

УДК 620

Б.І. Мединцев, студент гр. ПН-81мп, В.В. Богданов, студент гр. ПН-81мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ ВИКИДІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ТА ПРОДУКТІВ ДІЯЛЬНОСТІ ЗАВОДІВ

Анотація. Дослідження з метою підвищення точності вимірювання геометричних, динамічних та енергетичних параметрів об'єктів в реальному масштабі часу з високим просторовим розрізненням шляхом вдосконалення інструментально-методичного забезпечення телевізійного вимірювального засобу.

Ключові слова: ТІВС – телевізійна інформаційно-вимірювальна система, СЕП – світло електричний перетворювач, ТЗВ – телевізійний засіб вимірювання, ПТТ – передавальна телевізійна трубка, ПВВК – пристрій введення відеосигналу в комп'ютер, ПК – портативний комп'ютер, ЕСП – електросвітловий перетворювач, ТП – телевізійний пірометр

ВСТУП

Концепція застосування ТІВС для дослідження динамічних, геометричних, та енергетичних параметрів об'єктів обґрунтовано на СЕП як незалежну, ідентичну, упорядковану сукупність мікроперетворювачів випромінювання. Реально вимога ідентичності забезпечується програмовою корекцією, а вимога незалежності сусідніх піксел виконується при роботі СЕП в діапазоні лінійності.

Використання ТІВС має широке застосування в різних сферах таких як: охорона, наукові дослідження, промислові технології, екології, медична діагностика, в астрономії та в космічному матеріалознавстві, транспорті, криміналістичних експертизах, біотехнологіях, в мікроелектроніці, в військовій справі тощо.

Одна з найважливіших проблем, які постали перед дослідниками мікрозображень, є вимірювання різноманітних параметрів, зокрема, площі, периметру, характеристик потоку випромінювання фрагментів зображень. В традиційній мікроскопії користуються шкалами, окуляр-мікрометрами, що може займати багато часу. В той же час телевізійна апаратура в поєднанні з сучасними засобами обчислювальної техніки знімає цю проблему навіть у випадку великої кількості різноманітних об'єктів.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Найбільш досліджуваними в технологічних та наукових сферах, припадає на долю оптичних полів видимого та інфрачервоного діапазонів. Це, оптичні поля, утворені природними чи антропогенними ландшафтами, біологічними об'єктами, технологічними макро- і мікрооб'єктами, об'єктами військової техніки тощо.

В загальному випадку випромінювання елементарної поверхні оптичного поля характеризується просторовими координатами x, y, z , координатами часу t та довжини хвилі λ , фазою та трьома кутами, що визначають площину поляризації. У випадку, коли некогерентне і неполяризоване випромінювання реєструється плоским приймачем, кількість просторових змінних зменшується до двох, а загальна сукупність характеризуючих потік аргументів — до чотирьох: x, y, t, λ .

Основною кількісною характеристикою оптичного поля, утвореного потоком з поверхні елементарного об'єму в тілесний кут, який спирається на вхідну апертуру, може бути функція яскравості $L(x,y,t,\lambda)$, яка, в свою чергу визначається як відношення елементарного потоку до добутку тілесного кута, в якому він поширюється, площі, з якої він випромінюється та косинусу кута між напрямком поширення і нормаллю.

Далі врахуємо, що характер оптичних полів, які будуть досліджуватись в роботі, дозволяє зробити припущення про їх незмінність за час τ формування сигналу

$$L_{\lambda}(x, y, t) = L_{\lambda}(x, y) \text{rect}(t, \tau), \quad (1)$$

де $\text{rect}(t, \tau) = \begin{cases} 1, t \in [0; \tau] \\ 0, t \notin [0; \tau]. \end{cases}$

Отже, оптичне поле будемо характеризувати тривимірною функцією яскравості $L(x,y,\lambda)$ або спектральною яскравістю $L_{\lambda}(x,y)$.

Вигляд функції $L_{\lambda}(x,y)$ в кожному конкретному випадку обумовлений внутрішнім станом об'єкту, станом поверхні та характером взаємодії з оточуючими його тілами.

