

Яровий А.А., Степанчук О.В., Мудрик В.В.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ПЛЯМОПОДІБНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ЛАЗЕРНОГО ПРОМЕНЯ З НЕЧІТКОЮ ЛОГІКОЮ ТА ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ЇЇ РЕАЛІЗАЦІЇ

Обґрунтовано актуальність застосування методів нечіткої логіки до вирішення задачі розпізнавання плямоподібних зображень лазерного променя. Здійснено програмну реалізацію інтелектуальної системи розпізнавання зображень лазерного променя з нечіткою логікою. Проаналізовано перспективи її прикладної реалізації на базі високопродуктивного обчислювального комплексу з організацією масивно-паралельних обчислень з використанням технології "NVIDIA SLI".

Вступ

На сьогоднішній день одним з надзвичайно актуальних напрямів досліджень в системах штучного інтелекту є дослідження та розробка конструктивних методів та засобів обробки великих обсягів інформації з метою відбору інформативних параметрів для подальшої класифікації та аналізу. Класифікація та обробка вхідних даних інформаційно-аналітичними системами все частіше здійснюється у реальному часі за умов впливу різномірних завад. Також, однією з актуальних задач є розробка інтелектуальних засобів обробки візуальної інформації та прийняття рішень. Сучасний стан обчислювальної математики, прикладних методів інформатики особливий в першу чергу переходом від традиційних завдань опрацювання символів до значно складніших проблем опрацювання образів, що характеризуються набагато більшою інформаційною ємністю [1]. Проблема ефективного і швидкого розпізнавання складних об'єктів вирішується в таких сферах, як системи технічного зору, визначення дефектів вироблених виробів, ідентифікація осіб, системи керування тощо. Всі ці напрями зараз отримують широке застосування, але при реалізації суто послідовними методами, без суттєвої паралелізації, не дають належної швидкодії [2].

Метою роботи є розробка інтелектуальної системи (ІС) з нечіткою логікою для розпізнавання плямоподібних зображень, що дозволить підвищити точність класифікації в процесах профілювання лазерного променя, а також аналіз прикладних аспектів її реалізації на базі сучасних програмно-апаратних платформ для підвищення показників продуктивності та швидкодії системи.

Постановка проблеми

Відомо, що при використанні лазерів у наукових дослідженнях і у промисловій обробці, небажана структура профілю інтенсивності лазера призведе до низьких показників технічного процесу, оскільки більшість процесів залежать від квадрату, кубу або навіть четвертої степені густини потоку (опроміненості). Через це засоби вимірювання характеристик пучків лазерних променів є вагомим елементом будь-якої лабораторії або виробничого обладнання [3-6].

Звичайно, є велика кількість різноманітних застосувань лазерів, і тому не існує єдиного рішення, яке підходило б для них всіх. В основному прикладне застосування лазерів класифікують за конкретними галузями: наукові дослідження, виробництво медичних приладів, промислова обробка (наприклад, зварювання, різання), військова та оборонна галузі, тощо. У кожній з цих категорій є особливості застосування, характерні лише для окремої сфери інтересів; в той же час, навіть у таких широких категоріях можна знайти галузі з однаковими особливостями застосування [3-6].

Просторовий розподіл інтенсивності лазерного пучка залежить від механічних, термічних і електромагнітних змінних, якими створено пучок. Двовимірний і тривимірний профілі лазерного пучка, показані на рис. 1, відображають результат розподілу інтенсивності у інтуїтивно простий, нескладний у інтерпретації спосіб. У той же час неелектронні методи не можуть забезпечити такого рівня точності, особливо при використанні випромінювання в ультрафіолетовому або інфрачервоному діапазонах. Тому вказані профілі стали загальноприйнятим засобом при налаштуванні лазерів, цінним аналітичним інструментом при діагностиці проблем, пов'язаних з використанням лазерів [3-6].

Обладнання систем електронного профілювання лазерного променя зазвичай містить такі основні компоненти: цифрова камера (з відповідним інтерфейсом, наприклад Fireware); система переміщення камери на базі контролера крокового двигуна, керованого користувачем; високопродуктивна комп'ютерна система; карта механізму захоплення кадру, щоб перетворити сигнал у цифрову форму; а також програмне забезпечення, щоб керувати картою механізму захоплення кадру, показуючи профілі лазерного променя та здійснювати відповідні кількісні обчислення необхідних характеристик, які є складовими профілю. Додатковими надзвичайно важливими сервісними функціями, на думку авторів, також є інтелектуальні програмні засоби аналізу, діагностування, розпізнавання, класифікації та прогнозування складових характеристик профілю лазерного променя. Проте вказані інтелектуальні сервісні функції не в повній мірі розглядаються та застосовуються у зарубіжних аналогах [3,4].

