УДК 681.325

Ю.О. Подчашинський, ст. викл.
Житомирський інженерно-технологічний інститут

КОМП'ЮТЕРНА АВТОМАТИЗОВАНА РОЗМІТКА ШКАЛ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ НА ОСНОВІ ОБРОБКИ ЦИФРОВИХ ВІДЕОЗОБРАЖЕНЬ

В статті розглянута задача індивідуальної розмітки шкал при виготовленні стрілкових вимірювальних приладів. Пропонується рішення цієї задачі на основі комп'ютерної автоматизованої системи для геометричних вимірювань на цифрових відеозображеннях. Розроблено математичні моделі похибок визначення кута відхилення стрілки в контрольних точках шкали. Визначені вимоги до апаратних засобів комп'ютерної автоматизованої системи.

Складовою частиною будь-якого стрілкового вимірювального приладу є циферблат, на який нанесено зображення однієї або декількох шкал. Загальні вимоги до зображень шкал наведено в [1].

В процесі виготовлення стрілкових вимірювальних приладів високого класу точності необхідно виконувати індивідуальну розмітку шкал і нанесення отриманого зображення шкал на циферблат вимірювального приладу. Це необхідно тому, що вимірювальний механізм стрілкових приладів має певну розбіжність параметрів, яка визначається конструкцією вимірювального механізму і технологією його виготовлення. Залежність кута відхилення стрілки від струму має звичайний нелінійний характер. Вказані фактори приводять до суттєвого зниження точності вимірювань. Тому при виготовленні стрілкових вимірювальних приладів високого класу точності (1,5; 1,0; 0,5) виконується індивідуальна розмітка шкал циферблату для кожного приладу на основі вимірювання кутів відхилення стрілки в ряді контрольних точок при певних значеннях струму. Визначення кутів відхилення стрілки може бути виконано за допомогою технологічного циферблату (рис. 1) або на основі введення в комп'ютер і обробки зображення стрілки і циферблату, на який ще не нанесені шкали (рис. 2).

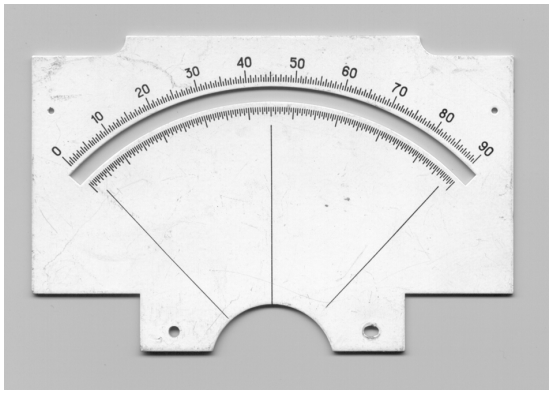

Рис. 1

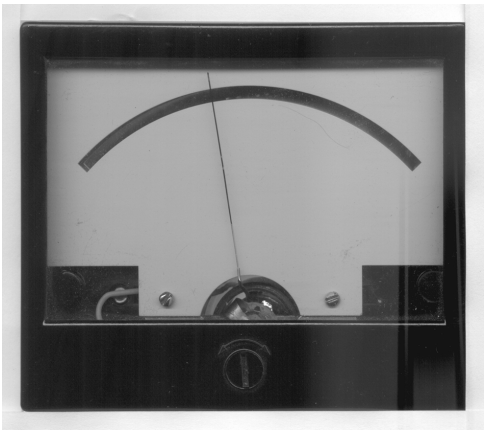

Рис. 2

Існуючі технічні засоби для розмітки шкал є складовою частиною АСУ ТП по виготовленню вимірювальних приладів і суміщують вирішення цієї задачі із повіркою приладів [5]. Однак, на момент розробки такої системи не існувало компактних високоякісних пристроїв друку графічних зображень, що керуються комп'ютером. Тому вибір циферблату для конкретного приладу здійснюється шляхом пошуку в наборі циферблатів, що налічує до 40 типових варіантів розмітки шкал. Це значно ускладнює технологічний процес і збільшує час виготовлення вимірювальних приладів. Точність вимірювання кутових величин в даній системі складає 0,25°, що не завжди є достатнім.

Дана автоматизована система і інші подібні їй системи, призначені для геометричних вимірювань, мають також і інші недоліки:

1. Первинним перетворювачем візуальної інформації в відеозображення є аналогова відеокамера на електронно-променевій трубці. У порівнянні із сучасними твердотільними перетворювачами світло-сигнал це приводить до додаткових похибок і погіршує інші характеристики системи.

