

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ПРОФІЛЮ ЛАЗЕРНОГО ПРОМЕНЯ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Здійснено аналіз процесу вимірювання динамічного профілю лазерного променя. Описано основні етапи розробки інформаційно-вимірювальної системи для нейромережевого оброблення зображень профілю лазерного променя.

Ключові слова: інформаційно-вимірювальна система, оброблення зображень, лазерний промінь.

Abstract

The process of measuring the dynamic profile of a laser beam is analyzed. The main stages of the development of an information and measuring system for neural network processing of laser beam profile images are described.

Keywords: information and measurement system, image processing, laser beam.

Вступ

При розповсюдженні у просторі, на практиці, лазерний промінь може значно змінювати свій профіль. У зв'язку із цим, важливого значення набуває задача вимірювання динамічного профілю лазерного променя для різноманітних практично-прикладних застосувань. Актуальність даних досліджень найбільш характерна для систем, у яких необхідно здійснювати автоматичне коректування спотворень лазерного променя, для чого необхідні кількісні дані про вплив атмосфери на його параметри [1-3].

Сучасні лазерні технології ефективно використовуються на практиці для задач оптичного зв'язку, лазерної локації, лазерної обробки матеріалів, медичної діагностики тощо. Системи профілювання лазерних променів дозволяють здійснювати відповідні кількісні обчислення необхідних характеристик, які є складовими профілю. Особливість вимірювання профілю лазерного променя полягає в тому, що густина енергії, концентрація і колімація світла є його взаємопов'язаними складовими характеристиками [1-6].

Разом з тим, в даному науковому дослідженні акцентується увага на інтелектуальних підходах для аналізу, розпізнавання та класифікації складових характеристик профілю лазерного променя.

Метою роботи є аналіз процесу вимірювання динамічного профілю лазерного променя та розробка інформаційно-вимірювальної системи для нейромережевого оброблення зображень профілю лазерного променя.

Результати дослідження

Для проведення досліджень розроблено апаратний макет інформаційно-вимірювальної системи для оброблення зображень профілю лазерного променя (рис. 1), що являє собою основу, розмірами 100×50×500 мм на кінцях якої закріплено лазер (справа) та відеокамеру (зліва). Лазер тримається на двоплечовому шарнірі розмірами 50 та 65 мм. Фіксатором лазера є трубка зовнішнім діаметром 22 мм з прижимним гвинтом довжиною 16 мм. Зліва камера тримається також на двоплечовому шарнірі розмірами 50 мм кожен. Камера поставлена таким чином, що її можна обертати по осі X на 360 градусів. Принцип роботи макету – вихідний промінь лазера проєкціюється на сенсор відеокамери, за

допомогою програми відеозапису поведінка лазерного променя записується на жорсткий диск комп'ютерної системи для подальшого аналізу.