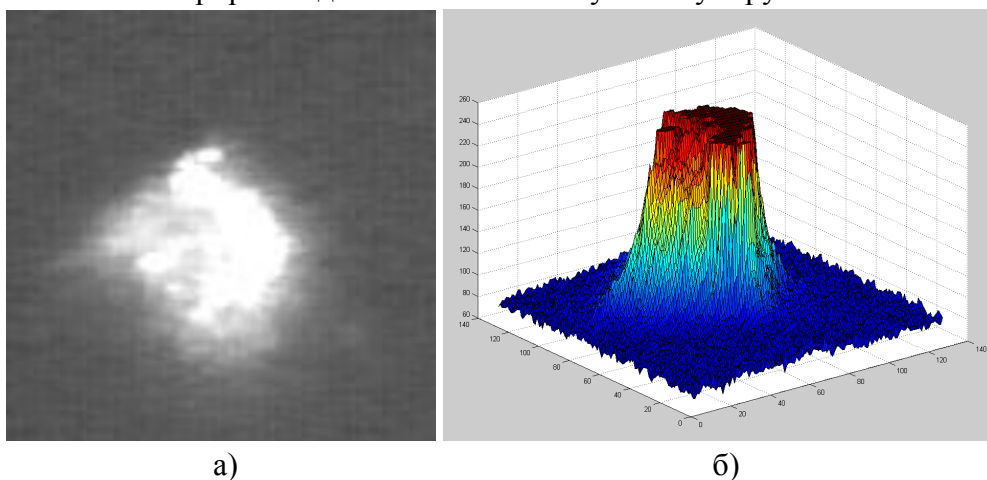


Рисунок 1 – Приклад двовимірного (а) і тривимірного (б) зображення профілю лазерного променя, що показують його детальну структуру у реальному часі

У даній роботі зосереджується увага на дослідженні відповідностей між функцією деформації та геометричними характеристиками профілю двовимірних

зображень відео-траси лазерного променя, зокрема на дослідженні методів аналізу розкиду геометричних характеристик сигналу лазерної траси, а також на основі цього розробки ІС розпізнавання плямоподібних зображень лазерного променя з нечіткою логікою.

Дослідження в даній сфері активно здійснюються науковими школами, які представляють різні країни СНД (НВО "Астрофізика", ЗАТ "Космічні інформаційно-аналітичні системи", Москва, Росія, тощо). Велика увага приділяється даному напрямку і в США, підтвердженням чого є аналогічні наукові дослідження та програмно-апаратні розробки таких провідних корпорацій, як Photon Inc. (San Jose, California, USA), Spiricon Inc. (Logan, Utah, USA), Coherent Auburn Group (Auburn, California, USA) [3,4].

Розробка ІС розпізнавання плямоподібних зображень лазерного променя з нечіткою логікою

Проаналізуємо особливості профілювання та формування плямоподібних зображень лазерного променя (кадри лазерної відеотраси), які в подальшому будемо розпізнавати та обґрунтуємо доцільність реалізації їх розпізнавання з допомогою нечітких методів. Набори плямоподібних зображень, що відповідають одному поняттю (в даному випадку послідовні серії зображень профілю лазерного променя), можна розглядати як множину образів або образний ряд. Тобто, їх можна розглядати як набір близьких за змістом зображень, що передбачає нечіткість переходів між окремими елементами даної послідовності.

Розглядаючи принципи побудови образного ряду, слід зазначити, що його складові елементи (члени ряду) є серією зображень-аналогів (тобто є подібними між собою в певній мірі, або подібними до еталону). Вони демонструють різні варіанти подібності та відмінності. Нечіткі множини в такому випадку можна розглядати як відповідний спосіб встановлення впорядкування на множині можливих станів або на можливих інтерпретаціях. Таке застосування приводить до двох можливих варіантів нечіткої логіки з різною семантикою: логіці подібності або близькості і логіці переваги або можливостей. При моделюванні шаблонів наближеного виведення нечіткі множини використовуються для вираження наступної семантики: невизначеності і подібності. Один із прикладів семантики передбачає вираз таких властивостей, як близькість, подібність і нерозрізненість. Якщо розглядати елементи зі значенням функції належності, рівним 1, як прототипи (еталони) нечіткої множини, то інші ступені належності оцінюють близькість елементів до еталону. Подібна точка зору відповідає класифікації за зразком, коли досить близькі об'єкти збираються в загальний нечіткий клас [7]. В нашому випадку досить зручно приймати за такий зразок ідеалізоване зображення профілю лазерного променя.

