

Ю.О. Подчашинський, ст. викл.

Житомирський інженерно-технологічний інститут

МЕТОД РОЗРАХУНКУ ПОХИБОК ГЕОМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ НА ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕННЯХ

В статті запропоновано метод розрахунку похибок геометричних вимірювань на цифрових зображеннях. Ці зображення отриманні в результаті введення в комп'ютер і обробки візуальної інформації, яка є результатом експериментальних досліджень. Виконано оцінку впливу шуму, наявного у відеосигналі від зовнішнього джерела, на точність геометричних вимірювань.

1. Загальна схема розрахунку похибок геометричних вимірювань

В ході автоматизованої обробки відеозображень виникає задача вимірювання координат окремих точок, визначення відстані між точками і розмірів об'єктів, тобто визначення геометричних характеристик об'єктів на відеозображенні.

Загальна похибка вимірювань координат точок контура об'єкта є сумою багатьох складових частин, які обумовлені дією різних факторів.

Основні складові частини загальної похибки вимірювання координат точок контура:

- похибки дискретизації при аналого-цифровом перетворенні відеосигналу в пристрої введення відеозображень в комп'ютер в АЦП [14];
- похибки дискретизації, пов'язані із дискретною структурою перетворювача “світло-сигнал” (ПЗЗ – матриці) у відеокамері [14];
- похибки квантування по рівню при аналого-цифровом перетворенні відеосигналу;
- похибки, пов'язані з наявністю шумів в аналоговому відеосигналі;
- викривлення форми відеосигналу, пов'язані з обмеженням смуги частот відеосигналу [14].

При обчисленні геометричних розмірів елементів зображення і інших геометричних характеристик зображення на основі координат точок контурів об'єктів мають місце такі похибки:

- трансформована похибка, яка є наслідком загальної похибки вимірювань координат точок;
- похибка методу обчислень, обумовлена використанням чисельних методів при обчисленні геометричних характеристик зображення;
- похибка обчислень, пов'язана з особливостями реалізації обчислювальних операцій в конкретній ЕОМ або спеціалізованому цифровому пристрої.

Загальна схема обчислень похибок геометричних вимірювань наведена на рис. 1.

Для перерахунку похибки квантування і похибки, обумовленої шумом у аналоговому відеосигналі, в еквівалентну похибку дискретизації використовується лінійна апроксимація перепаду яскравості, який відповідає контуру на цифровому зображенні.

2. Визначення координат точок контура об'єкта на цифровому зображенні

Для визначення геометричних розмірів об'єкта необхідно знати координати точок зображення, між якими вимірюється відстань. Таким чином необхідно виділити на зображенні потрібний об'єкт (наприклад, зразок матеріалу, що деформується [13]) і визначити координати точок, що утворюють зовнішній контур цього об'єкту. Вирішення цієї задачі доцільно проводити на основі відомостей, викладених в [8].

Можливі два варіанти вирішення задачі визначення геометричних розмірів об'єкта на зображенні:

- на основі виділення контурів (контурних ознак зображення) з подальшим переходом до символічного опису зображення;
- на основі сегментації зображення по яскравості і визначення координат контурних точок об'єктів.

Порівнюючи перший та другий варіанти вирішення цієї задачі, можна зробити висновок про те, що перший варіант більш складний і потребує більшого об'єму обчислень. Але перший варіант забезпечує більш якісну і надійну обробку складних зображень, які містять багато об'єктів складної форми або мають значний рівень шумів.

