок структурної складності достатньо виконати для однієї комірки пам'яті, граф-схема якої наведена на рис. 3, а, мінімізована матриця інцидентності наведена на рис. 3, б.

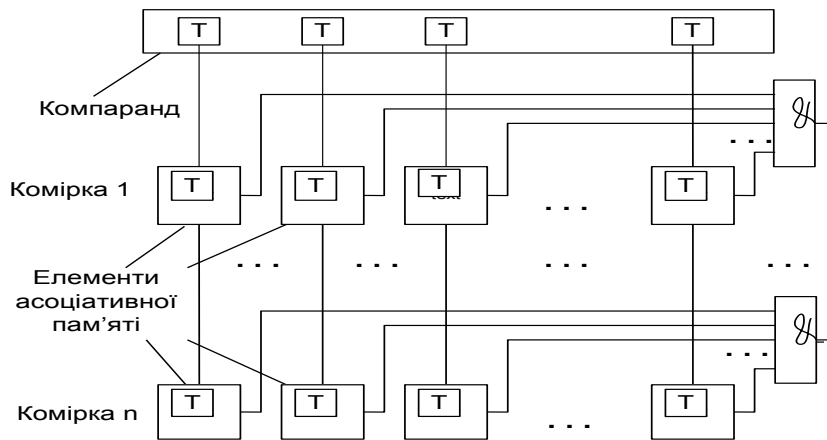
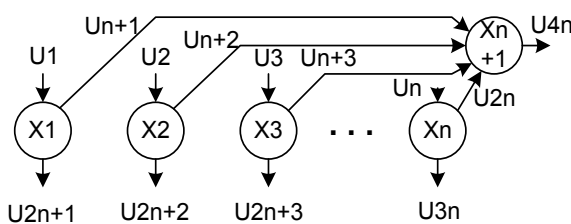


Рис. 2



а

$$I = \begin{matrix} & U_n & U_{2n} & U_{3n} & U_{4n} \\ \begin{matrix} X_1 \\ X_{n+1} \end{matrix} & \begin{vmatrix} -1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \end{vmatrix} \end{matrix}$$

б

Рис. 3

Структурна складність схеми дорівнює:

$$S = -5 \log_2 \frac{5}{2 \cdot 8} = -5 \log_2 0,625 \approx 3,39.$$

Наявність “довгих” з’єднань між комірками та багатовходової схеми “Г” істотно ускладнює топологію кристала. Цей недолік зникає, якщо розподілити схему “Г” по окремих комірках.

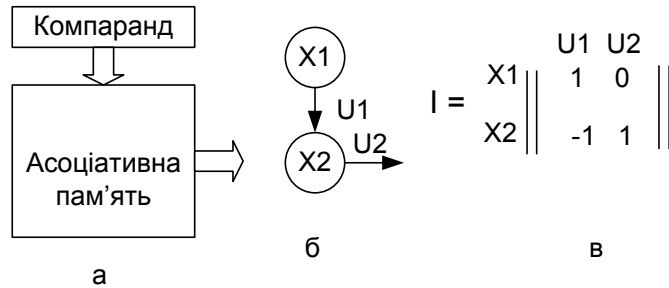


Рис. 4

Пристрій з розподіленою схемою збігу на рівні вузлів. У загальному випадку особливо для пристроїв перетворення даних збільшення структурної складності є потужним способом покращання (зменшення) таких важливих характеристик, як часова та програмна складність. Але для однорідних побудов, якими є матриці пам’яті, збільшення структурної складності є небажаним.

Неоднорідність топології кристала істотно ускладнює його проектування, приводить до неефективного використання площі, знижує завадостійкість роботи. Тому топології оперативних запам’ятовуючих пристроїв, як і асоціативних матриць, роблять однорідними.

Для зменшення структурної складності схему, що розглядалася, можна скоректувати. На рис. 4 наведена схема на рівні вузлів, яка має матрицю комірок з нульовою структурною складністю.

Характеристики складності схеми (рис. 4) такі: $L=1$ (приймається, що операнд – ключ вже записаний в блок “Компаранд”), $A=2$, $S=1,245$.

Матриця з розподіленою схемою збігу. Матриця з розподіленою схемою “Г” показана на рис.5. Тут структурна складність на рівні комірок дорівнюють нулю ($S=0$), апаратна складність $A=n \cdot N$, часова складність $L=n$.

