

УДК 621.398:007

А.А. ЯРОВИЙ

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ 3D ВІДОБРАЖЕННЯ ПЛЯМОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ЛАЗЕРНОГО ПРОМЕНЯ ТА ЙОГО РОЗПІЗНАВАННЯ

*Вінницький національний технічний університет,
Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, 21021, Україна,
тел.: +38 (0432) 580019, e-mail: axa@vinnitsa.com*

Анотація. В проведених дослідженнях здійснено аналіз методологічних особливостей побудови 3D відображення плямових зображень лазерного променя та його розпізнавання, а також прикладних аспектів побудови інтелектуальної системи для підвищення точності ідентифікації та розпізнавання 3D об'єктів плямових зображень лазерного променя з різним ступенем спотворення внаслідок дії зовнішніх факторів впливу. Наведено результати розробки програмного комплексу для моделювання, відображення та розпізнавання 3D профілю лазерного променя у реальному часі на базі плямових зображень відео-траси лазерних пучків, а також перспективи подальшої розробки гібридної моделі інтелектуальної системи для підвищення якості розпізнавання.

Аннотация. В проведенных исследованиях осуществлен анализ методологических особенностей построения 3D отображения пятенных изображений лазерного луча и его распознавания, а также прикладных аспектов построения интеллектуальной системы для повышения точности идентификации и распознавания 3D объектов пятенных изображений лазерного луча с разной степенью искажения вследствие действия внешних факторов влияния. Приведены результаты разработки программного комплекса для моделирования, отображения и распознавания 3D профиля лазерного луча в реальном времени на базе пятенных изображений видео-траксы лазерных пучков, а также перспективы дальнейшей разработки гибридной модели интеллектуальной системы для повышения качества распознавания.

Abstract. The analysis of methodological features of modeling 3D view of laser beam spot images and its recognition is carried out in the given researches. Also the applied aspects of construction of intelligent system for increasing of identification precision and recognition of 3D objects of laser beam spot images with different degree of deformation as a result of external influences action. The results of development of the software package for real-time modeling, view and recognition 3D profile of laser beam on the base of spot images of laser beam video-track are given. The prospectus of further development of hybrid-type model of intelligent system for increasing of property recognition is given.

Ключові слова: обробка зображень, ідентифікація та розпізнавання 3D об'єктів, системи профілювання лазерних променів.

ВСТУП

Розповсюдження лазерного променя у просторі значно змінює його профіль. Тому важливого значення набуває проблема вимірювання профілю лазерного променя для різноманітних практично-прикладних застосувань, особливо якщо густина енергії пов'язана із продуктивністю лазера [1,2].

Значення деформованих профілів лазерного променя змінюються в залежності від практичного застосування. Такі профілі можуть мати пікову енергію меншу за 50% від тієї, що, наприклад, промінь Гауса мав би від загальної потужності або енергії при тих самих умовах. Таким чином, нелінійний процес може призводити до 12 % або 25 % втрат від очікуваних значень пікової енергії [1].

Системи, що використовують лазерні пристрої, такі як оптичні телекомунікаційні мережі, лазерна локація, лазерна обробка матеріалів (зокрема Nd:YAG та CO₂ лазери) та ін. потребують високого ступеня контролю лазерним променем, щоб коректно виконувати задані користувачем завдання. Промислові процеси різання та зварювання прямо пов'язані із вимірюванням характеристик профілю лазерного променя. Рівномірність, направленість і стабільність, а також картина поля моди лазерного променя звичайного лазерного діоду, що застосовується в різноманітних пристроях, може різко спотворюватись за рахунок розрегулювання та нецентрованості колімуючої оптики установки, що

спричиняє до неочікуваного зниження продуктивності пристрою загалом. 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, тощо [1,2]. Тому для різних прикладних задач є актуальними наукові розробки, присвячені визначенню окремих характеристик профілю лазерного променя, ідентифікації та розпізнавання плямових зображень лазерного променя з різним ступенем спотворення внаслідок дії зовнішніх факторів впливу. Також для вирішення багатьох практичних завдань необхідно знати закономірності поширення оптичного випромінювання в неоднорідному середовищі, оптичні властивості якого змінюються в просторі. Напрямок поширення, швидкість і амплітуда є локальними характеристиками й розглядаються як функції координат [1-4].