Для створення системи нечіткого розпізнавання потрібно визначити, які саме образи і в якому вигляді будуть подаватися на вхід системи, і які результати очікуватимуться.

На вхід системи можуть надходити нечіткі (в сенсі відмінності від еталону) образи (в нашому випадку кадри лазерної траси), а в базі знань зберігатися серії зображень аналогічних образів, що представляють собою прецеденти, які мали місце в минулому, що дозволить приймати рішення про схожість з еталонним зображенням.

Результат, отриманий на основі обробки образу повинен супроводжуватися вказівкою про ступінь впевненості щодо його схожості до еталону. Розпізнавання образів, можна розглядати як результат дії асоціативної пам'яті за механізмом подібності, яка слугує для заповнення прогалин неповного вихідного набору даних і отримання їх повноцінної сукупності. В процесі порівняння образу з еталоном повинен спостерігатися зсув на користь висловлювання про відмінність або подібність. Можуть розпізнаватися навіть зображення, що були початково зашумлені, хоча ступінь їх подібності буде дещо меншою від зображень, де шум відсутній. Для зменшення такої похибки будуть вводитися механізми усунення шумів [8].

Для оцінки лінгвістичних змінних x_i використовуються терми з наступних терм-множин:

$$A_i = \{a_i^1, a_i^2, \dots, a_i^{l_i}\} - \text{терм-множина змінної } x_i, i = \overline{1, n};$$

$$\text{де } a_i^p - p\text{-ий лінгвістичний терм параметра } x_i, i = \overline{1, n}; p = \overline{1, l_i};$$

$$l_i - \text{кількість термів змінної } x_i \text{ [9].}$$

Оскільки при розпізнаванні образів система має коректно працювати з якісними параметрами то для автоматизації процесу розпізнавання образів використаємо систему з нечітким логічним виведенням, синтезована база правил якої забезпечує оцінювання схожості двох об'єктів за параметрами “площа”, “викривлення форми”, “середнє зміщення енергетичного центра” та “ступінь розсіювання”. Лінгвістичні терми вхідних та вихідних параметрів представлені нижче.

Лінгвістичні терми $a_i^p \in A_i$ розглядаються як нечіткі множини задані на універсальній множині U_i ,

$$U_i = [\underline{x}_i, \bar{x}_i], i = \overline{1, n},$$

$$\text{де } \underline{x}_i(\bar{x}_i) - \text{нижнє (верхнє) значення вхідного фактору } x_i, i = \overline{1, n}.$$

Результатом роботи ІС буде ступінь спотворення зображення. Терми: НСС – найвища ступінь спотворення, ВСС – висока ступінь спотворення, ВС – ступінь спотворення вище середньої, С – середня ступінь спотворення, НС – ступінь спотворення нижче середньої, МСС – мала ступінь спотворення, Н – неспотворено.

Оскільки вхідними зображеннями будуть прямоподібні зображення профілю лазерного променя у GreyScale форматі, з розширенням 128x128 пікселів, то за еталонне зображення приймемо зображення з координатами енергетичного центру [64,64] (тобто зміщення відсутнє), нормальними розмірами та відсутністю деформації. Присутнє невелике розмиття зображення.

Для прикладу розглянемо декілька кадрів лазерної траси, що будуть розпізнаватися. Вони є дещо зашумленими, тому будуть попередньо оброблятися.

