

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ УДК 004.94

Т. Б. Мартинюк, О. І. Черняк, Б. І. Круківський, Мохамед Салем  
Нассер Мохамед

### ОБЧИСЛЮВАЛЬНА СКЛАДНІСТЬ МЕРЕЖЕВОЇ МОДЕЛІ СОРТУВАННЯ ЛІНІЙНОГО МАСИВУ ЧИСЕЛ

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**Анотація.** При розробці розвинуеного програмного та апаратного забезпечення для сучасних обчислювальних засобів інтерес представляють удосконалені методи асоціативної обробки інформації, а саме процедури сортування і вибору. Це забезпечує реалізацію ефективного пошуку потрібної інформації в масивах даних. Необхідність паралельної необчислювальної обробки великих масивів інформації потребує відповідну організацію асоціативної пам'яті, а також розробку і використання відповідних перспективних технічних засобів. Сортування вважається важливою процедурою в таких прикладних областях, як рішення економічних задач, управління базами даних (СУБД), сортування IP адрес в комп'ютерних мережах, обробка сигналів і зображень (наприклад, при нелінійній медіанній фільтрації зображень). Аналіз відомих методів сортування показав, що найбільш ефективним методом паралельного сортування з урахуванням його апаратної реалізації сортуючою мережею є метод парного обміну. При цьому, ступінь паралелізму будь-якого методу сортування за його апаратної реалізації безпосередньо залежить від кількості схем порівняння, які спрацьовують паралельно при кожному перегляді. Для методу парного обміну ступінь паралелізму визначається величиною  $\lfloor n/2 \rfloor$ , де  $n$  - кількість вхідних числових величин або розмірність вхідного лінійного масиву чисел. У статті проаналізовано способи реалізації алгоритму сортування методом парного обміну з топологією зв'язків між елементами масиву чисел у вигляді «стрічки» і «кільця». Для прикладу описано паралельний алгоритм сортування методом парного обміну. Моделювання алгоритму виконано на мові високого рівня C++. Проаналізовано отримані статистичні та графічні результати моделювання. Аналіз графічних результатів моделювання свідчить про залежність виду  $O(n)$  між кількістю циклів сортування і розмірністю  $n$  вхідного масиву. Це підтверджує ефективність апаратної реалізації сортування парним обміном на сортуючій мережі за рахунок регулярності структури і зв'язків в процесі сортування. Можливість статистично визначити не тільки кількість циклів сортування при заданій розмірності масиву чисел, але й відповідну кількість порівнянь і переміщень значно розширює можливість вдосконалення відомих і створення нових способів синхронного сортування елементів лінійного масиву апаратно у вигляді сортуючої мережі.

**Ключові слова:** обчислювальна складність, сортування, лінійний масив чисел.

**Аннотация.** При разработке развитого программного и аппаратного обеспечения для современных вычислительных средств интерес представляют усовершенствованные методы ассоциативной обработки информации, а именно процедуры сортировки и выбора. Это обеспечивает реализацию эффективного поиска нужной информации в массивах данных. Необходимость параллельной невычислительной обработки больших массивов информации требует соответствующую организацию ассоциативной памяти, а также разработку и использование соответствующих перспективных технических средств. Сортировка считается важной процедурой в таких прикладных областях, как решение экономических задач, управление базами данных (СУБД), сортировка IP адресов в компьютерных сетях, обработка сигналов и изображений (например, при нелинейной медианной фильтрации изображений). Анализ известных методов сортировки показал, что наиболее эффективным методом параллельной сортировки с учетом его аппаратной реализации сортирующей сетью является метод парного обмена. При этом, степень параллелизма любого метода сортировки при его аппаратной реализации напрямую зависит от количества схем сравнения, которые срабатывают параллельно при каждом просмотре. Для метода парного обмена степень параллелизма определяется величиной  $\lfloor n/2 \rfloor$ , где  $n$  - количество входных числовых величин или размерность входного линейного массива чисел. В статье проанализированы способы реализации алгоритма сортировки методом парного обмена с топологией связей между элементами массива чисел в виде «ленты» и «кольца». Для примера описан параллельный алгоритм сортировки методом парного обмена. Моделирование алгоритма выполнено на языке высокого уровня C++. Проанализированы полученные статистические и графические результаты моделирования. Анализ графических результатов моделирования свидетельствует о зависимости вида  $O(n)$  между количеством циклов сортировки и размерностью  $n$  входного массива. Это подтверждает эффективность аппаратной реализации сортировки парным обменом на сортирующей сети за счет регулярности структуры и связей в процессе сортировки. Возможность статистически определить не только количество циклов сортировки при заданной размерности массива чисел, но и соответствующее количество сравнений и перестановок значительно расширяет возможности усовершенствования известных и создания новых способов синхронной сортировки элементов линейного массива апаратно в виде сортирующей сети.

