

УДК 681.3:004.272

А.А. ЯРОВИЙ, І.Р. АРСЕНЮК, М.С. МАТЕЙЧУК, С.Г. КАШУБІН, Т.Д. ПОЛЬГУЛЬ
Вінницький національний технічний університет**ПАРАЛЕЛЬНО-ІЄРАРХІЧНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПЛЯМОПОДІБНИХ ЗОБРАЖЕНЬ
НА ОСНОВІ GPU-ОРІЄНТОВАНОЇ АПАРАТНОЇ ПЛАТФОРМИ**

В контексті розвитку теорії паралельно-ієрархічного перетворення розроблено моделі організації високопродуктивних паралельно-ієрархічних обчислювальних процесів, а також їх алгоритмічне та програмне забезпечення на базі GPU-орієнтованої апаратної платформи. Проаналізовано показники швидкодії запропонованих комп'ютерних засобів при обробленні та класифікації зображень профілю лазерного променя, що дозволяє забезпечити оброблення динамічних зображень в реальному часі.

Ключові слова: обробка зображень, паралельні обчислення, GPGPU, паралельно-ієрархічне перетворення.

A.A. YAROVYY, I.R. ARSENYUK, M.S. MATEICHUK, S.G. KASHUBIN, T.D. POLGUL
Vinnytsia National Technical University**PARALLEL-HIERARCHICAL TRANSFORMATION OF SPOT IMAGES
BASED ON THE GPU-ORIENTED ARCHITECTURE**

Development of a theory of parallel-hierarchic transformation allowed to produce models for high-performance parallel-hierarchical processes, as well as algorithms and software for their implementation based on the GPU-oriented architecture. The analyzed performance of suggested computerized tools for processing and classification of laser beam profile images allows to perform real-time processing of dynamic images.

Keywords: image processing; parallel processing; GPGPU; parallel-hierarchical transformation.

Вступ

Стрімкий перехід сучасних обчислювальних систем, систем управління на цифрові стандарти привів до необхідності обробляти з високою швидкістю надвеликі обсяги інформації. Актуальність даних досліджень та отриманих результатів найбільш характерна для систем, у яких необхідно здійснювати складну обробку сигналів, наприклад, фільтрацію, класифікацію, розпізнавання динамічно змінюваних відеоданих, що потребує застосування високопродуктивних обчислювальних систем.

Поширення лазерного випромінювання в атмосфері супроводжується значним набором явищ лінійної і нелінійної взаємодії. При цьому жодне з цих явищ не виявляється окремо. За якісними ознаками зазначені явища можна розділити на такі основні групи: рефракція променів лазерного пучка; поглинання енергії лазерного пучка атмосферними газами; розсіювання енергії лазерного пучка частками аерозолів на флуктуаціях щільності повітря та ін.; флуктуації параметрів лазерних пучків, обумовлені атмосферною турбулентністю. Кожна з перерахованих груп явищ взаємодії лазерного випромінювання з атмосферою може виявлятися в галузях як лінійної, так і нелінійної оптики. У той же час, кожна з цих груп має чіткі специфічні особливості, що повинні враховуватися при відповідних теоретичних і експериментальних дослідженнях [1]. На теперішній час у галузях лазерної обробки матеріалів, лазерній локації, оптичному зв'язку, поліграфії й інших областях техніки відчувається гостра необхідність більш широкого впровадження високопродуктивних обчислювальних систем з автоматичним коректуванням похибок формованого світлового випромінювання. Забезпечення прийнятної якості корекції вимагає безупинного динамічного контролю характеристик світлового випромінювання, наприклад його профілю, просторового розподілу його інтенсивності, у тому числі оцінки відхилення зазначеного розподілу від вихідного чи еталонного розподілу [2].

