

- Vukosavljević, M. Radulovic // Biomedical Microdevices - Springer, 2016. - Vol. 5, Num. 18. - P. 83
2. Saito A. A novel method for morphological pleomorphism and heterogeneity quantitative measurement: Named cell feature level co-occurrence matrix / A. Saito et al. // Journal of Pathology Informatics – 2016 - Vol. 7, Num. 36
3. Mohanty A. K. Classifying Benign and Malignant Mass using GLCM and GLRLM based Texture Features from Mammogram / A. K. Mohanty, S. Beberta, S. K. Lenka // International Journal of Engineering Research and Applications - Vol. 1, Issue 3, pp.687-693
4. Bieri M. "Quantitative analysis of Alzheimer plaques in mice using virtual microscopy" / M. Bieri, A. Wethmar, N. Wey. - First European Workshop on Tissue Imaging and Analysis, - pp 31-38.
5. Singh M. SAR Image Classification Using PCA and Texture Analysis / Mandeep Singh, Gunjit Kaur // Information Technology and Mobile Communication: International Conference, AIM 2011, Nagpur, Maharashtra, India, April 21-22, 2011. Proceedings - Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011. – P. 435-439.
6. Мельник Г. М. Інформаційна технологія аналізу структурних текстур для опрацювання зображень ауто- та ксеногенних тканин / Г. М. Мельник // Вісник Хмельницького національного університету - 2014. - № 6 (217). - С. 132-141
7. Berezsky O.M. "Vision-based medical expert system" / O.M. Berezsky, K.M. Berezska, Yu.M. Batko, G.M. Melnyk. - 6th International Scientific and Technical Conference "Computer Sciences and Information Technologies"(CSIT'2011, Lviv, Ukraine, November 16-19), - pp 49-50
8. Berezsky O.M. Segmentation of Cytological and Histological Images of Breast Cancer Cells / O.M. Berezsky, Yu.M. Batko, G.M. Melnyk, S.O. Verbovyu, L. Haida. - Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2015), 24-26 September 2015, Warsaw, Poland. – Warsaw, 2015. – V.1. – P. 287-292

*Поступила 26.09.2016р.*

УДК 004.2

І.Г. Цмоць, м.Львів

І.В. Ігнатєв, А.Р. Боднар, м.Тернопіль

## ПАРАЛЕЛЬНІ АЛГОРИТМИ ТА НВІС-СТРУКТУРИ ДЛЯ МЕДІАННОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

**Abstract.** Especially effective is the median filter in image processing video stream to identify objects. This median filtering must be performed quickly, which is very advisable to carry on GPU. Existing hardware solutions in the public domain not found. It is therefore necessary to develop a median filter and its graph algorithm which would be implemented on the GPU that have made it possible to speed up the filtration results in real time.

**Актуальність.** Медіанні фільтри (МФ) досить часто застосовуються на практиці як засіб попередньої обробки цифрових даних. Специфічною особливістю фільтрів є явно виражена вибірковість стосовно до елементів масиву, що є немонотонною складовою послідовності чисел в межах вікна фільтру. В той же час на монотонну складову послідовності медіанний фільтр не діє, залишаючи її без змін. Завдяки цій особливості, медіанні фільтри при оптимально вибраній апертурі можуть, наприклад, зберігати без спотворень різкі межі об'єктів, ефективно пригнічуючи некорельовані або слабкорельовані перешкоди і малорозмірні деталі. Ця властивість дозволяє застосовувати медіанну фільтрацію для усунення аномальних значень в масивах даних, зменшення викидів та імпульсних перешкод [1]. Особливо ефективним медіанний фільтр є при фільтрації сигналів від імпульсних шумів при обробці зображень відеопотоку з метою виявлення об'єктів. Таку медіанну фільтрацію необхідно виконувати швидко, що можливо за умови її апаратної реалізації. Існуючих апаратних рішень у відкритому доступі не знайдено. Тому необхідно розробити реконфігурований процесор медіанної фільтрації зображень в реальному часі.

