УДК 658.012:681.32:621.38

Леонід Тимченко¹, Наталія Кокряцька², Дмитро Жук^{3*}, Валентина Каплун⁴

¹ Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри телекомунікаційні технології та автоматика, Державний університет інфраструктури та технологій, Україна. ORCID: 0000-0003-0090-3886

² Кандидат технічних наук, доцент кафедри телекомунікаційні технології та автоматика, Державний університет інфраструктури та технологій, Україна. ORCID: 0000-0001-9813-1399

³ Аспірант кафедри телекомунікаційні технології та автоматика, Державний університет інфраструктури та технологій, Україна. ORCID: 0000-0001-8951-5542

⁴ Старший викладач кафедри захисту інформації, Вінницький національний технічний університет, Україна. ORCID: 0000-0001-9813-1399

*Автор, відповідальний за листування: zhuk_do@ukr.net

ЗАСТОСУВАННЯ ПЛІС ДЛЯ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ЛАЗЕРНИХ ТРАС

Розглянуто сучасні проблеми обробки зображень лазерних трас. Проведено аналіз існуючих рішень та останніх досліджень у сфері обробки зображень лазерних трас. Визначено, що останні рішення мають ряд недоліків в умовах збільшення швидкості і щільності потоку інформації. Також існують проблеми із надмірним споживанням електроенергії під час обробки зображень за рахунок надлишкової потужності та часу надходження інформації до процесора.

Представлено спосіб обробки зображень лазерних трас із застосуванням ПЛІС та паралельно-ієрархічного перетворення. Проведено імітаційне моделювання методів обробки координат плям лазерних пучків та наведено його результати.

Наведено порівняння результатів обробки зображень за допомогою персонального комп'ютера та за допомогою ПЛІС.

Отримані результати дозволяють оцінити ефективність застосування ПЛІС та методів з використанням паралельно-ієрархічного перетворення під час обробки зображень лазерних трас.

За рахунок малого споживання електроенергії та ефективної обробки зображень за допомогою ПЛІС та паралельно-ієрархічного перетворення – дана технологія має великі перспективи при застосуванні у автомобільній галузі. З її допомогою можна вдосконалити розвиток безпілотного керування автомобільними засобами, особливо для електромобілів.

Ключові слова: паралельно-ієрархічні перетворення, ПЛІС, обробка зображень, лазерні траси, лазерні плями.

Вступ. Обробка зображень в реальному часі стала невід'ємною частиною повсякденного життя. Швидкість потоку та об'єми даних невинно зростають і вимагають сучасних рішень у їх обробці для збільшення продуктивності та ефективності їх обробки.

Пристрої, які використовуються для збору, обробки і передачі даних повинні буди водночас економними та ефективно проводити попередню обробку даних для зменшення навантаження на систему та її канали зв'язку. Одним із найоптимальніших способів вирішення даної проблеми є супутникові лазерні лінії зв'язку. В таких системах важливим є точне визначення координат плям лазерних променів. Система повинна працювати в реальному часі та ефективно і економно використовувати свої ресурси.

В статті наведено рішення даної проблеми за допомогою застосування програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС). За допомогою ПЛІС можна ефективно обробляти зображення лазерних трас.

Аналіз останніх досліджень та постановка проблеми

Аналіз існуючих методів динамічної обробки показує, що системи і програми, розроблені на основі цих методів, обробляють і розпізнають тільки на комп'ютерах і не мають оптичних віддалених каналів для отримання візуальної інформації, тому вони не можуть розпізнавати динамічні об'єкти в реальному часі [1].

Переваги оптичних методів проявляються в задачах автоматизованого розпізнавання візуальних образів, які полягають в класифікації збережених як відомих, так і випадкових форм при наявності вторинних збережень або перешкод. Оптико-аналогові методи обробки в процесі вирішення завдань розпізнавання зображень найбільш доцільно використовувати на вході системи з метою попередньої обробки збережених зображень і для формування первинних параметрів опису вхідного зображення [2 - 3].

