

ТЕЛЕВІЗІЙНІ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ — КРОК ДО НОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Порєв Г.В., Порєв В.А.

Національний технічний університет України

„Київський політехнічний інститут”, м. Київ

E-mail: prof@barvinok.net

Abstract

Poryev G.V., Poryev V.A. The television information and measuring systems are a step to new technologies. The conditions for complete transformation of potential advantages of television system design (value and time for sampling, small size of image display spatial sample) into the characteristics of measurement tools, is determined.

Вступ

Технічний рівень суспільства визначається не тільки наявністю досконалих технологій отримання нових речовин, матеріалів та виробів, але й відповідних методів і засобів контролю цих технологій.

Останнім часом в технологічно розвинених країнах значного поширення набули комп'ютеризовані телевізійні інформаційно-вимірювальні системи (ТІВС), за допомогою яких інформація про структуру, стан та властивості об'єктів різної природи, яка міститься в їх випромінненні, перетворюється в зображення та аналізується [1]. При цьому зображення може існувати у вигляді розподілу освітленості (яскравості), отриманої виборкою відліків з прив'язкою до координат світлоелектричного перетворювача (СЕП), сукупності електричних сигналів чи матриці цифрових кодів. Значення відліків характеризують освітленість елемента розкладу (піксела), а їх координати визначають геометричні характеристики зображення.

Загальна методика застосування ТІВС полягає в формуванні зображення, перетворенні його в цифровий код та використанні алгоритмів, які забезпечують необхідну точність вимірювання енергетичних і геометричних параметрів.

ТІВС надають унікальну можливість провадити вимірювання геометричних, динамічних та енергетичних параметрів об'єктів в реальному масштабі часу з високим просторовим розрізненням шляхом аналізу як власного випроміннення, так і того, що відбулося або пройшло через об'єкт.

На базі телевізійної системотехніки, зокрема, виникли відеомікроскопія [2] та телевізійна пірометрія [3], без яких досягнення багатьох галузей науки і техніки були б значно скромнішими. ТІВС широко використовуються для охорони, в наукових дослідженнях, в промислових технологіях, в екології, в медичній діагностиці, в астрономії та в космічному матеріалознавстві, на транспорті, в криміналістичній експертизі, в біотехнології, в мікроелектроніці, в військовій справі тощо.

Однак, треба відзначити, що, незважаючи на значні досягнення, потенційні можливості ТІВС до кінця не вичерпані, головним чином, внаслідок недосконалості методології їх використання для вимірювання геометричних, а особливо енергетичних параметрів об'єктів. А це є причиною того, що в уявленні значної кількості фахівців, які займаються проблемами інформаційно-вимірювальної техніки, існує певний розрив на шляху між розумінням потенційних можливостей ТІВС та підходом до їх реалізації у вигляді технічних засобів із заданими характеристиками. При цьому, з одного боку, у всьому світі, в т.ч. в Україні зростає попит на інформаційно—вимірювальні прилади з характеристиками, які можуть бути забезпечені тільки телевізійною системотехнікою. З іншого — внаслідок дуже поширеного на сьогодні спрощеного підходу до використання ТІВС — їх можливості реалізуються не в повному обсязі.

Підвищення ефективності ТІВС.

Елементна база телевізійної системотехніки на сьогодні має практично однакові параметри в усіх розвинених країнах, а технологія виробництва сучасних телевізійних систем досягла високого рівня і намітилась тенденція до стабілізації. Отже, істотне підвищення ефективності ТІВС можливе тільки на шляху вдосконалення методології застосування та підвищення точності визначення тих характеристик телевізійних систем, які є важливими з точки зору їх використання як засобів вимірювання.

Першим кроком має бути визначення умов, за дотримання яких потенційні переваги телевізійної системотехніки (обсяг та час формування виборки, малі розміри елемента розкладу зображення) повністю трансформуються в характеристики ТІВС.

Свого часу в роботі [4] нами було звернено увагу на необхідність виваженого підходу до концептуальних питань застосування ТІВС. Виконані в подальшому теоретичні та практичні дослідження дозволили визначити першочергові напрями підвищення ефективності застосування ТІВС, тобто, сформулювати умови, за дотримання яких відзначені вище потенційні переваги телевізійної системотехніки більш повно трансформуються в такі важливі характеристики як роздільна здатність, точність вимірювання геометричних чи амплітудних параметрів.

