

МЕТОДИ ПАРАЛЕЛЬНОЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ І ОЦІНКИ ЇХ ПОТЕНЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

к.т.н. О.І. Богатов, к.т.н. Ю.В. Кулявець, к.т.н. Д.П. Лабенко,
к.в.н. В.А. Молодцов
(подав д.т.н., проф. Є.І. Бобир)

Отримані оцінки потенційної ефективності методів паралельної і мультипаралельної обробки інформації та видані рекомендації щодо доцільності паралельної реалізації алгоритмів АСУ на основі оптимального поєднання методів паралельної обробки інформації.

Вступ. Одним з основних шляхів удосконалення технічних характеристик (ТХ) обчислювальних систем (ОС) в системах реального часу є раціональне використання паралельної обробки інформації, оцінки ефективності їх застосування для різних алгоритмів АСУ, розробка методів формалізованого синтезу паралельних ОС для АСУ, створення засобів автоматизації проектування паралельних ОС із заданими ТХ, що забезпечують підвищення тактико-технічних характеристик АСУ.

Постановка проблеми. Синтез високоефективних паралельних ОС для АСУ на наш погляд повинен базуватись на результатах оцінки ефективності застосування різних методів паралельної обробки інформації і виборі конкретних комбінацій методів паралелізму для реалізації заданих алгоритмів АСУ [1 – 3]. Вирішення цієї задачі вимагає, у першу чергу, вибору показників ефективності ОС при реалізації паралельних алгоритмів, з одного боку, і аналізу потенційної ефективності відомих методів паралельної обробки інформації, з іншого.

Аналіз літератури. Для кількісної оцінки ефективності паралельної реалізації алгоритмів АСУ використовуються такі показники [4, 5]:

- загальні системні показники – зважена пріоритетами різних заявок пропускну спроможність АСУ і вартісний показник ефективності реалізації комплексу алгоритмів АСУ;
- основні часткові показники – середній час реалізації комплексного алгоритму (КА), середня ширина спектру інформації, яка оброблюється, коефіцієнт зниження тимчасових витрат реалізації КА, вартісний коефіцієнт збільшення ширини спектру інформації, яка оброблюється.

Відомі паралельні ОС характеризуються використанням тільки двох традиційних методів паралельної обробки: об'єднання незалежних операцій (глобальний паралелізм) і конвеєрної обробки. Практично не знайшли застосування у ОС декомпозиційний метод, метод обробки суміші алгоритмів і не використовуються методи мультипаралельної обробки інформації, засновані на використанні нових методів паралелізму і їх раціонального об'єднання [3]. Однак, у зв'язку з високою ефективністю, яка досягається за рахунок застосування всіх методів паралельної обробки і забезпечення 100%-го завантаження устаткування, вони можуть знайти широке використання в перспективних багатопроесорних комплексах, нейрокомп'ютерних системах тощо.

Таким чином, дослідження потенційної ефективності всіх методів паралельної обробки інформації і їх оптимального об'єднання на сучасному етапі є актуальною задачею.

Метою статті є одержання оцінок потенційної ефективності методів паралельної і мультипаралельної обробки інформації та видача рекомендацій щодо доцільності паралельної реалізації алгоритмів АСУ на основі оптимального поєднання методів паралельної обробки інформації.

Оцінка потенційної ефективності глобального паралелізму. Досяжний ступінь глобального паралелізму і скорочення часу розв'язання визначаються для кожної конкретної задачі складом операцій алгоритму та їх інформаційно-управляючими зв'язками [4, 6].

Можна виділити два полярні варіанти алгоритмів у цьому плані:

- а) алгоритми, які складаються із незалежних операцій, що допускають одночасне виконання всіх операцій алгоритму (алгоритми 1-го класу);
- б) алгоритми, в яких інформаційні і (чи) управляючі зв'язки між операціями визначають початок виконання лише однієї операції на кожен момент часу після виконання попередньої операції (алгоритми 2-го класу).