© Ю.О. Подчашинський, 2000

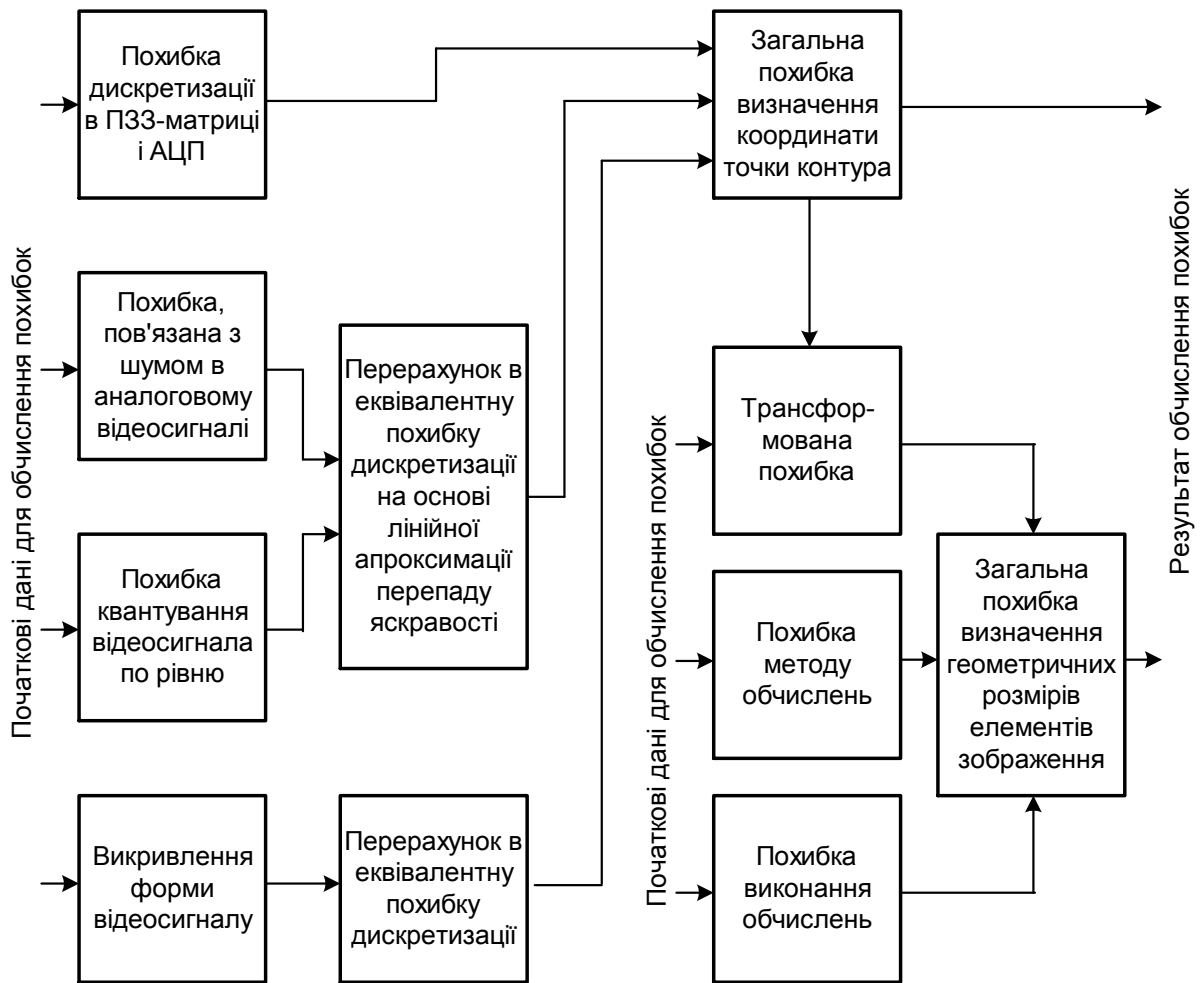


Рис. 1

При автоматизованому дослідженні процесу пластичної деформації твердих тіл можливо застосування другого варіанту (сегментація зображення по яскравості), так як на зображенні присутній один об'єкт наперед відомої форми, а потрібна якість зображення забезпечується вибором відповідних умов проведення і зйомки процесу деформації.

Важлива задача при сегментації зображення по яскравості – це вибір порогового значення яскравості, що розділяє зображення на об'єкт і фон. Методи вибору порогового значення, як правило, базуються на побудові і дослідженні гістограми розподілу яскравостей точок зображення.

В задачі що розглядається, важливим критерієм для вибору порога яскравості є забезпечення точного виміру геометричних розмірів об'єкта.

Розглянемо одновимірний перепад яскравості в рядку зображення (рис. 2). Він може бути апроксимований лінійною функцією, що добре відповідає перепадам на реальному зображенні, яке досліджується. В якості порога будемо використовувати рівень яскравості, що відповідає середині висоти перепаду яскравості:

$$Y_n = \frac{Y_{об} - Y_{ф}}{2}, \tag{1}$$

де $Y_{об}$ і $Y_{ф}$ – яскравість об'єкта і фону відповідно.

Таке значення порога найкраще відповідає задачі визначення геометричних розмірів об'єкту на зображенні і мінімізує вірогідність помилкового визначення межі об'єкта в результаті впливу шумів.

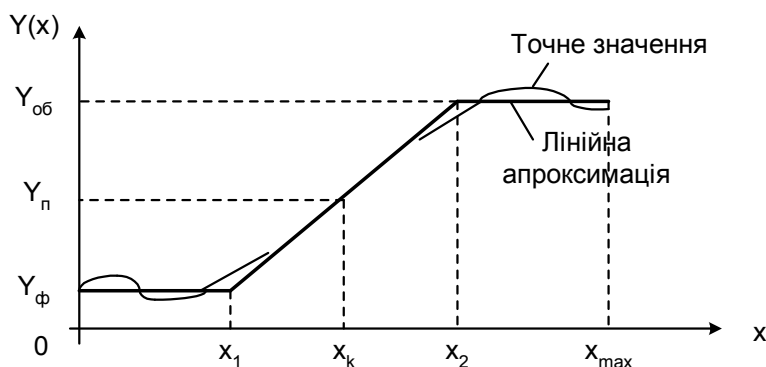


Рис. 2

Для визначення порога яскравості по формулі (1) і його застосування для сегментації зображень необхідно визначити середню яскравість об'єкта і середню яскравість фону. Визначення цих значень по гістограмі, побудованій для всього зображення, не забезпечує в даному випадку вірогідного результату, так як:

- на зразок матеріалу можуть бути нанесені різні мітки у вигляді поперечних смуг іншого кольору, рисок і прямокутної сітки, які використовуються при дослідженні процесу деформації;
- в області фону можлива наявність деяких сторонніх об'єктів і завод.

