

У табл. 1 подано характеристики тестованих схем та значення ширини каналу ( $W$ ) при використанні різних методик трасування. Результати методик *SEGA* та *IKMB* взяті з роботи\*. В останній колонці вказані результати розробленого пакета "ТРАСА", який для більшості схем показав кращі значення ширини каналу  $W$ .

У табл. 2 наведені результати тестування комплексу з використанням стратегій керування кількістю контактів в ланцюгах. Результати ширини каналу для стратегії зростання величини параметра представлені в полі  $W1$ . Для стратегії спадання значення критерію кількості контактів ланцюга – в полі  $W2$ .

Аналогічно розглянуто дві стратегії сортування відносно значення площі  $S$  охоплюючого прямокутника:

- 1) згідно із зростанням значення  $S$ . Для ланцюгів, контакти яких мають однакову координату  $x$  або  $y$ , тобто вони мають виходи на один і той же канал, значення площі охоплюючого прямокутника дорівнює 0. Значення отриманої ширини каналу занесені в поле  $W3$ .
- 2) згідно із спаданням значення  $S$ . Значення отриманої ширини каналу занесені в поле  $W4$ .

Табл. №2 дає змогу порівняти результати сортування ланцюгів за різними стратегіями.

## Висновки

Модифікації хвильового алгоритму, декомпозиція схеми на певних етапах, процес сортування ланцюгів за різними стратегіями позитивно впливають на кінцевий результат трасування та дозволяють підвищити ефективність схем, що проектуються.

УДК 681.325

## БАЗОВІ СТРУКТУРИ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБРОБКИ ІНТЕНСИВНИХ ПОТОКІВ ДАНИХ

© Богдан Демида, Іван Цмоць

НУ "Львівська політехніка", м. Львів, вул.С. Бандери, 12

\* M.J.Alexander, J.P.Cohoon, J.L.Ganley, and G.Robins, An architecture-independent approach to FPGA routing based on multi-weighted graphs// Proc. EDA conf., Grenoble, France, sept. 1994, pp.259-264.

*Проведено огляд відомих та виділено базові структури спеціалізованих комп'ютерних систем для обробки інтенсивних потоків даних у реальному масштабі часу, визначено часові характеристики та особливості їх функціонування.*

*Analysis of existing structures of specialized computer systems for real-time intensive data flows processing is done and basic structures are defined. Time characteristics and functioning features are defined.*

## Вступ

Аналіз праць, присвячених створенню спеціалізованих комп'ютерних систем (СКС) реального часу для обробки інтенсивних потоків даних, показує, що одним із методів побудови таких систем є відображення структури алгоритму розв'язання задачі на апаратно-програмні засоби [1-4]. Для такого відображення необхідно алгоритми розв'язання задач подати у вигляді поточкових графів в ярусно-паралельній формі. Синтез СКС для розв'язання конкретної задачі полягає в адекватному апаратному відображенні поточкового графа алгоритму розв'язання цієї задачі на процесорні елементи (ПЕ), які реалізують функціональні оператори та з'єднані між собою відповідно до графа алгоритму [1,2,4]. Реалізовані за таким принципом обчислювальні системи є алгоритмічними і можуть працювати як в асинхронному, так і у синхронному режимах. Залежності від вимог застосування, частоти зміни задач, алгоритму їх розв'язання, розміру та частоти надходження вхідних даних можуть бути синтезовані різні структури СКС, які відрізняються як організацією обчислень, так і технічними параметрами. Задача опису всіх можливих структур є нерозв'язною. Тому доцільним є виділення і дослідження узагальнених базових структур високопродуктивних СКС, на основі яких можуть бути синтезовані комп'ютерні системи для розв'язання конкретних задач з потрібними параметрами.

