

УДК 004.33

В.О.Ліщина, Н.М.Ліщина

Луцький інститут розвитку людини Університету «Україна»

БАЗОВИЙ ЕЛЕМЕНТ БАГАТОСТУПЕНЕВИХ КОМУТУЮЧИХ МЕРЕЖ

Запропоновано основні типи структур базового елемента комутуючих мереж. Розроблено алгоритми впорядкування даних. Оцінено характеристики базового елемента: швидкодію та затрати обладнання.

Ключові слова: комутуюча мережа, базовий елемент комутуючої мережі, структура базового елемента.

ВСТУП

Під комутацією розуміють процедуру розміщення елементів послідовності X

$$X = \{x_0, x_1, \dots, x_{n-1}\} \quad (1)$$

в порядку, який задають вектором перестановки (ВП), тобто отримання послідовності

$$Y = \{(y_0, y_1, \dots, y_{n-1}) : Zy_0 < Zy_1 < \dots < Zy_{n-1}\}, \quad (2)$$

де Zy_i ($i=1,2,\dots,n$) – елемент вектора перестановки, який вказує місце елемента y_i в послідовності Y .

Мережу називають комутувальною (КМ), якщо вона дозволяє з вхідної послідовності (1) отримати вихідну послідовність (2).

На основі вектора перестановки ВП формують код комутування (КК), який керує роботою КМ при здійсненні перестановки, заданої вектором ВП.

КМ будують із мультиплексорів, які виконують базову операцію «прямо-навхрест», яка полягає в передачі пари із набору вхідних даних прямо або навхрест залежно від значення керуючого сигналу, де керуючий сигнал формують із вектора перестановки.

Багатоступеневі КМ належать до найефективніших КМ, які використовують при побудові паралельних комп'ютерних систем.

Багатоступенева комутуюча мережа складається з деякої множини ярусів, побудованих на двоходових базових елементах БЕ, та об'єднаних між'ярусними зв'язками (МЗ), як це показано на рис.1. Ці зв'язки можуть відображати одну з можливих функцій маршрутизації, таку як батерфляй, куб, і т.д.

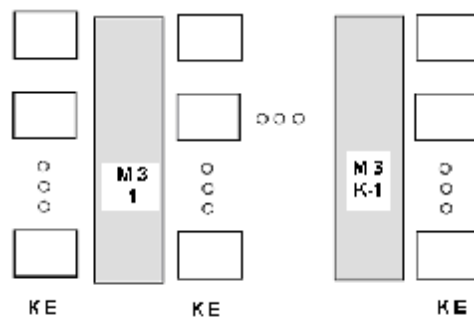


Рис.1. Багатоярусна комутуюча мережа.

Існує цілий ряд багатоярусних комутуючих мереж. Структура широко розповсюджених топологій мереж „Баньян” та „Омега” для $N=8$ показана відповідно на рис.2а, та на рис.2б. Вона містить в кожному з $\log_2 N$ ярусів по $N/2$ БЕ і N каналів зв'язку. Якщо кожен БЕ виконує перемикання прямо і навхрест, то така комутуюча мережа може виконати $2N/2 \log_2 N$ перестановок, що істотно менше за $N!$ перестановок, можливих в неблокуючій комутуючій мережі. Проте ті перестановки, які вона виконує, є найбільш використовуваними в багатопроекторних системах. Потрібно відзначити, що в даній КМ є можливість її розділення на комутуючі мережі меншого розміру шляхом включення на передачу прямо БЕ в тих ярусах, що стоять перед цими комутуючими мережами.

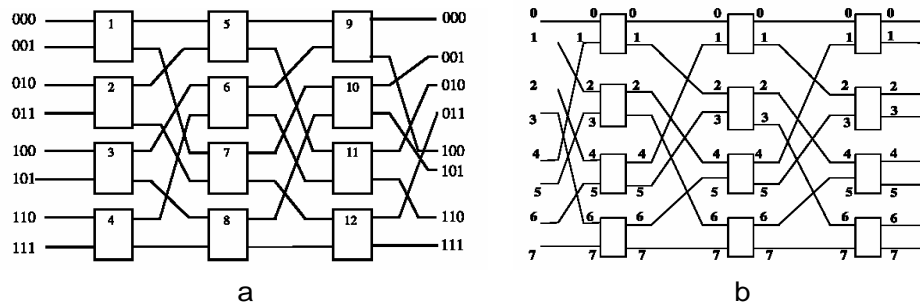


Рис.2. Багатоярусна комутуюча мережа 8x8 „Баньян” а), та „Омега” б).