Для первинної обробки зображень необхідно застосовувати пристрої, які ефективно можуть працювати в режимі реального часу та економно використовувати ресурси із збереженням продуктивності і ефективності.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є доведення ефективності використання ПЛІС для обробки зображень лазерних трас пучків, для зменшення навантаження на системи лазерних ліній зв'язку.

Завданням дослідження є аналіз застосування ПЛІС для первинної обробки зображень лазерних трас.

Матеріали та методи дослідження. У статті проведено імітаційне моделювання методів обробки координат плям лазерних пучків. У якості імітатора використовується поєднання програмних засобів та вхідних даних записаних у реальному часі. Структурна схема обробки даних такою комплексною системою показана на рис. 1.

Рис. 1. Структурна схема імітатора комп'ютеризованої системи (КС) обробки та прогнозування трас лазерних пучків

Програма, яка з високою точністю визначає центри зображень, послідовно отримує на вхід кадри динамічних зображень, які знаходяться в пам'яті комп'ютера. Отримані кадри зберігаються в двовимірному масиві. На першому етапі обробки, швидко визначаються попередні центри зображень лазерної плями. Далі проводиться визначення коефіцієнтів корекції координат центру об'єкта на основі методу визначення центру об'єкта з високою точністю. Поріг бінаризації, на цьому кроці, встановлюється користувачем вручну або програма виставляє значення за замовчуванням [4].

Наступним кроком обробки зображення є передача отриманих результатів визначення центру з високою точністю програмі, що прогнозує координати зображень плям лазерних пучків. Перші декілька кадрів, які визначені користувачем або програмою за замовчуванням, визначаються як навчальні для програми і прогнозування. На цьому кроці програма накопичує отримані дані, на основі яких в майбутньому буде проводитись прогнозування. Після того, як навчання буде закінчено, програма прогнозує розташування центру лазерної плями для наступних декількох кадрів. Кількість кадрів для прогнозування заздалегідь записані користувачем або програма вибирає кількість за замовчуванням. Після того, як прогнозування було проведено, програма записує дані у масив. Результати визначення центрів з підвищеною точністю записуються додатково. Якщо масив, в який були записані результати прогнозування має результати, які були отримані на попередніх кроках, то дані порівнюються з реальними та визначається похибка прогнозування на даному етапі. Результати, отримані в результаті прогнозування виводяться користувачеві у читабельному вигляді [5].

Для того, щоб покращити результати прогнозування та підвищити швидкість обробки, значення похибки прогнозування координат центрів надаються програмі користувачем. Після цього програма сама визначає чи необхідно корегувати поріг бінаризації або інші параметри обробки даних в системі.

Для обміну даними між програмами використовують окремо виділені потоки, або пам'ять комп'ютера. У першому способі передача та обробка даних відбувається значно швидше, оскільки інформація передається безпосередньо між процедурами програм, які обробляють дані.

Дуже важливими в наведеній системі є інформаційні потоки, тому що всі інші потоки залежать від них. Потоки даних показують зв'язки між компонентами системи та мають вектор і назву даних, які передають. Назви потоків мають бути простими і чітко описувати назви самих об'єктів або їх частин. Якщо певних потік опрацьовується у декількох процесах, то його назва повинна містити дію, що була виконана над потоком. Наприклад, якщо потік мав назву «Транзакція», то після процесу «Перевірка транзакції», він матиме назву «Перевірена транзакція». Потоки можуть проходити між:

- двома певними процесами;

- процесом і елементом збереження даних (наприклад файлова система, масив, тощо);

- процесом і зовнішнім елементом.

В системі доцільно використовувати потоки між двома процесами, оскільки це оптимальний варіант для підвищення швидкості обробки інформації і добре підходить для ефективної обробки даних в реальному часі [6].