У проведених дослідженнях основну увагу було приділено розв'язанню однієї із задач профілювання – обробленню плямоподібних зображень профілю лазерного променя (отриманих із відеоряду) у реальному часі. Дана задача ґрунтується на використанні відомих методів моментних ознак, апроксимації, екстраполяції та ін. [3]. Разом з тим, дана задача являє собою організацію складного паралельного обчислювального процесу, з відображенням результатів ідентифікації та класифікації зображень, і формуванням та обробкою великих масивів цифрової інформації, зокрема, з координатами їх енергетичних центрів. Дані результати є важливою складовою частиною процесу профілювання лазерних променів. Але саме в цій задачі обґрунтовується, що існує гостра необхідність не суто організації обчислювального процесу та видачі цифрового масиву результатів, а використання можливостей і технологій високопродуктивних паралельних обчислень, а також в подальшому – візуалізації (відображення не тільки в 2D, але й в 3D; використання методів розпізнавання 3D-об'єктів) для відображення сутності змін, яких зазнає лазерний промінь, що природно приводить до підвищення ефективності як самого процесу профілювання, так і роботи експертів. Адже експерти, які працюють із програмними комплексами профілювання лазерного променя, ухвалюють рішення не лише щодо впливів зовнішнього середовища на промінь, а також про необхідність калібрування лазерної системи [2, 4]. Зважаючи на вищесказане, актуальними для різних прикладних задач є наукові розробки спрямовані на точне визначення характеристик профілю лазерного променя, а також координатних характеристик зображень лазерної траси в реальному часі. Тематика даних досліджень пов'язана з обласною Програмою "Розвитку інформаційних,

телекомунікаційних та інноваційних технологій в закладах освіти Вінницького регіону до 2015 року". Також, слід зазначити, що велика увага приділяється даному напрямку і в США, підтвердженням чого є наукові дослідження та програмно-апаратні розробки деяких провідних американських корпорацій, таких як Ophir-Spiricon Inc., Photon Inc., Coherent Auburn Group, а також у Європі – MS MacroSystems (Netherlands) PhaseView (France) тощо [5, 6].

При аналізі послідовності динамічних плямоподібних зображень (отриманих при обробленні відеорядів лазера), виникає проблема визначення центру проходження лазерного променя. Під впливом різноманітних атмосферних явищ зображення зрізу (у перпендикулярній до напрямку поширення лазерного променя площині) відеоряду лазера стає нечітким із "неправильною" формою, що постійно змінюється в часі [2, 3]. У зв'язку із цим, практично неможливо визначити без аналізу попередніх зображень у послідовності такий "енергетичний" центр (ЕЦ) $\alpha_e^i = (x_e^i, y_e^i)$ поточного (i -го) плямоподібного зображення профілю лазерного променя, що залишався би постійним при аналізі послідовності зображень $\Omega = (\omega_0, \dots, \omega_{N-1})$ даного відеоряду лазера. ЕЦ не повинен зміщуватися при аналізі відеоряду лазера, що явно не змінює свого напрямку. Отже, центр такого відеоряду лазера залишається постійним, тобто $\alpha_e^i = \alpha_e^{i-1}$, $i = 1..N - 1$, де N – кількість зображень у відеоряді лазера. У випадку зміни напрямку поширення розрахований ЕЦ плямоподібного зображення профілю лазерного променя повинен автоматично зміщуватися й адаптуватися під нове положення та характеристики променя.

При аналізі таких зображень широко використовуються такі підходи та методи як: знаходження центру зображення за допомогою абсолютних моментів 0-го та 1-го порядків, визначення координат енергетичного центра профілю лазерного променя на основі апроксимації крайових ліній, класифікація на базі нейронних мереж тощо. Проте, вони мають певні недоліки за критерієм швидкодії при обробленні зображень профілю лазерного променя із великою роздільною здатністю [3, 7]. Тому актуальною є задача розробки нових підходів до організації високопродуктивних паралельно-ієрархічних обчислювальних процесів для класифікації зображень профілю лазерного променя.

Алгоритмічне та програмне забезпечення паралельно-ієрархічного перетворення плямоподібних зображень на основі GPU-орієнтованої апаратної платформи

Зазначимо, що мережевий метод прямого паралельно-ієрархічного перетворення (ППП) з подальшим формуванням на його основі паралельно-ієрархічних обчислювальних систем (ППОС), детально описаний в

[8,9], полягає в послідовному застосуванні до початкових множин $\bigcup_{s=1}^S \mu_s$ по одному разу операторів G -перетворення і транспонування (T), а потім $(k-1)$ раз функціонала \hat{O} :

$$\hat{O}^k \left[T \left(G \left(\bigcup_{s=1}^S \mu_s \right) \right) \right] = \bigcup_{t=2}^k a_{11}^t, \tag{1}$$

де μ_s – початкові множини ($S = 1, 2, 3, \dots$), a_{11}^t – елементи розкладання початкових множин, одержувані по одному на кожному рівні, починаючи з другого.

Розглянемо реалізацію паралельно-ієрархічного перетворення плямоподібних зображень профілю лазерного променя на основі GPU-орієнтованої апаратної платформи з подальшою їх класифікацією [10].