Слід зазначити, що наукові дослідження в даному напрямі активно здійснюються науковими школами, які представляють як країни СНД (НВО "Астрофізика", Росія), так і дальнє зарубіжжя. Зокрема, велика увага приділяється даному науковому напрямку і в США та Європі, підтвердженням чого є аналогічні наукові дослідження та програмно-апаратні розробки таких провідних корпорацій, як Ophir-Spiricon Inc. (USA), Photon Inc. (USA), Coherent Auburn Group (USA), MS MacroSystems (Netherlands) PhaseView (France), тощо [1,5-8].

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є дослідження методологічних особливостей побудови 3D відображення плямових зображень лазерного променя та його розпізнавання на основі інтелектуальної системи для підвищення точності ідентифікації та розпізнавання 3D об'єктів плямових зображень лазерного променя з різним ступенем спотворення внаслідок дії зовнішніх факторів впливу в задачах оптичної астрополариметрії, лазерної локації, діагностування лазерних установок.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ. АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ПОБУДОВИ 3D ВІДОБРАЖЕННЯ ПЛЯМОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ЛАЗЕРНОГО ПРОМЯНЯ ТА ЙОГО РОЗПІЗНАВАННЯ

Існує велика кількість груп методів вимірювання профілю лазерного променя, такі як неелектричні методи, електронні методи, методи на основі механічних скануючих пристроїв, на основі спеціалізованих камер тощо [1,6]. Неелектронні методи не можуть забезпечити високого рівня точності, особливо при використанні випромінювання в ультрафіолетовому або інфрачервоному діапазонах. Найбільшого ж застосування набули методи вимірювання профілю лазерного променя на основі спеціалізованих CCD-камер. Тому вказані профілі стали загальноприйнятим засобом при налаштуванні лазерів, цінним аналітичним інструментом при діагностуванні проблем, пов'язаних з використанням лазерів [1,6,9].

Просторовий розподіл інтенсивності лазерного пучка залежить від багатьох змінних, зокрема механічних, термічних та електромагнітних, якими створено пучок. 2D та 3D профілі лазерного пучка, показані на рис. 1, відображають результат розподілу інтенсивності у інтуїтивно зрозумілий та нескладний для інтерпретації спосіб.

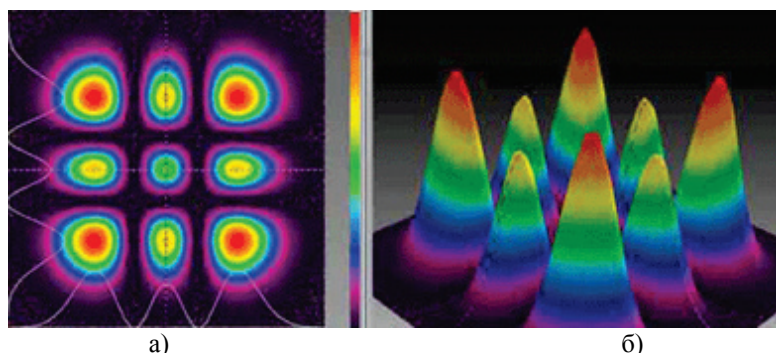


Рис. 1. Типові двовимірні (а) та тривимірні (б) профілі лазерного променя, які відображають його детальну структуру в реальному часі [5]

В даній роботі зосереджено увагу на особливостях побудови, моделювання та розпізнавання тривимірних об'єктів. Адже для вирішення багатьох сучасних проблем пов'язаних із застосуванням систем машинного зору актуальною є задача розпізнавання техногенних тривимірних об'єктів. В окремих класах задач, в тому числі і у задачах профілювання лазерних променів, актуальним є напрям застосування, поряд із традиційними системами 2D розпізнавання, спеціалізованих систем 3D