## Базова структура асинхронної спеціалізованої комп'ютерної системи

Асинхронні алгоритмічні СКС - це системи, в яких обмін між елементами системи (ПЕ, процесорами) здійснюється у міру готовності проміжних результатів обчислень, відсутня глобальна синхронізація та результати обчислень отримуються асинхронно [1]. Особливістю більшості асинхронних СКС є обчислення, що керуються потоком даних. Базова структура асинхронної алгоритмічної СКС на базі масиву ПЕ = {ПЕ<sub>1</sub>, ПЕ<sub>2</sub>, ..., ПЕ<sub>p</sub>} наведена на рис.1, де ПК - пристрій керування; БПП<sub>Вх</sub> і БПП<sub>Вих</sub> - вхідна і вихідна буферна паралельна пам'ять [2].

Особливістю БПП, які використовуються у високопродуктивних СКС, є одночасний доступ до множини даних, виконання функцій упорядкування, затримки та комутації потоків даних. Основними компонентами такої пам'яті є запам'ятовуюче середовище, комутуюча мережа, генератори адреси та пристрій керування [5].

СКС на базі масиву ПЕ орієнтовані на розв'язання обмеженого класу задач. Перед початком роботи такої СКС здійснюється налаштування ПЕ на виконання відповідних операцій, виконується необхідна комутація між ПЕ та проводиться програмування генераторів адрес вхідної і вихідної БПП на формування необхідної послідовності адреси.

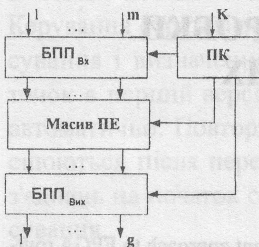


Рис.1 Базова структура асинхронної СКС

Швидкодія асинхронної СКС на базі АОП визначається часом обчислення, який дорівнює:

$$T_{Аскс} = \frac{N}{m} t_{jk} + \sum_{j=1}^n \max_k t_{jk} + t_{3нВх} + t_{1мВх} + t_{3нР},$$

де  $N$  - розмір масиву даних;  $m$  - кількість каналів опрацювання;  $t_{jk}$  - час виконання процесорними елементами функціональних операторів  $\Phi_{jk}$ , які лежать на найдовшому шляху виконання алгоритму;  $n$  - кількість ярусів алгоритму;  $t_{3нВх}$ ,  $t_{1мВх}$  - час відповідно запису та читання вхідних даних,  $t_{3нР}$  - час запису результатів. Така СКС є критичною до зміни або модифікації алгоритмів розв'язання задач, і вимагає повного їх відпрацювання. Асинхронна СКС забезпечує опрацювання в реальному масштабі часу (РМЧ) неперервного потоку даних, що надходять з інтенсивністю  $P_d = m/t_{jkmax}$ , де  $t_{jkmax}$  - час виконання найскладнішого оператора.

Гнучкішою є асинхронна СКС, в якій замість масиву ПЕ використовується масив функціонально-орієнтованих процесорів (ФОП), які з'єднані між собою відповідно до графа алгоритмом розв'язання задачі. Для реалізації такої СКС алгоритм представляється потоковим графом, функціональні оператори якого є складними макроопераціями, що орієнтовані на реалізацію ФОП. Перспективнішою є структура з множиною ФОП, які з'єднані тільки з  $БПП_{Вх}$  і  $БПП_{Вих}$ . В такій СКС за рахунок використання БПП можна програмувати зв'язки між процесорами, що дозволяє апаратно відобразити поточковий граф розв'язання конкретної задачі [2]. Заміна алгоритму розв'язання задачі в СКС на базі ФОП здійснюється шляхом перезапису пам'яті програм.

### Базова структура матричної синхронної спеціалізовані комп'ютерної системи

В синхронних СКС опрацювання даних здійснюється за конвеєрним принципом. Конвеєризація СКС передбачає розділення масиву ПЕ на сходинки шляхом введення проміжної буферної паралельної пам'яті. При цьому кожна  $j$ -а сходинка конвеєра (СК $_j$ ) складається з двох компонент - комбінаційних процесорних елементів ПЕ $_{j1}$ , ..., ПЕ $_{jL}$  і буферної паралельної пам'яті (БПП).