У імітованій моделі для найбільш ефективного прогнозування та визначення розташування плям лазерних пучків, доцільним буде зв'язати процедуру, що відповідає за визначення центру координат лазерної плями та процедуру прогнозування координат.

У програмі було реалізовано комбінований метод обчислення координат і класифікації плям лазерних пучків з використанням прямого паралельно-ієрархічного перетворення [7]. Так як цей метод складається з двох етапів (визначення координат плям лазерних пучків і первинної оцінки зображення, а також оцінка отриманого кадру з використанням паралельно-ієрархічних мереж, то ця обробка відбувалась з використанням статичних зображень для перевірки адекватності використаних алгоритмів. Виконання моделювання було проведено за допомогою мови C#. Приклад обробки зображення лазерної траси програми представлений на рис. 2 [8].

Рис. 2. Приклад обробки зображення лазерної траси паралельно-ієрархічною мережею

Під час виконання програми, користувачеві відображаються тільки основні дані обробки, всі інші деталі зберігаються у локальне сховище або файл, що дозволяє проводити подальшу обробку зображень.

Алгоритм, який використовується для реалізації комбінованого методу обчислення координат і класифікації плям лазерних пучків з використанням прямого паралельно-ієрархічного перетворення представлено на рис.3.

Для контролю адекватності, були використані зображення простих геометричних фігур, центри яких можна визначити вручну за допомогою формул. Для імітації зображень, що були отримані в реальному середовищі, тестові кадри були оброблені за допомогою Гаусового фільтру [9 - 10].

Приклади таких зображень і результати їх обробки наведені у табл.1.

Рис. 3. Схема алгоритму комбінованого методу обчислення координат і класифікації плям лазерних пучків з використанням методу прямого паралельно-ієрархічного перетворення

Таблиця 1. Координати тестових зображень

№	Тестове зображення	Реальні координати	Оброблене зображення	Отримані координати	Коефіцієнт форми
1		X=65,5 Y=30,5		X=65,5 Y=30,5	r=0
2		X= 64,5285 Y= 64,5285		X= 64,5284 Y= 64,5284	r=1
3		X= 64,5 Y= 63,7413		X= 64,5 Y= 63,7410	r=1

У табл. 2 наведені характеристики паралельно-ієрархічних перетворень для тестового з зображення №2.

Таблиця 2. Дані перетворення для тестового зображення №2

Параметр	Матриця
	128×128
Кількість рівнів	88
Максимальна кількість рядків	128
Максимальна кількість стовпчиків	255
Максимальне значення	528

Виходячи з інформації, наведеної в табл. 1, розроблений метод адекватно обробляє тестові зображення, а саме:

реальні і визначені координати центрів співпадають;

за допомогою методу перерізів, виділяються фігури, які мають спад яскравості, наближений до гаусоїди;

за допомогою порогового фільтру, виділяється контур об'єкта, що значно зменшує кількість даних для паралельно-ієрархічного перетворення і збільшує швидкість обробки зображення [11].

Для того, щоб перевірити коректність результатів роботи методу, використовувались реальні кадри лазерної траси. Обробка трас відбувалась за допомогою розроблених алгоритмів на базі комп'ютера. У табл.3 наведено значення похибки порівняно з методом перерізів на прикладі координати X для траси 2 [12].