У топології „Баньян” (рис.2.а) між кожним входом і виходом існує лише один шлях. Мережа $N \times N$ ($N = 2m$) складається з $Nm/2$ комутуючих елементів. Для керування мережею пакет, що передається, містить в своєму заголовку трирозрядний двійковий номер вузла призначення. Дана мережа відноситься до мереж з самомаршрутизацією, оскільки адреса пункту призначення не тільки визначає маршрут повідомлення до потрібного вузла, але і використовується для керування проходженням повідомлення по цьому маршруту. Кожен БЕ, до якого потрапляє пакет, проглядає один біт адреси і, залежно від його значення, направляє повідомлення на вихід 1 або 2. Стан БЕ першого ярусу мережі (лівий стовпець БЕ) визначається старшим бітом адреси вузла призначення. Середнім ярусом (другий стовпець) управляє середній біт адреси, а третім ярусом (правий стовпець) — молодший біт. Якщо значення біта рівне 0, то повідомлення пропускається через верхній вихід БЕ, а при одиничному значенні — через нижній. На рисунку показаний маршрут повідомлення з вхідного вузла 2 (010) до вихідного вузла 5 (101).

Топологія „Омега” є підкласом топології „Баньян”. Ці топології досить популярні через те, що комутація забезпечується простими КЕ, що працюють з однаковою швидкістю, а повідомлення передаються паралельно. Крім того, великі мережі можуть бути побудовані із мереж меншого розміру.

Існує клас багатоярусних неблокуючих комутуючих мереж, що забезпечують повний набір з $N!$ перестановок. Дані КММ забезпечують одночасне безконфліктне з'єднання довільного виходу з довільним входом, і тому представляють підвищений інтерес.

Найвідомішими та найбільш вивченими є багатоступеневі комутуючі мережі Бенеша, Ваксмана, що є модифікацією мережі Бенеша, Каутца [1,2], КМ на основі алгоритму сортування Бетчера, структура якої для комутації восьми входів на вісім виходів показана на рис.3 [3].

На рис.3 пронумеровані входи керування базовими елементами БЕ та в самих БЕ наведено значення сигналів керування для одного з можливих варіантів комутації.

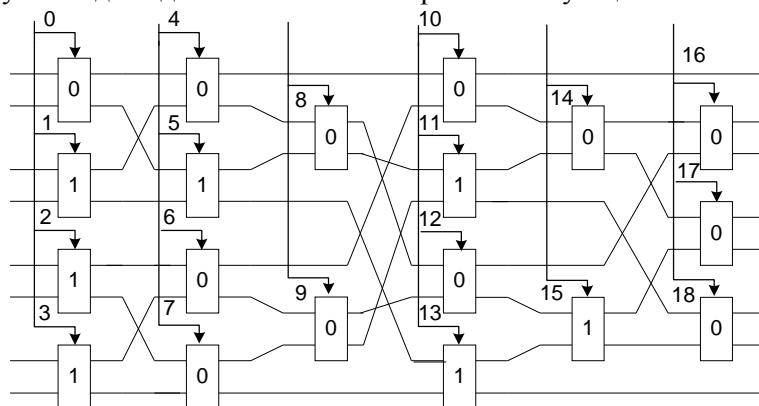


Рис.3. КМ на основі алгоритму сортування Бетчера.

Зважаючи на те, що багатоступеневі КМ зазвичай призначені для здійснення комутування послідовностей даних [4], доцільною є їх побудова за конвеєрним принципом, коли на виході кожного БЕ включені регістри для зберігання даних. При цьому можливі кілька варіантів

побудови БЕ. Залежно від вибраного варіанту отримують КМ з різними характеристиками. Тому актуальною є задача розробки варіантів побудови базового елемента багатоступневих комутуючих мереж та їх оцінки, вирішенню якої і присвячена дана робота.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Оскільки БЕ конвеєрних багатоступневих КМ має на виході регістри, його можна розглядати як автономний запам'ятовуючий елемент. Тому далі розглянемо варіанти побудови БЕ для зберігання та комутації двох даних для наступних типів інтерфейсу запису та зчитування даних: $1x2 \rightarrow 1x2$, тобто коли дані поступають в БЕ двома входами і зчитуються двома виходами, $2x1 \rightarrow 1x2$, тобто коли дані поступають в БЕ одним входом і зчитуються двома виходами, $1x2 \rightarrow 2x1$, тобто коли дані поступають в БЕ двома входами і зчитуються одним виходом, та $2x1 \rightarrow 2x1$, тобто коли дані поступають в БЕ одним входом і зчитуються одним виходом.