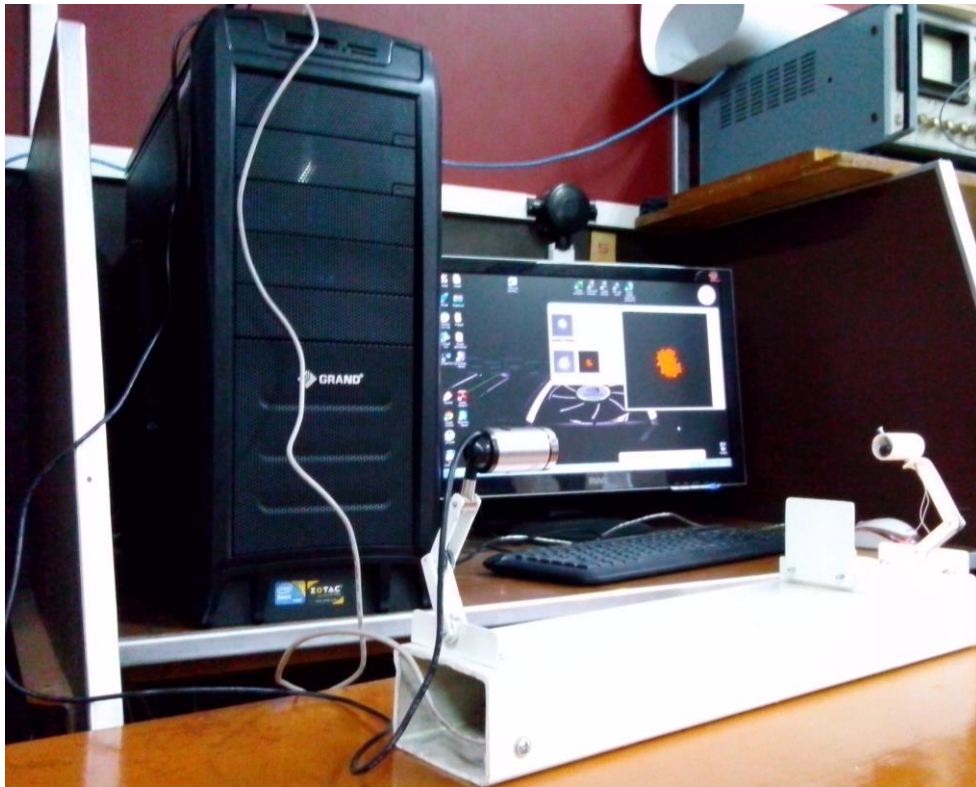


Рис. 1. Апаратний макет інформаційно-вимірювальної системи

Загальні параметри:

1. Технічні параметри лазера:

- маркування – HLDPM10-650-1;
- довжина хвилі – 650нм (червоний);
- потужність – 1 мВт;
- напруга – 3 В.

2. Технічні параметри відеокамери:

- маркування – Grand i-See 550;
- інтерфейс з'єднання з комп'ютером – USB1.1/USB2.0;
- режими роботи камери – 320×240 60 к/с;
640×480 30 к/с;
1280×1024 10 к/с;
- режим відео – RGB24;
- тип відео кристала – 1/6 CMOS VGA sensor;
- статична роздільна здатність – 640×480; 2560×2048; 3200×2400;
- операційна система – MS Windows.

При проведенні дослідження використовувалась потужність лазера 0,04 – 0,07 мВт, роздільна здатність відеокамери – 640×480 пікселів при 30 кадрах за секунду. Метод стиснення відеофайлів – MPEG-2. Далі відеофайл було розділено на 8-бітні зображення розмірністю 128х128 пікселів у форматі „bmp”.

В даному дослідженні процес оброблення зображень профілю лазерного променя з їх подальшою класифікацією складається з двох основних етапів: попередньої інтелектуальної обробки зображення та нейромережевої класифікації. Розглянемо послідовно обидва етапи.

Інтелектуальна передобробка вхідних зображень базується на: виділенні інформативної області зображення, топологічному аналізі отриманої робочої області та усередненні інтенсивності кольору по кожній зоні.

На вхід системи надходять 8-бітні зображення розмірністю 128x128 пікселів. Інтелектуальна передобробка призначена для відокремлення зображення інформативної частини («плями» зображення лазерного променя) від фонові частини зображення для подальшого аналізу і передбачає виконання наступних кроків:

1. Визначення центра максимальної інтенсивності методом знаходження центра мас зображення [7].

Ми працюємо з двовимірною ортогональною системою координат, тому для визначення кожної координати можна навести наступні вирази:

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

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, $\omega_{bg} \in [0; +\infty)$; k – коефіцієнт уточнення (виокремлення) градації яскравості.