Відповідно до описаної в [11] математичної моделі паралельно-ієрархічного перетворення для оброблення зображень та на основі запропонованого методу розпізнавання в ППОС на основі формування нормуючого рівняння розроблено схему алгоритму, який реалізує PPP та класифікацію зображень на основі паралельних GPU-систем. В ході алгоритму виконуються такі основні етапи.

1. Завантаження зображення розмірністю $n \times m$ в пам'ять обчислювальної системи (ОС), де відповідно n – висота, m – ширина зображення.

2. З метою прискорення швидкодії обчислень та оптимізації проміжних результатів PPP зберігатимемо лише дані про кожен піксель зображення, значення якого відмінне від нуля. Вказані дані зберігатимемо у власній програмній структурі, що містить три поля: значення (val), рядок (r), стовпець (c):

```
struct elem {
    int val, r, c;};
```

3. Введемо ще одну програмну структуру розмірністю $[n \times m]$, що містить максимально можливу кількість ненульових елементів матриці зображення і заповнимо її даними про кожен ненульовий елемент.

4. Введемо дві змінні L та R , відповідно ліва і права границя, в межах яких ми працюємо з нашим масивом даних. Ініціалізуємо їх (змінна $L=0$, а змінна R рівна кількості ненульових елементів).

Відповідно до виразу (1) в основі PPP є три операції: транспонування (T), G -перетворення (G), зсув (S). Розглянемо детальніше їх реалізацію на GPU.

4.1. Транспонування (T).

У масиві даних, в межах $[L, R]$, для кожного елемента паралельно змінюємо місцями значення рядка (r) та стовпця (c). Відповідно змінюємо місцями значення n та m . Отримані дані є транспонованими, проте

необхідно впорядкувати масив в межах $[L, R)$, оскільки можлива ситуація при якій буде неправильний порядок даних в масиві. Впорядковуємо масив в межах $[L, R)$ використовуючи таку логіку. Елемент A переде елементу B , якщо значення рядка елемента A менше, ніж значення рядка елемента B . У випадку їх рівності – значення стовпця A менше, ніж значення стовпця B . Операцію сортування виконуємо паралельно, використовуючи метод програмної бібліотеки `thrust::sort()` і власно створений компаратор.

4.2. G-перетворення (G).

Впорядковуємо масив у межах $[L, R)$ використовуючи вище описану логіку стосовно рядків матриці та процедуру сортування. Таким чином всі рядки матриці будуть впорядковані за зростанням. Для кожного рядка матриці паралельно підраховуємо, яку кількість елементів він містить. Вводимо змінну $sum = 0$.

Паралельно для кожного рядка матриці здійснюємо обчислення результатом яких є новоутворені елементи у перетвореній матриці. Вони визначаються як добуток елемента матриці на кількість ненульових елементів, тобто:

$$int\ tmp_val = (data[cur].val - sum) \times (row_cnt[i] - j).$$

Якщо в результаті перетворення утворюється ненульовий елемент, то записуємо його в рядок матриці та, відповідно, змінюємо значення суми:

$$sum += (data[cur].val - sum).$$

При цьому змінна R рівна сумі змінної L та кількості утворених ненульових елементів, а m – відповідно, максимальній кількості ненульових елементів в новоутворених рядках матриці. Процедуру знаходження максимального значення елемента в масиві виконуємо паралельно з використанням методу програмної бібліотеки `thrust::reduce()`.

4.3. Зсув (S).

Присвоюємо значення змінній $L = L + 1$. В масиві даних, в межах $[L, R)$, для кожного елемента до значення стовпця додаємо значення рядка та віднімаємо 1 (індексація з 0). Таким чином здійснюємо зсув i -го рядка. Процедуру додавання здійснюємо паралельно для кожної комірки масиву даних. В отриманому масиві даних, в межах $[L, R)$, паралельно знаходимо максимальне значення стовпця та присвоюємо m цьому значенню, з використанням методу програмної бібліотеки `thrust::reduce()`.

5. У результаті виконуємо копіювання отриманих та введених даних на GPU та виконаємо пряме ПП. ПП здійснюємо доти, доки в результаті оброблення не залишиться один елемент, тобто доки $L < R - 1$. Елементи в межах $(0, L]$ є хвостовими елементами (результатом прямого ПП).