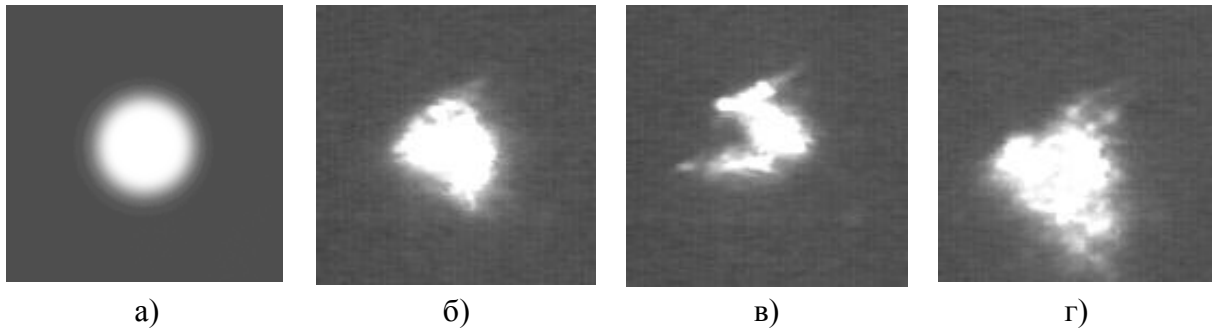


Рисунок 2 – Кадри лазерної траси:

(а) еталонне зображення, (б)-(г) – реальні зображення

Для виділення відповідних ознак з введених зображень необхідно виконати наступну послідовність дій.

Першим кроком є сегментація трансформованого зображення. Одним з найпоширеніших видів сегментації зображення є сегментація зображення за пороговим значенням рівнів яскравості. Цей метод базується на тій особливості, що багато різнотипних об'єктів або областей зображення характеризуються постійною властивістю відображення або поглинання світла на їх поверхні. Перевагою методу сегментації за пороговим значенням є його обчислювальна ефективність і можливість використання в системах реального часу. Результат сегментації початкового зображення $f(x,y)$ визначається так:

$$g(x, y) = \begin{cases} f(x, y), & \text{якщо } f(x, y) > T \\ 0, & \text{якщо } f(x, y) \leq T \end{cases},$$

де (x,y) – координати пікселя на зображенні, T – порогове значення.

Далі здійснюється операція фільтрації. В роботі фільтрація виконується для дрібних елементів і видаляються з зображення елементів, які можуть бути шумом.

Далі здійснюється пошук зв'язних областей, для чого задається множина наступних параметрів: мінімальна та максимальна площа об'єкта пошуку, його знак контрастності (об'єкт є темним або світлим), поріг бінаризації (значення, вище якого слід вважати об'єкт світлим, а нижче якого – темним).

Наступні дії будуть виконуватись над сформованим на попередньому кроці об'єктом з метою отримання додаткових характеристик для розв'язання задачі розпізнання. До додаткової інформації про об'єкт слід віднести:

а) *Розмір прямокутника*, в який вписаний об'єкт. Для всіх C значення яких більше 0. параметри прямокутника (Ширина, Довжина) визначаються наступним чином:

$$\begin{aligned} \text{Ширина} &= X_{\max C} - X_{\min C}, \\ \text{Довжина} &= Y_{\max C} - Y_{\min C}, \end{aligned}$$

де $X_{\max C}$ - максимальна координата по осі X пікселю, де значення $C > 0$; $X_{\min C}$ - мінімальна координата по осі X пікселю, де значення $C > 0$; $Y_{\max C}$ - максимальна координата по осі Y пікселю, де значення $C > 0$; $Y_{\min C}$ - мінімальна координата по осі Y пікселю, де значення $C > 0$;

Розраховується різниця сторін прямокутника, що описаний навколо прямоподібного зображення.

б) *Зміщення енергетичного центру*, Використання двовимірної ортогональної системи координат дозволяє отримати такі вирази для визначення кожної координати[10]:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \cdot (\omega_{ij} - \omega_{bg})^k}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\omega_{ij} - \omega_{bg})^k} \quad y = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m y_{ij} \cdot (\omega_{ij} - \omega_{bg})^k}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\omega_{ij} - \omega_{bg})^k}$$

де x – абсциса центра максимальної інтенсивності; y – ордината центра максимальної інтенсивності; x_{ij} – абсциса поточного пікселя з координатами $(i;j)$, y_{ij} – ордината поточного пікселя з координатами $(i;j)$, ω_{ij} – ваговий коефіцієнт поточного пікселя (фізичний зміст якого – інтенсивність, яскравість кольору), ω_{bg} – ваговий коефіцієнт фону, k – коефіцієнт уточнення (виокремлення) градації яскравості.

