

# ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАЛАШТОВУВАНИХ СОРТУВАЛЬНИХ МЕРЕЖ

**Н. М. Ліщина**

Кафедра комп'ютерних технологій  
Луцький інститут розвитку людини  
Університету «Україна»  
вул. Грушевського, 17, кв.33, м. Луцьк,  
43005, Україна  
**Контактний тел.:** 096-605-77-34  
**E-mail:** lischyna@googlemail.com

*Наводиться опис структури налаштовуваних сортувальних мереж та їх базового елемента. Визначаються розрядності складових та вирази для оцінки затрат обладнання на реалізацію налаштовуваних сортувальних мереж. Проводиться оцінка швидкодії налаштовуваних сортувальних мереж.*

*Ключові слова:* налаштовувана сортувальна мережа, базовий елемент.

*Приводится описание структуры настраиваемых сортировочных сетей и их базового элемента. Определяются разрядности составляющих и выражения для оценки затрат оборудования на реализацию настраиваемых сортировочных сетей. Проводится оценка быстродействия настраиваемых сортировочных сетей.*

*Ключевые слова:* настраиваемая сортировочная сеть, базовый элемент.

*The structure of the custom sorting networks and their basic elements was described. The bit of components and expressions for estimating the cost of equipment to implement a custom sorting networks was determined. The estimation performance of a custom sorting networks was offered.*

*Keywords:* custom sorting network, base element.

## Постановка проблеми

При розробці пристроїв комп'ютерної та телекомунікаційної техніки широке використання знаходять сортувальні мережі, які здійснюють впорядкування вхідних даних за їх величинами [1,2]. Як показано в ряді робіт [3-5], однією з сфер використання сортувальних мереж може стати паралельна пам'ять комп'ютера, побудована на принципах впорядкованого доступу до даних. В цій пам'яті сортувальна мережа використовується для впорядкування даних, що зберігаються в пам'яті, відповідно до значень міток, які вказують місце даних в вихідному масиві. Одним з варіантів використання в описаній пам'яті сортувальних мереж є налаштовувані сортувальні мережі. При цьому постає задача оцінки технічних характеристик цих мереж з метою забезпечення виконання порівняльного аналізу досяжних характеристик реалізованої на їх основі пам'яті.

## 1. Налаштовувані сортувальні мережі

Під сортуванням розуміється процедура розміщення елементів послідовності X

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

в порядку монотонного зростання або спадання, тобто отримання послідовності

$$Y = \{y_0, y_1, \dots, y_{n-1}\} : y_0 \leq y_1 \leq \dots \leq y_{n-1}. \quad (2)$$

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

Розширимо функції сортувальної мережі.

Якщо є дві послідовності, послідовність вхідних даних

$$ID = \{ID_i (i = 0, 1, \dots, n - 1)\}, \quad (3)$$

та послідовність індексів вхідних даних

$$IID = \{IID_i (i = 0, 1, \dots, n - 1)\}, \quad (4)$$

то будемо розуміти під сортувальною мережу, яка для довільних послідовностей вхідних даних (3) та індексів (4) дозволяє отримати вихідну послідовність OD (5), в якій дані розміщені за значеннями їх індексів

$$OD = \{OD_j (I_j) (j = 0, 1, \dots, n - 1), I_1 < I_2 < \dots < I_{n-1}\}, \quad (5)$$

причому  $I_j \in IID$ .

Одночасно під налаштовуваною сортувальною мережею будемо розуміти сортувальну мережу, яка має два режими – налаштування та впорядкування, та в режимі налаштування за значеннями індексів вхідних даних IID (4) налаштовується на заданий порядок перестановки вхідних даних в послідовності ID (3), а в режимі впорядкування здійснює цю перестановку та дозволяє отримати вихідну послідовність OD (5), в якій дані розміщені за значеннями їх індексів.

Сортувальна 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. БЕ виконують базову операцію «порівняти й переставити», яка полягає в порівнянні пари із набору індексів та перестановки цих індексів разом з даними, за якими вони закріплені, якщо їхній порядок не відповідає умовам сортування.

БЕ має два входи, якими надходять два індекси разом з даними, порівнює і переставляє їх, якщо вони надходять в неправильному порядку, та направляє на виходи.