Пропонується наступний підхід до сегментації даного типу зображень і визначення порога яскравості:

1. Визначається попереднє значення порогу яскравості по формулі (1) на основі ручного виміру яскравості для деяких точок об'єкта і фону. Найпростіший варіант – взяти в якості порога значення $Y_n = 128$ дискретних рівнів при 8-бітовому кодуванні яскравості.

2. На основі попереднього значення порога яскравості виконується сегментація зображення і визначаються координати контурних точок об'єкту.

3. Для кожного рядка зображення в деякому околі контура об'єкта визначаються значення яскравості точок. Далі для всього набору рядків виконується визначення середньої \bar{Y} , максимальної Y_{max} і мінімальної Y_{min} яскравості для кожної точки, що відстоїть від точки контура об'єкта на фіксовану відстань:

$$\bar{Y}(x') = \frac{1}{V} \sum_{y=0}^{V-1} Y(x, y);$$

$$Y_{max}(x') = \max_{y=0..V-1} \{Y(x, y)\};$$

$$Y_{min}(x') = \min_{y=0..V-1} \{Y(x, y)\}.$$

де x' – горизонтальна координата для околу контура, $x' = x - x_{ky} = -p, \dots, -1, 0, 1, \dots, p$;

V – висота зображення, дискретних точок;

$Y(x, y)$ – значення яскравості в точці з координатами x і y ;

x_{ky} – горизонтальна координата точки контура об'єкта в рядку з вертикальною координатою y ;

p – ціле число, що визначає ширину околиці контуру.

Приклад результату цих розрахунків наведено на рис. 3.

4. Виконується апроксимація отриманих даних стандартною формою одновимірною перепаду яскравості і визначаються точні середні значення яскравості об'єкта $Y_{об}$ і фону $Y_{ф}$, по яким розраховується точне значення порога яскравості за формулою (1).

5. Отримане значення порога яскравості використовуються для сегментації і визначення координат контурних точок об'єкта на ряді зображень, які відповідають послідовності кадрів відеозйомки процесу, що досліджується.

3. Лінійні перетворення похибок квантування і дискретизації

При розрахунку загальної похибки визначення координат точок контура об'єкта необхідно враховувати вплив різних випадкових факторів. Для деяких з цих факторів необхідно виконати перерахунок похибки квантування в еквівалентну похибку дискретизації, або, навпаки, перерахунок похибки дискретизації в еквівалентну похибку квантування.

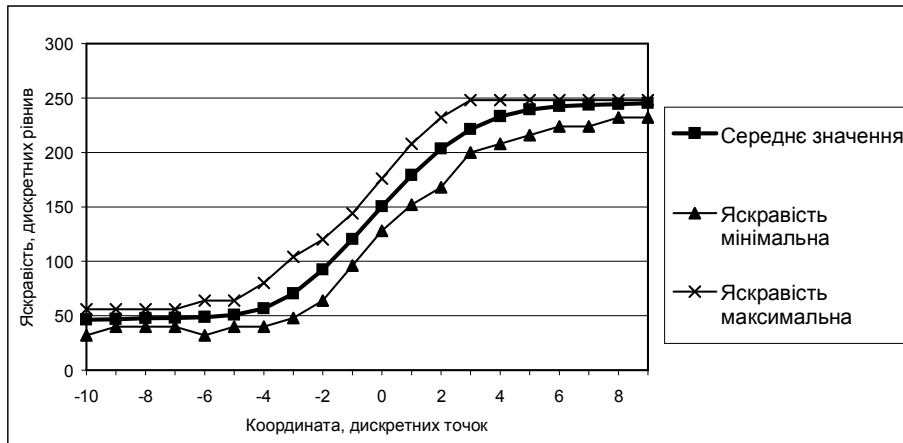


Рис. 3

Такий перерахунок виконується на основі представлення перепаду яскравості на зображенні лінійною функцією:

$$Y(x) = \begin{cases} Y_{\phi}, & 0 \leq x \leq x_1, \\ (x - x_1) \cdot tg\alpha + Y_{\phi}, & x_1 \leq x \leq x_2, \\ Y_{об}, & x_2 \leq x \leq x_{max}, \end{cases} \quad (2)$$

де $tg\alpha = \frac{Y_{об} - Y_{\phi}}{x_2 - x_1}$;

x_{max} – максимальне значення горизонтальної координати.

При перерахунку похибок необхідно визначити закон розподілу лінійної функції випадкової величини, закон розподілу для якої відомий. Теоретичні основи таких функціональних перетворень випадкових величин викладено в [1, 5].