Для алгоритмів 1-го класу зменшення часу виконання алгоритму пропорційно кількості процесорів, тобто ступеня глобального паралелізму; для алгоритмів 2-го класу характерними є незмінність часу реалізації алгоритмів при збільшенні кількості устаткування (процесорів). Реальні алгоритми більшості практичних задач займають проміжне місце між цими двома граничними випадками. Будемо вважати їх алгоритмами 3-го класу.

Потенційні оцінки часу розв'язання задач (реалізації алгоритму в умовних одиницях) $T_{\text{реал}}$, виграшу ΔT в часі реалізації глобально-паралельних алгоритмів у порівнянні з їх послідовною реалізацією в залежності від кількості процесорів N , коефіцієнта завантаження устаткування S і залежності коефіцієнта ефективного розпаралелювання R від N представлені в [6].

Ширина спектра інформації, що обробляється, визначається шириною смуги пропускання ОС. При реалізації алгоритмів з використанням глобального паралелізму ширина смуги пропускання обчислювальних засобів F визначається часом реалізації алгоритмів $T_{\text{реал}} (F = 1/T_{\text{реал}})$, залежним від числа операцій, які одночасно виконуються багатопроцесорним комплексом (тобто числа процесорів у складі цифрових засобів). Аналіз області зміни $T_{\text{реал}}$ при реалізації КА з використанням глобального паралелізму дозволяє оцінити ширину спектра інформації, яка обробляється в залежності від числа процесорів у складі ОС.

Залежності ширини спектра інформації, яка обробляється, F , зміни ширини спектра ΔF глобально-паралельних алгоритмів у порівнянні з їх послідовною реалізацією і коефіцієнта збільшення ширини спектра $G(P)$ від числа процесорів N у складі ОС при реалізації алгоритмів 1-го (рис. 1, а), 2-го (рис. 1, б) і 3-го класу (рис. 1, в) представлені на рис. 1.

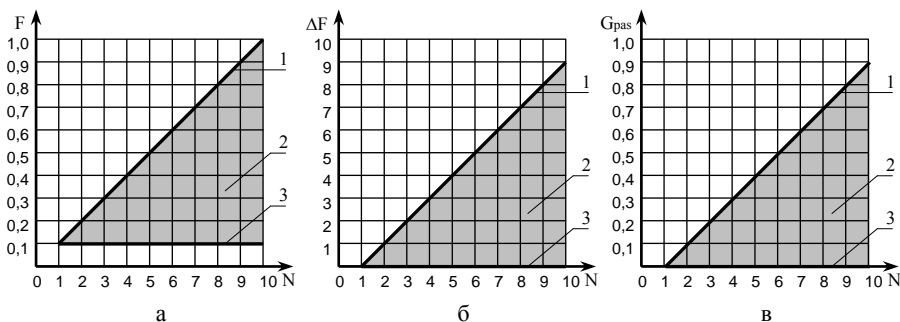


Рис. 1. Залежність ширини спектра інформації, яка обробляється, від N

Потенційні оцінки показників ефективності $\Delta T, S, R, F, \Delta F$ і G дозволяють зробити такі висновки:

а) показники ефективності глобально-паралельної реалізації алгоритмів можуть змінюватись в широких межах. Ці межі визначаються складом операцій, що входять в алгоритм, і наявними інформаційно-управляючими зв'язками між операціями алгоритму;

б) доцільність застосування методу глобально-паралельної обробки повинна оцінюватись для конкретних алгоритмів.