На сучасному етапі розвитку комп'ютерних систем найширше використовуються матричні процесори та системи. В основі структурної організації таких систем лежить матрична мережа, яка є двовимірною сукупністю ПЕ, що регулярно об'єднані між собою (рис.2) [1]. Управління такою системою здійснюється ПК і зводиться до вибору режимів обробки та подачі тактових імпульсів, які однонаправлено просувають інформацію з входу на вихід, шляхом запису проміжних результатів в буферну паралельну пам'ять. Період надходження тактових імпульсів дорівнює:

$$T_{jmax} = t_{0mn} + t_{nejk}$$

де  $t_{0mn}$  - час звертання до буферної паралельної пам'яті;  $t_{nejk}$  - час виконання ПЕ $_{jk}$  найскладнішого функціонального оператора  $\Phi_{jk}$  [1, 2]. В матричній синхронній СКС

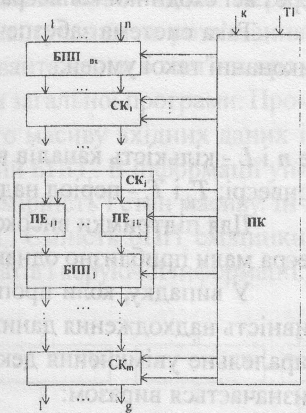


Рис.2. Базова структура матричної синхронної СКС



заданий алгоритм виконується над вхідними даними при їх одноразовому проходженні через всі сходи конвеєра.

Така система забезпечує опрацювання в РМЧ неперервного потоку даних при виконанні такої умови:

$$n/T_d \leq L/T_k,$$

де  $n$  і  $L$  - кількість каналів відповідно надходження вхідних даних і обробки даних в конвеєрі;  $T_d$  і  $T_k$  - період надходження даних і довжина такту роботи конвеєра.

Для підтримки високої пропускної здатності необхідно, щоб всі сходи конвеєра мали приблизно однакові часи обчислення функціональних операторів.

У випадку, коли пропускна здатність конвеєра  $D_k = L/T_k$  є меншою, ніж інтенсивність надходження даних  $P_d = n/T_d$  то для забезпечення обробки в РМЧ необхідно паралельне увімкнення декількох матричних операційних пристроїв, кількість яких визначається виразом:

$$S = \lceil P_d/D_k \rceil,$$

де  $\lceil \rceil$  - знак округлення до більшого цілого. Особливістю матричного конвеєрного процесора є інтерфейс, який в кожному такті роботи забезпечує одночасне введення  $N$  даних і виведення  $g$  результатів обробки. Реалізація процесора з таким інтерфейсом вимагає значної кількості виводів і великих розмірів кристала при реалізації системи у вигляді НВІС.

### Базові структури паралельно-потоківих СКС з обміном через паралельну пам'ять

Для переходу від алгоритму розв'язання задач до структури паралельно-потоківих системи використовується потокові граfi, функціональні оператори яких є складними макроопераціями, що орієнтовані на реалізацію процесорами.

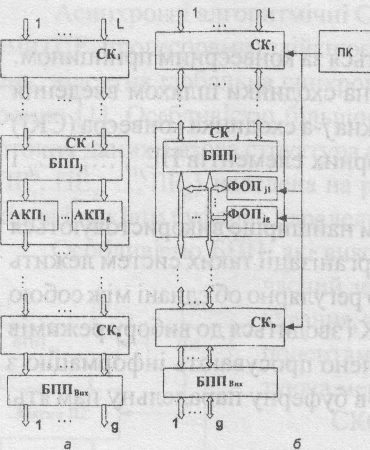


Рис. 3. Базові структури паралельно-потоківих систем з обміном через паралельну пам'ять а) на базі алгоритмічних процесорів; б) на базі функціонально-орієнтованих процесорів