відображення та розпізнавання з метою підвищення точності розпізнавання [10]. До недоліків систем 2D розпізнавання можна віднести те, що в таких системах переважно використовуються ділянки зображення з високим контрастом (наприклад, в задачах розпізнавання обличчя людини – очі, рот, ніс; або ж в задачах профілювання лазерного променя – крайові лінії градацій яскравості, енергетичні центри та їх околиці) і недостатньо використовується інформація в областях низького контрасту (наприклад, в задачах розпізнавання обличчя людини – на щоках, лобі, підборідді; або ж в задачах профілювання лазерного променя – області низької інтенсивності яскравості та граничні з фоном ділянки). На противагу цьому, системи 3D розпізнавання включають для аналізу усі ділянки зображення. Також варто відзначити інші переваги, що свідчать про актуальність застосування систем 3D розпізнавання зображень: нечутливість результатів розпізнавання до освітленості об'єкта; стійкість до змін яскравості сцени (у 3D розпізнаванні зміни в освітленості впливають лише на текстуру об'єкта, у той час як реконструкція поверхні зберігає свої властивості); з використанням 3D розпізнавання інваріантність положення об'єкта на зображенні може бути зведена до повороту 3D моделі об'єкта у нове положення; при 3D розпізнаванні фізичні розміри об'єкта відомі і можуть явно використовуватися для розпізнавання, на відміну від розпізнавання двовимірного зображення, де розмір об'єкта істотно залежить від відстані між об'єктом і камерою [11,12]. За наявності початкових 3D моделей об'єктів у тривимірному розпізнаванні, ймовірність появи помилок значно зменшується в порівнянні з двовимірним розпізнаванням. Істотно знижуються вимоги до ракурсу, в якому знятий об'єкт. Достовірність двовимірного розпізнавання суттєво знижується при повороті частини об'єкту, на 15° . У тривимірному розпізнаванні допустимий кут відхилення від фронтального ракурсу може досягати 45° [11].

В контексті побудови 3D відображення плямових зображень лазерного променя, в роботі було здійснено комп'ютерне моделювання в середовищі MatLab тривимірних каркасів зображень профілю лазерного променя (рис. 2). Вибір середовища MatLab обґрунтовується тим, що на даний момент це є високоефективна мова інженерних і наукових обчислень. MatLab підтримує математичні обчислення, візуалізацію наукової графіки й програмування з використанням легко освоюваного операційного оточення; має широку функціональність, починаючи від вбудованих математичних функцій і нових конструкцій програмування й закінчуючи новими структурами даних, об'єктно-орієнтованим підходом, новими засобами візуалізації й графічним інтерфейсом користувача. Для задач обробки зображень в MatLab є повний набір, що містить типові еталонні алгоритми для обробки й аналізу зображень, у тому числі функції фільтрації, частотного аналізу, поліпшення зображень, морфологічного аналізу й розпізнавання. Усі функції написані відкритою мовою MatLab, що дозволяє користувачу контролювати виконання алгоритмів, змінювати вихідний код, а також створювати свої власні функції й процедури [13].

Початкове плямове зображення лазерного променя (рис. 2,а) при введенні в середовище MatLab має вигляд матриці з розмірністю введеного зображення (128×128 пікселів) і даними про значення яскравості кожного пікселя (від 0 до 255). Для розширення діапазону застосовуваних функцій, подальшого моделювання та налаштування особливостей відображення 3D каркасу змінюємо тип даних на "double". Після отримання оновленої матриці значень яскравостей відбувається процедура побудови 3D каркасу (рис. 2,б). Необхідно відзначити, що в MatLab є можливість створити проекцію каркасу на площину та розбити її на рівні інтенсивності за яскравістю (рис. 2,в). Порівнявши початкове зображення з проекцією 3D каркасу, можна відзначити позитивну додаткову можливість при роботі з 3D каркасом за необхідності отримувати 2D зображення з автоматичним розбиттям і виділенням рівнів інтенсивності за яскравістю. Це, в свою чергу, дає можливість користувачу при профілюванні лазерного променя застосовувати для аналізу зображення широкий діапазон розроблених методів ідентифікації, розпізнавання, експертного аналізу як в 2D [14,15], так і в 3D [16], в залежності від завдання дослідження та, за необхідності, легко порівнювати отримані результати.

Необхідно відзначити, що актуальність створення штучних інтелектуальних систем розпізнавання тривимірних об'єктів є досить високою, але й одночасно дуже складною теоретичною та технічною проблемою. Важливою особливістю методів розпізнавання 3D об'єктів є можливість підвищення точності розпізнавання шляхом комбінування власне методів призначених для 3D об'єктів з методами розпізнавання, що застосовується для 2D-об'єктів. Зокрема, статистичні методи, наприклад, метод головних компонент (Principal Component Analysis – PCA), широко використовувалися раніше в 2D розпізнаванні. В численних наукових публікаціях описано, що метод PCA реалізований і для 3D розпізнавання (метод «Eigenface») [11,17]. PCA був розширений одночасно на комбінацію карти глибини й кольори. Альтернативним для PCA є метод лінійного дискримінантного аналізу. На відміну від PCA, у лінійному дискримінантному аналізі один об'єкт (наприклад, в задачах розпізнавання обличчя людини – задана людина) задається не одним обличчям, а набором моделей (3D облич). Поширеними методами розпізнавання 3D об'єктів є також: метод незалежних компонент (Independent Component Analysis), метод