#### **Аналіз літератури.**

Особливо ефективним медіанний фільтр є при обробці зображень відеопотоку з метою виявлення об'єктів [2-8]. Таку медіанну фільтрацію необхідно виконувати швидко, що досить доцільно виконувати на графічному процесорі. Існуючих апаратних рішень у відкритому доступі не знайдено. Тому необхідно розробити медіанний фільтр та його граф-алгоритм який б реалізовувався на графічному процесорі, що б дало можливість пришвидшити результати фільтрації зображень в реальному часі.

**Мета роботи** Метою дослідження є аналіз методів медіанної фільтрації зображень в реальному часі на графічному процесорі за допомогою технології CUDA, розробити алгоритм опрацювання та граф алгоритм виконання медіанної фільтрації.

#### **Основний матеріал.**

При цифровій обробці зображень для згладжування імпульсного шуму використовується медіанна фільтрація (МФ), яка є частковим випадком нелінійної фільтрації. Алгоритми МФ базуються на повному або частковому сортуванні чисел-елементів зображень у "вікні" розміром  $N=2m+1$  та виділенні у просортованій послідовності центрального елемента, тобто елемента з номером  $m+1$ . Значна частина задач цифрової обробки зображень вимагає виконання МФ у реальному масштабі часу при забезпеченні обмежень в частині габаритів і споживаної потужності [1]. Для забезпечення режиму реального масштабу необхідно, щоб виконувалася наступна умова:

$$T_{OM} \leq T_E,$$

де  $T_{OM}$  - час обчислення медіани;  $T_E$  - період поступлення чисел-елементів зображень. Необхідно відмітити, що при одновимірній МФ за час  $T_E$  в

пристрій поступає одне число, а при двовимірній -  $\sqrt{N}$  чисел.

Зображення, які опрацьовуються МФ подаються у вигляді матриці пікселів яскравості (рис. 1). Надходження пікселів для виконання медіанної фільтрації здійснюється у вигляді ковзного вікна, яке в кожному такті переміщається вправо на один піксел у відповідності з рис. 1.



Рис. 1. Переміщення ковзного вікна при виконанні медіанної фільтрації

Основною операцією обчислення медіани шляхом сортування є порівняння двох чисел. Кількість попарних порівнянь, яка необхідна для виконання сортування масиву чисел, визначає складність алгоритму сортування  $R$ . Кращі алгоритми сортування мають складність  $R=O(N \log_2 N)$ , де  $N$  - кількість чисел в масиві, а для МФ розмір “вікна”. Для забезпечення реалізації МФ в реальному масштабі часу методами сортування продуктивність апаратних засобів повинна бути:

$$P_1 \geq \frac{(2m+1) \log_2(2m+1)}{T_E},$$

$$P_2 \geq \frac{(2m+1)^2 \log_2(2m+1)^2}{T_E},$$

де  $P_1$  - необхідна продуктивність для реалізації одновимірної МФ;  $P_2$  - необхідна продуктивність для реалізації двовимірної МФ.

Для забезпечення опрацювання зображень і відеопотоків у реальному часі продуктивність комп'ютерні системи повинна бути:

$$P \geq \frac{BRF_d}{N},$$

де  $R$  – складність алгоритмів обробки;  $\beta$  – коефіцієнт врахування особливостей архітектури GPU,  $N$  - обсяг даних,  $F_d$  - частота надходження вхідних даних. Забезпечити таку продуктивність можна при інтегрованому підході, який охоплює: дослідження та розробку структур комп'ютерних систем з обміном через багатопортову пам'ять; методи і алгоритми паралельної обробки зображень; адаптацію алгоритмів обробки зображень до архітектури комп'ютерної системи з обміном через багатопортову пам'ять і графічних процесорів GPU; засоби автоматизованого програмного забезпечення, які забезпечать зменшення термінів і підвищать якість програм [1-4].