Якщо обрати за початок відліку верхній лівий кут зображення, то вказані рівняння приймуть вигляд:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m i \cdot (\omega_{ij} - \omega_{bg})^k}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\omega_{ij} - \omega_{bg})^k} \quad y = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m j \cdot (\omega_{ij} - \omega_{bg})^k}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\omega_{ij} - \omega_{bg})^k}$$

За зміщення обираємо відхилення координат від енергетичного центру еталонного прямоподібного зображення.

в) *Площа об'єкту*. Активною площею прямоподібного зображення є скупчення пікселів із значенням яскравості більше 210, оскільки для досліджуваних зображень у форматі GreyScale показник яскравості змінюється від 0 до 255. Кількість таких пікселів і є значенням площі прямоподібного зображення.

г) *Розсіювання об'єкту*. До пікселів, що визначають кількісне значення розсіювання лазерного профілю належать пікселі з значенням яскравості від 150 до 210. Розрахунок проводиться подібно до розрахунку площі прямоподібного зображення.

Операція нечіткого логічного виведення виконуватиметься у такій послідовності:

1. Правила, за якими приймається рішення про результат розпізнавання, представляються у вигляді нечітких баз знань

$$\bigcup_{p=1,k} \bigcap_{i=1,n} x_i = a_i^{jp} \rightarrow y = b_j; j = \overline{1,m}$$

2. Визначаються функції належності усіх нечітких термінів a_i^{jp} .

3. Записується система нечітких логічних рівнянь

$$\mu_{b_j}(y) = \bigvee_{p=1,k} \bigwedge_{i=1,n} \mu_{a_i^{jp}}(a_i); j = \overline{1,m}$$

4. Фіксується значення параметрів стану $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ для конкретного зображення. Задаються значення функцій належності термінів і визначаються значення цих функцій при фіксованих значеннях параметрів x_i .

$$\mu^{d_j}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \bigvee_{p=1}^{k_j} \left(\bigwedge_{i=1}^n \mu^{jp}(x_i) \right), \quad j=1, m,$$

5. За допомогою логічних рівнянь

обчислюються значення багатовимірних функцій належностей $\mu^{d_j}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ при векторі стану $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ для всіх рекомендацій $d \in D = \{d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7\}$. При цьому логічні операції І (\wedge) та АБО (\vee) над функціями належності замінюються на операції min та max [11].

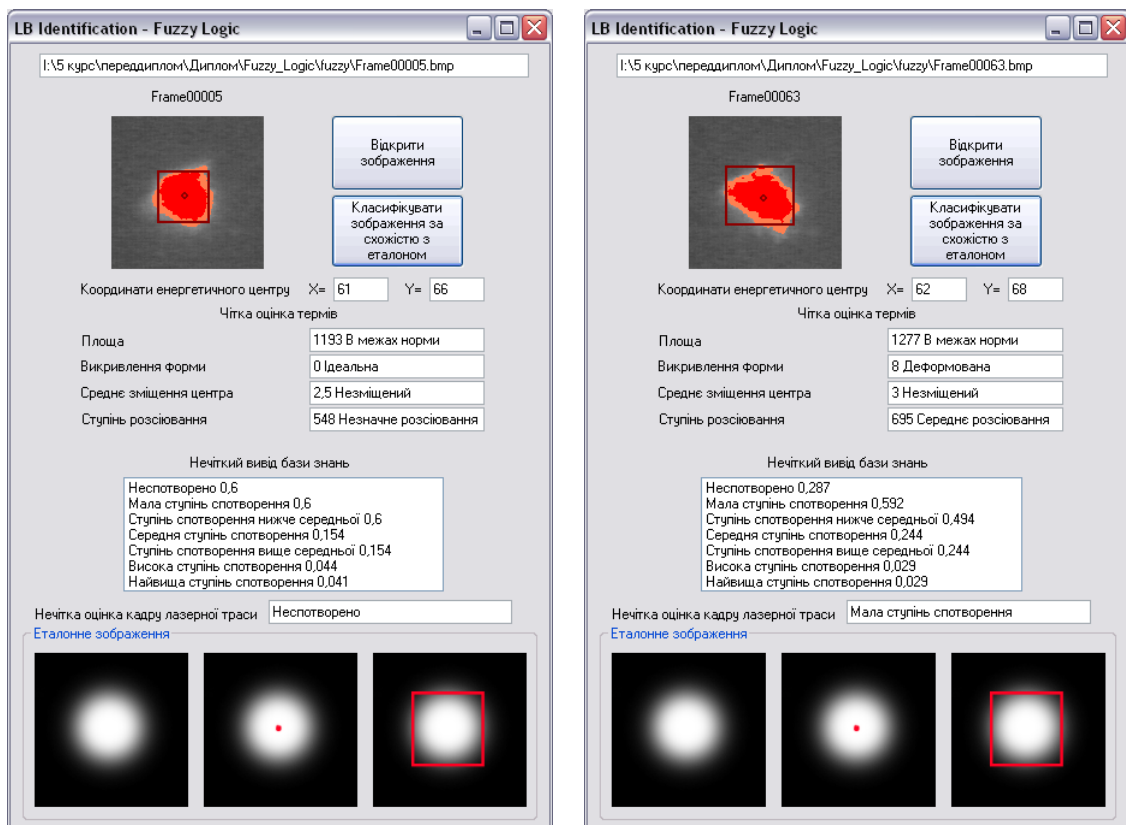
$$\mu^d(x_1, x_2, \dots, x_n) = \max_{j=1, m} (\mu^{jp}(x_1, x_2, \dots, x_n))$$

