

СИСТОЛІЧНИЙ ПРИСТРІЙ З ВЕРТИКАЛЬНИМ СОРТУВАННЯМ ПОТОКІВ ДАНИХ

© Зербіно Д., Цмоць І., Пасєка Є., 2007

Запропоновано принципи побудови, розроблено новий алгоритм і паралельну НВІС-структуру для вертикального сортування чисел методом злиття, оцінено її швидкодію та затрати обладнання.

It was offered a principles of construction, developed a new algorithm and parallel VLSI-structures for the vertical sorting of numbers by the method of confluence, and conducted the estimation of fast-acting and expenses of equipment.

Вступ

Розвиток інформаційних технологій характеризується розширенням галузей застосування, в значній частині яких вимагається паралельне сортування інтенсивних потоків даних великої розрядності. Забезпечити таке сортування даних можливо шляхом використання конвеєрних паралельних пристроїв сортування, структура яких відображає алгоритми сортування і орієнтована на НВІС-реалізацію. Аналіз методів паралельного сортування [1–3] показує, що найбільше орієнтованими на апаратну реалізацію є методи сортування підрахунком, вставкою і злиттям.

Метод сортування підрахунком передбачає порівняння кожного x_j числа масиву $\{x_j\}_{j=1}^m$ зі всіма іншими числами. Паралельний алгоритм сортування підрахунком виконується у два етапи. На першому етапі шляхом одночасного попарного порівняння кожного x_j числа з усіма іншими числами масиву визначається кількість чисел, більших за Q_{j0} і менших за Q_{jm} числа x_j [2,3]. Таке обчислення виконується за формулами:

$$Q_{j0} = \sum_{k=1}^{m-1} y_{jk1}, \quad Q_{jm} = \sum_{k=1}^{m-1} y_{jk2},$$

$$Y_{jk} = \begin{cases} 00, & \text{коли } x_j = x_k \\ 01, & \text{коли } x_j > x_k \\ 10, & \text{коли } x_j < x_k \end{cases},$$

де Y_{jk} – результат порівняння двох чисел; y_{jk1} , y_{jk2} – перший та другий розряди результату порівняння.

На другому етапі за результатами порівняння для кожного числа x_j з іншими числами масиву визначається кількість однакових чисел та місцезоташування кожного числа у відсортованому масиві. Кількість однакових чисел у масиві визначається за формулою:

$$g = m - (Q_{j0} + Q_{jm}).$$

У відсортованому масиві число x_j та числа, що дорівнюють йому, розташовуються на місцях від $(Q_{j0}+1)$ до $(Q_{j0}+g)$. Недоліком апаратної реалізації методом сортування підрахунком є неоднорідність структури та значні затрати обладнання.

Зменшити затрати обладнання на пристрої сортування та зробити їх структури одноріднішими можна шляхом апаратної реалізації методів сортування, які не потребують одночасного порівняння всіх чисел. До таких методів сортування належать методи сортування

вставкою та злиттям, які ґрунтуються на операціях попарного порівняння та перестановки чисел [1,2]. Порівняння цих двох методів сортування [2] показує, що сортування масиву чисел за методом злиття вимагає меншої кількості операцій попарного порівняння та перестановки ніж за методом вставки. Тому для апаратної реалізації пристрою паралельного сортування чисел виберемо метод сортування злиттям. Недоліком існуючих паралельних засобів сортування методом злиття є великі затрати обладнання на їх реалізацію, які залежать як від кількості чисел, так і від їх розрядності та велика кількість виводів, що ускладнює їх НВІС-реалізацію.

Постановка задачі

Особливістю паралельної НВІС-реалізації методів сортування масивів чисел великої розрядності є неефективність використання обладнання та велика кількість виводів. Вартість НВІС для паралельного сортування масивів чисел великої розрядності значною мірою залежить від кількості виводів. Кількість зовнішніх виводів НВІС обмежена рівнем технології та розміром кристала. Розробляючи спеціалізовані НВІС-структури для паралельного сортування чисел, необхідно узгодити інтенсивність вхідних потоків даних з інтенсивністю сортування даних в НВІС, яка визначається як кількістю, так і якістю зовнішніх виводів. Якість зовнішніх виводів визначає затримку перемикачів зовнішніх зв'язків, які навантажені на ці виводи [4–7].