Для ефективної реалізації алгоритмів обробки зображень на базі GPU є потреба у їх просторово-часовому відображенні на рівні операції потокових процесорів. Просторово-часове відображення алгоритмів обробки зображень повинно забезпечувати виявлення всіх форм паралелізму та знаходження необхідних просторово-часових рішень для його ефективної реалізації. Такі вимоги забезпечує ярусно-паралельна форма (ЯПФ) відображення алгоритму. При ЯПФ подання алгоритму здійснюється розподіл всіх його функціональних операторів  $\Phi_i$  за ярусами таким чином, що в  $j$ -у ярусі розміщені функціональні оператори, які залежать хоча б від одного функціонального оператора  $(j-1)$ -го ярусу і не залежать від операторів наступних ярусів. Всі функціональні оператори одного ярусу виконуються незалежно один від одного. Для ефективної реалізації алгоритмів обробки зображень пропонується такі алгоритми подавати в вигляді конкретизованого потокового графу, який враховує особливості архітектури графічного процесора GPU. Процес розробки такого графу здійснюється за чотири етапи:

- 1) декомпозиція алгоритму обробки зображень;
- 2) проектування комунікацій (обмінів даними) між функціональними операторами;
- 3) укрупнення функціональних операторів;
- 4) планування обчислень при реалізації алгоритму.

#### **Оптимізація коду під GPU.**

Один із способів оптимізації коду по обробці зображень на GPU - знайти і виділити повторні операції і зробити їх тільки один раз всередині одного warp'a. У деяких випадках потрібно трохи змінити алгоритм. Розглядаючи фільтрацію, можна помітити, що, завантажуючи квадрат  $3 \times 3$  навколо одного пікселя, сусідні нитки роблять однакові логічні операції і однакові завантаження з пам'яті.

В якості робочої станції використано ПК Intel Core I3 2330m. 4 гб оперативної пам'яті. Графічний прискорювач Nvidia GEFORCE GT540M яка має 1 гігабайт відеопам'яті та 96 ядер CUDA.

При медіанній фільтрації використовується двовимірне вікно (апертура фільтру), що зазвичай має центральну симетрію, при цьому його центр розташовується в поточній точці фільтрації. На рис. 2 показано два приклади найбільш часто вживаних варіантів вікон у вигляді хреста і у вигляді квадрата. Розміри апертури належать до параметрів, що оптимізуються в процесі аналізу ефективності алгоритму. Відліки зображення, що виявилися в межах вікна, утворюють робочу вибірку поточного кроку.

Для виконання медіанної фільтрації на графічному процесорі доцільно алгорити опрацювання подати у вигляді потокового графу (рисунок 3). Основними етапи виконання медіанної фільтрації є:

- завантаження вхідного зображення у оперативну пам'ять комп'ютера;
- виділення пам'яті на GPU;
- формування потоків даних для процесорних ядер;

- визначення розміру вікна фільтрації;
- обчислення медіани в ковзному вікні;
- отримання блоків відфільтрованого зображення;
- формування відфільтрованого зображення.