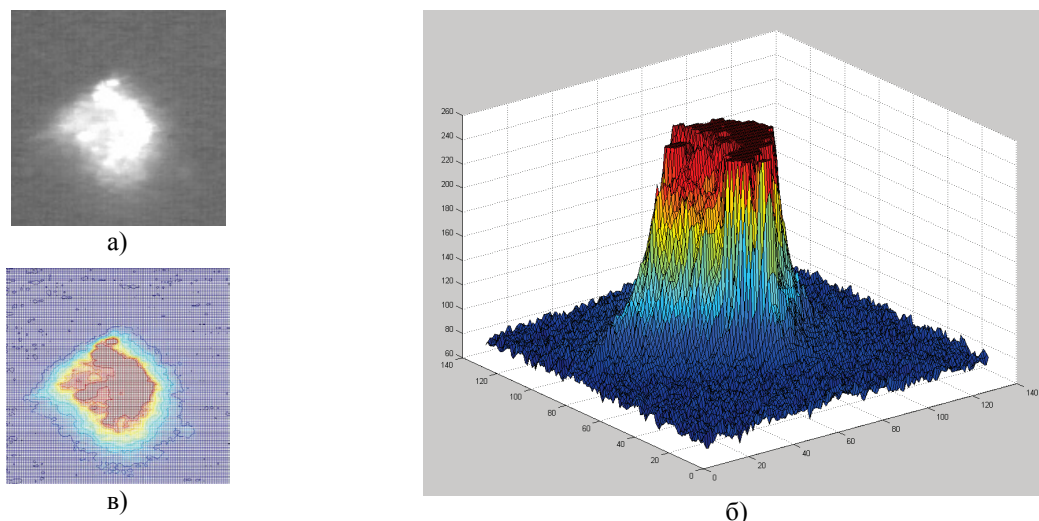


Рис. 2. Результати побудови та моделювання 3D каркасу плямових зображень лазерного променя: а) початкове плямове зображення; б) загальний вигляд сформованого 3D каркасу; в) проекція 3D каркасу на площину

еволюційного переслідування (Evolutionary Pursuit), метод порівняння еластичних графів (Elastic Bunch Graph Matching), метод контурного перетворення (Trace Transform), метод прихованих Марківських моделей (Hidden Markov Models) тощо [18]. В даному дослідженні при розпізнаванні 3D каркасів плямових зображень лазерного променя застосовано метод “Eigenfaces”. Першопочатково метод “Eigenfaces” був розроблений для розпізнавання облич людини. В теперішній час вважається, що найбільшу точність розпізнавання облич дають біометричні системи на основі термограм обличчя, які можуть бути отримані шляхом використання спеціалізованих інфрачервоних відео-камер. В свою чергу, термографічні зображення також можна охарактеризувати як плямоподібні, які є унікальними для кожної людини. Тому, в проведених дослідженнях на першому етапі було апробовано та застосовано метод “Eigenfaces” для розпізнавання тестових зображень обличчя людини, а за результатами першого етапу – для розпізнавання плямових зображень лазерного променя.

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ 3D ВІДОБРАЖЕННЯ ПЛЯМОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ЛАЗЕРНОГО ПРОМЯНЯ ТА ЙОГО РОЗПІЗНАВАННЯ

Розроблений програмний комплекс для моделювання, відображення та розпізнавання 3D профілю лазерного променя у реальному часі на базі плямових зображень відео-траси лазерних пучків („3D Object Recognizer::Laser Beam”) призначений для попередньої обробки, перетворення двовимірного плямового зображення в тривимірний об’єкт, візуалізації 3D профілю лазерного променя, а також ідентифікації та розпізнавання 3D об’єктів плямових зображень лазерного променя з різним ступенем спотворення внаслідок дії зовнішніх факторів впливу.

У рамках проекту було реалізовано (рис. 3):

- 1) модуль завантаження двовимірних плямових зображень відео-траси лазерних пучків;
- 2) модуль перетворення 2D зображень профілю лазерного променя у 3D об’єкт;
- 3) модуль візуалізації 3D об’єкту;
- 4) модуль навчання інтелектуальної системи та розпізнавання 3D об’єктів.