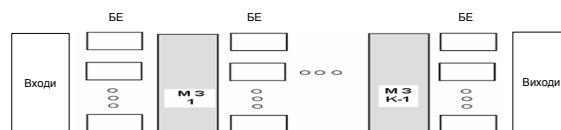
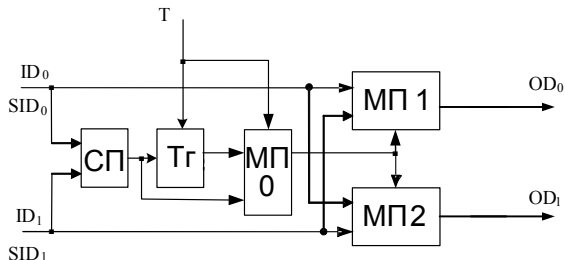


Рис.1. Багаторярусна сортувальна мережа

**2. Базовий елемент та організація роботи налаштовуваної сортувальної мережі**

Структура базового елемента налаштовуваної сортувальної мережі наведена на рис.2. На його два входи паралельно разом з своїми мітками SID0 та SID1 поступають два даних ID0 та ID1, і на вихід паралельно поступають два даних OD0 та OD1. До складу базового елемента входять три двохходових мультиплектори МП0, МП1 та МП2, тригер Тг та схема порівняння СП [6].



**Рис.2.** Структура базового елемента налаштовуваної сортувальної мережі

Потенційним сигналом на вході Т задається режим роботи базового елемента: налаштування чи впорядкування. В режимі налаштування, коли потенціал на вході Т рівний нулю, мітки даних SID0 та SID1 поступають на схему порівняння СП і на мультиплектори МП1 та МП2. На керуючі входи цих мультиплексорів поступає сигнал з виходу схеми порівняння СП. Таким чином, якщо мітка даного ID0 більша мітки даного ID1, тобто SID0 > SID1, то на виході СП буде сигнал 0, який пропускає через МП1 мітку SID0, а через МП2 - мітку SID1. Якщо мітка даного ID0 менша мітки даного ID1, тобто SID0 < SID1, то на виході СП буде сигнал 1, який пропускає через МП1 мітку SID1, а через МП2 - мітку SID0. Тобто, в даному режимі базовий елемент виконує функції елемента звичайної сортувальної мережі, яка сортує мітки вектора міток вхідних даних.

З переходом потенціалу на вході Т в одиницю значення сигналу з схеми порівняння СП фіксується в тригері Тг. Тим самим відбувається налаштування базового елемента на роботу в режимі впорядкування. Після цього на вході Т в цьому режимі потенціал рівний одиниці і не змінюється, а тригер Тг більше не перемикається. Сигнал з його виходу, проходячи через мультиплексор МП0, утримує мультиплектори МП1 та МП2 в режимі впорядкування, який в подальшому уже не залежить від значень даних на входах базового елемента. Тобто вхідні дані ID0 та ID1 впорядковуються відповідно до значення їх міток і таким чином формуються вихідні дані OD0 та OD1.

**3. Розрахунок розрядності базового елемента налаштовуваної сортувальної мережі**

Позначимо буквами  $r$  та  $s$  відповідно розрядності індексів IID та вхідних даних ID.

Спочатку визначимо як розраховується розрядність індексів IID<sub>ij</sub>-вхідних даних ID, де IID<sub>ij</sub> – індекс вхідного даного ID<sub>i,j</sub>, яке знаходиться в  $i$ -му рядку ( $i = 0,1,...,k-1$ ) та  $j$ -му стовпці ( $j = 0,1,...,l-1$ ) матриці вхідних даних. Загальна кількість індексів рівна кількості вхідних даних  $N_{ID}$ , тобто добутку кількості стовпців на кількість рядків матриці

вхідних даних та, відповідно, матриці їх індексів. Таким чином  $N_{ID} = kl$ . Оскільки кожне дане має свій індекс, причому індекси всіх даних різні, оскільки кожне дане має своє місце в матриці вихідних даних, то загальна кількість можливих значень індексів рівна  $N_{ID}$ . Тоді розрядність індексів розраховується на основі виразу  $m = \log_2 N_{ID}$ , де  $N_{ID}$  – кількість вхідних даних.

Визначимо розрядність функціональних елементів базового елемента НСМ.

Мультиплектори МП1 та МП2 в режимі налаштування пропускають на виході індекси, а в режимі впорядкування – дані. Тому розрядність мультиплексорів МП1 та МП2 визначається з виразу  $s_{МП} = \max(r,s)$ , де  $r$  – розрядність індексів,  $s$  – розрядність вхідних даних.