6. Для класифікації плямоподібних зображень профілю лазерного променя застосуємо метод розпізнавання в ПІОС на основі формування нормуючого рівняння. Використовуючи властивість

інваріантності суми початкових елементів $(\sum_3 a_i)$ ПІОС до суми хвостових елементів $(\sum_{t=2}^k a_{11}^t)$ [8] складемо

систему рівнянь для одержання таких коефіцієнтів налаштування $w_1 \div w_{k-1}$ у вигляді (2), щоб можна було

сформувані нормуюче рівняння (3). У виразах (2) та (3) $\sum_{t=2}^k a_{11}^t$ – еталонні, $\sum_i a_i^k$, $a_{11}^2 \div a_{11}^k$ – поточні

складові (ознаки) зображення, що розпізнається. Для нормування результатів ПІОС з коефіцієнтами налаштування, що одержані на основі коефіцієнтів вигляду (2), використовуємо основну властивість ПІОС –

$\sum_{t=2}^k a_{11}^t = \sum_i a_i$ [8]. Тоді ліва частина нормуючого рівняння (3) представляє відношення суми добутоків

усереднених значень коефіцієнтів налаштування і хвостових елементів до суми хвостових елементів мережі, а права при правильному розпізнаванні – наближається до одиниці, тобто $d \rightarrow 1$. Ступінь цієї близькості до одиниці відбиває міру подібності розпізнаваних зображень і в ідеальному випадку при правильному розпізнаванні $d \approx 1$.

Використовуючи нормуюче рівняння (3), у якому $\bar{w}_1 = \bar{w}_2 = \dots = \bar{w}_{k-2} = \bar{w}_{k-1} = 1$, можна за експертно визначеним значенням d достатньо просто здійснити попередню процедуру класифікації зображень, а потім відповідно до системи (2) сформувані коефіцієнти налаштування $\bar{w}_1 \div \bar{w}_{k-1}$, тим самим здійснивши процедуру визначення вагових коефіцієнтів для кожного класу зображень.

$$\left. \begin{aligned}
 w_1 &= \frac{\sum_{t=2}^k a_{11}^t}{(a_{11}^2 + \sum_i a_i^2)} \\
 w_2 &= \frac{\sum_{t=2}^k a_{11}^t}{(a_{11}^3 + \sum_i a_i^3)} - \frac{w_1 a_{11}^2}{(a_{11}^3 + \sum_i a_i^3)} \\
 &\dots \\
 w_{k-2} &= \frac{\sum_{t=2}^k a_{11}^t}{(a_{11}^{k-1} + \sum_i a_i^{k-1})} - \frac{w_1 a_{11}^2 + w_2 a_{11}^3 + \dots + w_{k-3} a_{11}^{k-2}}{(a_{11}^{k-1} + \sum_i a_i^{k-1})} \\
 w_{k-1} &= \frac{\sum_{t=2}^k a_{11}^t}{(a_{11}^k + \sum_i a_i^k)} - \frac{w_1 a_{11}^2 + w_2 a_{11}^3 + \dots + w_{k-2} a_{11}^{k-1}}{(a_{11}^k + \sum_i a_i^k)}
 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$d = \frac{\overline{w_1} a_{11}^2}{\sum_{t=2}^k a_{11}^t} + \frac{\overline{w_2} a_{11}^3}{\sum_{t=2}^k a_{11}^t} + \dots + \frac{\overline{w_{k-2}} a_{11}^{k-1}}{\sum_{t=2}^k a_{11}^t} + \frac{\overline{w_{k-1}} a_{11}^k}{\sum_{t=2}^k a_{11}^t} = \frac{\sum_{t=2}^k \overline{w_{t-1}} a_{11}^t}{\sum_{t=2}^k a_{11}^t} \quad (3)$$

Зокрема, якщо здійснювати класифікацію зображень у реальному часі й аналізувати, наприклад, сусідні кадри відеоряду лазера, то нормуюче рівняння (3) набуває наступного вигляду [8].

$$d = \frac{(a_{11}^2)^{j+1}}{\left(\sum_{t=2}^k a_{11}^t\right)^j} + \frac{(a_{11}^3)^{j+1}}{\left(\sum_{t=2}^k a_{11}^t\right)^j} + \dots + \frac{(a_{11}^{k-1})^{j+1}}{\left(\sum_{t=2}^k a_{11}^t\right)^j} + \frac{(a_{11}^k)^{j+1}}{\left(\sum_{t=2}^k a_{11}^t\right)^j}, \quad (4)$$

де $\left(\sum_{t=2}^k a_{11}^t\right)^j$ і $(a_{11}^2)^{j+1} \div (a_{11}^k)^{j+1}$ – сума хвостових елементів і значення хвостових елементів

зображень відповідно попереднього (j -го) і наступних кадрів ($j+1$), j – номер кадру, $j = \overline{1, m-1}$.