Таблиця 3. Дані координати X для фрагменту траси

Координата X	Координата X після методу перерізів	Відносна похибка δ_x , % методу перерізів	Координата X після обробки ПП мережею	Відносна похибка δ_x , % після обробки ПП мережею
64,23298	64,23298	0,693354	64,23298	0,59803809
64,17586	64,17586	0,60381	64,17586	0,508578376
64,21089	64,21089	0,65872	64,21089	0,563436345
64,29981	64,29981	0,79812	64,29981	0,702704658
64,29333	64,29333	0,787958	64,29333	0,692551957
64,28871	64,28871	0,78071	64,28871	0,685310808
64,34432	64,34432	0,867891	64,34432	0,772409863
64,41261	64,41261	0,974951	64,41261	0,879368189
64,51001	64,51001	1,127633	64,51001	1,031905994
64,47762	64,47762	1,076862	64,47762	0,981183148
64,50553	64,50553	1,1206	64,50553	1,024879813
64,51427	64,51427	1,134308	64,51427	1,03857412
64,48501	64,48501	1,088433	64,48501	0,992743036
64,36948	64,36948	0,907331	64,36948	0,811811928
64,24085	64,24085	0,705687	64,24085	0,610359248
64,25079	64,25079	0,721278	64,25079	0,625935206
64,26371	64,26371	0,741527	64,26371	0,646165646
64,22173	64,22173	0,67571	64,22173	0,580410311
64,30132	64,30132	0,800475	64,22173	0,580410311
64,30007	64,30007	0,798524	64,30007	0,703108825
64,30151	64,30151	0,80300	64,30007	0,701205512

Оброблялися траси, що містять 1500 – 2000 кадрів, що відображають різні зміни стану атмосфери. Так як кадри зняті на камеру, і над ними не проводилась первинна обробка, то використання фільтрів для додавання шуму не відбувалось.

Для перевірки координат був використаний метод перерізів, робота якого показана на рис. 4 [13 – 14].

Рис. 4. Приклад обробки зображення траси за допомогою методу перерізів

Після обробки трас, можна побачити, що середня похибка отриманих координат методом перерізів складає 0,51%, з максимальною похибкою 2,5%, а отриманих комбінованим методом обчислення координат і класифікації плям лазерних пучків з використанням методу прямого паралельно-ієрархічного перетворення середня похибка склала 0,47% і максимальна 1,6%.

Фізичне моделювання було проведено з метою оцінки коректної роботи створеної комп'ютерної системи і було проведено за схемою, описаною на рис. 5.

Рис. 5. Схема проведення дослідження макету

Система працювала наступним чином. ПЛІС обробляла лазерний промінь, що потрапляв на матрицю камери. Виділялось лише зображення розміром 128x128 точок і зелений сегмент кольору (що є первинним фільтром зображення). Після цього, отриманий кадр перетворювався у палітру сірого і був виведений на дисплей. Паралельно, за допомогою розроблених схем, відбувалась обробка даних з камери (пошук центру координат, коефіцієнта γ та значень паралельно-ієрархічного перетворення) [15].

Визначені координати автоматично передавались за допомогою використання послідовного порту на комп'ютер, де вони використовувались для подальшої обробки. За необхідності, також є можливість передавати інші дані, в залежності від подальшого використання макету.

Таблиця 4. Фрагмент даних координат отриманих при роботі макета

№ п/п	Координата X	Координата Y	Коефіцієнт форми γ	Коефіцієнт кореляції	Час обробки (ms)
1	56,48267	58,1151	1	0,778437	7,86544
2	56,65417	58,09576	1	0,731094	7,89269
3	56,49627	57,91124	1	0,77181	7,79132
4	56,45757	57,83563	1	0,829857	7,33788

Закінчення таблиці 4

5	56,44509	58,122	1	0,751916	6,10182
6	56,55241	58,15756	1	0,609899	6,57161
7	56,61732	57,96613	1	0,639868	6,57161
8	56,65915	57,80936	1	0,790547	6,87245
9	56,61959	57,79524	1	0,567544	6,17812
10	56,6853	57,77822	1	0,958273	8,80611
11	56,6399	57,64521	1	0,99665	6,31328
12	56,64193	57,86174	1	0,975066	7,00543
13	56,62688	57,71103	1	0,882089	8,2295
14	56,44699	57,78909	1	0,954927	7,60384
15	56,43234	57,68323	1	0,546369	7,97335
16	56,52825	57,90018	1	0,63142	7,11334
17	56,57768	57,88917	1	0,806817	6,758
18	56,7397	57,84139	1	0,481076	7,71284
19	56,70863	57,82151	1	0,781503	8,52598
20	56,63724	57,84757	1	0,924255	7,73355

У табл.4 показано фрагмент даних, що були отримані зі допомогою макета, при цьому було проведено невелике зміщення лазерної плями для того, що перевірити реакцію системи. Для цього лазерний модуль було закріплено на пружній підставці. Також було використано лазер малої потужності, тому що більш потужний лазер міг пошкодити матрицю звичайної камери.