У зв'язку з цим особливої актуальності набуває проблема розроблення нових ефективних методів і алгоритмів сортування масивів чисел великої розрядності, орієнтованих на НВІС-реалізацію [6, 7]. Алгоритми сортування масивів чисел великої розрядності для НВІС-реалізацій повинні забезпечувати детерміноване переміщення даних, бути добре структурованими та орієнтованими на реалізацію на множині взаємозв'язаних однотипних процесорних елементів (ПЕ). Для забезпечення високої продуктивності в таких НВІС-пристроях необхідно використовувати розпаралелення на бітовому рівні. Однобітність ПЕ веде до вертикального (послідовно-порозрядного) підходу до сортування масивів чисел. З множини однобітних ПЕ в декартовій системі координат можна утворити точкові системи (решітки), які є моделлю паралельних НВІС-структур [5, 7]. Така модель дає змогу оцінити часову та апаратну складність реалізації алгоритму. В решітковій моделі кожному ПЕ відповідає часовий i та просторовий j індекси, які вказують, коли і де виконується кожна із операцій алгоритму.

Для найповнішого використання переваг сучасної інтегральної технології під час розроблення паралельних НВІС-структур для сортування масивів чисел великої розрядності необхідно, щоб вони відповідали таким вимогам:

- використовували вертикальне (послідовно-порозрядне) сортування;
- мали однорідну структуру;
- забезпечували з'єднання ПЕ між собою за принципом близькодії;
- забезпечували мінімізацію числа зовнішніх зв'язків та баланс між інтенсивностями введення, сортування та виведення даних;
- широко використовували конвексізацію і просторовий паралелізм.

Для НВІС-реалізацій пристроїв сортування масивів чисел ефективність використання обладнання – це інтегральний параметр, який враховує кількість виводів інтерфейсу, однорідність структури, кількість і локальність зв'язків, зв'язує продуктивність з витратами обладнання та дає оцінку елементам (вентилем) пристрою за продуктивністю [2,8]. Кількісна величина ефективності використання обладнання визначається так:

$$E = \frac{R}{t_c (k_1 \sum_{i=1}^s W_{PE_i} d_i + k_2 Q + k_3 Y)}$$

де R – необхідна кількість операцій попарного порівняння та перестановки для виконання сортування чисел; t_o – час сортування, $W_{ПЕ}$ – витрати обладнання у вентилях на реалізацію ПЕ, d_i – кількість функціональних вузлів i -го типу, k_1 – коефіцієнт врахування однорідності $k_1=f(s)$, s – кількість видів функціональних вузлів, Q – загальна кількість зв'язків, k_2 – коефіцієнт врахування регулярності зв'язків $k_2=f(\Delta j)$, Δj – просторова зв'язкова віддаль, Y – кількість виводів інтерфейсу, k_3 – коефіцієнт врахування кількості виводів інтерфейсу зв'язку $k_3=f(Y)$

Метою роботи є розроблення високоефективних систолічних НВІС-структур для вертикального сортування масивів чисел великої розрядності.

Розв'язання задачі

Вертикальне сортування масивів чисел великої розрядності здійснюватимемо за методом злиття, який дає змогу зменшити кількість операцій попарного порівняння та перестановки. В основу алгоритмів сортування методом злиття покладено макрооперацію об'єднання двох упорядкованих масивів $\{a_{1k}\}_{k=1}^{2^{k-1}}$ та $\{a_{2k}\}_{k=1}^{2^{k-1}}$ в один упорядкований масив $\{b_{1k}\}_{k=1}^{2^{ki}}$ [1,3,9]. На початку сортування вхідний масив чисел $\{a_j\}_{j=1}^m$ розбивається на $m/2$ упорядкованих масивів довжиною одиниця. У результаті виконання першої макрооперації формуються $m/4$ впорядкованих масивів довжиною два. Кількість типів макрооперації для сортування масиву з m чисел визначається за формулою:

$$K = \log_2 m.$$

Макрооперації за цим методом ґрунтуються на операції розрядного порівняння двох чисел, які надходять в пристрій старшими розрядами вперед

$$y_{1i} y_{2i} = \begin{cases} 00, & \text{коли } a_{1i} = a_{2i} \\ 01, & \text{коли } a_{1i} > a_{2i} \\ 10, & \text{коли } a_{1i} < a_{2i} \end{cases},$$

де a_{1i} і a_{2i} – i -і розряди чисел a_1 і a_2 .