З огляду на наведену властивість ПІОС нормуюче рівняння (4) набуває такого вигляду.

$$d = \frac{(a_1)^{j+1}}{\left(\sum_{t=2}^k a_{11}^t\right)^j} + \frac{(a_2)^{j+1}}{\left(\sum_{t=2}^k a_{11}^t\right)^j} + \dots + \frac{(a_{N-1})^{j+1}}{\left(\sum_{t=2}^k a_{11}^t\right)^j} + \frac{(a_N)^{j+1}}{\left(\sum_{t=2}^k a_{11}^t\right)^j} \quad (5)$$

Тоді для нормування результатів оброблення вхідних даних ($a_1 \div a_N$) $j+1$ -го кадру можна істотно скоротити час розпізнавання в ПІОС на час обробки $j+1$ -го кадру.

При обробленні послідовності зображень відеорядів лазера можливо використання нормуючого рівняння для сусідніх двох зображень, у яких перше приймається як еталонне. Тоді нормуюче рівняння прийме наступний вигляд:

$$d = \frac{\overline{w_1} (a_{11}^1)^j}{\sum_{t=1}^k (a_{11}^t)^{j-1}} + \frac{\overline{w_2} (a_{11}^2)^j}{\sum_{t=1}^k (a_{11}^t)^{j-1}} + \dots + \frac{\overline{w_{k-1}} (a_{11}^{k-1})^j}{\sum_{t=1}^k (a_{11}^t)^{j-1}} + \frac{\overline{w_k} (a_{11}^k)^j}{\sum_{t=1}^k (a_{11}^t)^{j-1}} = \frac{\sum_{t=1}^k \overline{w_t} (a_{11}^t)^j}{\sum_{t=1}^k (a_{11}^t)^{j-1}},$$

де коефіцієнти налаштування $\overline{w_1} \div \overline{w_k}$ отримані при попередній обробці на перших зображеннях набору; $(a_{11}^t)^j, (a_{11}^t)^{j-1}$ – хвостові елементи ПІП відповідно поточного і попередніх зображень.

Для подальшої обробки необхідно обирати лише визначені значення d , що більші деякого, експертно визначеного порогу. Наприклад, якщо для обробленого відеоряду лазера деякі з d приймають малі значення, їх відповідні початкові зображення можна виключити. При вказаних розрахунках використовувались паралельні алгоритми для підрахунку суми масиву даних з використанням методу

програмної бібліотеки *thrust::reduce()*.

Проведений порівняльний аналіз показує, що запропоновані методи дозволяють здійснити оброблення та аналіз плямоподібних зображень у реальному часі з підвищеною точністю вимірювання координат ЕЦ як складових характеристик профілю лазерного променя (до 1,5 пікселя), які за точністю перевершують відомі, наприклад на основі визначення центру ваги за допомогою моментних ознак, у середньому в 1,5 рази. В проведених експериментах було досліджено 14 відеорядів лазера з кількістю зображень – 2044 в кожній трасі. Проведені експерименти показують, що для зображень відеорядів лазера у результаті дії різноманітних дестабілізуючих чинників неможливо абсолютно точно виміряти координати їх ЕЦ. Тому, в проведених дослідженнях запропоновано метод вимірювання координат на основі аналізу взаємного розташування двох сусідніх зображень профілю лазерного променя. Результатом аналізу такого взаємного розташування двох сусідніх зображень є скориговане значення координат ЕЦ поточного зображення. Такий принцип вимірювання координат ЕЦ дозволяє виключити застосування неточних процедур на основі різноманітних апроксимуючих операторів.

На основі проведених експериментальних досліджень отримано дані, шляхом багаторазового оброблення плямоподібних зображень профілю лазерного променя різних розмірностей (тобто, роздільної здатності), які ілюструють швидкодію ППП та класифікації зображень на основі CPU-орієнтованої та GPU-орієнтованої апаратної платформи.

В якості CPU-орієнтованої апаратної платформи застосовано обчислювальний комплекс, який містить 4-ядерний CPU Intel Xeon E5606 (Clockspeed: 2.1 GHz; No of Cores: 4; Instruction Set: 64-bit).

В якості GPU-орієнтованої апаратної платформи застосовано обчислювальний комплекс, який містить 2 відеоадаптера NVIDIA GeForce GTX590 (кожен з яких працює у 1024 потоки). Кожен відеоадаптер містить два 512-ядерних GPU GTX 500, що в сукупності становить 2048-ядерне апаратне забезпечення. Таким чином, розроблена на базі технології Quad SLI високопродуктивна ППОС, що містить два таких відеоадаптери надає можливість обробляти інформацію у 2048 потоків з граничною теоретичною продуктивністю 4,9766 TFLOPS.