2. МЕТОД ПОБУДОВИ БЕ

Нехай до БЕ записують два даних ID0 та ID1, які поступають паралельно двома входами разом з кодом Q правила впорядкування, тобто $k=1, l=2$, і на вихід БЕ паралельно зчитують два даних OD0 та OD1, тобто $m=1, n=2$.

подамо вхідні дані БЕ у вигляді вектора

$$\begin{bmatrix} ID0 \\ ID1 \end{bmatrix},$$

вихідні дані подамо у вигляді вектора

$$\begin{bmatrix} OD0 \\ OD1 \end{bmatrix},$$

Тоді задача впорядкованими вектора вхідних даних за значенням розряду q коду кодування Q у вектор вихідних даних виглядає наступним чином:

$$\begin{bmatrix} OD0 \\ OD1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ID0 \\ ID1 \end{bmatrix} \oplus_q \begin{bmatrix} SID0 \\ SID1 \end{bmatrix}.$$

При цьому елементи вектора вихідних даних визначаються з виразу

$$OD0 = q ID0 \text{ OR NOT } q ID1,$$

$$OD1 = q ID1 \text{ OR NOT } q ID0, \quad (3)$$

або

$$OD0 = ID0 \text{ if } q = 0 \text{ else } ID1,$$

$$OD1 = ID0 \text{ if } q = 1 \text{ else } ID1.$$

Виходячи з наведеного виразу, метод впорядкування двох даних та відповідний метод побудови БЕ на полягає в наступному:

1. Виділити два регістри, для запам'ятовування даних ID0 та ID1.
2. Записувати в режимі запису до першого регістра БЕ перше дане, а до другого – друге дане, якщо $q = 0$, або навпаки, якщо $q = 1$.
3. Зчитувати в режимі зчитування з регістрів БЕ дані, які в них зберігалися, на виходи БЕ.
Зауваження 1: пункти 2,3 методу можуть бути замінені наступними:
2*. В режимі запису записувати дані до регістрів.
3*. Відповідно зчитувати в режимі зчитування на перший вихід БЕ перше дане, а на другий – друге дане, якщо $q = 0$, або навпаки, якщо $q = 1$.
4. Дані на входи БЕ можуть поступати паралельно або послідовно, одне за одним. Необхідно забезпечити на вході БЕ відповідний інтерфейс.
5. Дані на виходи БЕ можуть поступати паралельно або послідовно, одне за одним. Необхідно забезпечити на виході БЕ відповідний інтерфейс.

3. БЕ типу $1x2 \rightarrow 1x2$

Нехай до БЕ записують два даних ID0 та ID1, які поступають паралельно двома входами разом з кодом q, тобто $k=1, l=2$, і на вихід БЕ паралельно зчитують два даних OD0 та OD1, тобто $m=1, n=2$.

Структура БЕ для випадку коли до неї записують два даних ID0 та ID1, які поступають паралельно двома входами, тобто $k=1, l=2$, і на вихід паралельно зчитують два даних OD0 та OD1, тобто $m=1, n=2$, наведена на рис.4. До складу БЕ входять два двовходових мультиплексори МП0 і МП1, керувані сигналом з входу q, та два регістри Rг0 і Rг1 для зберігання даних.

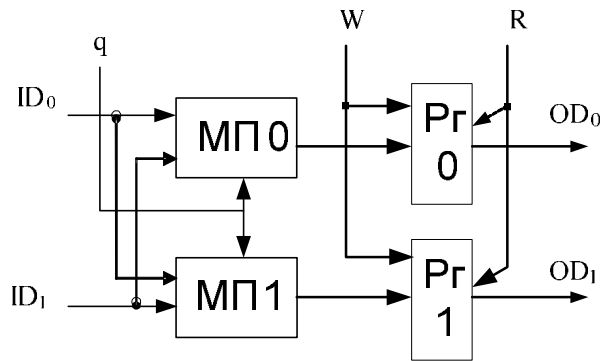


Рис.4. Структура БЕ типу $1 \times 2 \rightarrow 1 \times 2$.