На основі порівняння i -х та $(i-1)$ -х розрядів чисел a_1 і a_2 формується сигнал управління комутаторами даних, які забезпечують перестановку даних за зростанням

$$y_i = \begin{cases} y_{2i}, & \text{коли } y_{1(i-1)} = y_{2(i-1)} = 0 \\ y_{2(i-1)}, & \text{коли } y_{1(i-1)} \neq y_{2(i-1)} \end{cases}.$$

Перестановка даних здійснюється комутаторами відповідно до виразів:

$$b_{1i} = \begin{cases} a_{1i}, & \text{коли } y_i = 1 \\ a_{2i}, & \text{коли } y_i = 0 \end{cases},$$

$$b_{2i} = \begin{cases} a_{1i}, & \text{коли } y_i = 0 \\ a_{2i}, & \text{коли } y_i = 1 \end{cases}$$

де b_{1i} і b_{2i} – виходи i -х розрядів відповідно більшого та меншого чисел.

Базова операція вертикального сортування методом злиття ґрунтується на порозрядному порівнянні та перестановці. Структуру ПЕ, який реалізує таку базову операцію, наведено на рис.1, Тг – тригер, СП – схема порівняння, Км – комутатор, ТІ – вхід тактових імпульсів, R – вхід скиду в нуль.

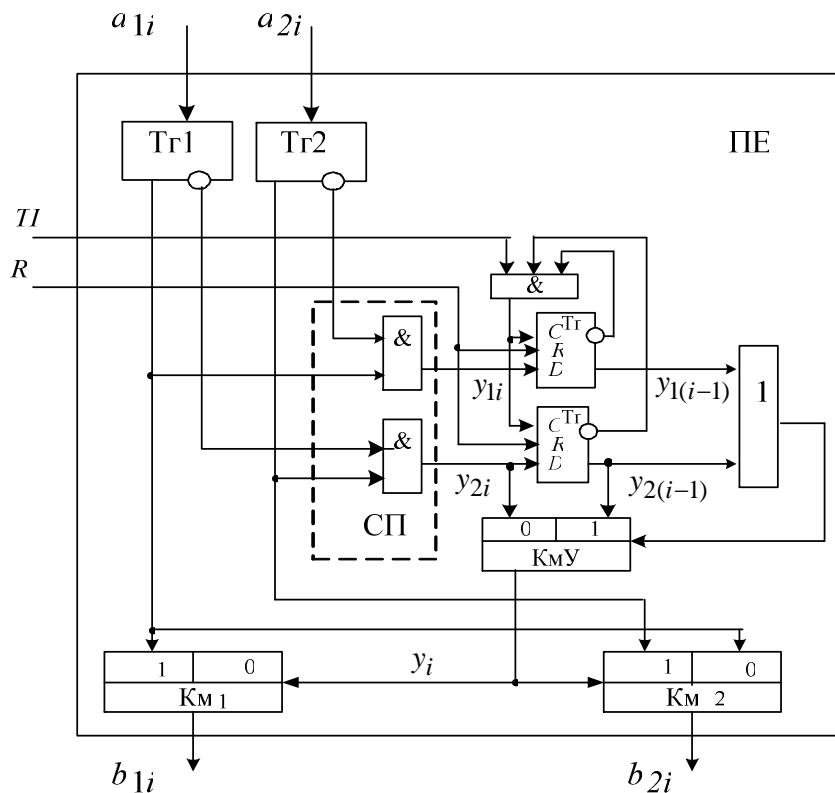


Рис. 1. Схема процесорного елемента

У такому ПЕ формування сигналів порозрядного порівняння y_{1i} і y_{2i} здійснюється СП, яка реалізована на двох елементах І. Результати попереднього порівняння $y_{1(i-1)}$ і $y_{2(i-1)}$ зберігаються в тригерах, запис в які блокується лог.0 з інверсних виходів цих тригерів. Перед початком сортування нового масиву даних тригери результатів порівняння встановлюються в нуль. Базова операція вертикального сортування методом злиття є макрооперацію першого типу. Макрооперація другого типу реалізується на трьох ПЕ, об'єднаних у блок сортування БС₂, який реалізує макрооперації другого типу відповідно до схеми рис. 2.