У табл. 1 та на рис. 2 представлено результати експериментальних досліджень загального часу оброблення 25 кадрів відеоряду лазера, що відповідає вимогам до обробки в реальному часі, а також залежність швидкодії ППП від розмірності зображень при обробленні відеоряду лазера.

У табл. 2 та на рис. 3 представлено результати експериментальних досліджень часу, що витрачається на обчислення (без врахування витрат часу на операції завантаження у пам'ять ОС) обробки 25 кадрів відеоряду лазера, а також залежність при цьому швидкодії ППП від розмірності зображень.

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень обробки відеоряду лазера

Розмірність плямоподібних зображень профілю лазерного променя, пікселів	Час обробки 25 кадрів відеотраси лазера на основі CPU-орієнтованої апаратної платформи, мс	Час обробки 25 кадрів відеотраси лазера на основі GPU-орієнтованої апаратної платформи, мс
128×128	1	47
256×256	16	47
512×512	47	62
1024×1024	156	94
2048×2048	575	234
4096×4096	2418	1027
8192×8192	9641	3479
16384×16384	39228	13609

Таблиця 2

Результати експериментальних досліджень часу, що витрачається на обчислення при обробці відеоряду лазера

Розмірність плямоподібних зображень профілю лазерного променя, пікселів	Час обробки 25 кадрів відеотраси лазера на основі CPU-орієнтованої апаратної платформи, мс	Час обробки 25 кадрів відеотраси лазера на основі GPU-орієнтованої апаратної платформи, мс
128×128	1	37
256×256	16	41
512×512	47	46
1024×1024	156	51
2048×2048	575	94
4096×4096	2418	184
8192×8192	9641	201
16384×16384	39228	648

Висновки

Наукова новизна одержаних результатів полягає в розвитку теорії ППП інформації в комп'ютерних системах, розробці методів і моделей високопродуктивних ППОС на основі GPGPU технологій. На основі наведених результатів експериментальних досліджень можна зробити такі висновки:

1) за критерієм "загальний час оброблення" при обробленні зображень невеликої роздільної здатності (до 512×512 пікселів) швидкодія ППП основі GPU-орієнтованої апаратної платформи не перевищує швидкодії на основі CPU-орієнтованої апаратної платформи (рис. 2). Це пов'язано із невеликим розміром

оброблюваних файлів із зображеннями (розмір одного файлу у форматі "bmp" не більше 300 Кб), що досить ефективно може оброблюватися на CPU, проте на GPU в цьому випадку спостерігається ситуація, коли накладні витрати на роботу із пам'яттю ОС та керування розпаралелізацією обчислювального процесу перевищують ефект від обробки.

2) за критерієм "загальний час оброблення" при обробленні зображень великої роздільної здатності (до 4096×4096 пікселів) швидкодія ППП основи GPU-орієнтованої апаратної платформи більше ніж вдвічі перевищує швидкодію на основі CPU-орієнтованої апаратної платформи (рис. 2).

3) за критерієм "загальний час оброблення" при обробленні зображень надвеликої роздільної здатності (10000×10000 пікселів і більше, в експериментах – до 16384×16384 пікселів) швидкодія ППП основи GPU-орієнтованої апаратної платформи майже втричі перевищує швидкодію на основі CPU-орієнтованої апаратної платформи (рис. 2). Це пов'язано із значним збільшенням розміру оброблюваних файлів із зображеннями та їх розмірності (розмір одного файлу у форматі "bmp" в межах сотень мегабайт, аж до гігабайт – для розмірності 32768×32768 пікселів), що сильно знижує ефективність обробки на CPU, проте на GPU в цьому випадку спостерігається ситуація, коли ефект від розпаралелізації обчислювального процесу в ще більшій мірі перевищує накладні витрати на роботу із пам'яттю ОС та керування.

4) за критерієм "час, що витрачається лише на обчислення (без врахування витрат часу на операції завантаження у пам'ять ОС)" при обробленні зображень невеликої роздільної здатності (до 512×512 пікселів) спостерігається та ж ситуація, що й у першому висновку – тобто як на CPU, так і на GPU можливо ефективно обробляти зображення в реальному часі. Проте, зі збільшенням розмірності зображення (і, відповідно, розміру їх файлів) спостерігається значне підвищення швидкодії на GPU, що для зображень розмірності 1024×1024 пікселів – більше ніж в 3 рази, 2048×2048 пікселів – більше ніж в 6 разів, 4096×4096 пікселів – більше ніж в 13 разів, 8192×8192 пікселів – більше ніж в 48 разів, 16384×16384 пікселів – більше ніж в 60 разів перевищує швидкодії оброблення на CPU (рис. 3).