На вхід БЕ поступають дані ID_0 та ID_1 . Нульовий сигнал з входу q пропускає через МП0 дане ID_0 , а через МП1 - дане ID_1 . Одиничний сигнал з входу q пропускає через МП1 дане ID_1 , а через МП2 – дане ID_0 . Таким чином, в регістри $Рг1$ та $Рг2$ сигналом запису W будуть записані відповідно дані OD_0 та OD_1 , які визначаються з виразу (3). Ці дані сигналом R можуть бути зчитані з БЕ.

Проведемо оцінку технічних характеристик наведеної на рис.4 БЕ. До цих характеристик відносяться наступні:

час запису двох даних до БЕ

$$T_W = t_{МП} + t_{WR}, \text{ де } t_{МП} - \text{затримка МП, } t_{WR} - \text{час запису до регістра;}$$

час зчитування двох даних з БЕ

$$T_R = t_{RR}, \text{ де } t_{RR} - \text{час зчитування з регістра;}$$

затрати обладнання на реалізацію БЕ

$$W = 2W_{МП} + 2W_{Рг}.$$

Потрібно відзначити, що двохходові мультиплексори МП0 і МП1 можна включити і після регістрів $Рг1$ та $Рг2$.

4. БЕ типу $1 \times 2 \rightarrow 2 \times 1$

Нехай до БЕ записують два даних ID_0 та ID_1 , які поступають паралельно, тобто $k=1, l=2$, і на вихід БЕ послідовно зчитують два даних OD_0 та OD_1 , тобто $m=2, n=1$. Так само як і в попередньому випадку, елементи вектора вихідних даних визначаються з виразу (3).

Структура БЕ показана на рис.5. БЕ складається з двох регістрів $Рг0$ та $Рг1$, до яких дані записуються сигналом запису W , та зчитуються сигналом зчитування R , а також тригера $Тг$, керованого сигналом зчитування R .

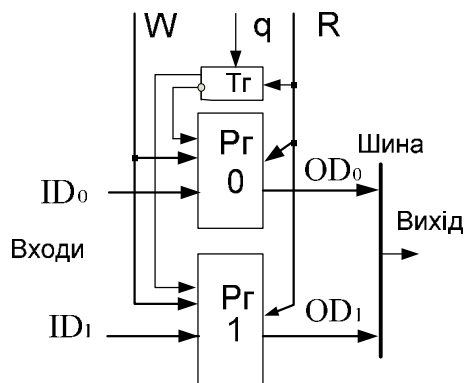


Рис.5. Структура БЕ типу $1 \times 2 \rightarrow 2 \times 1$.

Дані ID_0 та ID_1 сигналом запису W запишуться в регістри $Рг0$ та $Рг1$, а в режимі зчитування по черзі будуть подані на вихід. Сигнали дозволу зчитування даних з регістрів на вихідну шину формує тригер $Тг$, який спочатку перебуває в стані q та дозволяє зчитування з одного регістра, а після поступлення першого сигналу зчитування переходить в стан $NOTq$, та дозволяє зчитування з іншого регістра.

Проведемо оцінку технічних характеристик наведеної на рис.5 БЕ. До цих характеристик відносяться наступні:

час запису двох даних до БЕ

$T_W = t_{WP_r}$, де $t_{МП}$ – затримка МП, t_{WP_r} – час запису до регістра;

час зчитування двох даних з БЕ

$T_R = 2t_{RP_r}$, де t_{RP_r} – час зчитування з регістра;

затрати обладнання на реалізацію БЕ

$W = W_{Tr} + 2W_{Pr}$.

5. БЕ типу $2x1 \rightarrow 1x2$

Якщо $k=2, l=1$, то в схемі БЕ (рис.6) сигналом запису W вхідні дані запишуться в відповідні регістри, причому місце запису даних та міток вказується сигналом з виходу тригера T_r , який формує сигнали дозволу запису. Цей тригер спочатку перебуває в стані q та дозволяє запис одного даного до регістра Pr_0 , а після поступлення першого сигналу запису W переходить в стан $NOTq$ та дозволяє запис іншого даного до регістра Pr_1 . Після подачі сигналу зчитування R буде здійснено зчитування з регістрів Pr_0 та Pr_1 та подача на виходи даних OD_0 та OD_1 .