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

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m i (\omega_{ij} - \omega_{bg})^k}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\omega_{ij} - \omega_{bg})}; \quad y = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m j (\omega_{ij} - \omega_{bg})^k}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\omega_{ij} - \omega_{bg})}. \quad (2)$$

В розроблюваній системі використовуються вхідні «прямокутні» зображення лазерного променя в кольоровій моделі RGB, а оброблення зображення виконується посередництвом використання певних компонент моделі „CIE XYZ”. В зазначених 3-компонентних кольорових моделях вибір основних кольорів зумовлений особливостями фізіології сприйняття кольору сітківкою ока людини. Основна ж особливість „XYZ” моделі в тому, що будь-який фізично сприйманий колір представляється лише додатними величинами.

Для визначення інтенсивності кольору для кожного пікселя та для фонового кольору в RGB-зображенні необхідно виділити відповідні три компоненти „R”, „G” та „B”, і виконати лінійне перетворення в модель „XYZ” по Y-складовій.

Для представлення кольорів в моделі RGB в MS Windows використовується стандартний 4-байтний тип COLORREF. При визначенні будь-якого RGB кольору, значення змінної типу прийнято подавати в шістнадцятковому вигляді так:

`0x00bbggrr,`

де rr, gg, bb — значення інтенсивності червоної, зеленої та синьої складових кольору. Максимальне їх значення — 0xFF.

Для виділення окремої компоненти кольору необхідно виконати побітовий зсув на відповідну кількість розрядів.

$$R = \frac{0x00FF0000 \& \text{rgb}}{65536 * 255}; \quad G = \frac{0x0000FF00 \& \text{rgb}}{256 * 255}; \quad B = \frac{0x000000FF \& \text{rgb}}{255}. \quad (3)$$

Величина Y кольорової моделі XYZ є відносною яскравістю:

$$Y = 0.2126 * R + 0.7152 * G + 0.0722 * B. \quad (4)$$

В контексті даної задачі компонента Hue (відтінок) кольорової моделі „HSV(HSB)” взаємооднозначна з компонентою Y моделі XYZ і відображає функцію яскравості (luminosity function – зелений колір має більший вплив на сприйняття яскравості оком людини, червоний – менше, найменше – синій). Так як рівні яскравості плями зображення лазерного пучка представляються кольорами спектру, то ми фактично ми знайшли яскравість:

$$\omega_{ij} = Y = 0.2126 * R + 0.7152 * G + 0.0722 * B, \quad 0 \leq \omega_{ij} \leq 1 \quad (5)$$

При знаходженні зваженого центру максимальної інтенсивності ми враховуємо всі пікселі вхідного квадратного зображення, тому фонові пікселі мають вплив на визначення центру і дають похибку в результуючих координатах. Саме тому для більш точного визначення використовується коефіцієнт уточнення (виокремлення) градації яскравості k -ому степені.

2. Виділення вписаного в квадрат 128×128 пікселів кола максимального радіусу з центром в точці максимальної інтенсивності.

Знаходимо максимальний радіус кола з центром в точці максимальної інтенсивності, яке можна вписати в квадрат розмірністю 128×128 пікселів, і виокремлюємо його для подальшої обробки.

$$R_{\max} = \text{Min}((\text{width} - x), x, (\text{height} - y), y). \quad (6)$$

3. Уточнення інформативної частини зображення шляхом виокремлення фонового кольору.

Ітеративно аналізуємо середню інтенсивність кольору в кільці, утвореному колами з радіусом $R_{\max}$ та $R_{\max} - 2$, порівнюючи її з ω_{bg} та з кожною ітерацією зменшуючи на 1 піксель $R_{\max}$ до певної межі. Коли знайдено інтенсивність більшу ніж ω_{bg} , вирізаємо зображення з поточним радіусом R .

Для опису початкового вхідного зображення заданої розмірності необхідно було б: $128 \times 128 \times 3 = 49152$ байт пам'яті. Після застосування інтелектуальної передобробки робоче зображення має несуттєво менший розмір, тому необхідний обсяг пам'яті залишається не прийнятним для подальшого подання на входи нейронної мережі. Тому в даній системі застосовується сегментація (топологічний аналіз) зображення з подальшим усередненням кольору сегменту. Сегментація є відомим методом, що використовується для початкового аналізу зображень, але саме „оптимальна” сегментація багато в чому визначає правильність та ефективність вирішення задачі.