**Ключевые слова:** вычислительная сложность, сортировка, линейный массив чисел

**Abstract.** In the development of advanced software and hardware for modern computing, the interest is the improvement of methods of associative processing of information such as procedures of sorting and selection. That ensures the realization of effective search for the required information in the data arrays. The need for parallel non-processing of large amounts of information entails the appropriate organization of associative memory, as well as the development and using of perspective technical devices. The sorting is important procedure in such application areas as solving economic problems, managing databases, sorting of IP addresses in computer networks, processing signals and images (for example, in nonlinear median image filtering). The analysis of known sorting methods have shown that the most effective method of parallel sorting, taking into account its hardware implementation by the sorting network, is the pairwise exchange. At the same time, the degree of parallelism of any sorting method for its hardware implementation directly depends on the number of comparison schemes that work in parallel in each view. For a pairwise exchange method, the degree of parallelism is determined by the value  $\lfloor n/2 \rfloor$ , where  $n$  is the number of input numerical values or the dimension of the input linear number array. In this article methods of implementing of the sorting algorithm by the method of pairwise exchange with the link topology between elements of the number array in the form of "tape" and "ring" are analyzed. For example, the parallel sorting algorithm using the pairwise exchange method is described. The simulation at a high-level C++ language is done. The obtained statistical and graphic results of modeling are analyzed. The analysis of graphical modeling results shows the dependence of the form  $O(n)$  between the number of sort cycles and the dimensionality  $n$  of the input array. That confirms the effectiveness of the hardware implementation of sorting by pairwise exchange on the sorting network due to the regularity of the structure and connections in the sorting process. The ability to statistically determine not only the number of sorting cycles with a given dimension of

© Т. Б. Мартинюк, О. І. Черняк, Б. І. Круківський, Мохамед Салем Нассер Мохамед, 2019

the number array, but also the corresponding number of comparisons and transposition greatly extends the possibilities of improving the known and creating new ways of synchronous sorting of elements of a linear array by hardware in the form of a sorting network.

**Keywords:** computational complexity, sorting, linear number array.

**DOI:** <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2019-45-2-64-71>.

### Вступ

При розробці розвиненого програмного та апаратного забезпечення для сучасних обчислювальних засобів інтерес представляє удосконалення методів асоціативної обробки інформації, основу якої складають такі процедури, як сортування і вибір, що забезпечує реалізацію швидкого пошуку потрібної інформації в значних масивах даних [1,2]. Це пов'язано з необхідністю паралельної необчислювальної обробки великих масивів інформації, що тягне за собою відповідну організацію асоціативної пам'яті, а також розробку і використання відповідних перспективних технічних засобів [3-5].

### Актуальність тематики

Відомо, що сортування вважається важливою процедурою в таких прикладних областях, як рішення економічних задач, управління базами даних (СУБД), сортування IP адрес в комп'ютерних мережах, обробка сигналів і зображень (з використанням нелінійної медіанної фільтрації зображень) [6-9].

Аналіз відомих методів сортування показав, що найбільш ефективним методом паралельного сортування з урахуванням його апаратної реалізації на сортуючій мережі є метод попарного обміну [1,10]. При цьому, ступінь паралелізму будь-якого методу сортування при його апаратній реалізації безпосередньо залежить від кількості схем порівняння, які спрацьовують паралельно при кожному перегляді [1,4,10]. Для методу попарного обміну ступінь паралелізму визначається величиною  $\lfloor n/2 \rfloor$ , де  $n$  – кількість вхідних числових величин або розмірність вхідного лінійного масиву чисел [1,10].

### Мета

Метою даної роботи є аналіз обчислювальної складності методу сортування попарним обміном в процесі комп'ютерного моделювання відповідного алгоритму сортування одновимірному масиву чисел.

### Постановка задачі

Для оцінювання алгоритмів сортування найважливішим параметром вважається час сортування або обчислювальна складність, яка характеризує швидкість алгоритму [1,5,8]. Для процедури впорядкування масиву чисел (сортування) використовують найгіршу, середню і кращу поведінку (швидкодію) алгоритму в термінах розміру  $n$  списку. Відомо, що для типового алгоритму хороша поведінка – це залежність виду  $O(n \log n)$  для його обчислювальної складності, погана – це  $O(n^2)$ , а ідеальна поведінка – це  $O(n)$  [1,5,8,10]. Теоретична обчислювальна складність методу попарного обміну при його реалізації на сортуючій мережі дорівнює  $O(n)$  [1,10].

В основі класичного методу попарного обміну лежить послідовність попарних переглядів, в яких елемент порівнюється зі своїм найближчим сусідом, а можливими переміщеннями (транспозиціями) є переміщення більших за значенням елементів на одну позицію вниз [10]. Сортування закінчується, коли при двох сусідніх переглядах не буде переміщень ні в одній парі елементів [10].

Для методу попарного обміну варіанти оптимізації можна отримати, по-перше, за рахунок створення нових зв'язків між крайніми елементами масиву (так зване замикання масиву в «кільце») в парних або непарних циклах. В результаті формується додаткова пара елементів, яка складається з елементів молодшої і старшої позиції в масиві. Так виконується перехід від сортуючої мережі вигляду «стрічка» до вигляду «кільце» [11]. По-друге, за рахунок введення додаткового елемента в масив з непарною кількістю чисел. Це дозволяє збільшити не тільки рівень паралелізму сортування, а й регулярність структури і зв'язків в пристроях сортування [11,12]. По-третє, за рахунок використання лише одного контрольного циклу замість двох на відміну від відомого алгоритму сортування цим методом [10], що дозволяє скоротити час сортування на цикл.