2. Керує системою і обробляє інформацію мікро-ЕОМ, що має обмежену продуктивність, об'єм оперативної і зовнішньої пам'яті. Це суттєво для обробки цифрових відеозображень. Тому можливості обробки відеозображень в такій системі обмежені.

3. Для введення відеозображень в комп'ютер неможливо використовувати стандартні апаратні засоби. Необхідно витрачати зусилля на розробку окремих пристроїв введення відеозображень.

Для вирішення даної задачі на базі сучасних комп'ютерних технологій розроблено діючий макет комп'ютерної автоматизованої системи для розмітки шкал вимірювальних приладів.

При розмітці шкал стрілкових вимірювальних приладів необхідно визначити кути відхилення стрілки в ряді контрольних точок при певних значеннях струму. Для цього потрібно забезпечити високу точність вимірювання координат точок на нерухомих відеозображеннях. Тому в комп'ютерній автоматизованій системі для введення відеозображень в комп'ютер доцільно використовувати цифровий фотоапарат, підключений до комп'ютера по послідовному інтерфейсу або інтерфейсу USB.

Розглянемо процес визначення кута відхилення стрілки на основі координат точок контура стрілки. Спочатку визначається горизонтальна координати середньої точки стрілки для послідовності рядків відеозображення (рис. 3): $x_c = (x_1 + x_2)/2$. Так як значення координат точок контура містять певні похибки [9], то виникає трансформована похибка координати середньої точки стрілки. Ймовірностні характеристики трансформованої похибки визначаються на основі [2, 4, 7]. Максимальне значення похибки горизонтальної координати середньої точки стрілки $\Delta_{max\,c} = (\Delta_{max1} + \Delta_{max2})/2$.

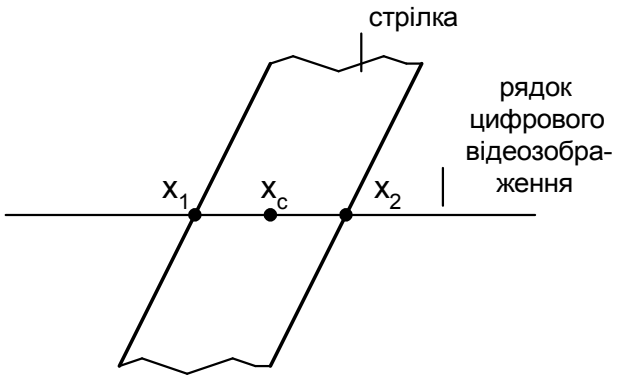

Рис. 3

Потім на основі координат середніх точок стрілки визначається кут відхилення стрілки. При цьому вважається, що стрілка як лінія на плоскості описується рівнянням $y = a_c x + b_c$, а її кут нахилу $\alpha_c = 90° - arctg\ a_c$. Коефіцієнт a_c може бути визначений шляхом лінійної апроксимації координат середніх точок стрілки для послідовності рядків відеозображення [6]. Максимальне значення похибки визначення кута відхилення оцінюється на основі максимального значення похибки горизонтальної координати середньої точки стрілки (рис. 4).

В результаті отримані такі значення максимальної похибки визначення кута відхилення стрілки:

$$\Delta_{\alpha\,max1} = arctg \frac{\Delta_{max\,c} \cdot cos\alpha_c}{V_{апр}/2 \; - \Delta_{max\,c} \cdot sin\,\alpha_c};$$

$$\Delta_{\alpha\,max2} = arcsin \frac{\Delta_{max\,c} \cdot cos(\alpha_c + \Delta_{\alpha\,max2})}{V_{апр}}.$$