Програмний комплекс написано на мові C# для платформи Microsoft .NET 3.5.

Для роботи із програмним комплексом необхідно:

1. Здійснити завантаження двовимірного зображення. Користувач обирає двовимірне зображення, яке система завантажує у пам’ять для підвищення швидкості обробки. Після завантаження двовимірного зображення, система перевіряє чи потребує завантажене зображення процедури масштабування. Якщо так, то активується функція масштабування. Після завершення обробки двовимірного зображення, воно завантажується у компонент візуалізації двовимірних зображень. Далі розроблений програмний комплекс (модуль перетворення 2D зображень профілю лазерного променя у 3D об’єкт) вилучає параметри двовимірного зображення, а саме параметри x , y та $color$ для кожного пікселя зображення, де x – горизонтальна позиція пікселя, y – вертикальна позиція пікселя, $color$ – значення відтінку пікселя в форматі GrayScale (від 0 до 255). Після вилучення всіх параметрів двовимірного зображення, вказаний модуль створює в пам’яті ПК тривимірну матрицю з параметрами x , y та z , в які копіює параметри x , y та $color$ відповідно.

Таким чином, в параметр *z* копіюється параметр *color*. Далі відбувається завантаження тривимірної матриці до 3D моделі об'єкта та візуалізація 3D об'єкта профілю лазерного променя.

2. Здійснити процедуру навчання з вибірки тривимірних об'єктів. Для реалізації процедури навчання вибірки потрібно запустити програму, на відкритій формі натиснути кнопку «Load for train», після цього обрати двовимірний файл та натиснути кнопку «ОК». Двовимірне зображення з'явиться у компоненті відображення зображень (рис. 4).

Для додавання тривимірного зображення у навчальну вибірку, користувач має натиснути кнопку «Add to train array». Після цього завантажений 3D об'єкт додається до навчальної вибірки. Якщо користувач не бажає відображати 3D об'єкт з текстурою, то він має поставити відмітку на опції «Load 3D object without texture». Користувач повинен повторити всі вищевказані дії для кожного зображення, яке він хоче додати до навчальної вибірки.

3. Здійснити процедуру розпізнавання тривимірного статичного об'єкту. Після того як сформовано навчальну вибірку з 3D об'єктів – складових профілю лазерного променя починається процес навчання нейромережевої системи ідентифікації та розпізнавання 3D зображень на основі адаптованого методу «Eigenfaces», що базується на математичних положеннях методу головних компонент. Згідно методу "Eigenfaces" власні вектори 3D об'єкта виводяться з коваріаційної матриці розподілу ймовірностей. Для реалізації алгоритму "Eigenfaces" необхідно спочатку здійснити процедуру навчання, для цього використовується навчальна вибірка на великому наборі різних вхідних матриць, отриманих відповідно з конкретним класом зображень [17].

Припустимо, що користувач завантажив 20 тривимірних об'єктів до навчальної вибірки. Тепер для того, щоб розпізнати деякий тривимірний об'єкт, необхідно його завантажити, – для цього потрібно натиснути на кнопку «Load for recognition». Далі, щоб розпізнати завантажений тривимірний об'єкт, потрібно натиснути на кнопку «Recognize 3D object». Результати розпізнавання з'являться у текстовому інформаційному полі (рис. 4).

Вимоги до мінімального складу та параметрів технічних засобів:

- Операційна система: не нижче Windows XP.
- Програмне середовище Microsoft .NET Framework 3.5.
- Процесор типу INTEL або AMD з підтримкою 64 бітного розширення, та мінімальною тактовою частотою 1,600 ГГц та мінімальним обсягом кеш-пам'яті другого рівня 2 Мб.
- Відеоадаптер із сертифікацією на підтримку OpenGL, API версією не нижче 2.0 та мінімальним обсягом відео пам'яті 64 Мб.
- Бажано 10 Гб вільного дискового простору для збереження створеного індексу із проіндексованих сторінок.
- Вхідні дані повинні бути зображеннями двовимірного типу, які у подальшій роботі програмного комплексу перетворюються у тривимірні статичні об'єкти.