СКС з обміном через паралельну пам'ять з використанням алгоритмічних і функціонально орієнтованих процесорів наведені відповідно на рис. 3, а і б, де БПП - буферна паралельна пам'ять; ПК - процесор керування; АКП - алгоритмічний конвеєрний процесор; ФОП - функціонально-орієнтований процесор [6]. Паралельно-потоківих СКС на базі АКП працює з макротактом, який визначається так:

$$T_{АПП} = \frac{N}{g} t_{БПП} + t_{АКП},$$

де  $t_{БПП}$  - час звертання до БПП;  $t_{АКП}$  - час виконання найскладнішої макрооперації. Така СКС забезпечує опрацювання потоків даних в РМЧ, що надходять з інтенсивністю  $P_d = N/(N/g t_{БПП} + t_{АКП})$ . Паралельно-потоківих систему на базі АКП доцільно реалізувати при повному відпрацюванні алгоритмів розв'язання задач.



Гнучкішою є паралельно-потоківа СКС на базі ФОП, вона дозволяє оперативнo здійснювати модифікацію алгоритмів та перехід на розв'язання нових задач. Перед початком роботи такої системи необхідно здійснити її налаштування на розв'язання задач заданого класу. Ця процедура виконується шляхом завантаження в пам'ять програм ФОП відповідних програм, які є складовими частинами загальної програми. Процес розв'язання задачі починається з завантаження першого масиву вхідних даних і інформації управління, що супроводжує цей масив, в перший БПП<sub>1</sub>. В інформації управління вказується код задачі, яку необхідно виконати, розмірність і стан масиву. Інформація управління записується в визначенні адреси БПП<sub>1</sub>. Ємність БПП<sub>1</sub> сходинок конвеєра визначається розмірами масивів проміжних результатів і керуючої інформації:

$$Q_{\text{БПП}} = 2Nn + 2Vn,$$

де  $N$  - кількість проміжних результатів;  $n$  - розрядність слова;  $V$  - кількість слів управління, які супроводжують масив в процесі його опрацювання. Особливістю такої системи є можливість роботи в синхронному або асинхронному режимі. В синхронному режимі паралельно-потоківа система синхронізується сигналами переривання, які надходять з ПК. Період надходження цих сигналів дорівнює макротакту роботи системи, який визначається так:

$$T_{\text{ПП}} = \frac{2(N+V)T_{\text{БПП}}}{L} + T_{\text{максМО}},$$

де  $T_{\text{максМО}}$  - час виконання найскладнішого макрооператора.

В асинхронному режимі роботи відсутній спільний такт роботи СКС. Перехід  $j$ -ї сходинок системи від опрацювання попереднього масиву на наступний здійснюється після завершення  $j$ -ю сходиною опрацювання попереднього масиву і завантаження в БПП <sub>$j$</sub>  наступного масиву. Управління роботою паралельно-потоківої СКС в асинхронному режимі здійснюється шляхом аналізу інформації управління, яка супроводжує масив даних, що передаються між сусідніми сходинок системи.

Паралельно-потоківа система забезпечує високу ефективність завантаження апаратних засобів і найбільше відповідає умовам роботи в РМЧ. Застосування паралельної пам'яті для взаємодії між процесорами та сходинок конвеєра зводить до мінімуму проблеми, що пов'язані з синхронізацією роботи процесорів та системи в цілому і таким чином зменшується час обміну інформацією між сходинок конвеєра [5].