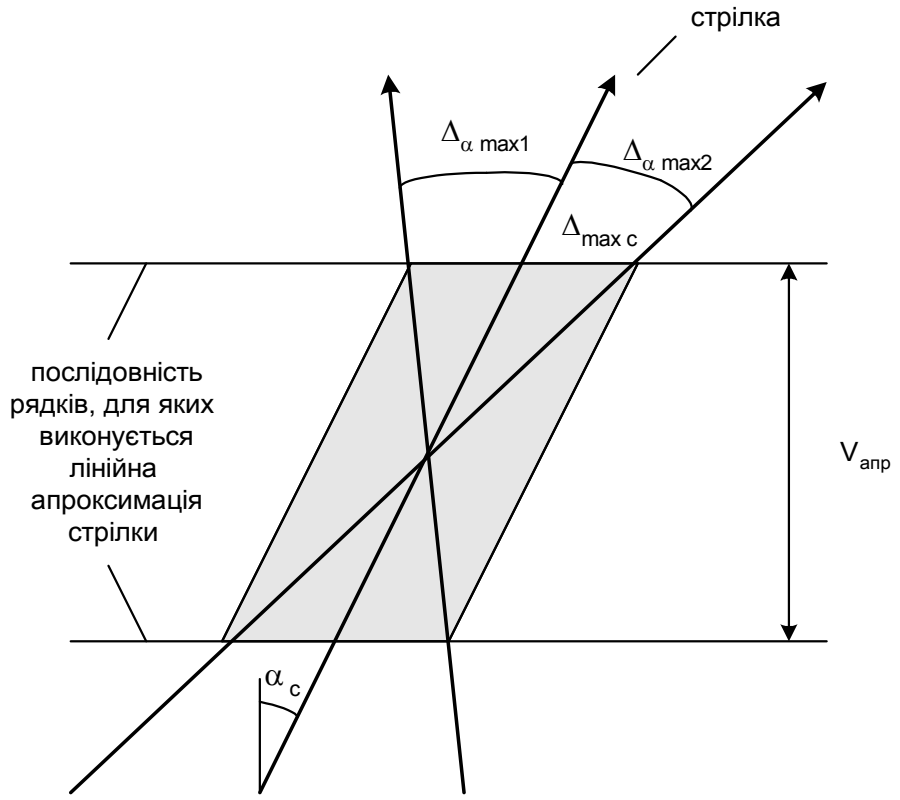

Рис. 4

Враховуючи, що $V_{апр} >> \Delta_{max\,c}$ і $\alpha_c >> \Delta_{\alpha\,max}$, маємо:

$$\Delta_{\alpha\,max1} \approx arctg\frac{2\Delta_{max\,c}}{V_{апр}};$$

$$\Delta_{\alpha\,max2} \approx arcsin\frac{\Delta_{max\,c}\cdot cos\alpha_c}{V_{апр}}.$$

При вимірюваннях на цифровому відеозображенні максимальна допустима похибка визначення кута відхилення стрілки дорівнює:

$$\Delta_{\alpha\,max1} = \Delta_{\alpha\,max2} = (0{,}1 - 0{,}2)\cdot\frac{86^\circ\cdot K_T}{100}, \quad (1)$$

де K_T – клас точності вимірювального приладу.

Кількість рядків цифрового відеозображення, для яких виконується апроксимація стрілки прямою лінією, визначається на основі максимальної допустимої похибки кута відхилення за формулами:

$$V_{апр} = 2\Delta_{max\,c}\cdot\left[\frac{cos\alpha_c}{tg(\Delta_{\alpha\,max1})} + sin\alpha_c\right] \quad (2)$$

або

$$V_{апр} = 2\Delta_{max\,c}\cdot\frac{cos(\alpha_c + \Delta_{\alpha\,max2})}{sin\Delta_{\alpha\,max2}} \approx 2\Delta_{max\,c}\cdot\frac{cos\alpha_c}{sin\Delta_{\alpha\,max2}}. \quad (3)$$

Виходячи із значень класу точності (1,5; 1,0; 0,5) вимірювальних приладів, що виготовляються, і на основі формули (1) похибка вимірювання кута відхилення стрілки не повинна перевищувати ± (0,25 – 0,10) °. Для забезпечення такої точності кількість рядків відеозображення, для яких виконується апроксимація стрілки прямою лінією, становить 440 – 1150 рядків. На основі формул (2) і (3) визначено, що в даному випадку розмір цифрового зображення повинен становити 1280x1024 або 1600x1200 точок. Тому в комп'ютерній автоматизованій системі потрібно використовувати цифровий фотоапарат, що формує цифрове відеозображення такого розміру, наприклад Olympus C1400XL або Nikon COOLPIX 880 [8].

При визначенні точностних характеристик вимірювання кутів відхилення стрілки враховано, що відеозображення, які надходять від цифрового фотоапарату, стиснуті за JPEG-алгоритмом. Таке

стиснення дозволяє суттєво скоротити час передачі зображень в комп'ютер і зменшити об'єм пам'яті, потрібний для зберігання цих відеозображень.

На основі дослідження похибок геометричних вимірювань, що виникають в JPEG-алгоритмі, можна зробити висновок про те, що ступінь стиснення і точність геометричних вимірювань в значній мірі залежать від таблиці квантування частотних коефіцієнтів [10]. Тому потрібно розробити таблицю квантування, що найкраще відповідає задачі геометричних вимірювань на цифрових відеозображеннях. Таку таблицю можна використовувати за умови, що апаратні або програмні засоби стиснення відеозображень дозволяють задавати таблицю квантування.