Схема порівняння СП порівнює лише індекси, тому розрядність схеми порівняння СП рівна розрядності індексів, яка розраховується на основі виразу  $m = \log_2 N_{ID}$ , де  $N_{ID}$  – кількість вхідних даних.

Тригер Тг та мультиплексор МП0 – однорозрядні.

**4. Синтез вузлів базового елемента налаштовуваної сортувальної мережі**

Схема порівняння базового елемента налаштовуваної сортувальної мережі виконує лише порівняння на більше (або менше), оскільки налаштовувана сортувальна мережа використовується для здійснення впорядкування даних за величиною їх індексів. Тому тут немає потреби проводити синтез СП з реалізацією всіх трьох можливих ситуацій, тобто більше, менше, рівне. Це дозволяє спростити схему СП та отримати вищу швидкість.

Порівняння на більше  $A > B$  можна виконати на суматорі (або віднімачі) шляхом визначення знаку різниці  $B-A$ : якщо різниця від'ємна то  $A > B$ , якщо додатна - ні. Однак СП є економічнішою від суматора та швидшою, тому проведемо її синтез.

Обчислення співвідношення  $A > B$  між двома двійковими  $s$ -розрядними числами  $A = a_1a_2...a_s$  та  $B = b_1b_2...b_s$  зводиться до послідовного порівняння їх розрядів, починаючи зі старших. Нехай  $P$  – змінна, яка приймає значення 1 якщо підтверджується істинність виразу  $A > B$  з аналізу  $i$ -го розряду чисел  $A$  та  $B$ . З правила порівняння витікає

$$P_i = a_i b_i \text{ при } i = 1, \text{ та } P_i = R_{i-1} a_i b_i \text{ при } i = 2, 3, \dots, s,$$

де  $R_{i-1} = r_1 r_2 \dots r_{i-1}$  – ознака рівності чисел в розрядах від 1 до  $i-1$  включно, причому  $r_j = \text{NOT } ab \text{ OR } ab$ . Якщо  $P_i = 1$ , то  $i < P = 1$ , тобто

$$P = P_1 \text{ OR } P_2 \text{ OR } P_3 \dots \text{ OR } P_s$$

Тоді схему порівняння для 4-розрядних чисел можна подати у вигляді, показаному на рис.2. [7].

Розглянута схема порівняння має наступні характеристики:

час отримання результату порівняння рівний  $T = (s + 2)t$ , де  $t$  – час затримки одного вентиля, затрати обладнання рівні  $Q = 4(s - 1) + 1 + s - 1 = 5s + 4$  вентилів.

Тут  $s$  – розрядність даних.

Що стосується тригера та мультиплектора, то час спрацювання тригера рівний  $T_{Тг} = t$ , а затрати обладнання на його реалізацію рівні  $Q_{Тг} = 7$  вентилів, тоді як час затримки мультиплектора  $T_{МП} = 2t$ , а затрати обладнання на його реалізацію рівні  $Q_{МП} = 3s$  вентилів.

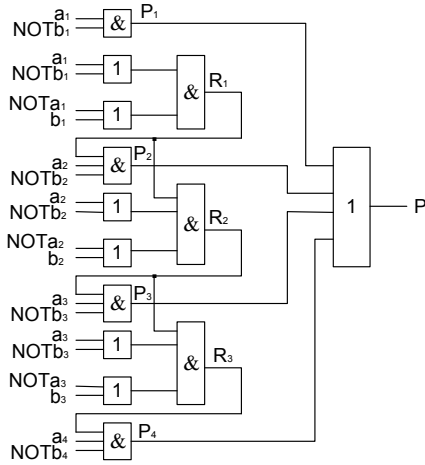


Рис.3. Схема порівняння 4-розрядних чисел

## 5. Оцінка технічних характеристик налаштовуваних сортувальних мереж

### 5.1. Апаратна складність

Налаштовувану сортувальну мережу НСМ використовують для здійснення впорядкування даних за величиною їх індексів. При цьому її задачею в режимі налаштування є отримання керуючих сигналів для режиму впорядкування, коли вона використовується як комутуюча мережа, в якій дані впорядковують за значеннями керуючих сигналів.

Для реалізації може бути вибрана довільна структура налаштовуваної сортувальної мережі НСМ, наприклад відповідна сортувальній мережі Бетчера, Бенеша, Ваксмана тощо. Структура базового елемента налаштовуваної сортувальної мережі не залежить від її структури та має вигляд, показаний на рис.2.