Проаналізувавши велику кількість плямових зображень лазерних трас (14 трас по 2044 зображення в кожній), області на зображенні було класифіковано за впливом на розташування енергетичного центру та загальну оцінку „правильності” форми плями. Зображення розбивається на 5 кілець інтенсивності і відповідно на 30 зон (рис. 2). По відношенню до радіусу виділеної інформативної частини зображення радіуси внутрішніх кілець розподілені таким чином:

$$R_0 < 0.4R; \quad 0.4R \leq R_1 < 0.6R; \quad 0.6R \leq R_2 < 0.7R; \quad 0.4R \leq R_3 < 0.9R; \quad 0.9R \leq R_4 \leq R.$$

Центральна зона є найбільш важливою і має охоплювати частину зображення з максимальною яскравістю. Наступні кільця розділені на різну кількість секторів відповідно до свого номеру: друге кільце на 2² сектора, третє – на 2³, четверте – на 2⁴. Останнє кільце не розбивається на підзони, тому що воно є граничним між інформативною частиною зображення і фоном. Периферійні точки в реальних зображеннях найбільш сильно піддані флуктуаціям (це справедливо й відносно

периферійних точок рівневих та розрядних зрізів зображення), що впливає на форму спектральних ліній [8]. Тому в цій крайовій області доцільно усереднювати інтенсивність по всьому кільцю (рис. 2).

Для визначення номера зони, в яку попадає піксель, що обробляється, спочатку будемо визначати радіус-вектор точки відносно системи координат з центром в точці знайденого енергетичного центру. Довжина радіус-вектора визначатиме номер зони-кільця. Далі розглядаємо точку в полярних координатах і знаходимо кут φ - між полярною віссю та радіус-вектором і приводимо його значення в додатну площину. Знаючи номер зони-кільця і полярний кут φ визначаємо фактичний номер зони. По кожній зоні усереднюється інтенсивність кольору.

Описана попередня обробка вхідної інформації забезпечує не лише подання її до системи в найбільш зручному, а й в найбільш економному вигляді.

Для вирішення поставленої задачі розпізнавання застосовано багат шаровий персептрон, на основі якого зручно реалізовувати алгоритм навчання нейронної мережі зі вчителем. Дана нейронна мережа навчається на основі еталонних зображень за вдосконаленим ітеративним алгоритмом зворотного розповсюдження похибки (Back Propagation). У випадку диференційованих функцій активації, які і доцільно обирати, визначення похідних за довільною вагою мережі задається ланцюговим правилом диференціювання. Метод зворотного розповсюдження похибки ефективно використовує це правило. Обрано активаційну функцію – гіперболічний тангенс (thx). Функція і її похідна неперервні, похідна виражається через саму функцію. Гіперболічний тангенс симетричний відносно точки (0,0), це його перевага порівняно, наприклад, з сигмоїдою.

Нейронна мережа містить 30 входів, на які надходить інформація про середню інтенсивність кольору з 30 сегментів зображення. В процесі навчання нейронною мережею на кожній ітерації обирається один з елементів навчальної вибірки і ваги нейронів налаштовуються так, щоб сумарна помилка розпізнавання, тобто сума помилок розпізнавання по всіх елементах вибірки, зменшилась. Принципово важливим є спосіб вибору наступного елемента навчальної вибірки для налаштування ваг нейронів. Наприклад, якщо вибирати наступний елемент по порядку, припустивши фіксований порядок елементів навчальної вибірки, то навчання мережі виявиться неефективним, тому що кожен елемент вибірки має різну складність для нейронної мережі.