6. Визначаємо рішення d, для якого

Цьому рішення й буде відповідати шукана оцінка плямоподібного зображення кадру лазерної траси.

Тестування розробленого програмного продукту здійснювалось на основі наборів зображень (14 серій по 2044 зображення у кожній) формату "BMP", розширенням 128*128 пікселів. Розглянемо приклад роботи програми. Завантажене зображення.

Після натиснення опції "Класифікувати зображення за схожістю з еталоном" відбувається процес розпізнавання та оцінювання кадру лазерної траси. Проводиться візуалізація енергетичного центру, активної площі плями, розсіювання та границь зображення. Також зазначаються параметри кадру і дається оцінка на основі нечіткого аналізу.



а) б)
Рисунок 3 – Приклади роботи програми

Нехай на вхід системи прийшло таке зображення:



Рисунок 4 – Вхідне зображення

Зображення має такі кількісні значення параметрів:

Площа	Зміщення центру	Викривлення форми	Розсіювання
1192	2,5	0	548

Визначимо вхідні дані у вигляді термів:

Розмір: 0/ сильно змінений, 0,3/ змінений, 0,85/нормальний;

Зміщення центру мас: 0/дуже зміщений, 0/сильно зміщений, 0,1/незначно зміщений, 0,95/незміщений;

Форма: 0/дуже деформована, 0/сильно деформована, 0,05/деформована, 0,95/майже нормальна, 0,65/ідеальна;

Розсіювання: 0,35/розсіювання відсутнє, 0,75/незначно розсіяне, 0,3/розсіяне, 0/ сильно розсіяне.

Підставимо ці значення у базу правил для отримання рекомендацій:

$$\mu_{D1} = 0 \wedge 0 \wedge 0 \wedge 0 \vee 0, \wedge 0 \wedge 0 \wedge 0 = 0.$$

$$\mu_{D2} = 0 \wedge 0 \wedge 0 \wedge 0 \vee 0, \wedge 0 \wedge 0 \wedge 0,3 = 0.$$

$$\mu_{D3} = 0 \wedge 0 \wedge 0 \wedge 0,3 \vee 0,3 \wedge 0 \wedge 0 \wedge 0,3 = 0.$$

$$\mu_{D4} = 0,3 \wedge 0 \wedge 0,05, \wedge 0,3 \vee 0,3 \wedge 0 \wedge 0,05 \wedge 0,75 = 0.$$

$$\mu_{D5} = 0,3 \wedge 0,1 \wedge 0,25 \wedge 0,3 \vee 0,85 \wedge 0,1 \wedge 0,25 \wedge 0,75 = 0,1.$$

$$\mu_{D6} = 0,85 \wedge 0,1 \wedge 0,95 \wedge 0,75 \vee 0,85 \wedge 0,95 \wedge 0,95 \wedge 0,75 = 0,75.$$

$$\mu_{D7} = 0,85 \wedge 0,95 \wedge 0,65 \wedge 0,75 \vee 0,85 \wedge 0,65 \wedge 0,35 = 0,65.$$

Рекомендація, виведена програмою, зображена на рис. 3,а. Результат роботи програми збігається з думкою експерта, що свідчить про правильну реалізацію алгоритму. Слід зазначити, що в окремих випадках результат роботи програми не повністю задовольняв експерта, але це зумовлене невеликою розмірністю бази знань, тобто малою кількістю наведених фактів та правил.