Розглянемо лінійне перетворення похибок квантування і дискретизації (рис. 4).

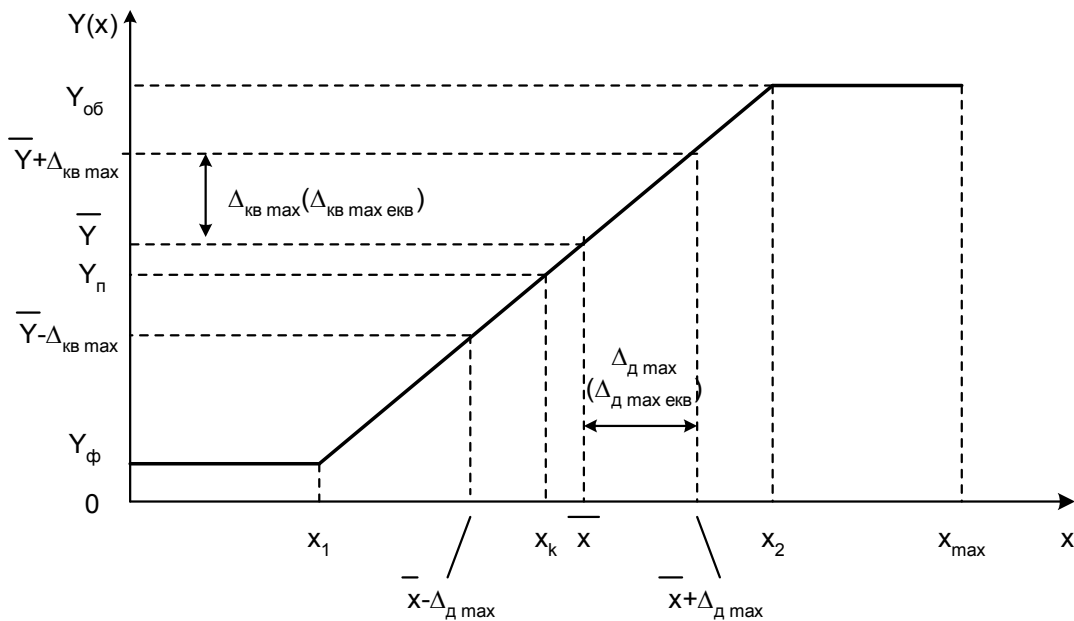


Рис. 4

Поточні значення результату вимірювання координати точки контура мають деякий закон розподілу з щільністю розподілу $p(x)$, а відповідні їм значення яскравості – деякий інший закон розподілу з щільністю розподілу $g(Y)$.

В загальному випадку [1, 5], якщо монотонна функція $y = f(x)$ має похідну і для функції $f(x)$ існує обернена функція $x = \varphi(y)$ (тобто функції $f(x)$ і $\varphi(y)$ пов'язанні між собою взаємно однозначною відповідністю), то

$$g(y) = p[\varphi(y)] \cdot \left| \frac{d\varphi(y)}{dy} \right|. \tag{3}$$

Для лінійної функції $y = ax + b$

$$g(y) = \frac{1}{|a|} \cdot p\left(\frac{y-b}{a}\right). \tag{4}$$

В даному випадку для функції $Y(x)$ (див. ф-лу (2)) оберненої функції не існує, так як множині (континууму) значень x на інтервалі $(0, x_1)$ відповідає одне значення Y_ϕ , а множині (континууму) значень x на інтервалі (x_2, x_{\max}) – одне значення $Y_{об}$.

В [5] на основі використання властивостей дельта-функції розглянуто підхід, який дозволяє знайти закон розподілу функції випадкової величини, подібної до (2). Застосуємо цей підхід до лінійного перепаду яскравості.

Функція розподілу значень яскравості для лінійного перепаду яскравості визначається таким виразом:

$$G(Y) = \begin{cases} 0, & 0 \leq Y < Y_\phi, \\ u(Y - Y_\phi) \cdot \int_0^{x_1} p(x) dx + P\{x_1 \leq x \leq \varphi(Y)\}, & Y_\phi \leq Y < Y_{об}, \\ u(Y - Y_\phi) \cdot \int_0^{x_1} p(x) dx + P\{x_1 \leq x \leq x_2\} + u(Y - Y_{об}) \cdot \int_{x_2}^{x_{\max}} p(x) dx = 1, & Y_{об} \leq Y \leq Y_{\max}, \end{cases}$$

де $u(\cdot)$ – одиничний стрибок;

$P\{\cdot\}$ – ймовірність того, що значення випадкової величини знаходиться у вказаному інтервалі;

$\varphi(Y)$ – функція, обернена до функції $Y(x)$ на інтервалі (x_1, x_2) ;

Y_{\max} – максимальне значення яскравості.