У статті [13] досліджено ефективність кільцевої сортуючої мережі в процесі комп'ютерного моделювання. Результати моделювання підтвердили, що створення зв'язку між крайніми вільними елементами масиву (формування «кільця») в непарних циклах сортування дозволяє істотно знизити кількість циклів у більшості випадків. При цьому мережева модель сортування попарним обміном дозволяє організувати формування пар елементів масиву в кожному циклі одночасно, що значно прискорює процес сортування. В результаті з урахуванням мінімізації кількості циклів обрано спосіб сортування з введенням мінімального (нульового) елемента в додаткову (старшу  $(n+1)$ -у позицію) з утворенням «кільця» в непарних циклах сортування.

Апаратно організований паралельний метод сортування попарним обміном може бути реалізований як у вигляді сортуючої пам'яті [14], так і у вигляді сортуючої мережі [15]. Крім того, паралельний алгоритм сортування попарним обміном у вигляді синхронного алгоритму мультиобробки лінійного числового масиву описано в базисі систем алгоритмічних алгебр (САА) Глушкова [16,17], що є підставою для модифікованих варіантів його апаратної реалізації.

### Особливості алгоритму сортування попарним обміном

У статті [16] приведено блок-схему алгоритму сортування за зростанням з паралельним способом формування пар елементів [15], в якому на відміну від алгоритму з послідовним формуванням пар елементів виконується порівняння всіх пар чисел одночасно.

Перед початком процесу сортування виконується визначення розмірності лінійного масиву чисел (парна чи непарна кількість елементів). Якщо кількість елементів  $n$  масиву чисел непарна, то додається мінімальне нульове число ( $\min$ ) в максимальну  $(n+1)$ -у позицію ( $\max$ ). Потім обнуляються лічильники ЛчТ, ЛчЦ, де ЛчТ – лічильник транспозицій (переміщень), ЛчЦ – лічильник циклів.

Далі виконується формування всіх  $K$  пар чисел  $a(2k-1)$ ,  $a(2k)$  для першого (непарного) перегляду (циклу). Після цього всі елементи непарної  $(2k-1)$ -ї позиції порівнюються зі своїм сусідом парної  $2k$ -ї позиції і більший з них займає парну  $2k$ -у позицію, а менший – непарну  $(2k-1)$ -у позицію, причому  $k = 1, 2, \dots, K$ ,  $K = \lfloor n/2 \rfloor$ , де  $K$  – кількість пар в масиві (ціла частина),  $n$  – розмірність масиву.

Облік переміщень (транспозицій) елементів в масиві відбувається таким чином: якщо елементи знаходяться в невідповідних позиціях у  $g$  парах, то вміст лічильника ЛчТ збільшується на величину  $g$ , де  $g = 1, 2, 3, \dots, K$ , і ці елементи міняються місцями в парах. Після цього перевіряється рівність нулю вмісту лічильника ЛчТ. Це перша умова, тобто умова відсутності переміщень (транспозицій) у всіх  $K$  парах елементів масиву. Якщо вона виконується, то перевіряється рівність вмісту лічильника ЛчЦ одиниці – це друга умова. Якщо друга умова виконується, то виконання алгоритму триває. Якщо не виконується перша умова, то збільшується вміст лічильника ЛчЦ на одиницю, обнуляється лічильник ЛчТ і перевіряється вміст лічильника ЛчЦ на парність. Це третя умова.

Якщо виконується друга і третя умови, то формуються всі  $K$  пари чисел  $a(2k)$ ,  $a(2k+1)$  і виконується їх порівняння, тобто починається другий (парний) перегляд (цикл). Транспозиція в кожній парі елементів виконується тільки для того, щоб більший з пари елементів зайняв непарну  $(2k+1)$ -у позицію, а менший – парну  $2k$ -у позицію. Знову перевіряється на рівність нулю вміст лічильника ЛчТ.

Таким чином, елементи з більшим значенням переміщуються в нижню частину списку. Якщо вміст лічильника ЛчЦ парний, то виконується перехід до непарного перегляду (циклу). Якщо перша умова виконується, а друга – не виконується, то алгоритм завершено. Інакше процес триває до тих пір, поки масив не буде відсортований.

### Аналіз результатів комп'ютерного моделювання

В даній роботі виконано моделювання алгоритму сортування [16] на мові C++ [18-19] і отримано результати, що представлені на рис.1-5.

На рис.1 показано вікно вибору режиму сортування методом попарного обміну, на рис.2 показано вікно завантаження елементів масиву з файлу або генератора, а на рис.3 показано вікно вибору способу введення додаткового елемента в масив (підготовка масиву). При завантаженні елементів масиву непарної розмірності це вікно (рис.3) активне, а якщо масив парної розмірності, то це вікно буде неактивним.

Результати моделювання сортування попарним обміном на мові C++ у вигляді статистичних і графічних даних наведено на рис.4,5 відповідно. На рис.4 показано відсортований масив і виділено три параметри сортування (кількість порівнянь, переміщень (транспозицій), циклів) для відповідної розмірності лінійного масиву чисел. Аналіз отриманих графіків, які наведено на рис.5, показав, що кількість циклів сортування прямо пропорційна розмірності масиву чисел, а саме  $O(n)$ , що, в свою чергу, підтверджує той факт, що метод сортування попарним обміном є найбільш ефективним за швидкодією і відповідним для його реалізації апаратно, зокрема на сортуючій мережі [15].