### Базові структури потоківих СКС з обміном через паралельну пам'ять

Частковим випадком паралельно-потоківої системи є потоківі системи, які апаратно відображають проекцію графа алгоритму, де всі функціональні оператори ярусу та канали передачі даних спроектовані в один макрооператор. В кожному ярусі для реалізації таких макрооператорів використовується процесор. Базові структури

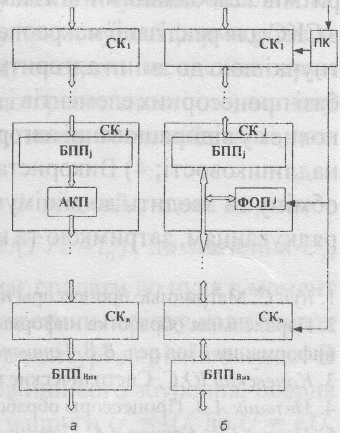


Рис.4. Базові структури потоківих систем з обміном через паралельну пам'ять а) на базі алгоритмічних процесорів; б) на базі функціонально-орієнтованих процесорів

потокових СКС з обміном через паралельну пам'ять на базі алгоритмічних і функціонально-орієнтованих процесорів наведені відповідно на рис.4, а і б [7]. Процес обробки даних в таких системах починається з завантаження першого масиву вхідних даних в БПП<sub>1</sub> першої сходинки конвеєра СК<sub>1</sub>. В кожній СК<sub>1</sub> сходинці конвеєра здійснюється обробка даних різних масивів. Потокова СКС на базі АКП забезпечує опрацювання даних з інтенсивністю надходження  $P_d = 1/T_{\text{КАРП}}$ , а на базі ФОП - з інтенсивністю надходження  $P_d = N/(2NVT_{\text{ліпп}} + T_{\text{макМО}})$ . Особливістю таких систем є зменшення у  $(L+g)/2$  раз кількості виводів інтерфейсу порівняно з паралельно-потоковими системами, що є актуальним при реалізації системи або її компонентів у вигляді НВІС.

**Висновки:** 1) асинхронні СКС доцільно використовувати для реалізації алгоритмів з глобальними зв'язками, а синхронні - з локальними зв'язками; 2) використання в СКС для реалізації макрооператорів ярусів програмованих процесорів робить систему гнучкішою до зміни алгоритму роботи та розширює сферу її використання; 3) СКС на базі процесорних елементів і алгоритмічних процесорів доцільно використовувати при повному відпрацюванні алгоритму розв'язання задачі, це дозволяє позбутись апаратної надлишковості; 4) Використання БПП для обміну між сходинками СКС зменшує час обміну та зводить до мінімуму проблеми, що зв'язані з управлінням системою, упорядкуванням, затримкою та комутацією потоків даних.

1. Кун С. Матричные процессоры на СБИС. - М., 1991.
2. Параллельная обработка информации: Т.4. Высокопроизводительные системы параллельной обработки информации / Под ред. В.В. Грицька - К., 1988.
3. Каневский Ю.С. Систолические процессоры. - К., 1991.
4. Мельник А.А. Процессоры обработки сигналов. - Львов. 1989/Препринт (АНУССР.ИППИМ: N 29-89).
5. Цмоць І.Г., Батюк А.Є., Деміда Б.А. Перспективні структури пам'яті паралельних систем цифрової обробки сигналів// Вісник ДУ Львівська політехніка. - 1998. - N327. - С 250-255.
6. Батюк А.Є.; Деміда Б.А., Раїшевич Ю.М., Ткаченко Р.О., Цмоць І.Г. Паралельно-потокові системи з організацією зв'язків через багатопортову пам'ять для обробки інтенсивних потоків інформації// Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції Сучасні технології в аерокосмічному комплексі. - Житомир. 1997. - С 59-61.
7. Мельник А.А., Цмоць І.Г. А.С. СССР №1691847. Систолический процессор. - Опубл. в Б. И. №42, 1991.

УДК 621.317

## ВИЗНАЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ РЕЖИМУ НАСИЧЕННЯ ФЕРОРЕЗОНАНСНОГО КОНТУРУ

© Василь Заяць

НУ "Львівська політехніка", м. Львів, вул.С. Бандери, 12