Оцінка потенційної ефективності конвексної обробки. Час виконання K алгоритмів при їх послідовній реалізації $T_a(K) = K \cdot T_a$, де T_a – час реалізації одного алгоритму. Час конвексного виконання алго-

ритмів $T_{\text{кон}} = T_a + (K-1) \cdot \Delta T$, де ΔT – інтервал конвеєрності, який визначається на основі заданих вимог до сумарного часу реалізації КА $T_a(K)$ чи ширині спектра інформації, яка обробляється, $F_{\text{кон}}$. Тому вигреш у часі реалізації K алгоритмів визначається співвідношенням (приймається, що перехід до конвеєрної обробки несуттєво збільшує час реалізації одного алгоритму)

$$T_a(K) / T_{\text{кон}} = T_a(K) / T_a + (K-1) \cdot \Delta T = 1 / (1/K + \Delta T / T_a).$$

Дані залежності $T_a(K) / T_{\text{кон}} = f(T_a / \Delta T, 1/K)$ представлені в [7].

При реалізації алгоритмів на основі конвеєрного методу ширина спектра інформації, яка обробляється, визначається шириною смуги пропускання конвеєрного ступеня, який має її найменше значення [8]:

$$F_{\text{кон}}(P) = \min_{\mu} F_{\mu},$$

де μ – кількість конвеєрних ступенів, що входять до складу ОС, які реалізують заданий КА; F_{μ} – ширина смуги пропускання μ -го конвеєрного ступеня.

Вигреш у ширині спектра інформації, яка обробляється, при реалізації множини з K алгоритмів, реалізованих на основі конвеєрного методу обробки, визначається співвідношенням

$$\frac{F_{\text{кон}}(K)}{F_a(K)} = \frac{1/\Delta T}{1/T_a} = \frac{T_a}{\Delta T}.$$

Коефіцієнт використання устаткування конвеєра, що містить $T_a / \Delta T$ ступенів з інтервалом конвеєрності ΔT , визначається на інтервалі часу реалізації K алгоритмів (з часом виконання T_a) співвідношенням

$$S = K / (T_a / \Delta T + K - 1).$$

Це співвідношення виходить з урахуванням того, що коефіцієнт використання устаткування при конвеєрній обробці визначається як відношення кількості ступенів, які фактично використовуються при конвеєрі з $T_a / \Delta T$ ступенями на інтервалі $T_a(K) = T_a + (K-1) \cdot \Delta T$ до сумарної кількості ступенів, що можуть бути задіяні на цьому інтервалі. Сумарна кількість ступенів, що може бути використана на інтервалі $T_a(K)$, дорівнює добутку $T_a / \Delta T + K - 1$ на $T_a / \Delta T$, а кількість ступенів, які фактично використовуються на цьому часовому інтервалі, дорівнює

$$S = \frac{(T_a / \Delta T + K - 1) \cdot T_a / \Delta T - T_a / \Delta T \cdot (T_a / \Delta T - 1)}{(T_a / \Delta T + K - 1) \cdot T_a / \Delta T}.$$

Приклади залежностей $S = f(T_a / \Delta T)$ для значень $K = 1, 2, 4, 6$, які реалізовані на основі конвеєрного методу обробки, представлені в [7, 8].

Ці залежності дозволяють зробити такі висновки:

а) при зменшенні значення ΔT інтервалу конвеєрності (і фіксованому значенні часу реалізації алгоритмів T_a) має місце збільшення значення виграшу в часі реалізації сукупності алгоритмів і значення виграшу в ширині спектра інформації, яка обробляється;

б) при збільшенні відношення $T_a / \Delta T$ (за рахунок зменшення ΔT) значення коефіцієнта використання устаткування конвеєра збільшується;

в) більшим значенням числа K алгоритмів, реалізованих за допомогою конвеєра, відповідають більші значення коефіцієнта використання устаткування (за інших рівних умов);

г) доцільність застосування методу конвеєрної обробки і раціональні значення параметрів ΔT , K повинні оцінюватись на етапі підготовки конкретних алгоритмів до розв'язання, на основі заданих вимог до сумарного часу реалізації $T_a(K)$ алгоритмів і ширині смуги пропускання конвеєрного тракту обробки інформації.