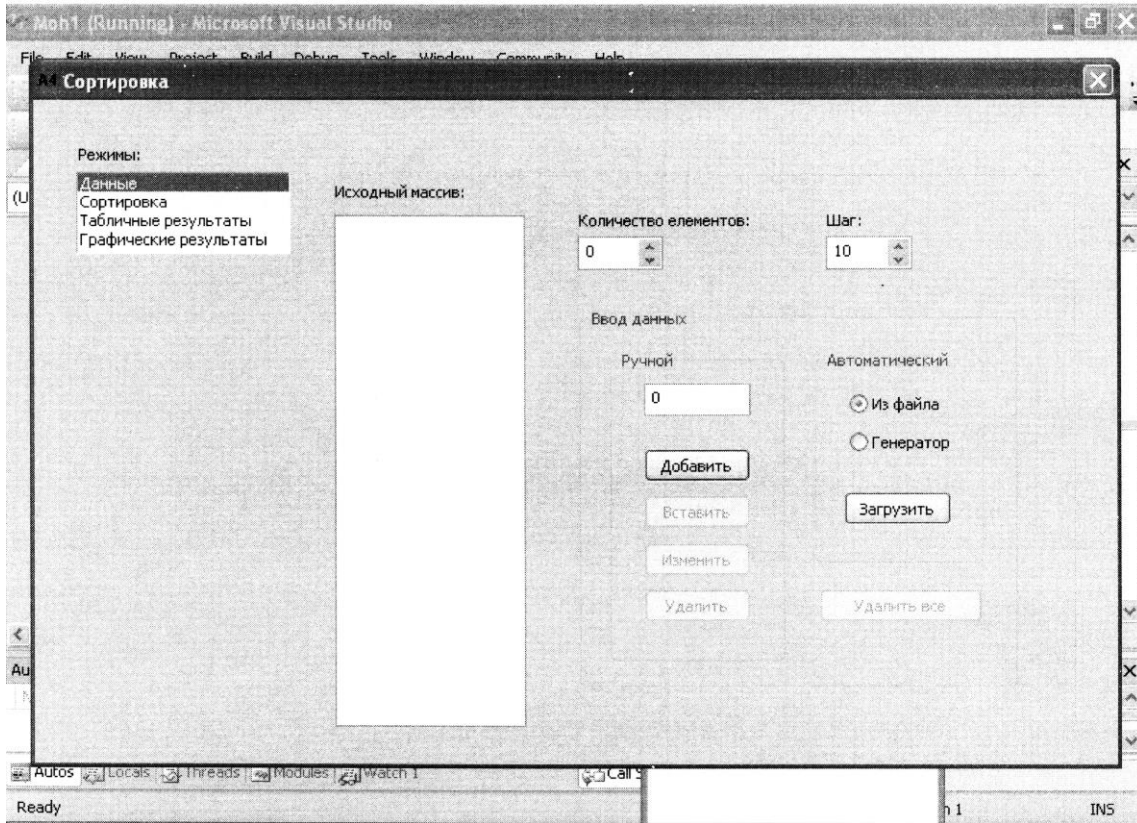


Рисунок 1 – Вікно вибору режиму для сортування методом попарного обміну

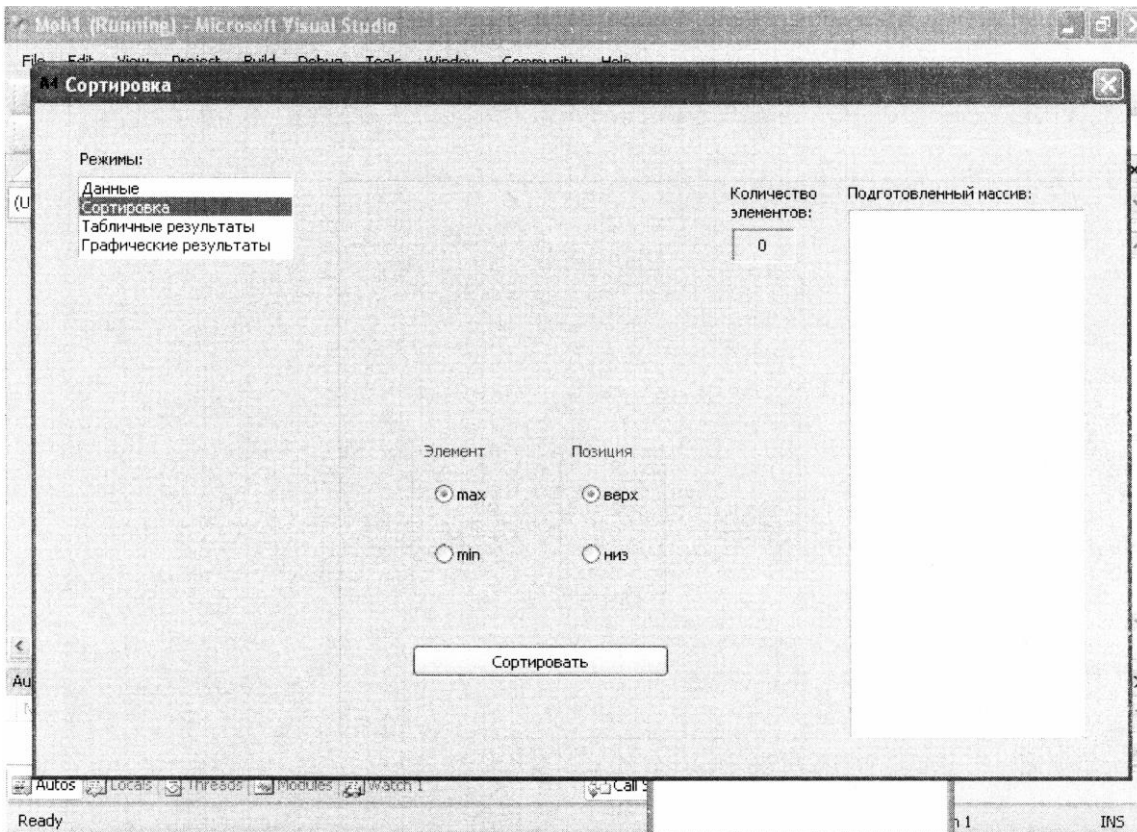