Слід зазначити, що тестування розробленої інтелектуальної системи розпізнавання тривимірних зображень статичних об'єктів проводилось в два етапи. В першу чергу система тестувалась на зображеннях обличчя людини (40 еталонів), а потім на плямових зображеннях лазерного променя. Для визначення точності тестування було здійснено деформування об'єктів розпізнавання (наприклад, внаслідок дії зовнішніх факторів впливу) у певному визначеному процентному співвідношенні до еталона, тобто наприклад перша деформація – 25% деформованої поверхні еталонного об'єкту. Результати розпізнавання наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Результати розпізнавання 3D об'єктів плямових зображень лазерного променя та обличчя людини

Деформованість еталонів розпізнавання (%)	Розпізнавання 3D об'єктів плямових зображень лазерного променя (%)	Розпізнавання 3D об'єктів зображень обличчя людини (%)
0%	99%	99%
25%	92,5%	98,5%
50%	82,5%	87,5%

Проаналізуємо отримані результати розпізнавання. Як видно з табл. 1, розпізнавання 3D об'єктів зображень обличчя людини більш стійке до деформації, ніж розпізнавання 3D об'єктів плямових зображень лазерного променя. Це зумовлено "одноманітністю" тривимірного об'єкту плямового зображення лазерного променя, тобто слабо виражена рельєфна поверхня об'єкту. В плямових зображеннях лазерного променя вона присутня лише у середині об'єкту, тобто являє собою енергетичний центр лазерного променя. Тривимірні об'єкти зображень обличчя людини навпаки мають багатоманітну рельєфну поверхню, що спричиняє більш високий результат розпізнавання.

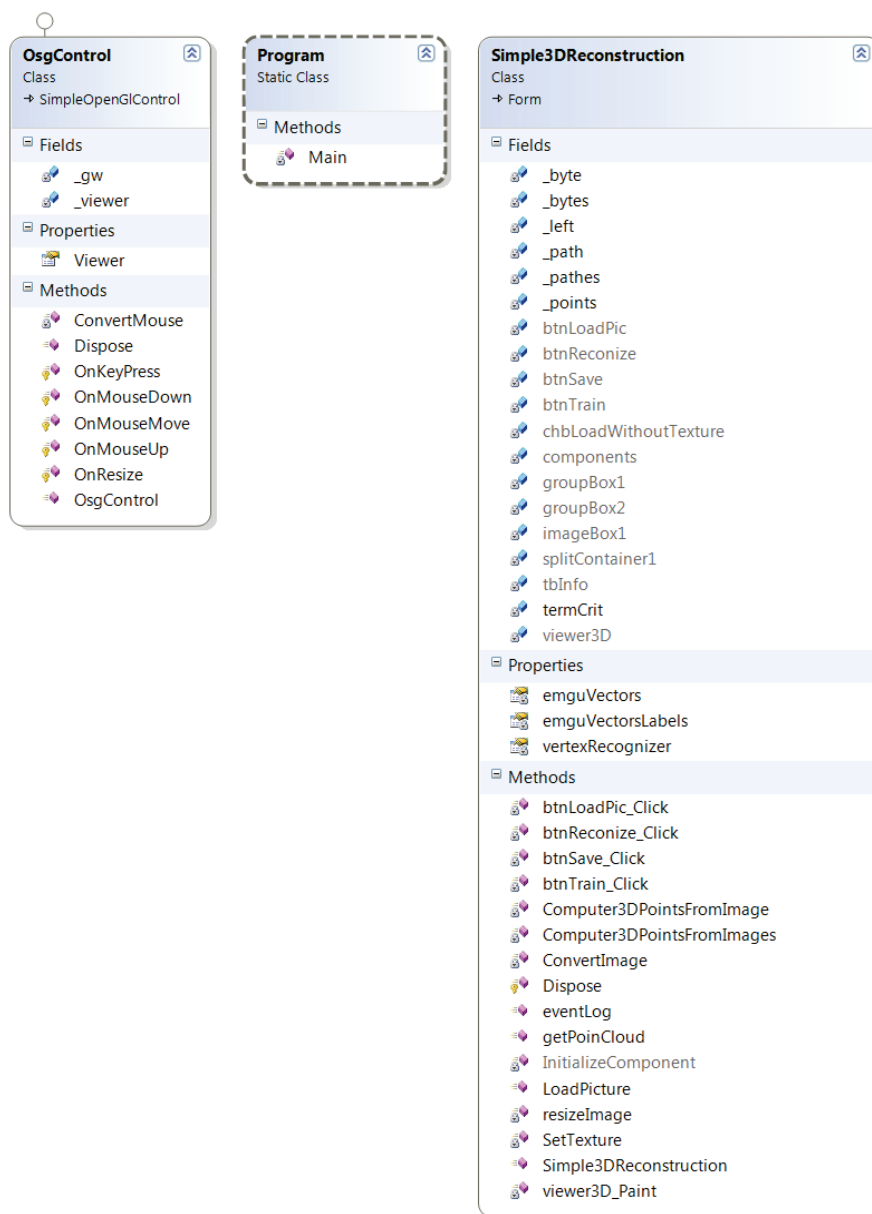


Рис. 3. Класова діаграма сервісів програмного комплексу "3D Object Recognizer::Laser Beam"