По - перше, сьогодні практично повністю вичерпали свої можливості існуючі методи корекції нерівномірності чутливості СЕП, що негативно позначається на точності вимірювання геометричних та енергетичних параметрів. (Поняттям “нерівномірність чутливості” визначається неідентичність властивостей елементів розкладу, що утворюють СЕП).

Нерівномірність чутливості визначається в межах поля зображення чи певної його ділянки такою формулою

$$H = \frac{\Delta A}{2\bar{A}}, \quad (1)$$

де ΔA — різниця між мінімальним A_{\min} і максимальним A_{\max} значеннями, \bar{A} — середнє значення сигналу при постійній освітленості.

Найчастіше для компенсації нерівномірності чутливості матричних СЕП використовується метод програмової корекції [5], який полягає в тому, що при еталонній освітленості формують двовимірну матрицю значень сигналів A_{ij}^0 , визначають максимальне значення сигналу A_{\max}^0 і утворюють матрицю вагових коефіцієнтів

$$C_{ij} = \frac{A_{\max}^0}{A_{ij}^0} \quad (2)$$

Надалі сигнал з елемента розкладу визначається за формулою

$$A_{ij}^* = C_{ij} A_{ij}, \quad (3)$$

де A_{ij} — виміряне значення.

Такий метод корекції нерівномірності чутливості дозволяє знизити нерівномірність до значення $H' < H$.

Нерівномірність чутливості фактично означає відмінності в світлосигнальних характеристиках окремих піксел (груп піксел). При цьому світлосигнальні характеристики піксел $(i;j)$ та $(p;k)$ можуть мати неоднакові ділянки лінійності або різні кути нахилу

дотичних для одного і того ж значення освітленості, внаслідок чого вказаний метод корекції буде малоефективним. Дійсно, якщо кути нахилу різні, а компенсуюча матриця сформована при освітленості $E_1 < E_2$, то при $E_{ij} = E_{pk} \approx E_2$ отримаємо для сигналів $A_{pk}(E_2) > A_{ij}(E_2)$. Навпаки, якщо компенсуюча матриця сформована при освітленості E_2 , то при $E_{ij} = E_{pk} \approx E_1$ отримаємо $A_{ij}(E_1) > A_{pk}(E_1)$.

З цього випливає, що формування компенсуючої матриці необхідно провадити не для одного значення освітленості, а для сукупності значень E_1, E_2, \dots, E_k в діапазоні, який відповідає умовам роботи ТІВС. Тобто в загальному випадку треба формувати тривимірну матрицю вагових коефіцієнтів в робочому діапазоні ТІВС шляхом знаходження середніх значень сигналів всіх піксел при кожному значенні E_k .

Використання такої методики дозволяє, по-перше, визначити в межах всього растра групи піксел з однаковим діапазоном лінійності. При цьому тангенси кутів нахилу прямих можуть бути різними. По-друге, можна визначити освітленість, починаючи з якої порушується лінійність перетворення хоча б для одної ділянки СЕП.

Враховуючи сучасні можливості обчислювальної техніки нескладно виконати таку процедуру для кожного піксела в межах робочого діапазону освітленості. Експериментальні дослідження підтвердили гіпотезу про те, що перехід до тривимірної матриці корекції замість загальноприйнятої двовимірної дозволяє підвищити точносні характеристики ТІВС [6,7].

По-друге, з точки зору наукових та технологічних досліджень ТІВС викликає особливу цікавість як технічний засіб з потенційно високим просторовим розрізненням. Але при використанні ТІВС для вимірювання геометричних параметрів можливі значні розходження в методиках оцінки роздільної здатності ТІВС взагалі та в методиках оцінки потенційних можливостей ТІВС при вирішенні конкретних задач. В більшості випадків приймають, що лінійне розрізнення ТІВС обернено пропорційне лінійному розміру піксела. При цьому розміри піксела визначаються типом СЕП і можуть бути в діапазоні від одиниць до десятків мікрон. Ця обставина разом з малою тривалістю формування сигналу всієї матриці є принциповою особливістю ТІВС, яка вже зараз відкриває перед ними широкі перспективи впровадження в наукові дослідження та в технологічну практику.