Таким чином, можна зробити висновок, що найбільшій продуктивності досягнуто при застосуванні ППП на основі GPU-орієнтованої апаратної платформи для оброблення зображень надвеликої розмірності, що недосяжне класичними методами (ШПФ, Уолша-Адамара, Хаара), а також при застосуванні CPU-орієнтованої апаратної платформи.

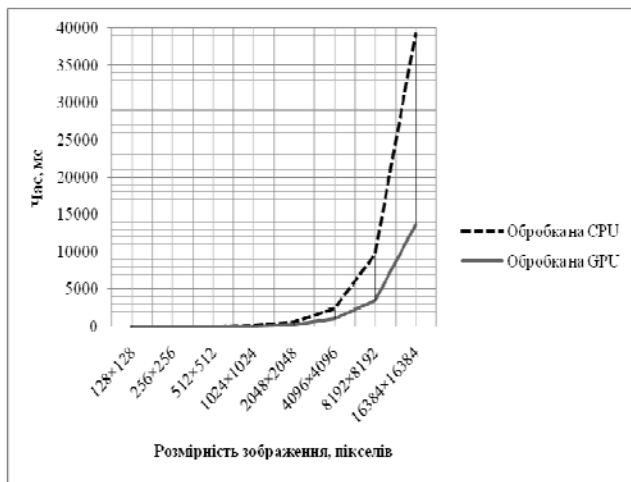


Рис. 2. Залежність швидкодії ППП від розмірності зображень при обробленні відеоряду лазера

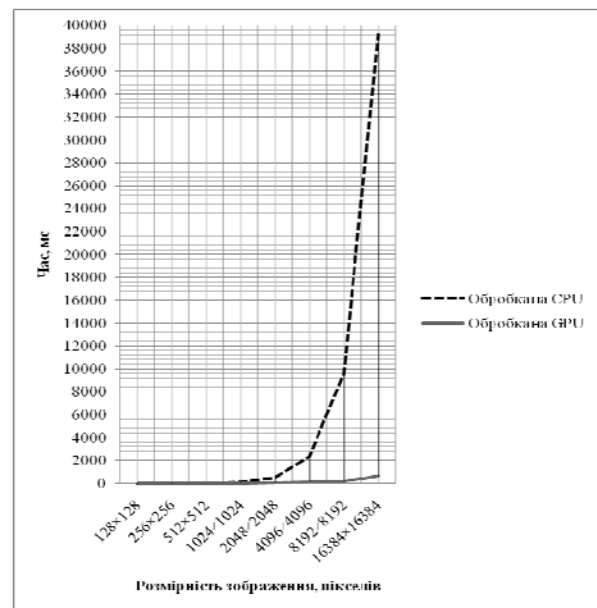


Рис. 3. Залежність швидкодії обчислень при ППП від розмірності зображень при обробленні відеоряду лазера (без врахування витрат часу на операції завантаження у пам'ять ОС)

Література

1. L. Andrews, R. Phillips, "Laser Beam Propagation through Random Media", Second Edition, SPIE Press Monograph, vol. PM152, 2005.
2. O. Aharon, "Laser Beam Profiling and Measurement", Mode of access: World Wide Web. URL: http://www.novuslight.com/laser-beam-profiling-and-measurement_N678.html.
3. Яровой А.А., Яровой А.М. Теоретико-методологические и прикладные аспекты использования технологий визуализации для задач профилирования лазерных лучей [Электронный журнал] / А.А. Яровой, А.М. Яровой // Научная визуализация. – 2010. – Том 2. – № 3. – С. 50–72. – Режим доступа : <http://sv-journal.com/2010-3/04/index.html>.
4. C.B. Roundy, "Current Technology of Laser Beam Profile Measurements", Spiricon. Inc., 2000.
5. Ophir Optronics Solutions Ltd.: Beam profile. Laser measurement. Mode of access: World Wide Web.

URL: <http://www.ophiropt.com/laser-measurement-instruments/beam-profilers>.

6. PhaseView.: Smart Beam Profilers For Laser Beam Analysis & Monitoring. Mode of access: World Wide Web. URL: <http://phaseview.com/laser-measurement>.