Рисунок 2 – Вікно для вибору додаткового елемента в масиві

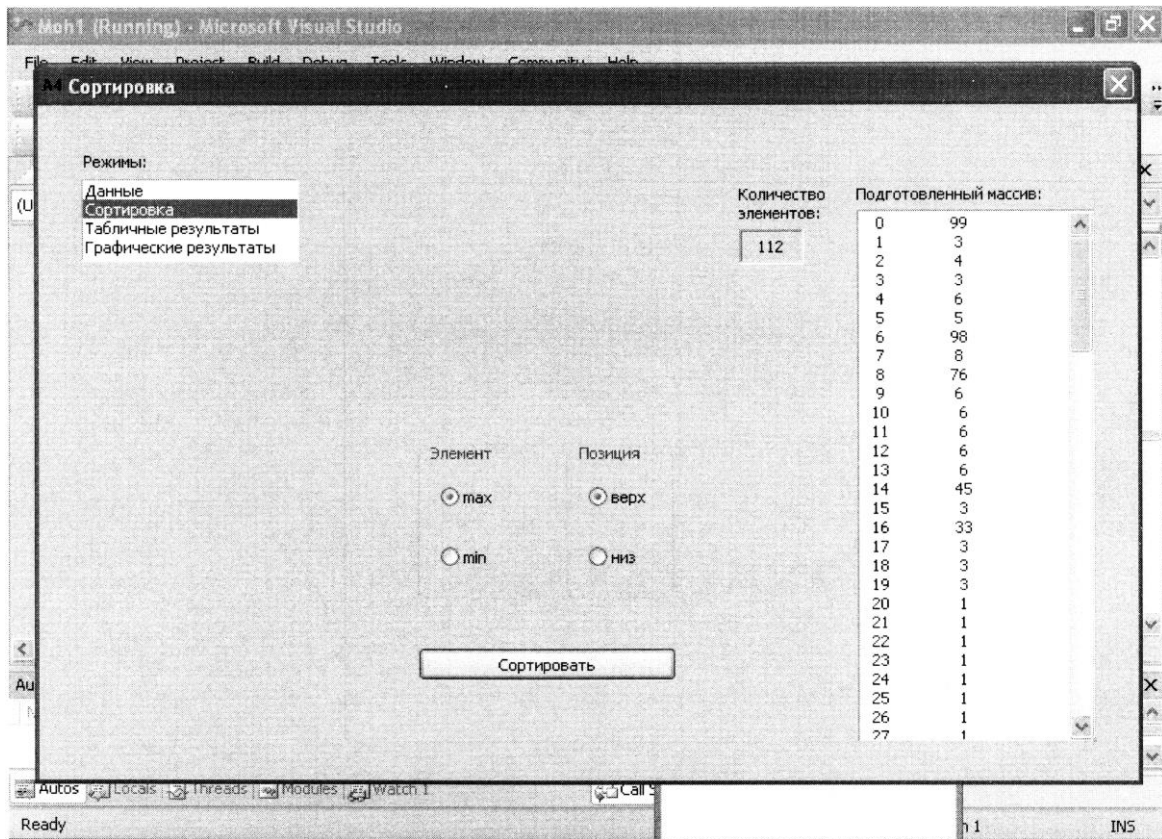


Рисунок 3 – Вікно вибору способу введення додаткового елемента в масиві (підготовка масиву)