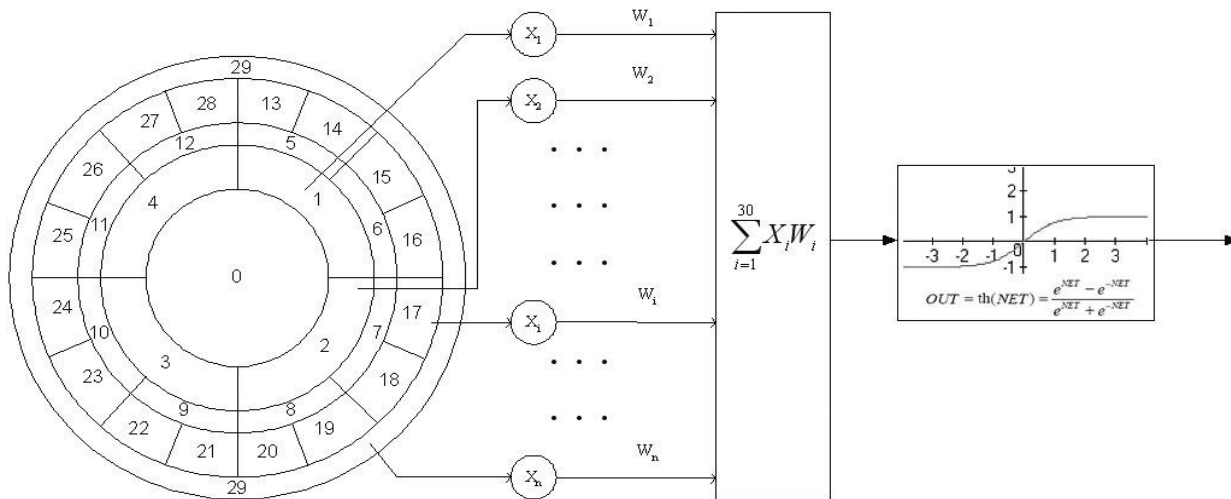


Рис. 2 – Узагальнена схема процесу нейромережевого оброблення зображень лазерного променя

Для оптимізації навчання нейронної мережі наступний елемент обиратиметься за евристичним правилом. На кожній ітерації похибки розпізнавання кожного елемента вибірки змінюються, тому для покращення і прискорення процесу навчання пропонується обирати частіше ті елементи, похибка яких більша порівняно з похибкою інших елементів. Таким чином, ймовірність вибору конкретного елемента навчальної вибірки дорівнюватиме відношенню похибки розпізнавання даного елемента до

поточної суми похибок розпізнавання всіх елементів вибірки:
$$P_i = \frac{E_i}{\sum_{i=1}^{30} E_i}.$$

Для того, щоб мати більш повну інформацію про розпізнавання зображення нейронною мережею, ніж приналежність до певного класу, введемо поняття „коефіцієнта впевненості” класифікації нейронної мережі. Так як задача класифікації «плямових» зображень лазерного променя передбачає два класи і відповідно два еталонні виходи мережі, що приймають значення в діапазоні $[-1;1]$. Вихід мережі $(1;-1)$ відповідає зображенню із невеликим ступенем спотворення або ж неспотворене зображення (профіль у межах норми), а вихід $(-1;1)$ – великий ступінь спотворення, тобто спотворене зображення (профіль поза межами норми). При розпізнаванні конкретного зображення на виході формується значення не рівне еталонному виходу. Введемо функціонал похибки нейронної мережі [9] при розпізнаванні зображення лазерного променя, вираз якого в загальному вигляді:

$$E = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n (Out_i - Out(k)_i)^2 \quad (7)$$

де Out_i – значення i -го виходу мережі при розпізнаванні зображення; $Out(k)_i$ – значення i -го еталонного виходу мережі, що відповідає розпізаному класу k ; n – кількість виходів НМ (рівна кількості класів, в даному випадку $n=2$).