В той же час існує клас задач, наприклад, вимірювання розмірів контрастних мікрооб'єктів або вимірювання мікрозміщення об'єкту від заданого положення, коли вимірювання необхідно провадити з більшою точністю.

Виконані нами експериментальні дослідження показали, що точність визначення координати межі зображення мікрооб'єкту, а отже і його розміру, можна значно збільшити за рахунок спеціальної методики формування вимірювального сигналу.

Розглянемо довільний піксел з лінійним розміром Δ . Площа піксела S , середньоквадратичне значення шумового сигналу σ . Нехай в момент часу t сигнал $A(t)$, а реалізація шуму $A_{ш}(t)$. Визначимо поріг реєстрації сигналу $A_{п}$, і встановимо, що сигнал $A(t)$ може бути зареєстрований за умови $A(t) > A_{п} + A_{ш}(t)$, або $A_{ш}(t) < A(t) - A_{п}$. Введемо приведені значення

$$a_1 = \frac{A(t)}{\sigma}, a_2 = \frac{A_{п}}{\sigma}, a_3 = \frac{A_{ш}(t)}{\sigma}.$$

Тоді умова реєстрації сигналу $a_3 < a_1 - a_2$. Шум пікселу $A_{ш}(t)$, а також приведені значення a_3 є випадковими величинами. Повною характеристикою випадкової величини є функція розподілу (інтегральний закон розподілу), який визначає імовірність того, що випадкова величина приймає значення менше заданого.

Для найбільш поширених в науковій практиці ТІВС на ПЗЗ шум СЕП підкоряється нормальному закону розподілу, оскільки шумовий сигнал утворюється внаслідок одночасної

дії кількох незалежних факторів, жоден з яких не домінує. Тоді імовірність реєстрації сигналу, тобто імовірність того, що $P(a_3 < a_1 - a_2)$ визначиться так

$$P(a_3 < a_1 - a_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{a_1 - a_2} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz \quad (4)$$

Скориставшись табличними значеннями можна встановити залежність між будь-якими величинами, що входять в формулу (4). Наприклад, при $a_2=1$, тобто при $A_1=\sigma$ значення імовірності реєстрації $P=0.99$ буде забезпечуватись при $A(t)=3.2\sigma$. Якщо такий сигнал буде сформований частиною пікселя і при цьому $A(t) \ll A_0$, то кількість ділянок, що можуть бути розрізнені в межах пікселя як окремі

$$N_1 = \frac{A_0}{3.2\sigma} \quad (5)$$

В принципі, метод інтерполяції вихідного сигналу ПЗЗ підвищує точність визначення координати до рівня, який обмежується тільки дисперсією шуму. Зазначимо, що експериментальні дослідження підтвердили ефективність даної методики. Зокрема, її використання дозволило зменшити похибку вимірювання геометричних параметрів зони розплаву в технології безтигельної зонної плавки до 1 мкм [8,9].

Програмне забезпечення ТІВС

Перенесення акцентів від апаратних рішень до програмного забезпечення є на сьогодні визначальним принципом розвитку технологій використання ТІВС в наукових та технологічних дослідженнях. При цьому спостерігається зростання уваги до спеціалізованих методів і технічних засобів, що обумовлює значні особливості програмного забезпечення. Найбільш критичними є питання про вибір режимів роботи процесора, рівня мов програмування та підходів до проектування програмного забезпечення.

Коли при розробці ПЗ ТІВС потрібно оперувати з нестандартними зовнішніми пристроями (маніпулятори, АЦП, програмовані освітлювачі) за допомогою портів вводу-виводу або коли вирішувана задача ставить вимоги до швидкості виконання операцій, тобто потрібна якнайбільша монополізація обчислювальних ресурсів процесора, то слід використовувати реальний режим роботи процесора, як це зроблено, наприклад, в операційній системі DOS, або застосовувати спеціалізовану міні-операційну систему (embedded OS) власної розробки.

При розробці ПЗ ТІВС для використання в багатозадачних операційних системах, таких як Windows або Linux, або коли специфікація протоколу обміну даними з зовнішнім пристроєм закрита (тобто в системі встановлюється драйвер пристрою, що супроводжується вендором обладнання), або коли структура програмного забезпечення потребує використання багатозадачності, то доцільно буде використати захищений режим роботи.