Щільність розподілу значень яскравості

$$g(Y) = \frac{dG(Y)}{dY} = \begin{cases} 0, & 0 \leq Y < Y_\phi, Y_{об} < Y \leq Y_{\max}, \\ \delta(Y - Y_\phi) \cdot \int_0^{x_1} p(x) dx + p[\varphi(Y)] \cdot \left| \frac{d\varphi(Y)}{dY} \right| + \delta(Y - Y_{об}) \cdot \int_{x_2}^{x_{\max}} p(x) dx, & Y_\phi \leq Y \leq Y_{об}, \end{cases} \tag{5}$$

де $\delta(\cdot)$ – дельта-функція.

В даному випадку, виходячи із експериментально отриманих значень похибки дискретизації і форми перепаду яскравості, можна вважати, що:

– для рівномірного і трикутного законів розподілу діапазон значень координати не виходить за межі діапазону (x_1, x_2) . Тому обидва інтеграли в формулі (5) дорівнюють нулю.

– для нормального закону розподілу діапазон значень координати $(\bar{x} - 3\sigma_x, \bar{x} + 3\sigma_x)$ не виходить за межі діапазону (x_1, x_2) . Тому обидва інтеграли в формулі (5) приблизно дорівнюють нулю.

Таким чином, для практично можливих значень координат точок контура формула (5) перетворюється в формулу (3), а з урахуванням лінійності перепаду яскравості – в формулу (4). Для діапазону значень координати (x_1, x_2) і відповідного йому діапазону значень яскравості $(Y_\phi, Y_{об})$ можна вважати, що

$$\begin{aligned} Y(x) &= (x - x_1) \cdot \operatorname{tg}\alpha + Y_\phi = ax + b; \\ a &= \operatorname{tg}\alpha; \quad b = Y_\phi - x_1 \cdot \operatorname{tg}\alpha; \\ x = \varphi(Y) &= \frac{Y - Y_\phi}{\operatorname{tg}\alpha} + x_1. \end{aligned} \tag{6}$$

Використовуючи формулу (4) з урахуванням формул (6), можна довести, що в разі, коли значення координати мають рівномірний, трикутний або нормальний розподіл, то значення яскравості мають такий же розподіл, але довжина інтервалу можливих значень яскравості більше в $\operatorname{tg}\alpha$ раз за довжину інтервалу можливих значень координати.

Різниці між середніми і істинними значеннями координати і порогу яскравості дорівнюють систематичним складовим частинам похибки дискретизації і еквівалентної похибки квантування, відхилення поточних значень від середніх значень – випадковим складовим частинам похибок із законом розподілу, визначеним за формулами (4) і (6).

Чисельні характеристики еквівалентної похибки квантування, як випадкової величини, можна визначити на основі закону її розподілу або на основі чисельних характеристик похибки дискретизації, використовуючи теореми про чисельні характеристики [1].

В результаті маємо:

$$\text{середнє значення (систематична складова частина)} \quad M[\Delta_{\text{кв екр}}] = M[\Delta_{\text{д}}] \cdot |\operatorname{tg}\alpha|;$$

$$\text{дисперсія} \quad D[\Delta_{\text{кв екр}}] = D[\Delta_{\text{д}}] \cdot \operatorname{tg}^2\alpha;$$

$$\text{середнє квадратичне відхилення} \quad \sigma[\Delta_{\text{кв екр}}] = \sigma[\Delta_{\text{д}}] \cdot |\operatorname{tg}\alpha|;$$

$$\text{максимальне значення випадкової складової частини} \quad \Delta_{\text{кв екр max}} = \Delta_{\text{д max}} \cdot |\operatorname{tg}\alpha|.$$

Розглянемо перерахунок похибки квантування в еквівалентну похибку дискретизації для лінійного перепаду яскравості. Використовуючи формулу (4) з урахуванням формул (6), можна довести, що в разі, коли похибка квантування має рівномірний, трикутний або нормальний розподіл, то еквівалентна похибка дискретизації має такий же розподіл, але довжина інтервалу її можливих значень в $\operatorname{ctg}\alpha$ раз більше.

Чисельні характеристики еквівалентної похибки дискретизації $\Delta_{\text{д екр}}$ визначається на основі чисельних характеристик похибки квантування $\Delta_{\text{кв}}$:

$$M[\Delta_{\text{д екр}}] = M[\Delta_{\text{кв}}] \cdot |\operatorname{ctg}\alpha|;$$

$$D[\Delta_{\text{д екр}}] = D[\Delta_{\text{кв}}] \cdot \operatorname{ctg}^2\alpha;$$

$$\sigma[\Delta_{\text{д екр}}] = \sigma[\Delta_{\text{кв}}] \cdot |\operatorname{ctg}\alpha|;$$

$$\Delta_{\text{д екр max}} = \Delta_{\text{кв max}} \cdot |\operatorname{ctg}\alpha|.$$

4. Ймовірнісні характеристики шумів, наявних у відеосигналі

Сигнал яскравості (відеосигнал), що надходить на вхід АЦП для оцифровки, містить певні викривлення. Ці викривлення проявляються у вигляді шуму, присутнього у відеосигналі. Шум виникає в електронних схемах, що формують відеосигнали.