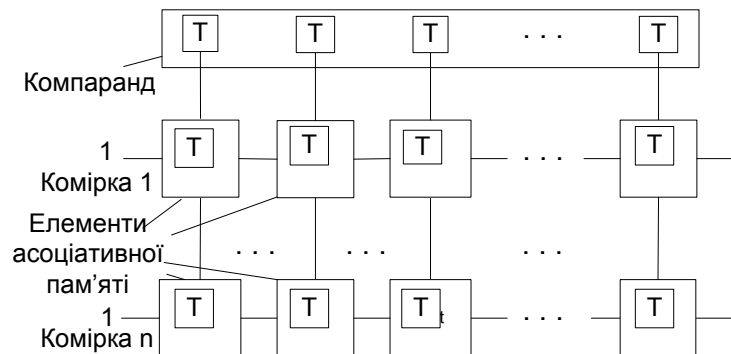


Рис. 5

Порівняно з попередньою схемою досягнення нульової структурної складності спричиняє значне зростання часової складності. Це рідкісний приклад того, коли заради спрощення топології схеми йдуть на деяке зменшення швидкодії. Така ситуація є припустимою для пристроїв пам’яті і є винятковою для пристроїв перетворення даних. У такому разі таке збільшення є доцільним. Це дало змогу ліквідувати $n \cdot N$ довгих з’єднань і ризику взаємовпливів, а також позбутись завад від “довгих ліній”.

Складність елементів комірок. Зміни на рівні комірок викликають зміни на рівні елементів (рис. 5, а, б). Порівняємо схеми елементів двох варіантів матриці за характеристиками складності (рис. 6).

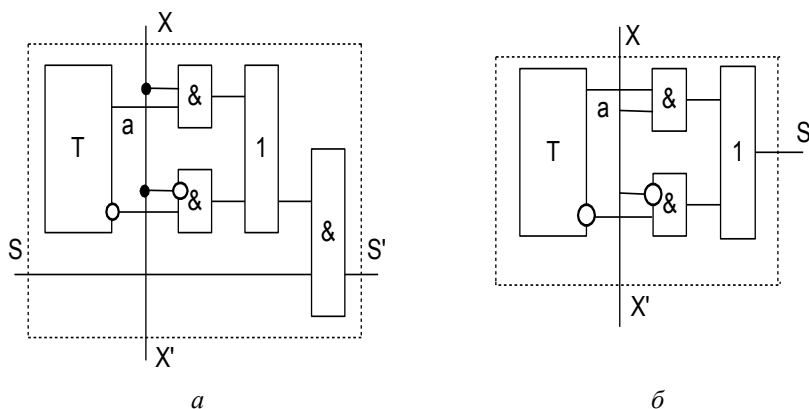


Рис. 6

Горизонтальні за схемою (рис.7 а) зв'язки вхід–вихід S-S' забезпечують проходження сигналу ознаки збігу з компарандом. Вертикальні X-X' необхідні для підтримки проходження сигналу “1”, якщо число в комірці збігається з компарандом, якщо ні, то змінює його на “0”; “а” ∈ {0,1}. Умова утворення сигналу S' така:

$$S' = S(ax + \bar{a}\bar{x}).$$

Неважко переконатися, що для схем (рис. 7, а, б) виконуються такі залежності:

$$L_a > L_b; \quad A_a > A_b; \quad P_a \approx P_b = 0; \quad S_a > S_b.$$

Тут ми доходимо важливого висновку: характеристики складності SH-моделей різних ієрархічних рівнів взаємозалежні. Один з способів оптимізації вартісної ваги характеристик складності полягає у варіюванні значеннями характеристик між моделями різних ієрархічних рівнів. Так, в розглянутих прикладах істотне зменшення структурної складності на рівні комірок матриці досягають деяким збільшенням структурної, часової та апаратної складностей на рівні схем елементів матриці.

Всі описані наукові результати є новими і отримані вперше.

Висновки

1. Відсутність зовнішнього управління роботою матричних структур дає змогу використовувати для їхнього дослідження псевдо SH-модель.
2. Інформаційний зміст матриць характеризується структурною складністю.
3. Дослідження структурної складності виконують на кожному ієрархічному рівні матричного пристрою.
4. Значення характеристик складності різних ієрархічних рівнів взаємозалежні.
5. Вибір того чи іншого варіанта матричного пристрою для практичного використання визначається на основі аналізу вартісної ваги характеристик складності всіх ієрархічних рівнів пристрою.

1. Таненбаум Э. *Архитектура компьютера*. – М., 2002. 2.Вишенчук И.М., Черкасский Н.В. *Алгоритмические операционные устройства и суперЭВМ*. – К., 1990. 3. Черкасский М. *SH-модель алгоритму* // Вісн. НУ “Львівська політехніка”. – Львів, 2001. – № 433. – С. 127–134. 4. Черкасский М., Абдалла Саїд Садек. *Псевдо SH-модель* // Вісн. НУ “Львівська політехніка”. – Львів, 2004. – № 523. – С.145–150.