У випадках, коли аналізується власне випромінювання об'єкту з температурою T , спектральна яскравість в точці $(x_0; y_0)$ визначається формулою Планка

$$L_{\lambda}(T) = \varepsilon_{\lambda}(T) \frac{C_1}{\lambda^5} \left[\exp \frac{C_2}{\lambda \cdot T} - 1 \right]^{-1}, \quad (2)$$

де $\varepsilon_{\lambda}(T)$ — спектральний коефіцієнт випромінювальної здатності поверхні об'єкта в точці $(x_0; y_0)$,

$$C_1 = 3,74 \cdot 10^8 \text{ Вт} \cdot \text{мкм}^4 \cdot \text{м}^{-2};$$

$$C_2 = 1,44 \cdot 10^4 \text{ мкм} \cdot \text{К}$$

При дослідженнях об'єктів за відбитим випромінюванням спектральна яскравість визначається так:

$$L_{\lambda}(x, y, t) = \rho_{\lambda}(x, y) E_{\lambda}(x, y, t), \quad (3)$$

де $\rho_{\lambda}(x,y)$, $E_{\lambda}(x,y,t)$ — спектральний коефіцієнт відбиття та освітленість поверхні.

У випадку, коли прозорий об'єкт розташований між джерелом випромінювання, спектральна яскравість поверхні визначається у такий спосіб

$$L_{\lambda}(x, y, t) = k_{\lambda}(x, y) E_{\lambda}(x, y, t), \quad (4)$$

де $k_{\lambda}(x,y)$ — спектральний коефіцієнт пропускання.

Розгортання зображення, що здійснюється засобами електронної техніки. сфокусованим електронним променем чи переносом зарядів, називають електронним розгортанням зображення [1, 2]. В подальшому в роботі розглядаються тільки прилади з електронним розгортанням зображення.

Введемо також обмеження на спектральний діапазон випромінювання, вибравши його в інтервалі від 0.3 мкм до 14 мкм, що обумовлено наявністю відповідної приладової бази, на яку можна спиратися при розв'язанні прикладних проблем аналізу оптичних полів.

При такому підході попадають в один клас і можуть розглядатися з позиції спільної методології найбільш важливі з точки зору використання в засобах аналізу оптичних полів типи світлоелектричних перетворювачів — ПЗЗ а також піровідікони. Зчитування заряду у піровідіконах відбувається сфокусованим електронним пучком. Таким чином, піровідікон є своєрідною ланкою зв'язку між телевізійними системами і традиційними системами теплороботничого вимірювання. Підкреслимо також, що до аналізу процесу формування сигналу у вказаних випадках застосовується математичний апарат теорії лінійних систем.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Результати досліджень представлен в структурній схемі телевізійного засобу вимірювання на рис. 1.

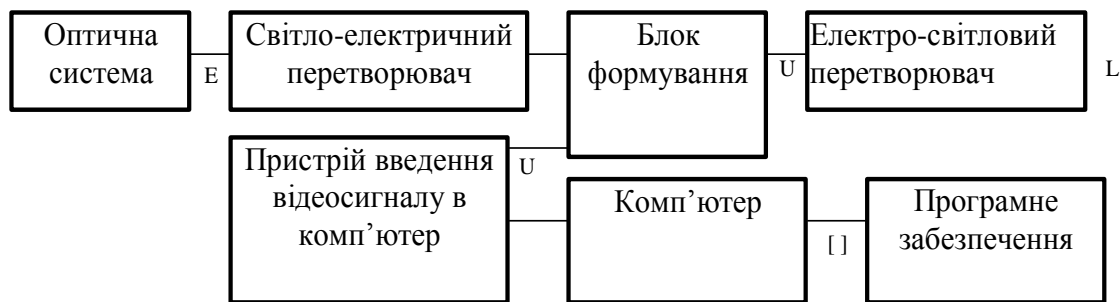


Рис.1. Узагальнена структура телевізійного засобу вимірювання

Провдне місце серед аналогічних засобів є наявність в структурі ТВЗ ПК та використання потужного арсеналу програмного забезпечення.

Фізично робота ТВЗ базується на послідовності перетворень вхідного сигналу під яким розуміємо яскравість. В найбільш загальному вигляді формування зображення здійснюється за такою структурною схемою (рис.2).