Таблиця 5. Порівняльна характеристика затраченої потужності

Платформа	Середня швидкість обчислення, мс	Середня потужність, Вт	Продуктивність, кадрів/вт
Персональний комп'ютер (AMD Athlon X4 640)	45	36	0,62
EP4CE22F17C6N	7	2,5	57

У табл.5 порівняно характеристики середньої потужності, що була використана для обчислення за допомогою ПЛІС і комп'ютера. Однак варто зауважити, що комп'ютер може мати значну перевагу перед ПЛІС при використанні графічного адаптера [16].

Але для таких невеликих зображень його використання є недоцільним, тому що на передачу даних у графічний процесор йде більше часу, ніж займає сама обробка. До того ж графічний процесор має значні витрати потужності, що може перевищувати витрати самого центрального процесора. Тому використання центрального процесора для порівняння є більш доцільним.

Для порівняння було використано комп'ютер з центральним процесором AMD Athlon II x4 640 (4 ядра, 3 ГГц). Було виміряно різницю між споживання комп'ютера при проведенні обчислень координат і паралельно-ієрархічного перетворенні і споживання при роботі у звичайному режимі. При використанні ПЛІС було проведено виміри потужності плати DE0-Nano при основній тактовій частоті 100 МГц.

Тому з фізичного моделювання можна побачити, що звичайний комп'ютер не доцільно використовувати для обробки у реальному часі, тому що середній час обробки зображень більший ніж час надходження кадрів з камери зі швидкістю 25 кадрів/с. Тому час обробки одного зображення не може бути більшим ніж 40мс. Також центральний процесор споживає багато енергії у порівнянні з ПЛІС у 14.4 раз.

Отже використання ПЛІС є набагато вигіднішим для застосування у вбудованих системах.

Висновки. У статті розглянуто сучасні проблеми обробки зображень лазерних трас. Було проведено аналіз існуючих методів та останніх досліджень у сфері обробки зображень лазерних трас. При аналізі було визначено, що сучасні рішення мають ряд недоліків в умовах збільшення швидкості і щільності потоку.

У роботі було представлено спосіб обробки зображень лазерних трас із застосуванням ПЛІС та паралельно-ієрархічного перетворення. Представлено імітаційне моделювання методів обробки координат плям лазерних пучків та наведено його результати.

Також у статті показано порівняння результатів обробки зображень за допомогою персонального комп'ютера та за допомогою ПЛІС. В результаті порівняння видно, що застосування ПЛІС для обробки зображень лазерних трас є ефективнішим.