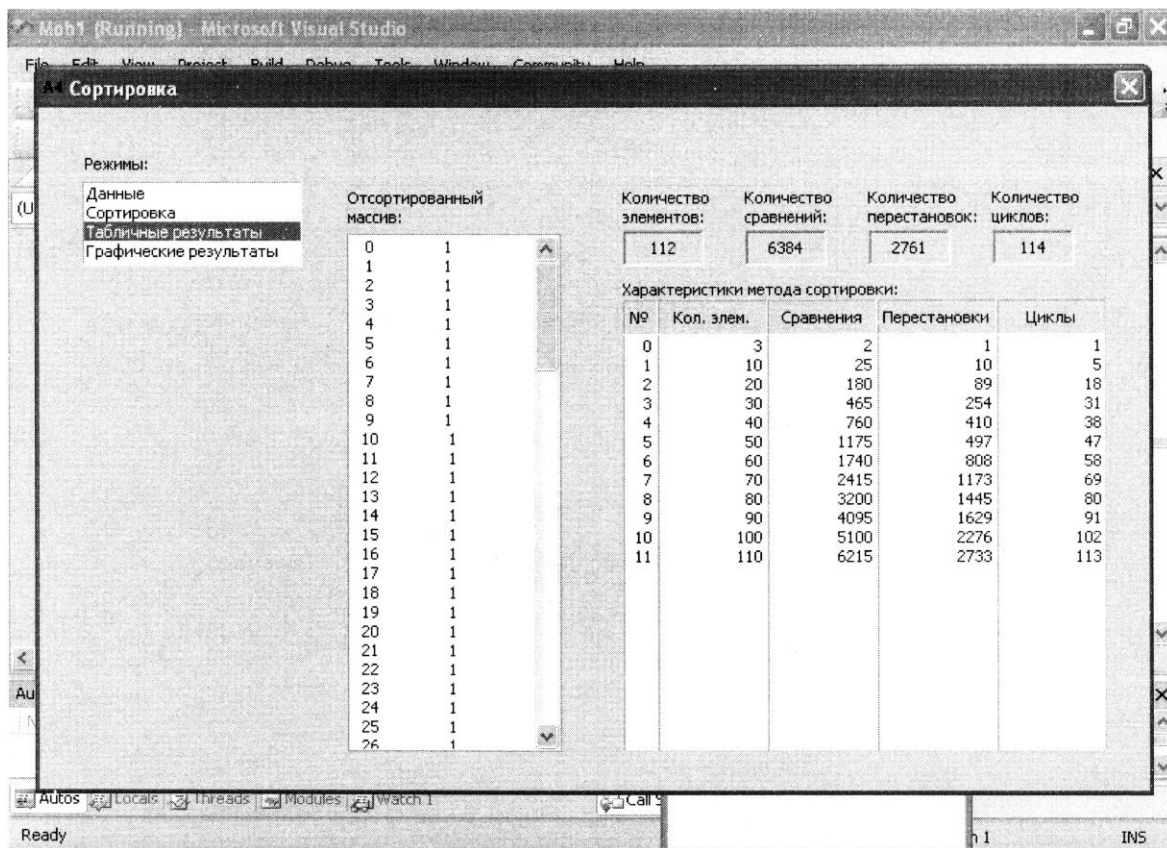


Рисунок 4 – Вікно з виводом табличних результатів

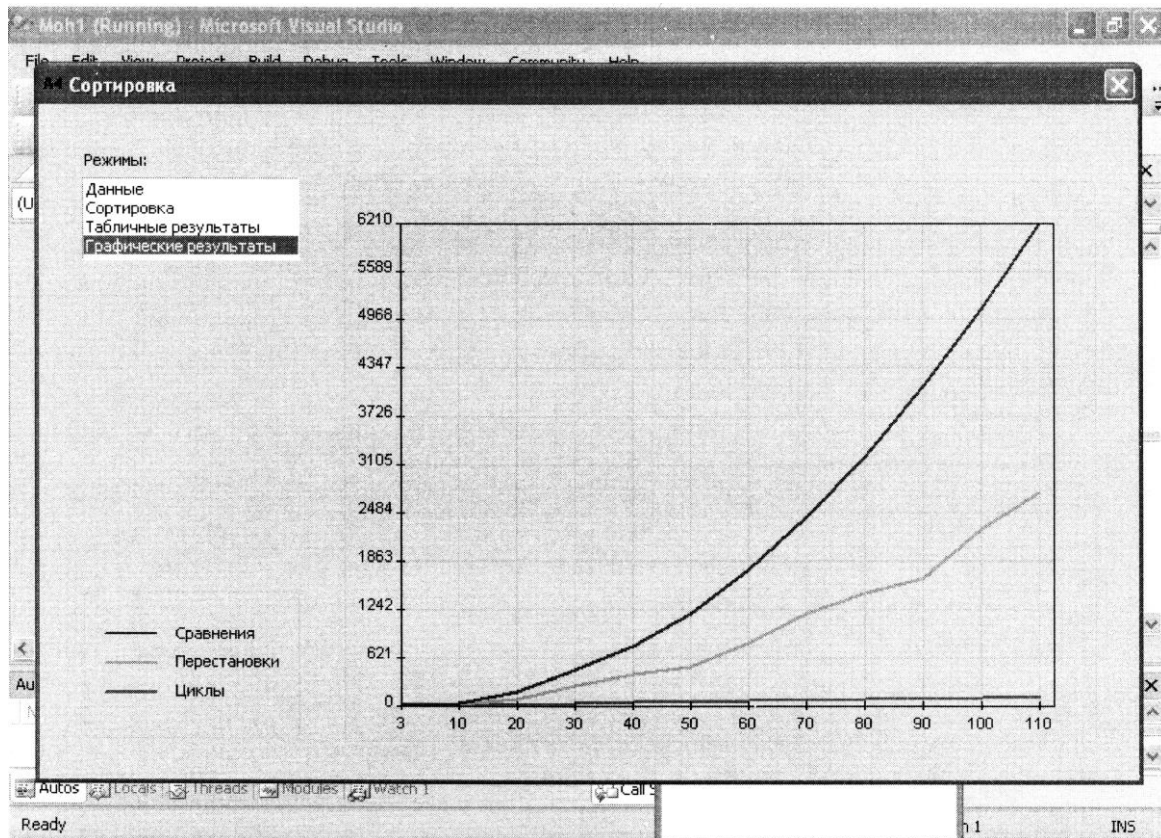


Рисунок 5 – Вікно з виводом графічних результатів

### Висновки

1. Розроблені програми моделювання алгоритму сортування на мові високого рівня C++ дозволяють проаналізувати кількість циклів для методу попарного обміну в класичному (лінійному) варіанті і при додаванні  $\min/\max$  елемента в  $\min/\max$  позицію (кільцевому варіанті), а також представити результати у вигляді графіків. Це дозволяє в подальшому розрахувати швидкодню мережевої моделі сортування на конкретній елементній базі, наприклад, на ПЛІС.