Оцінки ефективності кодово-матричного методу паралельної обробки. На відміну від раніше розглянутих методів, кодово-матричний метод характеризується збереженням послідовного характеру виконання операцій алгоритмів, але зменшенням часу реалізації алгоритмів за рахунок скорочення часу виконання основних операцій алгоритмів (додавання, віднімання, ділення). Як показує аналіз [1, 3, 6], перехід до представлення результату операцій групового додавання дворядковими кодовими матрицями призводить, у порівнянні з випадком представлення результату однорядним кодом, до скорочення часу виконання операції для $N = 256$ при $m = 8$ у 1,4 рази і при $m = 64$ у 5,4 рази, для $N = 16$ при $m = 8$ у 1,6 рази і при $m = 64$ у 10,6 рази (де N – кількість чисел в операції додавання, а m – їх розрядність). Зменшення часу виконання операції множення складає при $m = 16$ – 6 разів, при $m = 64$ – 13,7 рази.

Ефективність реалізації алгоритмів на основі кодово-матричного методу визначається наступними факторами:

а) значеннями величин скорочення часу виконання операцій різних типів, що досягаються на основі кодово-матричного методу;

б) процентним співвідношенням операцій різних типів в алгоритмах розв'язуваних задач.

У зв'язку з тим, що операції додавання (віднімання) і множення входять як основні компоненти до більш складних операцій (ділення, обчислення значень функцій), то для таких операцій (з невеликими варіаціями) зберігаються представлені результати виграшу в часі виконання.

Ширина спектра інформації, яка обробляється, при реалізації КА на основі кодово-матричного методу паралельної обробки визначається шириною смуги пропускання найбільш вузькополосних апаратних компонентів зі складу ОС, що має найменше значення:

$$F(P) = \min_{d_i \in D} F_i,$$

де $D = \{d_i\}$ – множина типів апаратних компонентів, що входять до складу ОС, які реалізують заданий КА; F_i – ширина спектра обробки інформації апаратного компонента i -го типу.

Таким чином, виграш у ширині спектра інформації, яка обробляється, визначається такими факторами:

а) складом операцій у КА, які визначають набір апаратних компонентів із ОС, необхідних для його реалізації;

б) значеннями ширини смуги пропускання апаратних компонентів.

Відзначимо, що кодово-матричний метод може використовуватись в поєднанні із будь-якою сукупністю методів паралельної обробки інформації, що утворює мультипаралельну обробку даних.

Оскільки сам кодово-матричний метод впливає лише на процес виконання кожної із операцій, коефіцієнт використання устаткування при застосуванні цього методу залишається таким же, яким він був при організації обчислень однорядних кодів чисел (при послідовному, глобально-паралельному, конвеєрному виконаннях алгоритму чи спільному застосуванні глобально-конвеєрної обробки).

Оцінка ефективності декомпозиційного методу паралельної обробки. Декомпозиційний метод паралельної обробки принципово відрізняється від конвеєрної обробки тим, що при конвеєрній обробці різні дані "проходять" через одні і ті ж суміжні обробні пристрої (ступені конвеєра) рознесені в часі на інтервал конвеєрності ΔT_k , а при декомпозиційній обробці різні дані "проходять" об'єднання із зсувом на інтервал введення ΔT різними однотипними обробними пристроями [9, 10]. Це пов'язано з тим, що для організації декомпозиційної обробки інформації декомпозиційні пристрої виконання різних операцій повинні містити у своєму складі K_d стандартних пристроїв відповідного типу (для кожної операції), де $K_d^H = \Delta T_\mu / \Delta T$. Тут ΔT_μ – власне час виконання m -ї операції стандартним пристроєм, ΔT – необхідний інтервал введення. При цьому забезпечується 100%-е завантаження всіх декомпозиційних пристроїв різних типів (тобто 100%-е завантаження всіх стандартних апаратних компонентів, які вводяться в декомпозиційну структуру).