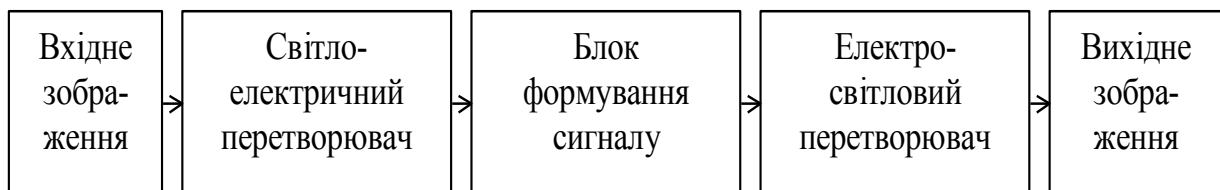


Рис.2. Структурна схема процесу формування зображення

СЕР перетворює вхідне зображення в електричний сигнал (сигнал розгортання). Цей сигнал формується в блоці формування і передається на вхід електросвітлового перетворювача (ЕСП), де і утворюється вихідне зображення. Аналіз оптичного поля (вхідного зображення) може відбуватися шляхом дослідження електричного сигналу чи вихідного зображення.

Перетворення освітленості зображення в первинні відеосигнали проводиться ділянками чутливої площини – елементами розкладу (пкселами).

Завдяки унікальній властивості ТЗВ, яка полягає в можливості забезпечити аналіз будь-якого оптичного поля за довільною траєкторією в реальному масштабі часу.

Успішно застосовується ТЗВ для потреб орієнтування та навігації, наведення зброї, виявлення та розпізнавання широкого класу об'єктів в тому числі вночі та в складних метеоумовах тощо. В [3] було розроблено методикау і виконано теоретичний аналіз функції передачі модуляції з подальшим дослідженням ефективності застосування піровідіконних систем за критерієм максимальної величини сигналу, що утворюється піровідіконом. Результат аналізу базувався на оцінках порогових характеристик піровідіконних приладів та враховував залежності величини вихідного сигналу від швидкості переміщення зображення по мішені СЕП. Отримані результати дозволили зробити висновок про доцільність застосування піровідіконних приладів в складі вертолітних комплексів для виявлення замаскованої важкої військової техніки (танків, гармат, вантажних автомобілів тощо) шляхом аналізу випромінювання в спектральному діапазоні 8—12 мкм, де спектральна щільність власного випромінювання при середніх температурах в умовах Європи максимальна, а поглинання атмосфери мінімальне. Очевидно, що вказані методики та критерії можуть бути застосовані і при обґрунтуванні параметрів систем невійськового використання, зокрема, призначених для аналізу низькотемпературних технологічних полів.

Найрізноманітніші практичні задачі розглядались і продовжують розглядатись сьогодні під кутом зору можливості та доцільності застосування телевізійних методів та засобів, сформувавшись цілі напрямки в розвитку ТЗВ.

Одним з таких напрямків є аналіз зображень біологічних мікрооб'єктів засобами телевізійної техніки (часто вживається термін телевізійна мікроскопія або відеоікроскопія, але на наш погляд, жодна з цих назв не може вважатися вдалою, бо кожна поєднує два слова, які є відповідниками в двох різних мовах video (лат.), skopeo (грецьк.) дивитися). Отже телевізійний мікроскоп або відеоікроскоп — це прилад, в якому збільшене зображення об'єкту формується в чутливій площині СЕП і спостерігається оператором на екрані монітора чи вводиться для обробки і аналізу в комп'ютер.

В цілому структура приладу аналізу мікрозображень відповідає узагальненій структурі ТЗВ, а акцент робиться на цифровій обробці зображення, хоча вагомими результатами можливі тільки за умови використання вдосконалених (і тому надзвичайно дорогих) передавальних телевізійних камер.

Звернемо увагу на цикл ґрунтовних наукових праць [4, 5] співробітників Державного оптичного інституту (Санкт-Петербург, Росія), присвячених розв'язанню задач спектрального аналізу мікрооб'єктів та створення універсального комп'ютерного аналізатора мікрозображень. Розглянутий в [6] автоматизований комплекс побудований за модульним принципом, що дозволяє використовувати стандартні і добре відпрацьовані вузли. Основу комплексу складають світловий мікроскоп та телевізійна камера. Пристрій введення відеосигналу в комп'ютер розрахований на введення кадру форматом

512×512 і глибиною 8 біт. Програмне забезпечення комплексу дозволяє провадити різні види обробки сигналу (додавання, виділення контурів тощо) та кількісні вимірювання характеристик зображення.