Перспективи вибору апаратної платформи для реалізації ІС розпізнавання прямоподібних зображень лазерного променя

В аспекті перспектив практично-прикладного застосування програмних модулів ІС для розпізнавання та ідентифікації прямоподібних зображень лазерної траси у відеоряді досліджуються особливості організації розпізнавання 3D об'єктів у реальному

часі. Для цього буде використана Windows API технологія DirectShow (для роботи з відео потоками) та Direct3D, яка містить високорівневий інтерфейс Retained Mode, що дозволяє працювати з графічними 3D об'єктами. Оскільки такі обчислення потребують значних ресурсів та апаратних затрат є доцільним використання високопродуктивного обчислювального комплексу для підвищення показників продуктивності та швидкодії.

Одним із поширених на теперішній час способів є застосування гетерогенних паралельних обчислень при побудові гібридних обчислювальних комплексів на основі графічних процесорних пристроїв (GPU) для створення систем, здатних гідно конкурувати з традиційними суперкомп'ютерами. Перевагою такого підходу є те, що сучасні покоління GPU мають досить гнучку архітектуру, що разом з мовами програмування високого рівня і сучасними програмно-апаратними архітектурами розкриває їх додаткові можливості, робить їх доступнішими і економічно вигідними. Додаткова перевагою, в контексті програмної підтримки, є те, що компанії NVIDIA і AMD, розробили і анонсували відповідні програмні платформи під назвою CUDA (Compute Unified Device Architecture) і AMD Stream Computing відповідно, що надає універсальності GPGPU технологіям.

У роботі аналізуються різні способи організації масивно-паралельних обчислень на базі GPU. Детальніше акцентовано увагу на технологіях "NVIDIA SLI" та "AMD CrossFireX".

AMD CrossFireX – технологія, що дозволяє одночасно використовувати потужності двох і більше (до чотирьох) відеоадаптерів Radeon для побудови тривимірного зображення (Multi Video Processing) та паралельних обчислень [12].

NVIDIA SLI (Scalable Link Interface) – технологія мультичіпової обробки даних на основі масштабованого інтерфейсу, що дозволяє використовувати потужності декількох відеоадаптерів в режимі Multi-GPU Rendering як для задач обробки тривимірного зображення, так і для задач організації паралельних обчислень. Дана технологія дозволяє гнучко змінювати продуктивність GPU шляхом об'єднання декількох графічних рішень NVIDIA в межах одного обчислювального комплексу та динамічного розподілу навантаження між відеоадаптерами. Використовуючи власні програмні алгоритми й спеціальну логіку масштабування в кожному GPU, технологія SLI надає дворазове підвищення продуктивності з 2-ма відеоадаптерами й 2,8-кратне – з 3-ма відеоадаптерами в порівнянні з одиничним графічним рішенням [12].

Проаналізовано результати тестування програмно-апаратних комплексів, що реалізують вказані технології, на базі "3Dmark" (розроблено фінською компанією Futuremark), який являє серію найпопулярніших і широко відомих комп'ютерних тестів продуктивності обчислювальної системи, і зокрема, її графічних компонентів.

На основі багатоваріантного аналізу визначено, що для даних досліджень відносно кращою є технологія NVIDIA SLI, головною перевагою якої є простота реалізації, доступність компонентів на ринку та відносна апаратна дешевизна (враховуючи середню ціну на апаратні модулі). Наприклад, при побудові масивно-паралельних обчислювальних систем, на базі NVIDIA SLI, для коректної роботи рекомендовано використовувати блок живлення потужністю не менше 550 Ватт, проти 700 – у AMD. Також у технології CrossFireX немає вбудованого Gigabit Ethernet та підтримки RAID 5 [12].