Розрахункові співвідношення для оцінки часу реалізації алгоритмів і величини скорочення часу виконання алгоритмів, у випадку декомпозиційного методу мають наступний вигляд

$$\frac{T_a(K)}{T_{дек}(K)} = \frac{T_a \cdot K}{T_a + (K-1) \cdot \Delta T} = \frac{1}{1/K + \Delta T/T_a - \Delta T/(T_a \cdot K)} \cdot \frac{1}{1/K + \Delta T/T_a},$$

де $T_a(K)$ – час виконання K алгоритмів при їх послідовній реалізації; $T_{дек}(K)$ – час виконання K алгоритмів при декомпозиційному методі обробки; ΔT – інтервал введення даних при декомпозиційному методі обробки.

Дані співвідношення подібні раніше отриманим аналогічним розрахунковим співвідношенням для конвеєрного методу. Абсолютні оцінки, забезпечувані декомпозиційним методом щодо скорочення часу виконання алгоритмів, перевершують аналогічні оцінки для випадку конвеєрної обробки. Це обумовлено тим, що значення ΔT інтервалу введення даних при декомпозиційному методі від 5 до 10 разів менше значень інтервалу введення ΔT_k , що досягаються при конвеєрній обробці. На рис. 2 представлені залежності виграшу в часі реалізації K алгоритмів (у порівнянні з їх послідовною реалізацією) для конвеєрної обробки (пунктирна лінія), і для декомпозиційного методу обробки (суцільна лінія), з урахуванням співвідношення $\Delta T = \Delta T_k / K_d$ чи

$$\Delta T_k = K_d \cdot \Delta T, \text{ де } K_d = 5..10.$$

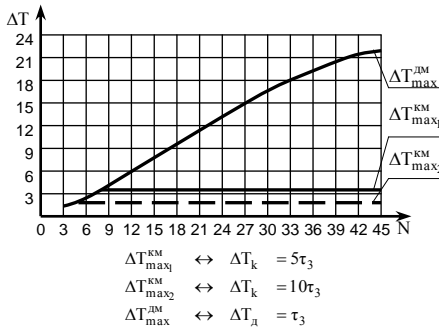


Рис. 2. Виграш в часі

Значення інтервалу введення вихідних даних при декомпозиційному методі обробки визначається на підставі заданих вимог до сумарного часу реалізації KA чи до ширини спектра інформації, яка обробляється, ΔF чи обома вимогами відразу.

Абсолютні оцінки, які забезпечуються декомпозиційним методом щодо збільшення ширини спектра інформації, яка обробляється, вищі за аналогічні оцінки для випадку конвеєрної обробки. Це обумовлено тим, що ширина спектра інформації, яка обробляється, при даному методі обробки визначається, в основному, шириною смуги пропускання комутаційних елементів, які входять до складу ОС, що реалізують KA .

На рис. 3 представлені залежності збільшення ширини спектра інформації, яка обробляється, при реалізації KA (у порівнянні з їх послідовною

реалізацією) за рахунок конвеєрної обробки (пунктирна лінія) і декомпозиційної обробки (суцільна лінія), з урахуванням співвідношення $\Delta F_d = \Delta F_k \cdot K_d$ чи $\Delta F_k = \Delta F_d / K_d$, де ΔF_k і ΔF_d – збільшення ширини спектра інформації, яка обробляється, відповідно при конвеєрному і декомпозиційному методах обробки.

При паралельній реалізації КА декомпозиційна обробка може одночасно застосовуватися з будь-яким іншим методом паралельної обробки, включаючи конвеєрний метод, чи будь-якою сукупністю методів паралелізму, що входить у мультипаралельну обробку інформації.

Оцінка ефективності мультипаралельної обробки інформації при реалізації суміші алгоритмів. Розглянемо оцінки потенційної ефективності мультипаралельної обробки інформації.

Задача ставиться таким способом.

Вихідна інформація:

- а) оцінки потенційної ефективності монопаралельної обробки стосовно до основних методів паралелізму;
- б) розглядається загальний випадок мультипаралельної реалізації суміші алгоритмів;
- в) при виконанні кожного алгоритму суміші передбачається використання всіх основних методів паралелізму;
- г) як показники потенційної ефективності мультипаралельної суміші алгоритмів використовуються $T_{мп}$, $\Delta T_{мп}$, $F_{мп}$, $\Delta F_{мп}$.