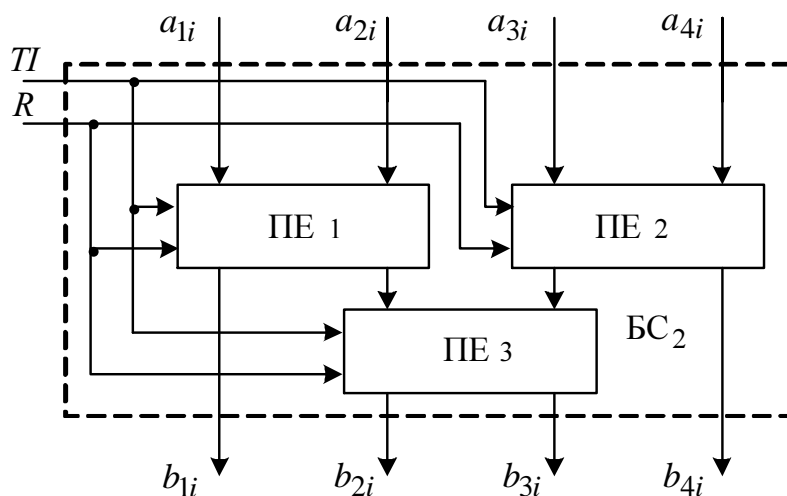


Рис.2. Схема блоку сортування другого типу

Для сортування масиву з m чисел кількість типів блоків сортування визначається виразом:

$$K = \log_2 m.$$

Блок сортування s -о типу (BC_s), де $s=1, \dots, K$, реалізуються на трьох блоках типу BC_{s-1} . В кожному блоці BC_s із двох упорядкованих масивів розміром 2^{s-1} методом злиття утворюється упорядкований масив розміром 2^s . Схему пристрою вертикального сортування методом злиття наведено на рис. 3.

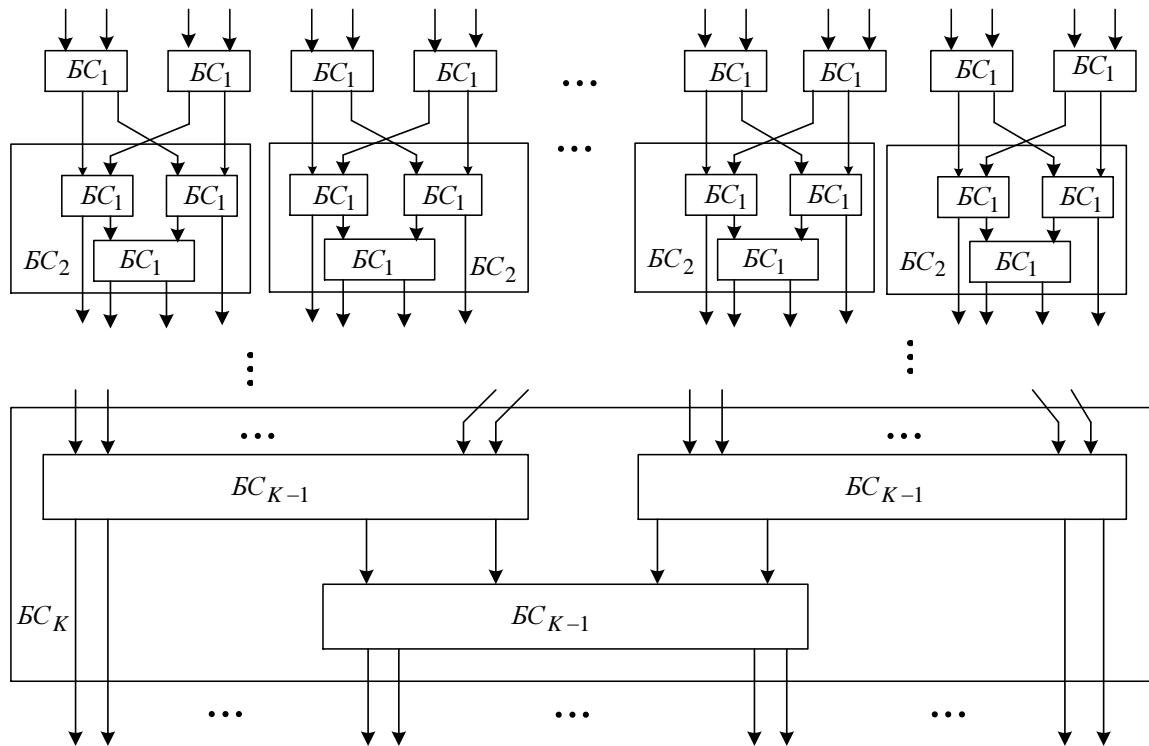


Рис. 3. Схема пристрою вертикального сортування методом злиття

Кількість ПЕ, необхідна для сортування масиву з m чисел, обчислюється за формулою:

$$L = \sum_{s=1}^K 3^{s-1} \frac{m}{2^s}.$$

Сортування даних у такому пристрої здійснюється із тактом:

$$T_{ПІ} = t_{T_2} + 2t_{KМ} + t_I,$$

де t_{T_2} – час спрацювання тригера, $t_{KМ}$, і t_I – час затримки проходження даних відповідно через комутатор та логічний елемент І. Час сортування в у такому пристрої визначається за формулою:

$$t_c = (n + \sum_{s=1}^K 2^{s-1})(t_{T_2} + 2t_{KМ} + t_I),$$

де n – розрядність чисел сортування.

Основними елементами розробленої НВІС-структури паралельного пристрою вертикального сортування методом злиття є тригери, комутатори, логічні елементи І, АБО. При реалізації розробленої структури пристрою сортування у вигляді НВІС за одиницю вимірювання витрат обладнання візьмемо логічний вентиль, який являє собою елемент типу інвертор, І, АБО [2,8].

Затрати обладнання на пристрій вертикального сортування методом злиття у вентилях визначають за виразом:

$$W_{ПС} = (4W_{T_2} + 4W_I + 3W_{КМ}) \sum_{s=1}^K 3^{s-1} \frac{m}{2^s} = 40 \sum_{s=1}^K 3^{s-1} \frac{m}{2^s}.$$

Із формули обчислення затрат обладнання видно, що затрати обладнання залежать тільки від кількості чисел m і не залежать від розрядності чисел.

Висновки

1. Високоєфективні спеціалізовані НВІС-структури для сортування інтенсивних потоків даних у реальному часі найдоцільніше створювати за інтегрованим підходом, який охоплює методи та алгоритми сортування, структури пристроїв, НВІС-технологію та враховує особливості конкретного застосування.

2. Алгоритми вертикального сортування чисел методом злиття ґрунтуються на операціях порозрядного порівняння та перестановки, їх використання для НВІС-реалізації дає змогу зменшити кількість виводів і досягти високої продуктивності за рахунок глибокого розпаралелювання до бітового рівня та використання конвеєризації.

3. Затрати обладнання при апаратній реалізації алгоритмів вертикального сортування чисел залежать не від розрядності, а від їхньої кількості.

4. Структурної орієнтації пристроїв сортування чисел на НВІС-реалізацію досягають за рахунок використання принципів систолічного оброблення та мінімізації кількості виводів.

1. Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ: Сортировка и поиск. – М., 1978.– 844 с.
2. Цмоць І.Г. Інформаційні технології та спеціалізовані засоби обробки сигналів і зображень у реальному часі. – Львів: УАД, 2005. – 227 с.
3. Цмоць І.Г., Рахман М. Л. Паралельні алгоритми та пристрої сортування чисел // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці. – К., 2001. – Вип. 11. – С.83–91.
4. Паралельная обработка информации: Т.4. Высокопроизводительные системы параллельной обработки информации / Под ред. В.В. Грицыка. – К.: Наук. думка, 1988. – 272 с.
5. Кухарев Г.А. и др. Техника параллельной обработки бинарных данных на СБИС. – Минск: Выш. шк.,1991. – 226 с.
6. Грушицкий Р.И., Мурсаев А.Х., Угрюмов Е.П. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.
7. С.Кун. Матричные процессоры на СБИС. –М.: Мир,1991. – 672 с.
8. Цмоць І.Г. Принципи розробки і оцінка основних характеристик високопродуктивних процесорів на надвеликих інтегральних схемах // Вісник Держ. ун-ту “Львівська політехніка”. – 1998. – № 349. – С.5–11.
9. А. С. 1298737 (СССР). Устройство для сортировки чисел / А.А. Мельник, И.Г. Цмоць. – Бюл. изобретений, 1987. – №11.