Рис. 2. Приклади вікон при медіанній фільтрації

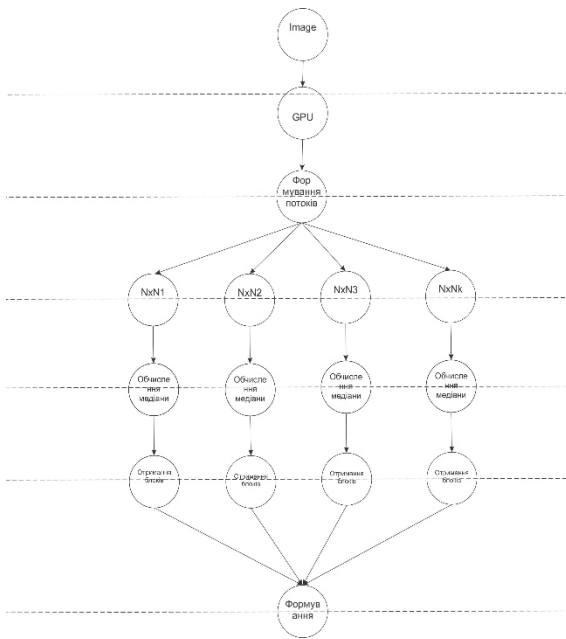


Рис. 3. Ярусно-паралельна форма

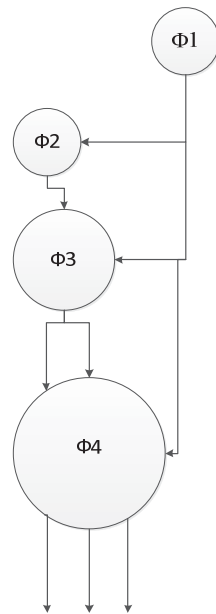


Рис. 4. Граф-алгоритм виконання медіанної фільтрації для вікна розміром  $N$

Для виконання медіанної фільтрації доцільно використати граф-алгоритм медіанної фільтрації для вікна розміром  $N$  (рис.4), де  $\Phi 1$  і  $\Phi 2$  –

функціональні оператори зберігання. Ф3 –функціональний оператор попарного порівняння і перестановки для двох чисел. Ф4 - функціональний оператор попарного порівняння і перестановки для трьох чисел.

В даному випадку при розробці методу медіанної фільтрації на GPU будемо використовувати фільтрацію методом квадрату.

В результаті проведених обчислень наведено такі характеристики продуктивності (таблиця )

Таблиця.

Характеристики продуктивності обробки зображення.

	Час виконання, тс		Прискорення, раз	
	CPU	GPU		
3x3 1920x1080	60	23	2,6	
3x3 4096x2160	140	90	1,55	

### Висновки.

1. Особливістю розроблених алгоритмів на GPU модульність, регулярність, локальність зв'язків і масовий паралелізм.

2. Застосування при розробці GPU дозволяє досягнути високої швидкодії у порівнянні із виконанням на центральному процесорі.

3. Розроблені алгоритми дають змогу детальніше розглянути процес виконання медіанної фільтрації.

1. Паралельная обработка информации: Т.Ч. Высокопроизводительные системы паралельной обработки информации / Под.ред. *В.В.Грицька* – Киев: Наук.думка, 1988 –272 с.

2. *Цмоць І.Г., Батюк А.Є.* Алгоритми і конвеєрні пристрої сортування даних в реальному масштабі часу // Вісн. ДУ “Львівська політехніка”, 1998, №330, Л, с.247-253.

3. *Рашкевич Ю.М., Батюк А.Є, Цмоць І.Г.* Швидкий алгоритм і структура ВІС медіанного фільтра // Наукові праці конференції “Друкотех 96”, Львів, 1996, с.53-53.

4. *Цмоць І.Г.* Принципи розробки і оцінка основних характеристик високопродуктивних процесорів на надвеликих інтегральних схемах // Вісн. ДУ “Львівська політехніка”, 1998, №349, Л, с.5-11.

5. Нейроподібні методи, алгоритми та структури обробки сигналів і зображень у реальному часі: монографія / *Ю.М. Рашкевич, Р.О. Ткаченко, І.Г.Цмоць, Д.Д. Пелешко.* – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. -256 с.

6. Проблемно–ориентированные высокопроизводительные вычислительные системы: *В.Ф. Гузик, В.Е. Золотовский.* Учебное пособие. Таганрог:Изд-во ТРТУ, 1998. 236 с.

7. *Уоссермен Ф.* Нейрокомпьютерная техника. – М.: Мир,1992. – 259с.

8. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. Издание 3-е, исправленное и дополненное Москва: Техносфера, 2012. – 1104 с.

*Поступила 29.09.2016р.*