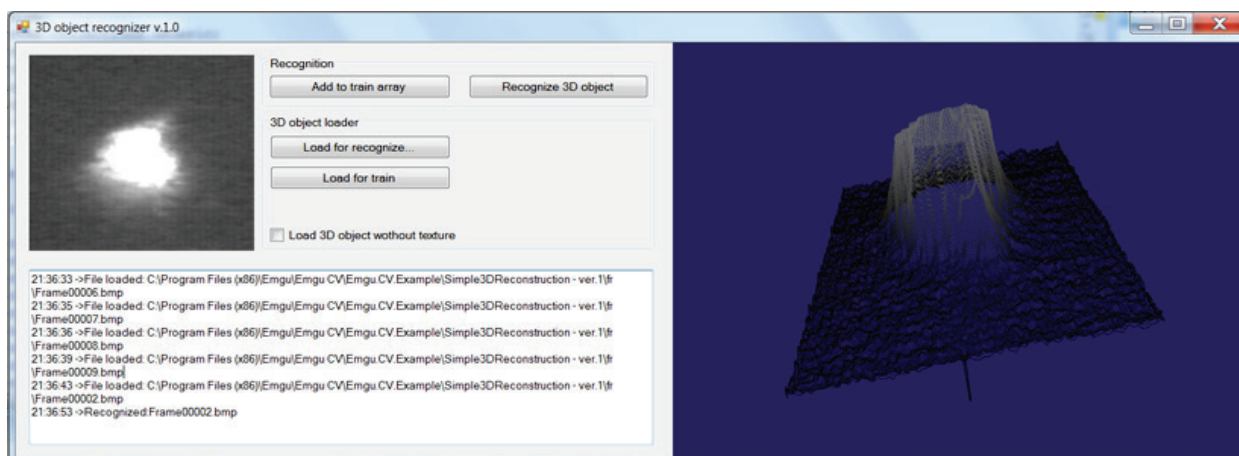


Рис. 4. Основна екранна форма програмного комплексу "3D Object Recognizer::Laser Beam"

ВИСНОВКИ

В ході проведених наукових досліджень було проаналізовано методологічні особливості побудови 3D відображення плямових зображень лазерного променя та його розпізнавання на основі запропонованої інтелектуальної системи. На основі проведеного аналізу розвитку технологій та методів тривимірного подання об'єктів та їх розпізнавання визначено, що останнім часом особливої актуальності набуває створення спеціалізованих програмних комплексів роботи з 3D об'єктами для підвищення точності ідентифікації та розпізнавання, зокрема 3D об'єктів плямових зображень лазерного променя з різним ступенем спотворення внаслідок дії зовнішніх факторів впливу в задачах оптичної астрополяриметрії, лазерної локації, діагностування лазерних установок.

На основі проведених досліджень висловлено припущення стосовно інтеграції двох підходів – прихованих марківських моделей (НММ – Hidden Markov Model) та штучних нейронних мереж, що взаємно доповнюють і компенсують властиві їм недоліки. В подальших дослідженнях планується комбінувати ці структури в рамках однієї нової моделі, яку можна визначити як гібридну модель. Така гібридна модель дозволяє ефективно об'єднати переваги марківських моделей та нейронних мереж, тобто НММ забезпечують можливість моделювання довготривалих залежностей, а штучні нейронні мережі забезпечують непараметричну універсальну апроксимацію, оцінку вірогідності, алгоритми дискримінантного навчання, зменшення числа параметрів для оцінки, які зазвичай потрібні для стандартних НММ. В перспективі дослідження очікується, що використання таких гібридних структур надасть значне підвищення якості розпізнавання в порівнянні із стандартними методами.