Алгоритмічні мови програмування при розробці ПЗ ТІВС слід застосовувати тоді, коли в умовах задачі немає обмежень на об'єм коду (наприклад, для сучасних комп'ютерів на платформі Wintel) та швидкість його виконання (наприклад, коли не потрібно обробляти потоки відеоданих в реальному масштабі часу). В іншому випадку потрібно або покращувати показники апаратного забезпечення ТІВС, або застосовувати мови програмування низького рівня та вузькоспеціалізовану оптимізацію.

Сценарні мови програмування (scripting languages) є вузькоспеціалізованими, проте, при розробці ПЗ ТІВС їх можна застосувати, наприклад, для керування зовнішніми пристроями або для автоматизації виконання заданих послідовностей операцій.

При виборі підходу до розробки програмного забезпечення ТІВС необхідно врахувати такі основні моменти. Програмне забезпечення, що містить критичні до часу виконання ділянки коду, потрібно проектувати за допомогою якнайнижчого рівня абстракції від архітектури процесора, тобто на асемблері, використовуючи при цьому правила оптимізації (спарювання та паралелізація інструкцій). Також при розробці програмного забезпечення ТІВС, що планується до використання на неспеціалізованих комп'ютерах, слід врахувати широку уживаність операційних систем Microsoft Windows або сімейства Linux, які у своєму складі містять досить розвинуті і потужні, а головне — стандартизовані бібліотеки інтерфейсу Windows GUI та KDE/Gnome відповідно.

Для операційних систем Windows та Linux існують багато засобів проектування, такі як Borland Delphi, Borland C/C++ Builder, Microsoft Visual C/C++ для Windows, та Borland Kylix для Linux.

Висновки

Перехід до тривимірної матриці корекції замість загальноприйнятої двовимірної дозволяє підвищити точнісні характеристики ТІВС

Інтерполяція вихідного сигналу ПЗЗ підвищує точність визначення координати до рівня, який обмежується тільки дисперсією шуму.

Врахування сформульованих вище умов дозволяє розширити межі застосування ТІВС та підвищити точність вимірювання параметрів різноманітних об'єктів, отже, повніше реалізувати потенційні можливості найбільш перспективного класу вимірювальних засобів.

Перенесення акцентів від апаратних рішень до програмного забезпечення є на сьогодні визначальним принципом розвитку технологій використання ТІВС в наукових та технологічних дослідженнях.

Література

1. Горелик С.Л., Кац Б.М., Киврин В.И. Телевизионные измерительные системы.— М.:Связь, 1980. 168 С.
2. Якименко Ю.І., Петренко С.Ф., Порев В.А. Телевізійна мікроскопія //Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології.— 2004(8).—С 52 - 57.
3. Порев В.А. Телевизионная пирометрия // Техническая диагностика и неразрушающий контроль.—2002.—№ 4.—С.36.
4. Порев Г.В., Порев В.А. Концептуальні аспекти використання приладів з електронним розгортанням зображення для аналізу оптичних полів // Наукові вісті НТУУ “КП”.— 2001, №1.— С.56.
5. Порев В.А. Телевизионные информационно-диагностические системы в неразрушающем контроле // Тези доповіді конференції "Современные методы и средства НК и ТД".— Ялта: УИЦ.—2003.—С.138-139.
6. Згуровський Г.М., Порев Г.В. Вимірювання температури зони розплаву в електронно-променевої технології безтигельної зонної плавки // Наукові вісті НТУУ “КП”.—2003.— № 3.—С.93-97.
7. Порев Г.В. Підвищення точності телевізійних засобів вимірювання температури поверхні зони плавки // Методи та прилади контролю якості.—2002.—№9.—С.39-41.
8. Якименко Ю.І., Порев В.А., Порев Г.В. Вдосконалення методів і засобів вимірювання параметрів електронно-променевої безтигельної зонної плавки // Методи та прилади контролю якості.—2003.—№11.—С.71-77.
9. Порев В.А., Порев Г.В. Оцінка точності вимірювання параметрів зони розплаву // Методи та прилади контролю якості.—2004.—№11.—С.39-41.