Загальні відомості про характеристики власних шумів в електронних схемах викладені в [2, 4, 6]. Моделі шумів, що використовуються при цифровій обробці зображень, наведені в [8]. Шуми в напівпровідникових перетворювачах “світло-сигнал” (ПЗЗ – матрицях) описані в [7].

На основі розглянутих відомостей про різні типи шумів в електронних схемах можна зробити такі висновки:

1. Шум, присутній у відеосигналі, є адитивний випадковий процес з нормальним законом розподілу.

2. Основними компонентами шуму, які слід брати до уваги при розрахунках, є тепловий і дробовий шум електронних схем.

3. Тепловий шум має властивості “білого” шуму і статистично незалежний від корисного сигналу.

4. Дробовий шум статистично залежить від рівня відеосигналу, але коефіцієнт кореляції дорівнює нулю, так як це не є лінійна залежність. Спектральна щільність і кореляційна функція напруги дробового шуму залежать від характеру повного опору навантаження і можуть бути визначені окремо для різних типів схем.

5. Для безпосереднього аналітичного розрахунку значень ймовірнісних характеристик шуму необхідно виконати складні розрахунки і провести аналіз складних електричних схем. Тому більш доцільно виконати оцінку ймовірнісних характеристик шуму на основі непрямих методів, наприклад, використовуючи значення відношення сигнал/шум для сигналу яскравості.

Відношення сигнал/шум в телевізійній техніці – це є відношення повного динамічного діапазону сигналу яскравості (від рівня чорного U_c до рівня білого U_6) до діючого значення шуму $U_{шд}$ [3, 9, 10]:

$$\Psi_{с/ш} = 20 \lg \frac{U_6 - U_c}{U_{шд}} . \tag{7}$$

В даному випадку можна вважати, що яскравість цифрового зображення $Y = Y_{max}$, так як в формулі (7) використовується повний динамічний діапазон сигналу яскравості. В якості діючого значення можна використовувати середньоквадратичне значення напруги шуму, так як це є стаціонарний і ергодичний випадковий процес. Відношення сигнал/шум відомого для відеосигналу на виході конкретного пристрою (відеокамера або відеомагнітофон). Тому на основі формули (7) можна визначити середньоквадратичне значення шуму для цифрового зображення:

$$\sigma_{ш} = \frac{Y_{max}}{10^{(\Psi_{с/ш}/20)}} .$$

Для визначення максимального практично можливого значення шуму використовується коефіцієнт амплітуди (пік-фактор) [2, 6]. Для шуму з нормальним законом розподілу значення коефіцієнту амплітуди $K_a = 3$ (ймовірність пікових значень шуму, що перевищують максимальне значення, дорівнює 0,3%). Тоді

$$U_{ш\max} = K_a \cdot \sigma_{ш} = \frac{3 \cdot Y_{\max}}{10^{(\Psi_{сг\ ш}/20)}}.$$

5. Кореляційна функція і інтервал кореляції шуму

Визначимо кореляційну функцію шуму на вході АЦП.

Напряга шуму на вході АЦП – сума напруг теплового і дробового шумів. Тепловий шум – це є стаціонарний випадковий процес, так як його характеристики не залежать від часу. Якщо розглядати дробовий шум для рівня яскравості Y_{\max} , то його можна вважати стаціонарним випадковим процесом. Тепловий і дробовий шум статистично не залежні, так як вони викликані різними фізичними явищами в електричній схемі. Тоді, кореляційна функція напруги сумарного шуму на вході АЦП

$$K_{ш}(\tau) = K_{тш}(\tau) + K_{дш}(\tau),$$

де $K_{тш}(\tau)$ і $K_{дш}(\tau)$ – кореляційні функції напруги теплового і дробового шуму.

В [2] наведено розрахунок кореляційної функції напруги дробового шуму для аперіодичного підсилювача з резистивним навантаженням. Такий тип підсилювача використовується для підсилення відеосигналу в смузі частот від 0 до $f_b = 5 - 6$ МГц . Тоді

$$K_{дш}(\tau) = \sigma_{дш}^2 \cdot \exp\left\{-\frac{|\tau|}{\tau_n}\right\},$$

де $\sigma_{дш}^2$ – середньоквадратичне значення напруги дробового шуму;
 τ_n – постійна часу навантаження.

Постійна часу для імпульсних і широкосмугових підсилювачів визначається за формулою

$$\tau_n = (0,159 \dots 0,227)/f_b.$$

Тепловий шум по своїм властивостям наближається до “білого” шуму і його кореляційна функція $K_{тш} = \sigma_{тш}^2$ для $\tau = 0$ і $K_{тш} = 0$ для $\tau \neq 0$. Але при проходженні теплового шуму через електронні схеми з обмеженою смугою частот його кореляційна функція набуває вигляду кривої Гауса. В даному випадку для смуги частот від 0 до 5 МГц значення кореляційної функції теплового шуму значно швидше наближаються до нуля, ніж значення кореляційної функції дробового шуму, і можна вважати, що кореляційна функція теплового шуму на виході відеокамери приблизно дорівнює вказаним значенням.