В даній роботі вперше чітко сформульована загальна концепція використання ТЗВ, в основу якої покладена можливість розглядати СЕП як сукупність незалежних і ідентичних мікроприймачів випромінювання. Визначена та проаналізована сукупність факторів, які можуть суперечити концепції використання приладів з електронним розгортанням зображення для аналізу світлових полів. В також вміщено матеріал, який дає уявлення про можливості сучасних відеомікроскопів.

Наведені матеріали можуть слугувати орієнтиром при розробці нових методів та засобів аналізу оптичних полів.

З розвитком уявлень про можливості ТЗВ вони починають використовуватись і для вимірювання температури.

Найбільш показовою є ситуація в пірометрії випромінювання, де на перший план виходять телевізійні пірометри (ТП), які при контролі температурних полів забезпечують вибірку тисяч точок в реальному масштабі часу з високим просторовим розрізненням. Така властивість ТП створює умови для підвищення ефективності контролю, а отже підвищення якості продукції в багатьох провідних технологіях, таких як лазерна обробка, електронно-променева технологія очистки та наплення в вакуумній камері [22] тощо.

Провідні позиції в розвитку телевізійної пірометрії сьогодні займають США, де цими питаннями займаються всесвітньовідомі компанії. Наприклад, “Stratronics, Inc.”, якою розроблена серія телевізійних пірометричних приладів “ThermaViz”. Прилади цієї серії використовуються в різноманітних технологічних процесах та в наукових дослідженнях для вимірювання температури поверхонь і мають високі технічні характеристики: два діапазони вимірювання температур — 600°C...1500°C та 1200°C...2700°C. Похибка не перевищує 3°C та 10°C відповідно. Формат зображення 480×300. Прилади реалізуються за двоспектральною схемою.

Компанія “MIKRON Instruments, Inc.” створила серію телевізійних пірометричних приладів M9100. Робочий діапазон приладів M9100-600°C...4000°C. Похибку вимірювання зменшено до 1°C, що досягається застосуванням односпектральної схеми та вузькополосного ІЧ-фільтра. При цьому аналізується зображення форматом 640×480 зі швидкістю 30 кадрів/сек.

Оригінальне конструктивне рішення має серія “ThermoImager” компанії “Optical Insights, LLC”. Більшість приладів цієї серії побудовані за чотирьохспектральною схемою, з використанням оптичного ділення світлового потоку на 4 компоненти, кожен з яких через 4 окремих нерухомих світлофільтра падає на окрему ділянку ПЗЗ-матриці. “ThermoImager” працює в спектральному діапазоні від 350 нм до 2.2 мкм.

Більше того, в ході подальших досліджень з’ясувалося, що ТЗВ в задачі вимірювання геометричних, енергетичних та динамічних параметрів різних об’єктів мають конкурентів серед технічних засобів, які реалізують оптичні

методи контролю. Навіть найдосконаліший на сьогодні прилад з оптико-механічним розгортанням Thermovision-1000 не в змозі забезпечити просторове розрізнення на рівні сформованих вище вимог, оскільки лінійний розмір елемента розкладу в чутливій площині становить 0.07 мм. Лінійний розмір пікселя серійних ПЗЗ-камер на сьогодні становить 0.005...0.01 мм, а в перспективі - зменшення до 0.003 мм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Госсорг Ж., Инфракрасная термография. Основы, техника, применение: Пер. с франц.—М.:Мир, 1988.—416 с.
- [2] Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники.—К.: Вища школа, 1983.—455 с.
- [3] Порев В.А. Телевизионный пирометр // Приборы и техника эксперимента, 2002, №1, С.150-152.
- [4] Сальников И.И., Кутаев Ю.Ф. Быстродействующее устройство измерения геометрических характеристик телевизионного изображения // Приборы и техника эксперимента.—1995.—№6.—С.177.
- [5] Папаян Г.В., Манцветов А.А. Высокочувствительная измерительная телевизионно-компьютерная система «ТВИСТ» для флуоресцентной эндоскопии и микроскопии // Оптический журнал.—2000.—Том.67,№1.—С.70-77.
- [6] А.с. 347073 СССР, МКИ В01J 17/10. Телевизионное устройство для автоматического регулирования и стабилизации диаметра слитка при бестигельной зонной плавке / Г.С. Новиков (СССР); опубл. 1972; бюл.№ 24.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Голубєв Л. П.