Затрати обладнання на реалізацію базового елемента НСМ рівні

$$Q_{BE} = Q_{СП} + 2Q_{МП} + Q_{Tr} + Q_{МПИ},$$

де  $Q_{Tr}$  та  $Q_{МПИ}$  – відповідно затрати обладнання на однорозрядний тригер та мультиплексор,  $Q_{СП}$  - затрати обладнання на  $m$ -розрядну схему порівняння,  $Q_{МП}$  - затрати обладнання на  $s$ -розрядний мультиплексор.

При цьому затрати обладнання на  $m$ -розрядну схему порівняння визначаються з виразу:

$$Q_{СП} = \log_2 N_{ID} Q_{СП1},$$

де  $N_{ID}$  – кількість вхідних даних,  $Q_{СП1}$  - затрати обладнання на однорозрядну схему порівняння.

Затрати обладнання мультиплексор розрядністю  $s_{МП}$  визначаються з виразу:

$$Q_{МП} = s_{МП} Q_{МПИ}$$

Тоді з врахуванням розрядності елементів затрати обладнання на реалізацію базового елемента НСМ рівні

$$Q_{BE} = \log_2 N_{ID} Q_{СП1} + 2(s_{МП} + 1)Q_{МПИ} + Q_{Tr}$$

Затрати обладнання на реалізацію  $N_{ID}$ -вхідової НСМ визначаються з виразу

$$Q_{НСМ} = N_{BE} Q_{BE} = N_{BE} (Q_{СП} + 2Q_{МП} + Q_{Tr} + Q_{МПИ}) = N_{BE} (\log_2 N_{ID} Q_{СП1} + 2(s_{МП} + 1)Q_{МПИ} + Q_{Tr})$$

де  $N_{BE}$  - кількість базових елементів НСМ.

Підставивши в цей вираз затрати у вентилях на вузлі базового елемента НСМ, отримаємо

$$Q_{НСМ} = N_{BE} \cdot (5 \log_2 N_{ID} + 4) + (2s_{МП} + 1)3 + 7) = N_{BE} \cdot (5 \log_2 N_{ID} + 4) + 6(\max(\log_2 N_{ID}, s) + 10) \quad (6)$$

### 5.2. Часова складність

Часова затримка базового елемента налаштовуваної сортувальної мережі в режимі налаштування визначається з виразу

$$t_{BE}^H = (t_{СП} + 2t_{МП}),$$

де  $t_{СП}$  – затримка схеми порівняння,  $t_{МП}$  – затримка мультиплексора. При цьому затримка мультиплексора не залежить від його розрядності, тоді як затримка схеми порівняння залежить наступним чином:

$$t_{СП} = (s + 2)t.$$

В режимі впорядкування часова затримка базового елемента налаштовуваної сортувальної мережі визначається з виразу

Тоді часова затримка НСМ в режимі налаштування визначається з виразу

$$t_{НСМ}^H = t_{BE}^H \cdot N_{я} = (t_{СП} + 2t_{МП}) \cdot N_{я},$$

де  $N_{я}$  - кількість ярусів НСМ,

та в режимі впорядкування визначається з виразу

$$t_{НСМ}^B = t_{BE}^B \cdot N_{я} = t_{МП} \cdot N_{я}$$

Підставивши в ці рівняння вирази для оцінки швидкодії вузлів базового елемента НСМ, отримаємо

$$t_{BE}^H = (s + 6)t, \quad (7)$$

$$t_{BE}^B = 2t.$$

$$t_{НСМ}^H = N_{я} (s + 6)t, \quad (8)$$

$$t_{НСМ}^B = 2N_{я}t.$$

### 5.3. Ефективність

Поняття ефективності використання обладнання було введено в роботі [8] для визначення внеску одиниці обладнання комп'ютерного пристрою в загальну швидкодію. Цей показник є інтегральним та дозволяє проводити порівняльний аналіз різних пристроїв, тому використаємо його для проведення порівняльного аналізу НСМ. Ефективність розраховують з виразу  $1/Q_T$ , де  $Q$  та  $T$  відповідно затрати обладнання та часова затримка. При цьому як часову затримку НСМ візьмемо суму  $t_{НСМ}^H$  та  $t_{НСМ}^B$ . Тоді отримаємо наступний вираз для оцінки ефективності НСМ:

$$E_{НСМ} = 1 / (N_{BE} \cdot (5 \log_2 N_{ID} + 4) + 6(\max(\log_2 N_{ID}, s) + 10) \cdot N_{я} (s + 8)) \quad (9)$$

Маючи реальні значення  $N_{BE}$ ,  $N_{ID}$ ,  $N_{я}$  та  $s$  для конкретного типу сортувальної мережі нескладно на основі виразів (6) - (9) розрахувати їх технічні характеристики та провести порівняльний аналіз з метою вибору кращої НСМ для використання.