2. Аналіз графічних результатів моделювання свідчить про залежність виду  $O(n)$  між кількістю циклів сортування і розмірністю  $n$  вхідного масиву, а також, підтверджує ефективність апаратної реалізації сортування попарним обміном на сортуючій мережі за рахунок регулярності структури і зв'язків в процесі сортування.

3. Можливість статистично визначити не тільки кількість циклів сортування при заданій розмірності масиву чисел, але і відповідну кількість порівнянь і переміщень значно розширює можливості поліпшення відомих і створення нових способів синхронного сортування елементів лінійного масиву апаратно у вигляді сортуючої мережі.

### Список літератури

- [1] Д.Э.Кнут, Искусство программирования. Т.3. Сортировка и поиск. М., Россия: Издательский дом «Вильямс», 2003.
- [2] Е.А.Яценко, «Регулярные схемы алгоритмов адресной сортировки и поиска», Управляющие системы и машины, №5, с.61-66. 2004.
- [3] Однокристалльный ассоциативный процессор САМ 2000, [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://data.mf.grsu.by/citforum/htdocs/hardware/vich\\_sist/index.shtml](http://data.mf.grsu.by/citforum/htdocs/hardware/vich_sist/index.shtml) Дата звернення: Травень. 15, 2019.
- [4] К.Дж.Тербер, Архитектура высокопроизводительных вычислительных систем. М., Россия: Гл.ред. физ-мат. Лит-ры, 1985.
- [5] В.П.Гергель, и Р.Г.Стронгин, Основы параллельных вычислений для многопроцессорных вычислительных систем. Нижний Новгород, Россия: Изд-во ННГУ им. Н.Лобачевского, 2003.

- [6] Е.Ф.Очин, Вычислительные системы обработки изображений. Л., Россия: Энергоатомиздат. Ленингр.отд-ние, 1989.
- [7] Хранение и сортировка адресов IP, [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.compodoc.ru/sort/index.html> Дата звернення: Травень. 17, 2019.
- [8] Алгоритмы. Сортировка и операции с упорядоченными последовательностями, [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://alglib.chat.ru/sort/index.html> Дата звернення: Травень. 10, 2019.
- [9] В.Р.Григорьев, «Нейросетевая организация алгоритмов сортировки на трехмерном оптическом нейрочипе», Автотометрия, №3, с.28-37. 1993.
- [10] Г.Лорин, Сортировка и системы сортировки. М.,Россия: Мир, 1983.
- [11] В.Мдовгань, В.А.Титенко, С.В.Выдрина, и Б.В.Клюйков, «Устройство для сортировки чисел», Патент России G06F7/08. №2246750 МКИ (2005), 20.02.2005.
- [12] Т.Б.Мартинюк, і В.В.Хом'юк, «Оцінювання ефективності алгоритмів мультиобробки масивів даних», Вісник Вінницького політехнічного інституту, №5, с.76-82. 2005.
- [13] Т.Б.Мартинюк, А.В.Кожем'яко, А.І.Колівошко, і О.В.Карась, «Дослідження ефективності кільцевої сортувальної мережі», Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія, №1, с.68-71. 2015.
- [14] V.P.Kozhemyako, T.B.Martynyuk, R.A.Rasenko, and I.L.Pekhan, "Structure of Optoelectronic Sorting Memory", Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології, №1(3), с. 26-29. 2002.
- [15] Т.Б.Мартинюк, Мохамед Салем Нассер Мохамед, і В.В.Власійчук, «Модель сортувальної мережі», Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія, №3, с.217-220. 2005.
- [16] Т.Б.Мартинюк, Л.В.Огороднійчук і Мохамед Салем Нассер Мохамед, «Оптимізований опис алгоритмів мультиобробки у базисі систем алгоритмічних алгебр Глушкова», Вісник Вінницького політехнічного інституту, №6, с.162-165. 2006.
- [17] В.П.Кожемяко, Т.Б.Мартинюк, і В.В.Хом'юк, «Особенности структурного программирования синхронных алгоритмов», Кибернетика и системный анализ, №5, с.122-133. 2006.
- [18] Джесс. Либерти, С++ Энциклопедия. М.,Россия: Издательство ДиаСофт, 2000.
- [19] Р.Сэдживик, Фундаментальные алгоритмы на С++. Анализ/Структуры данных/Сортировка/Поиск. СПб.,Россия: ООО «ДиаСофтЮП», 2002.