Пропонується для стиснення цифрових відеозображень, на яких потрібно визначати геометричні розміри об'єктів, використовувати таку таблицю квантування:

$$Q(u,v) = \begin{cases} 1, & 0 \le u \le M,\ 0 \le v \le M, \\ Q_{max}, & M < u < N \quad або\ M < v < N, \end{cases} \tag{4}$$

де Q_{max} – максимальне значення елементу таблиці, $Q_{max} = 2^{n_T} - 1$,

n_T – кількість двійкових розрядів для зберігання елементу таблиці.

Таблиця квантування (4) при $M = 3 \ldots 5$ забезпечує:

– зниження рівня вхідних шумів і, відповідно, зменшення трансформованої похибки [10];

– незначні викривлення форми перепадів яскравості, пов'язані із вилученням верхніх частот [10];

– відсутність похибки, пов'язаної із квантуванням частотних коефіцієнтів, так як $Q(u, v) = 1$ для тих коефіцієнтів, що залишаються в спектрі.

В результаті можна досягти зменшення похибки геометричних вимірювань у порівнянні із нестиснутим відеозображенням.

На основі отриманих результатів розроблено діючий макет комп'ютерної автоматизованої системи для розмітки шкал вимірювальних приладів.

Автоматизована система складається із цифрового фотоапарату, персонального комп'ютера і лазерного принтера або спеціалізованого пристрою друку.

Автоматизована система забезпечує:

– введення відеозображення стрілки і циферблату (без нанесених шкал) в комп'ютер;

– визначення (на основі обробки отриманого зображення) кутів відхилення стрілки в контрольних точках шкали постійного струму;

– розрахунок кутів відхилення для проміжних ділень всіх шкал;

– побудову зображення всіх шкал вимірювального приладу в форматі векторної графіки Windows Metefile [3] і друк цього зображення (рис. 5);

Розроблено програмне забезпечення для обробки цифрових відеозображень з метою визначення кутів відхилення стрілки в контрольних точках і для побудови зображення шкал вимірювального приладу.

Автоматизована система має такі характеристики:

– розмір цифрового відеозображення 1280x1024 або 1600x1200 точок;

– похибка визначення координат точок контура стрілки ± 1 точка;

– похибка визначення кута відхилення стрілки ± (0,10 – 0,25) °.

В результаті проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Існуючі методи вирішення задачі розмітки шкал вимірювальних приладів не враховують сучасні можливості комп'ютерних інформаційних технологій по обробці відеозображень і мають обмежені функціональні можливості Тому виникла необхідність розробки комп'ютерної автоматизованої системи для геометричних вимірювань на цифрових відеозображеннях.

2. Розроблено математичні моделі похибок визначення кута відхилення стрілки вимірювального приладу для цифрових відеозображень виробничого процесу. Ці математичні моделі дозволяють визначити технічні характеристики апаратних засобів комп'ютерної автоматизованої системи.

3. Стиснення за JPEG-алгоритмом відеозображень стрілки і циферблату вимірювальних приладів забезпечує:

– значне скорочення об'єму цифрових даних, що вводяться в комп'ютер;

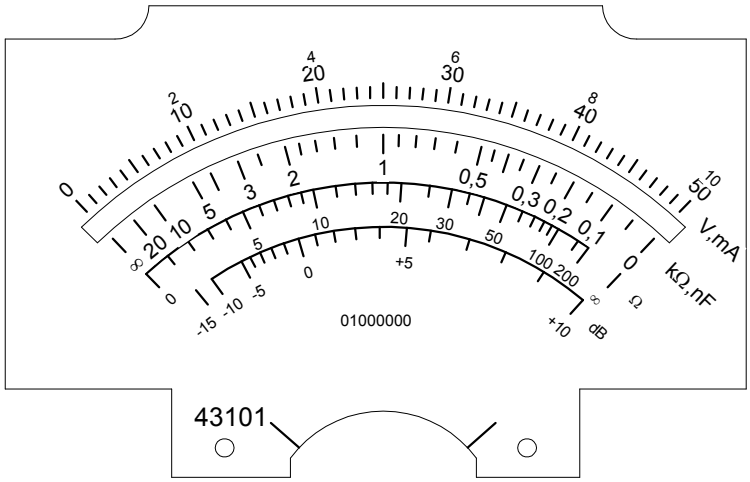

Рис. 5

– зниження рівня шумів на цифровому відеозображенні за рахунок низькочастотної фільтрації, і, в результаті, зменшення величини похибки визначення кутів відхилення стрілки.