## Висновки

Введено поняття налаштовуваних сортувальних мереж, описана структура, базовий елемент та організація роботи налаштовуваної сортувальної мережі.

Проведено розрахунок розрядності та синтез вузлів

базового елемента налаштовуваної сортувальної мережі.  
 Визначені розрядності складових та отримані вирази для оцінки апаратної та часової складності налаштовуваних сортувальних мереж, а також їх ефективності.

Література

1. Мельник А.О. Архітектура комп'ютера / А.О. Мельник. – Луцьк: Волинська обл. друк, 2008. – 470 с.
2. Кун С. Матричные процессоры на СБИС: Пер. с англ. / С. Кун. - М.: Мир, 1991. - 672с.
3. Мельник А.О. Принципи побудови буферної сортувальної пам'яті / А.О. Мельник // Вісник Державного університету "Львівська Політехніка" "Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології". - 1996. - N307.-с.65-71.

4. Мельник А.О. Спеціалізовані комп'ютерні системи реального часу / А.О. Мельник. – Львів: НУ „Львівська політехніка”, 1996. – 60 с.
5. Мельник Анатолій. Структурна організація пам'яті з впорядкованим доступом на основі сортувальних мереж/ Анатолій Мельник, Д.Х. Аль Равашдех // Науково-технічний журнал Національного аерокосмічного університету ім М.Є. Жуковського «ХАІ» «Радіоелектронні і комп'ютерні системи» .-2010.-№6 (47).- с. 15-19.
6. Мельник А.А. Элемент сортировочной сети / А.А. Мельник, В.С. Ильков. АС №1603367, БИ № 40, 1990.
7. Майоров С.А. Принципы организации цифровых машин/ Майоров С.А., Новиков Г.И. Л. «Машиностроение», Ленинградское отд-ние, 1974, 431 с.

*Отримано співвідношення для оцінки впливу теплового навантаження на показники надійності двокаскадних ТЕУ різних конструкцій при заданому перепаді температури. Наведено порівняльний аналіз показників надійності та основних значущих параметрів двокаскадних ТЕУ.*

*Ключові слова: надійність, двокаскадні термоелектричні охолоджувальні пристрої.*

---

*Получены соотношения для оценки влияния тепловой нагрузки на показатели надежности двухкаскадных ТЭУ различных конструкций при заданном перепаде температуры. Приведен сравнительный анализ показателей надежности и основных значимых параметров двухкаскадных ТЭУ.*

*Ключевые слова: надежность, термоэлектрические охлаждающие устройства.*

---

*Relations are obtained to assess the effect of heat load on the two-stage reliability thermoelectric cooling device of various designs for a given temperature drop. An analysis of reliability and two-stage main relevant parameters thermoelectric cooling device.*

*Key words: reliability, two-cascade thermoelectric cooling device.*

УДК 621.362–192

# ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ НА ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ДВУХКАСКАДНЫХ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ОХЛАЖДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

**В. П. Зайков**

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, начальник сектора  
 Государственное предприятие «Научно-исследовательский институт «Шторм»  
 ул. Терешковой, 27, г. Одесса, Украина, 65078  
**Контактный тел.:** (044) 45–49–17  
**E-mail:** aninfo@fromru.com

**В. И. Мещеряков**

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой\*  
**Контактный тел.:** 050-336-32-78  
**E-mail:** gradan@ua.fm

**А. А. Гнатовская**

Старший преподаватель\*  
**Контактный тел.:** (044) 44-88-53 , 067-769-00-87  
**E-mail:** aninfo@fromru.com

\*Кафедра информатики  
 Одесский государственный экологический университет  
 ул. Львовская, 15, г. Одесса, Украина, 65101

**1. Введение**

В последнее время в термоэлектрическом приборостроении все более широкое применение нашли унифицированные ряды модулей и собранные на их основе

каскадные термоэлектрические охлаждающие устройства (ТЭУ) различных конструкций.

Применение каскадных ТЭУ обусловлено не только достижением максимально возможного уровня охлаждения, но и повышением экономичности охлаждения при