ЛІТЕРАТУРА

1. Наконечна С. В. Оброблення зображень плям лазерних пучків із застосуванням паралельно-ієрархічних мереж : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук : 05.13.23 : захист 26.12.2014 / наук. кер. Л. І. Тимченко. Львів, 2014. 27 с.
2. Saldaña-Heredia A., Márquez-Aguilar P., Lara A., Molina-Ocampo A. Digital Image Processing Applied to Optical Measurements. London. 2020. P. 29-44. DOI: 10.5772/intechopen.88704
3. Timchenko L, Pijarski P., Zavadskiy V. Processing laser beam spot images using the parallel-hierarchical network for classification and forecasting their energy center coordinates // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2016. DOI: 10.1117/12.2248878
4. Степанюк Д. С. Метод прогнозування показників біомедичних зображень з використанням паралельно-ієрархічної мережі // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія : Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка. 2018. № 1. С. 101-105. DOI: 10.31474/1996-1588-2018-1-26-101-105
5. Метод класифікації зображень плям лазерних пучків із застосуванням паралельно-ієрархічної мережі із підвищеною точністю / Л. І. Тимченко та ін. // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. 2014. № 1. С. 5-17.
6. Метод вимірювання координат енергетичного центру зображень протяжних лазерних трас / Л. І. Тимченко та ін. // Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія : Транспортні системи і технології. 2017. Вип. 31. С. 202-211.
7. Modified method of parallel-hierarchical network teaching based on population Coding / Timchenko L. and etc. // Information Technology in Medical Diagnostics, CHAPTER – 3. Netherlands. 2017 P. 49-63
8. Тимченко Л. І., Наконечна С. В. Оброблення зображень плям лазерних пучків із застосуванням паралельно-ієрархічних мереж // ScienceRise. - 2014. - № 3(2). - С. 40-49. DOI: 10.15587/2313-8416.2014.27537

9. Development of a method of processing images of laser beam bands with the use of parallel hierarchic networks / Tymchenko L. and etc. // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. 2019. №6/9(102). P. 21-27. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.188568
10. Ultrafast laser beam shaping for material processing at imaging plane by geometric phase masks using a spatial light modulator / Kuang Z. and etc. London. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2015.02.004>
11. Dynamic beam shaping with polarization control at the image plane for material processing / Tang Y. and etc. Liverpool. 2018. P. 581 – 584. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.08.083>
12. Processing laser beam images using parallel-hierarchical FPGA-based transformations. / Timchenko L. and etc. // Information Technology in Medical Diagnostics, CHAPTER – 7. Netherlands. 2017. P. 129-145.
13. Method of indicators forecasting of biomedical images using a parallel-hierarchical network / Timchenko L. and etc. // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2019. DOI: 10.1117/12.2536808
14. Timchenko L., Wójcik W., Kokriatskaia N. Architecture of the parallel hierarchical network for fast image recognition // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2016. DOI: 10.1117/12.2249340
15. Precision measurement of coordinates of power center of extended laser path images. / Timchenko L. and etc. Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments. 2018. DOI: 10.1117/12.2501628
16. Parallel-hierarchical processing and classification of laser beam profile images based on the GPU-oriented architecture / Yarovy A. and etc. Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments. 2017. DOI: 10.1117/12.2280975