Нормована кореляційна функція (коефіцієнт кореляції) напруги сумарного шуму на вході АЦП

$$R_{ш}(\tau) = \begin{cases} 1, & \tau = 0, \\ \frac{\sigma_{дш}^2}{\sigma_{ш}^2} \cdot \exp\left\{\frac{|\tau| \cdot f_b}{(0,159\dots 0,227)}\right\}, & \tau \neq 0. \end{cases} \quad (8)$$

Визначимо інтервал кореляції τ_0 напруги шуму на вході АЦП. Відповідно до [5]

$$|R_{ш}(\tau)| < 0,05 \text{ для } \tau > \tau_0.$$

Використовуючи формулу (8), маємо:

$$\tau_0 = \frac{-\ln(0,05 / \gamma^2) \cdot (0,159...0,227)}{f_b},$$

де $\gamma = \sigma_{дш} / \sigma_{ш}$.

Якщо $\gamma = 1$ і $f_b = 5$ МГц, то $\tau_0 = 1,16 \cdot 10^{-7}$ с.

Якщо $\gamma = 0,5$ і $f_b = 5$ МГц, то $\tau_0 = 6,21 \cdot 10^{-8}$ с.

Можливий і інший варіант визначення інтервалу кореляції. Відповідно до [5], інтервал кореляції – це половина ширини основи прямокутника одиничної висоти, площа якого дорівнює площі під кривою модуля коефіцієнта кореляції:

$$\tau_0 = \frac{1}{2} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} |R(\tau)| d\tau.$$

Виходячи із цього визначення і на основі теореми Хінчина–Вінера, яка пов'язує кореляційну функцію і енергетичний спектр, для випадкового процесу з додатньою кореляційною функцією в [5] отримано вираз для визначення інтервалу кореляції:

$$\tau_0 = \frac{W(0)}{4K(0)},$$

де $W(0) = W(\omega)|_{\omega=0}$ – спектральна щільність потужності (енергетичний спектр) випадкового процесу;

$K(0) = K(\tau)|_{\tau=0}$ – кореляційна функція випадкового процесу.

В даному випадку:

$$K_{ш}(0) = \sigma_{ш}^2;$$

$$W_{ш}(\omega) = 2N_0 + \frac{4\sigma_{дш}^2 \cdot \tau_H}{1 + \omega^2 \tau_H^2},$$

де N_0 – спектральна щільність “білого” шуму, в даному випадку (для смуги частот від 0 до 5 МГц і відношення сигнал/шум 40 дБ) можна вважати, що N_0 приблизно дорівнює 0;

$$W_{ш}(0) = 4\sigma_{дш}^2 \cdot \tau_H.$$

В результаті маємо:

$$\tau_0 = \frac{\sigma_{дш}^2 \cdot \tau_H}{\sigma_{ш}^2} = \gamma^2 \cdot \tau_H.$$

Якщо $\gamma = 1$ і $f_b = 5$ МГц, то $\tau_0 = 3,82 \cdot 10^{-8}$ с.

Якщо $\gamma = 0,5$ і $f_b = 5$ МГц, то $\tau_0 = 9,70 \cdot 10^{-9}$ с.

Порівнюючи два варіанти розрахунку значення інтервалу кореляції, можна зауважити, що отримані значення мають деяку розбіжність. Це пояснюється відмінностями в підході до визначення інтервалу кореляції по графіку нормованої кореляційної функції.

Так як значення інтервалу кореляції використовується для порівняння із значенням інтервалу дискретизації в АЦП і визначення ступеня корельованості дискретних відліків шуму, то в подальшому доцільно використовувати результати першого варіанту розрахунку, які дають більше значення інтервалу кореляції. Це відповідає розрахунку, який виконується, виходячи із найгіршого можливого випадку.

Після оцифровки відеосигналу вхідний шум АЦП присутній в дискретних відліках. Інтервал дискретизації для максимального розміру відеозображення по горизонталі $N = 720 \dots 800$ дискретних точок [12] дорівнює $\delta_d = (7,22 \dots 6,50) \cdot 10^{-8}$ с. Так як дробовий шум складає тільки деяку частку шуму на вході АЦП, то можна вважати для обох варіантів розрахунку, що $\tau_0 < \delta_d$. Таким чином, шум присутній у відеосигналі на вході АЦП, після оцифровки перетворюється на дискретний "білий" шум.

6. Висновки

1. Пропонується метод розрахунку похибок вимірювання координат точок контурів і розмірів елементів цифрового зображення, яке отримано в результаті введення відеосигналу від зовнішнього джерела в комп'ютер.