На основі проведеного аналізу вказаних технологій було обрано в якості апаратної та програмної платформи для подальших досліджень, при організації масивно-паралельних обчислень, технологію NVIDIA SLI. Розроблено високопродуктивний обчислювальний мережевий комплекс, який містить 2 відеоадаптера GeForce GTX590 (кожен з яких працює у 1024 потоки), що є пристроєм останнього покоління NVIDIA. Кожен відеоадаптер GeForce GTX590 містить два 512-ядерних GPU GTX 500, що в сукупності становить $512 \times 4 = 2048$ -ядерне апаратне забезпечення, з теоретичною продуктивністю 2488,3 GFLOPS. Таким чином, розроблена SLI система з двох таких відеоадаптерів надаватиме можливість обробляти інформацію у 2048 потоків з граничною теоретичною продуктивністю 4976,6 GFLOPS. Для порівняння, найпотужніші публічно доступні на даний час процесори Intel Core i7 працюють у 4 потоки і забезпечують продуктивність близько 53,28 GFLOPS.

Висновки

У роботі обґрунтовано актуальність застосування нових підходів до вирішення задачі профілювання лазерних променів в контексті розпізнавання плямоподібних зображень лазерного променя на основі нечіткої логіки.

Зосереджено увагу на дослідженні відповідностей між функцією деформації та геометричними характеристиками двовимірних зображень профілю лазерного променя. Здійснено програмну реалізацію інтелектуальної системи розпізнавання плямоподібних зображень лазерного променя з нечіткою логікою, що дозволяє підвищити точність класифікації в процесах профілювання лазерного променя.

Проаналізовано перспективи її прикладної реалізації на базі високопродуктивного обчислювального комплексу з організацією масивно-паралельних обчислень з використанням технології "NVIDIA SLI", що дозволяє підвищити показники продуктивності та швидкодії системи.

Література

1. Полторак В.П. Система розпознавання образів на базі нечеткого класифікатора. / Полторак В.П., Дорогой Я.Ю. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://aaecs.org/poltorak-vp-dorogoi-yayu-sistema-raspoznavaniya-obrazov-na-baze-nechetkogo-neironnogo-klassifikatora.html>.
2. Костенко Л.Й. Нечеткая логика, нечеткие операторы, применение нечёткой логики, понятия нечеткой логики, универсум, логические операции. / Костенко Л.Й. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://dmtsoft.ru/bn/476/as/onearticleshablon>.
3. Basov N.G., Zemskov E.M., Kutaev Y.F. et. al. Laser Control of Near Earth Space and Possibilities for Removal of Space Debris from Orbit with Explosive Photo-Dissociation Lasers with Phase Conjugation // Proc. GCL/HPL 98. SPIE Symposium. – St-Petersburg (Russia). – 1998. – pp. 219-228.
4. Carlos B. Roundy Current Technology of Laser Beam Profile Measurements. / C.B. Roundy – Spiricon. Inc., 2000. – 290 p.

5. Кожем'яко В.П. Методологічні підходи до паралельно-ієрархічної обробки плямових зображень лазерних пучків та їх прикладна реалізація / Кожем'яко В.П., Тимченко Л.І., Яровий А.А. // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – №1 (11). – С. 14-25.
6. Яровий А.А. Інтелектуальна система аналізу та обробки складових характеристик профілю лазерного променя для їх нейроподібного паралельно-ієрархічного розпізнавання та ідентифікації / А.А. Яровий // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2007. – № 3(10). – С. 115-123.
7. Теория и практика нечетких гибридных систем / Батыршин И.З., Недосекин А.А., Стецко А.А., Тарасов В.Б. – Москва: Физматлит, 2007. – 92 с.
8. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Заде Л. – М.: Мир, 1976. – 166 с.
9. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств / Кофман А. – Москва: Радио и связь, 1982. – 432 с.
10. Інтелектуальна система ущільнення та розпізнавання зображень для задач профілювання лазерного променя [Електронний ресурс] : [Електронне наукове фахове видання] / А. А. Яровий, Р. С. Власюк // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2010. – №2. – С. 1-11. – Режим доступу до журн.: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2010-2/2010-2.files/uk/10yaalbp_ua.pdf.
11. Новак В. Математические принципы нечёткой логики / Новак В., Перфильева И., Мочкрож И. – Москва: Физматлит, 2006. – 352 с.
12. Яровий А.А., Високопродуктивний обчислювальний мережевий комплекс на основі сучасних паралельно-ієрархічних технологій та GPGPU / Яровий А.А., Борисов А.О., Мудрик В.В. – Інтелектуальні системи в промисловості і освіті : Тези доповідей Третньої міжнародної науково-практичної конференції ІСПО-2011, Суми, 2-4 листопада 2011 р. – Суми, Видавництво СумДУ, 2011. – С. 146-148.