4. На основі отриманих результатів розроблено діючий макет комп'ютерної автоматизованої системи для розмітки шкал стрілкових вимірювальних приладів. Похибка визначення кутових величин складає (0,25 – 0,10) ° в залежності від розміру цифрових відеозображень, що використовуються в системі. Така система забезпечує автоматизацію одного із етапів виробництва вимірювальних приладів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 5365 – 83. Приборы электроизмерительные. Циферблаты и шкалы. Общие технические требования. – Введен 01.07.84. – М.: Издательство стандартов, 1983. – 9 с.
2. Копченова Н.В., Марон И.А. Вычислительная математика в примерах и задачах: Учебное пособие для вузов. – М.: Наука, 1972. – 368 с.
3. Мюррей Д., Ван Райпер У. Энциклопедия форматов графических файлов: Пер. с англ. – К.: BHV, 1997. – 672 с.
4. Соренков Э.И., Телига А.И., Шаталов А.С. Точность вычислительных устройств и алгоритмов. – М.: Машиностроение, 1976. – 200 с.
5. Способ поверки стрелочного измерительного прибора и устройство для его осуществления: А.с. 1753432 А1 СССР, МКИ G 01 R 35/00. / С.Н. Большаченкова, В.П. Карелин, А.В. Козлов, Н.В. Козлова, А.М. Малярчук и В.В. Месяц (СССР). – № 4790006/10; Заявлено 04.12.89; Опубликовано 07.08.92, Бюллетень № 29. – 7 с.
6. Турчак Л.И. Основы численных методов: Учебное пособие. – М.: Наука, 1987. – 320 с.
7. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах: Пер. с англ. – М.: Мир, 1969. – 396 с.
8. Руководство компании Nikon по цифровой фотографии. Цифровая фотокамера COOLPIX880. – 188 с.
9. *Подчашинський Ю.О.* Метод розрахунку похибок геометричних вимірювань на цифрових зображеннях // Вісник ЖІТІ, 2000. – № 14. – С. 166 – 174.
10. Подчашинський Ю.О. Метод розрахунку похибок геометричних вимірювань при стисненні цифрових зображень // Вісник ЖІТІ. – 2000. – № 15. – С. 125 – 132.

ПОДЧАШИНСЬКИЙ Юрій Олександрович — старший викладач кафедри автоматики та управління в технічних системах Житомирського інженерно - технологічного інституту.

Наукові інтереси:

— цифрова обробка зображень.

УДК 681.325

Комп'ютерна автоматизована розмітка шкал вимірювальних приладів на основі обробки цифрових відеозображень / Ю.О. Подчашинський // Вісник ЖІТІ. – 2001. – № 18. – С. ?? – ??: іл. 5. – бібліогр.: 10 назв.

В статті розглянута задача індивідуальної розмітки шкал при виготовленні стрілкових вимірювальних приладів. Пропонується рішення цієї задачі на основі комп'ютерної автоматизованої системи для геометричних вимірювань на цифрових відеозображеннях. Розроблено математичні моделі похибок визначення кута відхилення стрілки в контрольних точках шкали. Визначені вимоги до апаратних засобів комп'ютерної автоматизованої системи.

УДК 681.325

Компьютерная автоматизированная разметка шкал измерительных приборов на основе обработки цифровых видеоизображений / Ю.А. Подчашинский // Виснык ЖИТИ. – 2001. – № 18. – С. ?? – ??: ил. 5. – библиогр.: 10 назв.

В статье рассмотрена задача индивидуальной разметки шкал при изготовлении стрелочных измерительных приборов. Предложено решение этой задачи на основе компьютерной автоматизированной системы для геометрических измерений на цифровых видеоизображениях. Разработаны математические модели погрешностей определения угла отклонения стрелки в контрольных точках шкалы. Определены требования к аппаратным средствам компьютерной автоматизированной системы.

УДК 681.325

The computer automatized marking of scale of pointer-type instrument on the basis of processing of digital videoimages/ Yu.A. Podchashinsky // Visnyk ZIET. – 2001. – ¹ 18. – P. ?? – ??: ill. 5. – Refs.: 10 titles.

In this article the task of individual is considered at manufacture. The solution of this task is offered of the system for geometrical measurements on the digital videoimages. The mathematical models of errors are developed at definition of angle of arrow in breakpoints of scale. The requirements to hardware of the computer automatized system are defined.