2. Визначення координат точок контура виконується на основі сегментації зображення по пороговому значенню яскравості. Для зображень, які відносяться до дослідження процесу пластичної деформації твердих тіл [13], розроблено метод визначення порогового значення яскравості, який найкраще відповідає задачі вимірювання геометричних розмірів на даному виді зображень. Він базується на обчисленні середніх (по множині рядків) значень яскравості точок в околі вертикального контуру, якому відповідає лінійний одновимірний перепад яскравості на зображенні.

3. Для лінійної апроксимації перепаду яскравості розглянуто перерахунок похибки дискретизації в еквівалентну похибку квантування і, навпаки, перерахунок похибки квантування в еквівалентну похибку дискретизації. Цей перерахунок виконується при обчисленні сумарної похибки вимірювань, обумовленої дією різних факторів. Визначено закон розподілу, включаючи чисельні характеристики, результатів такого перерахунку.

4. Одним з факторів, які впливають на похибки геометричних вимірювань на цифровому зображенні, є шум, присутній у відеосигналі від зовнішнього джерела. Ймовірнісні характеристики похибки, викликані цим шумом, розраховано на основі відношення сигнал/шум для аналогового відеосигналу.

5. Визначено кореляційну функцію і інтервал кореляції для шуму, присутнього у аналоговому відеосигналі. В результаті порівняння інтервалу кореляції шуму з інтервалом дискретизації відеосигналу, встановлено, що цей шум після оцифровки перетворюється на дискретний "білий" шум.

6. Метод розрахунку похибок, викладений у даній статті і [14], використовувався для оцінки похибок вимірювань геометричних розмірів при дослідженні процесу пластичної деформації твердих тіл [13, 15]. Він також може бути використаний при вимірюванні геометричних розмірів на інших зображеннях, отриманих в результаті введення в комп'ютер і обробки візуальної інформації, яка є результатом експериментальних досліджень.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1999. – 576 с.
2. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. – М.: Советское радио, 1977. – 608 с.
3. Горелик С.Л., Кац Б.М., Киврин В.И. Телевизионные измерительные системы. – М.: Связь, 1980. – 168 с.
4. Жалуд В., Кулешов В.М. Шумы в полупроводниковых устройствах / Под общей ред. А.К. Нарышкина. – М.: Советское радио, 1977. – 416 с.
5. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Книга первая. – М.: Советское радио, 1969. – 752 с.
6. Отт Г. Методы подавления шумов и помех в электронных схемах: Пер. с англ. – М.: Мир, 1979. – 320 с.
7. Пресс Ф.П. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. – М.: Радио и связь, 1991. – 264 с.
8. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 792 с.
9. Телевидение: Учебник для вузов / В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Н.А. Ерганжиев и др. / Под ред. В.Е. Джаконии. – М. Радио и связь, 1986. – 456 с.
10. Техника цветного телевидения / Под ред. С.В. Новковского. – М.: Связь, 1976. – 496с.
11. Шишигин И.В., Шульман М.Г., Колесниченко О.В., Золотарев С.А. Как выбрать видеокамеру. – СПб.: Лань, 1996. – 512 с.
12. Шлихт Г.Ю. Цифровая обработка цветных изображений. – М.: ЭКОМ, 1997. – 336 с.
13. *Грабар І.Г., Колодницька Р.В., Подчашинський Ю.О.* Комп'ютеризована технологія дослідження кінетики пружно-пластичного деформування та руйнування твердих тіл // Вісник ЖІТІ, 1998. – № 7. – С. 181 – 184.
14. *Подчашинський Ю.О.* Похибки визначення лінійних розмірів елементів зображення в програмно-апаратном комплексі автоматизованої обробки відеоінформації // Вісник ЖІТІ, 1999. – № 11. – С. 179 – 187.
15. Grabar I., Kolodnitska R., Podchashinsky Yu. Hardware-software complex for research of kinetics of elastic – plastic deformations and destructions of rigid bodies // Proceedings of the International Scientific Conference "Mechanics 2000". – Rzeszow (Poland). – 2000. – P. 103 – 108.

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

Наукові інтереси:

— цифрова обробка зображень.

Подано 14.09.2000

Подчашинський Ю.О. Метод розрахунку похибок геометричних вимірювань на цифрових зображеннях

Подчашинский Ю.А. Метод расчета погрешностей геометрических измерений на цифровых изображениях

Podchashinsky Yu.A. Method of the calculation of errors of geometrical measurements on digital images

УДК 681.325

Метод расчета погрешностей геометрических измерений на цифровых изображениях / Ю.А. Подчашинский

В статье предложен метод расчета погрешностей геометрических измерений на цифровых изображениях. Эти изображения получены в результате ввода в компьютер и обработки визуальной информации, накопленной в результате экспериментальных исследований. Выполнена оценка влияния шума, имеющегося в видеосигнале от внешнего источника, на точность геометрических измерений.

УДК 681.325

Method of the calculation of errors of geometrical measurements on digital images / Yu.A. Podchashinsky

The method of calculation of errors of geometrical measurements on digital images is suggested. These images received in result of input in computer and processing of visual information about experimental research. Evaluation is executed for influence of noise in videosegnal on precision of geometrical measurements.