Стаття надійшла: 10.06.2019

#### References

- [1] D.E.Knut, Iskusstvo programmirovaniya. T.3. Sortirovka i poisk. M., Rossiya: Izdatelskiy dom «Vilyams», 2003.
- [2] E.A.Yatsenko, «Regulyarnyie shemyi algoritmov adresnoy sortirovki i poiska», Upravlyayuschie sistemy i mashiny, #5, s.61-66. 2004.
- [3] Odnokristalnyiye assotsiativnyiy protsessor SAM 2000, [Elektronniy resurs]. Rezhim dostupu: [http://data.mf.grsu.by/citforum/htdocs/hardware/vich\\_sist/index.shtml](http://data.mf.grsu.by/citforum/htdocs/hardware/vich_sist/index.shtml) Data zvernennya: Traven. 15, 2019.
- [4] K.Dzh.Terber, Arhitektura vyisokoproizvoditelnyih vyichislitelnyih sistem. M., Rossiya: Gl.red. fiz-mat. Lit-ryi, 1985.
- [5] V.P.Gergel, i R.G.Strongin, Osnovyi parallelnyih vyichisleniy dlya mnogoprotsessornyih vyichislitelnyih sistem. Nizhniy Novgorod, Rossiya: Izd-vo NNGU im. N.Lobachevskogo, 2003.
- [6] E.F.Ochin, Vyichislitelnyie sistemy obrabotki izobrazheniy. L., Rossiya: Energoatomizdat. Le-ningr.otd-nie, 1989.
- [7] Hranenie i sortirovka adresov IP, [Elektronniy resurs]. Rezhim dostupu: <http://www.compodoc.ru/sort/index.html> Data zvernennya: Traven. 17, 2019.
- [8] Algoritmyi. Sortirovka i operatsii s uporyadochennyimi posledovatel'nostyami, [Elektronniy re-surs]. Rezhim dostupu: <http://alglib.chat.ru/sort/index.html> Data zvernennya: Traven. 10, 2019.
- [9] V.R.Grigorev, «Neyrosetevaya organizatsiya algoritmov sortirovki na trehmernom opticheskom neyrochipe», Avtometriya, #3, s.28-37. 1993.
- [10] G.Lorin, Sortirovka i sistemy sortirovki. M.,Rossiya: Mir, 1983.
- [11] V.Mdovgan, V.A.Titenko, S.V.Vyidrina, i B.V.Klyuykov, «Ustroystvo dlya sortirovki chisel», Patent Rossii G06F7/08. #2246750 MКИ (2005), 20.02.2005.
- [12] T.B.Martynyuk, I V.V.Hom'yuk, «OtsInyuvannya effektivnostI algoritmIv multiobrobki masivIv danih», VIsnik VInnitskogo polItehnIchogo Institutu, #5, s.76-82. 2005.
- [13] T.B.Martynyuk, A.V.Kozhem'yako, A.I.Kollvoshko, I O.V.Karas, «DosIldzhennya effektivnostI kItsevoYi sortuvalnoYi merezhI», InformatsIynI tehnologIYiYi ta komp'yuterna InzhenerIya, #1, s.68-71. 2015.
- [14] V.P.Kozhemyako, T.B.Martynyuk, R.A.Rasenko, and I.L.Pekhan, "Structure of Optoelectronic Sorting Memory", Optiko-elektronni InformatsIyno-energetichni tehnologIYi, #1(3), s. 26-29. 2002.

- [15] Т.В.Мартинюк, Mohamed Salem Nasser Mohamed, I V.V.Vlaslychuk, «Model sortuvalnoYi merezhl», InformatsIynI tehnologIYiYi ta komp'yuterna InzhenerIya, #3, s.217-220. 2005.
- [16] Т.В.Мартинюк, L.V.Ogorodnychuk I Mohamed Salem Nasser Mohamed, «OptimIzovaniy opis algoritmIv multiobrobki u bazisI sistem algoritmIchnih algebr Glushkova», VIsnik VInnitskogo po-ItehnIchnogo Institutu, #6, s.162-165. 2006.
- [17] V.P.Kozhemyako, T.B.Martyinyuk, i V.V.Homyuk, «Osobennosti strukturnogo programmirovaniya si-nhronnyih algoritmov», Kibernetika i sistemnyi analiz, #5, s.122-133. 2006.
- [18] Dzhess. Liberti, S Entsiklopediya. M.,Rossiya: Izdatelstvo DiaSoft, 2000.
- [19] R.Sedzhvik, Fundamentalnyie algoritmyi na S . Analiz/Strukturyi dannyih/Sortirovka/Poisk. SPb.,Rossiya: OOO «DiaSoftYuP», 2002.

**Мартинюк Тетяна Борисівна** - д.т.н., професор кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет;

**Черняк Олександр Іванович** - к.т.н., доцент кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет;

**Круківський Богдан Ігорович** - магістр факультету комп'ютерних систем і автоматики, Вінницький національний технічний університет.

**Мохамед Салем Нассер Мохамед** - к.т.н., викладач Аденського університету, Ємен.

T. B. Martyniuk, O. I. Chernyak, B. I. Krukivskyi, Mohamed Salem  
Nasser Mohamed

## **COMPUTATIONAL COMPLEXITY OF THE NETWORK MODEL OF SORTING OF A LINEAR NUMBER ARRAY**

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsa

T. B. Мартынюк, А. И. Черняк, Б. И. Круковский, Мохамед Салем  
Нассер Мохамед

## **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СЛОЖНОСТЬ СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ СОРТИРОВКИ ЛИНЕЙНОГО МАССИВА ЧИСЕЛ**

Винницкий национальный технический университет, г.Винница

### **ДО ВІДОМА АВТОРІВ**

Найновіші правила оформлення і подання статей знаходяться на сайті журналу

<http://itce.vntu.edu.ua/>