7. V.P. Kozhemyako, L.I. Timchenko, Yu.F. Kutaev, A.A. Gertsy, A.A. Yarovy, N.I. Kokryatskaya, N.P. Grebenyuk, O.A. Poplavskyy, "Analysis of the methodological approaches in connection with the problem solving of extrapolation of object trajectory", Proceedings of SPIE, Vol. 5175, 2003, pp. 222-236.

8. Паралельно-ієрархічне перетворення як системна модель оптико-електронних засобів штучного інтелекту : [монографія] / В.П. Кожем'яко, Ю.Ф. Кутаєв, С.В. Свєчніков, Л.І. Тимченко, А.А. Яровий. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 324 с. – ISBN 966-641-072-9.

9. Тимченко Л.И. Метод прогнозирования положения энергетического центра изображения лазерного пучка с использованием параллельно-иєрархической сети / Л.И. Тимченко, Н.И. Кокряцкая, А.А. Яровой, В.В. Мельников, Г.Л. Косенко // Кибернетика и системный анализ. – 2013. – № 5. – С. 164–177.

10. A.A. Yarovy, "Applied Realization of Neural Network and Neurolike Parallel-Hierarchical System Based on GPGPU". Development and application systems : Proceedings of the 10th International Conference on DAS-2010, May 27-29, 2010, Suceava, Romania, pp. 351-356.

11. A. A. Yarovy, L. I. Timchenko, N. I. Kokriatskaia, "Parallel-Hierarchical Computing System for Multi-Level Transformation of Masked Digital Signals", Advances in Electrical and Computer Engineering. – 2012. – vol. 12, no. 3, pp. 13-20.

References

1. L. Andrews, R. Phillips, "Laser Beam Propagation through Random Media", Second Edition, SPIE Press Monograph, vol. PM152, 2005.

2. O. Aharon, "Laser Beam Profiling and Measurement", Mode of access: World Wide Web. URL: http://www.novuslight.com/laser-beam-profiling-and-measurement_N678.html.

3. A.A. Yarovy, A.M. Yarovy, "Theoretical, Methodological and Applied Aspects of Visualization Technologies Application for Laser Beam Profiling Problem", Electronic Journal "Scientific Visualization", Vol. 2, Num. 3, 2010, pp. 50-72. - Mode of access: World Wide Web. URL: <http://sv-journal.com/2010-3/04.php?lang=en>.

4. C.B. Roundy, "Current Technology of Laser Beam Profile Measurements", Spiricon. Inc., 2000.

5. Ophir Optronics Solutions Ltd.: Beam profile. Laser measurement. Mode of access: World Wide Web. URL: <http://www.ophiropt.com/laser-measurement-instruments/beam-profilers>.

6. PhaseView.: Smart Beam Profilers For Laser Beam Analysis & Monitoring. Mode of access: World Wide Web. URL: <http://phaseview.com/laser-measurement>.

7. V.P. Kozhemyako, L.I. Timchenko, Yu.F. Kutaev, A.A. Gertsy, A.A. Yarovy, N.I. Kokryatskaya, N.P. Grebenyuk, O.A. Poplavskyy, "Analysis of the methodological approaches in connection with the problem solving of extrapolation of object trajectory", Proceedings of SPIE, Vol. 5175, 2003, pp. 222-236.

8. V.P. Kozhemyako, Yu.F. Kutaev, S.V. Svechnikov, L.I. Tymchenko, A.A. Yarovy, "Parallel-Hierarchical Transformation as the System Model of Optoelectronic Artificial Intelligence Tools", Monograph, Universum-Vinnytsia, 2003. – ISBN 966-641-072-9.

9. L.I. Timchenko, N.I. Kokryatskaya, A.A. Yarovy, V.V. Melnikov, G.L. Kosenko, "Method of predicting the position of the energy center of the image of a laser beam using a parallel-hierarchical network", Cybernetics and Systems Analysis, Vol. 49 (5), 2013, pp. 164-177.

10. A.A. Yarovy, "Applied Realization of Neural Network and Neurolike Parallel-Hierarchical System Based on GPGPU". Development and application systems : Proceedings of the 10th International Conference on DAS-2010, May 27-29, 2010, Suceava, Romania, pp. 351-356.

11. A. A. Yarovy, L. I. Timchenko, N. I. Kokriatskaia, "Parallel-Hierarchical Computing System for Multi-Level Transformation of Masked Digital Signals", Advances in Electrical and Computer Engineering. – 2012. – vol. 12, no. 3, pp. 13-20.

Рецензія/Peer review : 10.10.2014 р.

Надрукована/Printed :29.11.2014 р.

Рецензент: д.т.н., проф. В.П. Кожем'яко