REFERENCES

1. Nakonechna S. (2014). Obroblennya zobrazen' plyam lazernih puchkiv iz zastosuvannyam paralel'no-ierarhichnih merezh [Image processing of laser beam spots using parallel-hierarchical networks] *Extended abstract of candidate's thesis*. Lviv [in Ukrainian].
2. Saldaña-Heredia A., Márquez-Aguilar P., Lara A., Molina-Ocampo A. (2020). Digital Image Processing Applied to Optical Measurements. London. DOI: 10.5772/intechopen.88704
3. Timchenko L., Pijarski P., Zavadskiy V. (2016). Processing laser beam spot images using the parallel-hierarchical network for classification and forecasting their energy center coordinates. DOI: 10.1117/12.2248878
4. Stepaniuk D. (2018). Metod prognozuvannya pokaznikiv biomedichnih zobrazen' z vikoristannyam paralel'no-ierarhichnoi merezhi [Method of forecasting indicators of biomedical images using a parallel-hierarchical network]. Donetsk [in Ukrainian]. DOI: 10.31474/1996-1588-2018-1-26-101-105
5. Timchenko L., Kokryatska N., Babiuk N. (2014). Metod klasifikacii zobrazen' plyam lazernih puchkiv iz zastosuvannyam paralel'no-ierarhichnoi merezhi iz pidvishchenoyu tochnistyu [The method of classification of images of spots of laser beams with use of a parallel-hierarchical network with the increased accuracy]. [in Ukrainian].
6. Timchenko L., Hertsii O., Kokryatska N., Halushko M. (2017). Metod vimiryuvannya koordinat energetichnogo centru zobrazen' protyazhnykh lazernih tras [Method of measuring the coordinates of the energy center of images of long laser paths]. Kyiv [in Ukrainian].
7. Timchenko L., Zlepko M. (2017). Modified method of parallel-hierarchical network teaching based on population Coding. Netherlands.
8. Timchenko L., Nakonechna S. (2014). Obroblennya zobrazen' plyam lazernih puchkiv iz zastosuvannyam paralel'no-ierarhichnih merezh [Image processing of laser beam spots using parallel-hierarchical networks]. [in Ukrainian]. DOI: 10.15587/2313-8416.2014.27537
9. Tymchenko L., Tverdomed V., Petrovsky N., Kokryatska N., Maistrenko Y. (2019). Development of a method of processing images of laser beam bands with the use of parallel hierarchic networks. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.188568
10. Kuang Z., Li J., Edwardson S., Walter P., Liu D., Dearden G. (2015). Ultrafast laser beam shaping for material processing at imaging plane by geometric phase masks using a spatial light modulator. London. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2015.02.004>
11. Tang Y., Li J., Zhou T., Schille J. (2018). Dynamic beam shaping with polarization control at the image plane for material processing. Liverpool. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.08.083>
12. Timchenko L., Petrovskiy N., Kokryatskaya N., Yarovy A. (2017). Processing laser beam images using parallel-hierarchical FPGA-based transformations. Netherlands.
13. Timchenko L., Kokriatskaia N., Pavlov V., Dzierzak R., Amirgaliyeva S. (2019). Method of indicators forecasting of biomedical images using a parallel-hierarchical. DOI: 10.1117/12.2536808
14. Timchenko L., Wójcik W., Kokriatskaia N. (2016). Architecture of the parallel hierarchical network for fast image. DOI: 10.1117/12.2249340
15. Timchenko L., Pavlov S., Kokriatskaia N., Gertsy O., Stepaniuk D., Babiuk N., Kashaganova G., Harasim D. (2018). Precision measurement of coordinates of power center of extended laser path. DOI: 10.1117/12.2501628
16. Yarovy A., Timchenko L., Kozhemiako V., Kokriatskaia N. (2017). Parallel-hierarchical processing and classification of laser beam profile images based on the GPU-oriented architecture. DOI: 10.1117/12.2280975

Leonid Tymchenko¹, Kokriatska Natalia², Dmytro Zhuk³, Kaplun Valentyna⁴

¹ Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Telecommunication Technologies and Automation, State University of Infrastructure and Technology, Ukraine

² Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department Telecommunication Technologies and Automation, State University of Infrastructure and Technology, Ukraine

³ Graduate student of the Department of Telecommunication Technologies and Automation, State University of Infrastructure and Technology, Ukraine

⁴ Senior Lecturer of the Department of Information Protection, Vinnytsia National Technical University, Ukraine

FPGA USAGE FOR PROCESSING IMAGE OF LASER BEAM

Considered modern problems of laser image processing. An analysis of existing solutions and recent research in the field of image processing of laser beam. Determined that the latter solutions have a number of disadvantages in terms of increasing the speed and density of information flow. There are also problems with excessive power consumption during image processing due to excess power.

Also presented method of processing image of laser beam with the use of FPGA and parallel-hierarchical transformation. Performing simulation modeling of methods for processing the coordinates of laser beam spots and its results are presented.

Presented comparison of the results of image processing using a personal computer and using FPGA.

The obtained results allow to evaluate the efficiency of FPGA application and methods with the use of parallel-hierarchical transformation during image processing of laser beams.

Due to low power consumption and efficient image processing using FPGA and parallel-hierarchical transformation - this technology has great prospects for use in the automotive industry. It can be used to improve the development of unmanned vehicle control, especially for electric vehicles.

Keywords: *parallel-hierarchical transformations, FPGA, image processing, laser beams, laser spots.*