Вказана похибка приймає значення у діапазоні $[0, n-1]$. Таким чином, максимальне значення похибки $E_{\max} = n-1=1$ і відповідає виходу мережі $(1;1)$. Тоді коефіцієнт впевненості класифікації буде: $C = 1 - E/E_{\max}$.

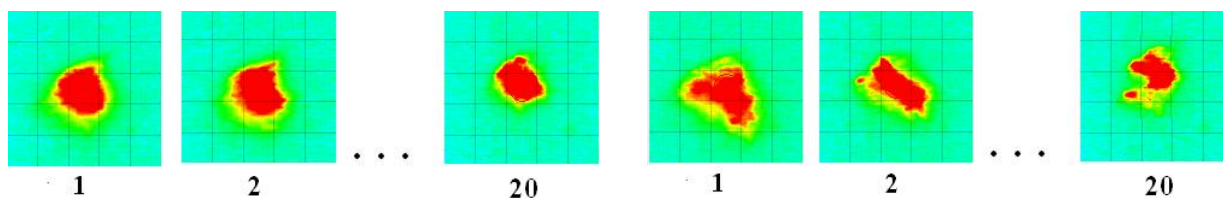


Рис. 3 – Зображення навчальної вибірки із невеликим ступенем спотворення

Рис. 4 – Зображення навчальної вибірки із великим ступенем спотворення

Висновки

Таким чином, в ході даних досліджень відзначено актуальність задачі вимірювання динамічного профілю лазерного променя для різноманітних практично-прикладних застосувань. Здійснено аналіз процесу вимірювання динамічного профілю лазерного променя. Розроблено апаратний макет інформаційно-вимірювальної системи для оброблення зображень профілю лазерного променя, на основі якого здійснено експериментальні дослідження. Описано принцип роботи інформаційно-вимірювальної системи для нейромережевого оброблення зображень профілю лазерного променя та наведено основні результати досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Roundy Carlos B. Current Technology of Laser Beam Profile Measurements. / C.B. Roundy – Spiricon, Inc., 2000.
2. Rüdiger Paschotta Beam Profilers. [Електронний ресурс] – Тип доступу: https://www.rp-photonics.com/beam_profilers.html
3. Coherent's Beam Profilers. [Електронний ресурс] – Тип доступу: <https://www.coherent.com/search-results?query=profilers>
4. Laser Beam Analysis. [Електронний ресурс] – Тип доступу: https://msmacrosystem.nl/3d_laser_beam/laser_beam_profiler.html
5. Laser beam diagnostics. [Електронний ресурс] – Тип доступу: <https://www.gentec-eo.com/laser-beam-diagnostics>
6. Laser beam characterization. [Електронний ресурс] – Тип доступу: <https://www.axiomoptics.com/blog/laser-beam-characterization/>

7. В.П. Кожем'яко, Л.І. Тимченко, А.А. Яровий, Д.П. Зарезенко Розробка методів і засобів для високоточного вимірювання та прогнозування координат енергетичних центрів зображень протяжних лазерних трас // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2007. – №1 (13). – С. 5-12.

8. V.P. Kozhemyako, L.I. Timchenko, A.A. Yarovyy Software Support of Accurately Measurement and Prediction of Laser Beam Profile Characteristics. Proceedings of the X International Conference „Światłowody i ich zastosowania”, 4-7 October 2006, Krasnobród, Poland, Tom 2 – Lublin, Wydawnictwo-Drukarnia Liber Duo s.c., 2006 – p. 675-684.

9. Rosenblatt F. Principles of Neurodynamics. – New York: Spartan Books, 1962.

Заболотна Наталія Іванівна — д.т.н., професор кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Ярова Олена Андріївна — студентка групи КОІС-21б, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Zabolotna Natalia I. — Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Department of Biomedical Engineering and Optoelectronic Systems, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Yarova Olena A. — student of the group COIS-21b, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.