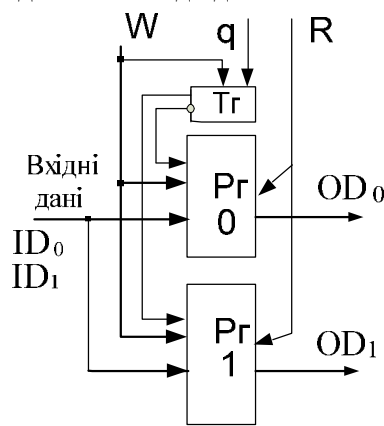


Рис.6. Структура БЕ типу $2x1 \rightarrow 1x2$.

Проведемо оцінку технічних характеристик наведеної на рис.6 БЕ. До цих характеристик відносяться наступні:

час запису двох даних до БЕ

$T_W = 2t_{WP_r}$;

час зчитування двох даних з БЕ

$T_R = t_{RP_r}$, де t_{RP_r} – час зчитування з регістра;

затрати обладнання на реалізацію БЕ

$W = 2W_{Pr} + W_{Tr}$, де W_{Pr} та W_{Tr} – відповідно затрати на регістр та на тригер.

6. БЕ типу $2x1 \rightarrow 2x1$

Оскільки $k=2, l=1$, то на вході БЕ, аналогічно до схеми, показаної на рис.6, будуть ті ж самі регістри Pr_0, Pr_1 для зберігання вхідних даних, і оскільки $m=2, n=1$, то на вході БЕ додається тригер T_r0 , який формує сигнали дозволу запису, аналогічно до такого ж тригера на рис.6 (рис.7), а на виході БЕ додається тригер T_r1 , який формує сигнали дозволу зчитування, аналогічно до такого ж тригера на рис.6. Двома сигналами запису з входу W два вхідних даних будуть записані в регістри Pr_0 і Pr_1 відповідно до значення q з тригера T_r0 . З виходів цих регістрів вихідні дані OD_0 та OD_1 при поступленні сигналу зчитування R під керуванням тригера T_r1 будуть подані на вихідну шину.

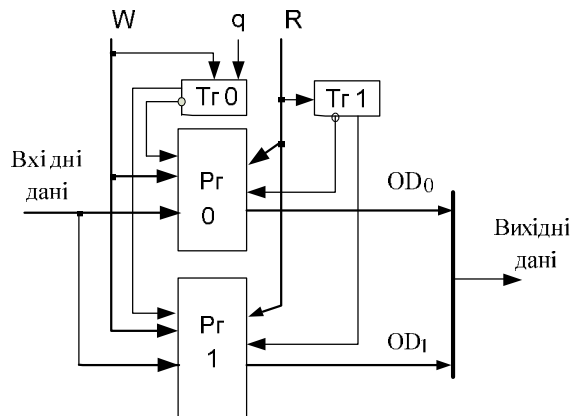


Рис.7. Структура БЕ типу $2 \times 1 \rightarrow 2 \times 1$.

Проведемо оцінку технічних характеристик наведеної на рис.7 БЕ. До цих характеристик відносяться наступні:

час запису двох даних до БЕ

$$T_W = 2t_{WPr};$$

час зчитування двох даних з БЕ

$$T_R = 2t_{RPr};$$

затрати обладнання на реалізацію БЕ

$$W = 2W_{Pr} + 2W_{Tr}, \text{ де } W_{Pr} \text{ та } W_{Tr} - \text{відповідно затрати на регістр та тригер.}$$

ВИСНОВКИ

В роботі розроблено метод побудови БЕ багатоступневих комутуючих мереж, який полягає в тому, що впорядковують дані відповідно до значення розряду q коду кодування Q , для запам'ятовування даних виділяють два регістри, в режимі запису до регістрів БЕ записують дані, впорядковані відповідно до значення розряду q коду кодування Q , а в режимі зчитування з регістрів БЕ зчитують дані, які в них зберігалися, на виходи БЕ, дані на входи та виходи якого можуть поступати паралельно або послідовно.

Розроблено структури різних варіантів побудови базового елемента багатоступневих комутуючих мереж та зроблена оцінка їх швидкодії та затрат обладнання.

1. Мельник А.О. Архітектура комп'ютера. Наукове видання. – Луцьк: Волинська обл. друк., 2008. – 470 с.
2. Кун С. Матричные процессоры на СБИС: Пер. с англ. - М.: Мир, 1991. - 672с.
3. К. Е. Batcher, "Sorting networks and their applications," Proc. AFIPS Spring Joint Computer Conference, vol. 32, pp. 307-314, April 1968.
4. Upfds, E. "Efficient schemes for parallel communication." J. ACM 31(3)1984 507-517.