При одержанні оцінок було прийнято, що $N_{гп}$ – число процесорів при глобальному паралелізмі, $N_{кон} = K_{кон}$ – число процесорів при конвеєрній обробці, $N_{дк} = K_{дк}$ – число процесорів при декомпозиційній обробці, де $K_{кон}$, $K_{дк}$ – значення коефіцієнтів конвеєрності і декомпозиції відповідно.

При використанні кодово-матричного методу паралельної обробки інформації було прийнято, що $N_{кмм} = N_{гп}$ – число процесорів при кодово-матричній обробці інформації з мінімальним скороченням часу виконання операцій алгоритмів $\Delta T_{min}^{кмм} = 2,6$ і максимальним – $\Delta T_{max}^{кмм} = 64$. На рис. 4 представлені графіки $\Delta T^{мп} = f(N)$, $T^{мп} = f(N)$, $\Delta F^{мп} = f(N)$,

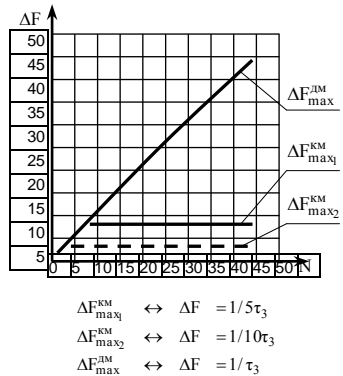


Рис. 3. Збільшення ширини спектра

$F^{MP} = f(N)$, потенційної ефективності мультипаралельної реалізації суміші алгоритмів.

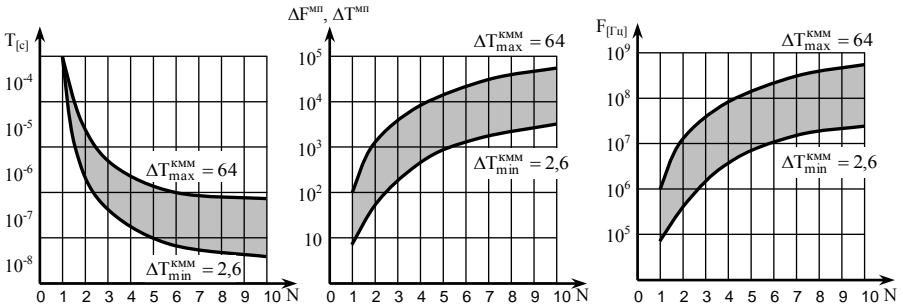


Рис. 4. Графіки потенційної ефективності мультипаралельної реалізації суміші алгоритмів

Висновки.

- Виконана оцінка монопаралельної обробки інформації показує, що:
 - для глобального паралелізму вигреш у часі виконання і розширенні спектра інформації, яка обробляється, складає 2 – 10 разів, (у загальному випадку вигреш нелінійно пов'язаний з числом процесорів);
 - для конвеєрного методу паралельної обробки вигреш у часі реалізації і ширині спектра складає 1,6 – 6,6 разів;
 - для кодово-матричного методу паралельної реалізації алгоритму вигреш у часі виконання і ширині спектра інформації, яка обробляється, складає 2,6 – 64 рази;
 - для декомпозиційного методу обробки при монопаралельній реалізації вигреш у часі реалізації і ширині спектра інформації, яка обробляється, складає 2 – 66 разів.
- Отримані потенційні оцінки щодо мультипаралельної реалізації суміші алгоритмів показують, що вигреш у часі реалізації алгоритмів і ширині спектра інформації, яка обробляється, складає 2340 – 57600 разів. Таким чином, спільне застосування всіх основних методів паралельної обробки дозволяє скоротити час реалізації і збільшити ширину спектра інформації, яка обробляється, від 2,6 – 64 до 2340 – 57600 разів;
- Важливе значення при створенні обчислювальних засобів АСУ має застосування декомпозиційного методу: він забезпечує вигреш у розширенні спектра інформації, яка обробляється, у 2 – 66 разів у порівнянні з глобальним паралелізмом, у 1,2 – 1,5 разів у порівнянні з локальним паралелізмом і в 5 – 10 разів у порівнянні з конвеєрною обробкою.