Також в подальших дослідженнях планується дослідити залежності параметрів 3D профілів лазерного променя, які не входять в тунель допустимих значень відхилення енергетичних центрів, та факторів, під дією яких були сформовані окремо взяті профілі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. C.B. Roundy Current Technology of Laser Beam Profile Measurements. / C.B. Roundy – Spiricon. Inc., 2000.
2. The importance of beam profile. / C.B. Roundy // Physics World. – 1990, July. – pp. 65-66.
3. А.М. Шутов Методы оптической астрополяриметрии. / Шутов А.М. – М.: КомКнига, 2006. – 232 с.
4. Laser Control of Near Earth Space and Possibilities for Removal of Space Debris from Orbit with Explosive Photo-Dissociation Lasers with Phase Conjugation / Basov N.G., Zemskov E.M., Kutaev Y.F. et. al. // Proceedings GCL/HPL 98. [SPIE Symposium]. – St-Petersburg (Russia). – 1998.
5. Choosing a Laser Beam Profiler / Photon Inc. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.photon-inc.com/support/library/pdf/choosing.pdf>.
6. BeamView Digital Analyzer / Coherent Inc. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.coherent.com/Lasers/index.cfm?fuseaction=show.page&id=275&loc=830>.
7. Laser Beam Profiling / PhaseView – [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.phaseview.com/en/index_3.
8. MS MacroSystem. - [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.msmacrossystem.nl>.
9. Методологічні підходи до паралельно-ієрархічної обробки плямових зображень лазерних пучків та їх прикладна реалізація / Кожем'яко В.П., Тимченко Л.І., Яровой А.А. // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – №1 (11). – С. 14-25.
10. Яровой А.А. Теоретико-методологические и прикладные аспекты использования технологий визуализации для задач профилирования лазерных лучей [Электронный ресурс] : [Электронный журнал Национального исследовательского ядерного университета "МИФИ", Москва] / А.А. Яровой, А.М. Яровой // Научная визуализация. – 2010. – Том 2. – №3. – С. 50-72. – Режим доступу до журн.: <http://sv-journal.com/2010-3/04/index.html>.
11. M.A. Turk, A.P. Pentland Face Recognition Using Eigenfaces. Proceedings of the IEEE CVPR '91 [Conference on Computer Vision and Pattern Recognition], (Maui, HI, USA, June 3-6, 1991) – IEEE Computer Society, 1991. – pp. 586 – 591.
12. A. Pentland, B. Moghaddam, T. Starner View-based and Modular Eigenspaces for Face Recognition. Proceedings of the IEEE CVPR '94 [Conference on Computer Vision and Pattern Recognition], (Seattle, WA, USA, June 21-23, 1994) – IEEE Computer Society, 1994. – pp. 84 – 91.
13. Потемкин В.Г. Введение в Matlab / Проект Exponenta.ru – [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://matlab.exponenta.ru/ml/book1/index.php>.
14. Method for Training of a Parallel-Hierarchical Network, Based on Population Coding for Processing of Extended Laser Paths Images / L.I. Timchenko, Yu.F. Kutaev, V.P. Kozhemyako, A.A. Yarovy, A.A. Gertsy, A.T. Terenchuk, N. Shweiki // Proceedings of SPIE, Volume 4790, 2002. – pp. 465-479.

15. Kozhemyako V. Methodological Principles of Pyramidal and Parallel-Hierarchical Image Processing on the Base of Neural-Like Network Systems / V. Kozhemyako, L. Timchenko, A. Yarovyy // *Advances in Electrical and Computer Engineering – “Stefan cel Mare” University of Suceava, Romania – Volume 8 (15), Number 2 (30), 2008.* – pp. 54-60.
16. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 26732. Комп'ютерна програма динамічного 3D моделювання та аналізу відео-траси лазерного променя для профілювання у реальному часі („Laser Beam:3D Video”) / Яровий А.А. Дата реєстрації Державним Департаментом інтелектуальної власності України 01.12.2008.
17. Turk M., A. Pentland Eigenfaces for recognition / M. Turk // *Journal of Cognitive Neuroscience.* – 1991, №3(1). – p.71-86.
18. Яровий А.А. Аналіз методів розпізнавання складних 3D об'єктів та технологій їх реалізації / А.А. Яровий, О.В. Степанчук. – Оптоелектронні інформаційні технології «Фотоніка ОДС-2010»: Збірник тез V Міжнародної науково-технічної конференції, м. Вінниця, 28-30 вересня 2010 року. – Вінниця: ВНТУ, 2010 – с. 75.

Надійшла до редакції 04.10.2010р.

ЯРОВИЙ А.А. – к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук, науковий співробітник кафедри лазерної і оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.