ЛІТЕРАТУРА

1. Поляков Г.А. Основы построения и автоматического проектирования самоорганизующихся систем параллельной цифровой обработки информации и повышение эффективности комплексов радиолокационного вооружения ПВО / Под общ. ред. проф. В.К. Стрельникова. – Х.: ВИРТА ПВО, 1986. – 571 с.
2. Поляков Г.А., Умрихин Ю.Д. Автоматизация проектирования сложных цифровых систем коммутации и управления. – М.: Радио и связь, 1988. – 304 с.
3. Поляков Г.А., Богатов О.И., Волокитина Е.Г. и др. Принципы построения и основные результаты разработки адаптивных самоорганизующихся ВК для АСУ ВСУ // Сб. научн. тр. ХВУ. – Х.: ХВУ. – 1995. – Вып. 2. – С. 13 – 23.
4. Богатов О.И., Поляков Г.А. Методы параллельной обработки информации и влияние их на время реализации алгоритмов // Информационные системы. – Х.: НАНУ, ПАНИ. – 1995. – С. 18 – 22.
5. Богатов О.И., Лабенко Д.П., Прокопенко И.И., Богатова В.В. Выбор показателей эффективности параллельной реализации алгоритмов // Системы обработки информации. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2003. – Вып. 3. – С. 34 – 44.
6. Богатов О.И., Волокитина Е.Г., Поляков Г.А. Методы параллельной обработки информации и повышение тактико-технических характеристик систем реального времени // НТС ХВУ. – Х.: ХВУ. – 1998. – № 15. – С. – 45 - 51.
7. Поляков Г.А., Тухто П.В. Формализованный метод преобразования алгоритмов обработки данных к параллельно-конвейерному виду // АСУ и приборы автоматики: – Х.: ХИРЭ. – 1992. – Вып. 101. – С. – 36 – 43. .
8. Тухто П.В. Методика синтеза функциональных структур цифровых специализированных параллельно-конвейерных процессоров // НТС ВИРТА. – Х.: ВИРТА. – 1991. – Вып. 28. – С. 187 – 192.
9. Богатов О.И. Метод функционального проектирования параллельно-декомпозиционных процессоров // НТС ВИРТА. – Х.: ВИРТА. – 1993. – Вып. 31. – С. 9 -13.
10. Богатов О.И., Поляков Г.А. Проектирование параллельно-декомпозиционных процессоров для специализированных АСУ // Проблемы передачи и обработки данных. – Х.: НАНУ, ПАНИ. – 1994. – С. – 63 – 71 .

Надійшла 7.04.2004

БОГАТОВ Олег Ігорович, канд. техн. наук, СНС, начальник науково-дослідного відділу Наукового центру Військ ППО. У 1990 році закінчив ВИРТА ППО. Область наукових інтересів – САПР, методи паралельної обробки інформації.

КУЛЯВЕЦЬ Юрій Владленович, канд. техн. наук, начальник науково-дослідного відділу Наукового центру Військ ППО. У 1987 році закінчив ЖВУРЕ ППО. Область наукових інтересів – обробка радіолокаційної інформації.

ЛАБЕНКО Дмитро Петрович, канд. техн. наук, доцент, начальник науково-дослідного відділу Наукового центру Військ ППО. У 1991 році закінчив ВИРТА ППО. Область наукових інтересів – автоматизовані системи управління і обробки інформації.

МОЛОДЦОВ Віктор Арсенійович, канд. воєн. наук, доцент, доцент кафедри ХВУ. У 1985 році закінчив ККА ППО. Область наукових інтересів – автоматизовані системи управління і обробки інформації.