

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ДВОВИМІРНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В ПРИЛАДОВІЙ СИСТЕМІ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН

У статті розглянуто оптимізацію параметрів двовимірної інформації про механічні величини. Це такі параметри, як розмір двовимірного зображення об'єкта вимірювань, похибки вимірювань координат, час введення зображення в цифрову ЕОМ. Шляхом добору оптимальних значень цих параметрів можна підвищити точність та швидкодію приладової системи для вимірювання механічних величин.

Вступ. Постановка проблеми. Канал приладової системи для вимірювання механічних величин побудовано на основі процедур формування та алгоритмічної обробки двовимірних сигналів. Ці сигнали є двовимірними зображеннями об'єкта вимірювань і містять вимірювальну інформацію про цей об'єкт. Для отримання двовимірної вимірювальної інформації про механічні величини необхідно сформувати цифрове зображення, яке являє собою двовимірний образ об'єкта вимірювань, та ввести це зображення в цифрову ЕОМ.

При розробці даної системи необхідно визначити ряд параметрів двовимірної інформації, що використовуються у вимірювальному каналі. Це такі параметри, як розмір двовимірного зображення об'єкта вимірювань, похибки вимірювань координат, час введення зображення в цифрову ЕОМ. Шляхом добору оптимальних значень цих параметрів можна підвищити точність та швидкодію приладової системи для вимірювання механічних величин. Тому актуальним завданням є розробка методу оптимізації параметрів двовимірної інформації про геометричні параметри та параметри руху об'єктів вимірювань.

Аналіз існуючих досліджень і публікацій, виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Математичні моделі та методи оптимізації вимірювальних каналів засобів вимірювань механічних величин розглянуто в багатьох наукових працях та підручниках [1, 2, 3]. Але ці методи орієнтовані перш за все на одновимірні вимірювальні сигнали.

У технічних пристроях, побудованих на основі двовимірних сигналів, найбільший вплив на формування та похибки двовимірної інформації мають: оптична система; напівпровідникові перетворювачі світло–сигнал; аналогові кола обробки сигналів [4, 5, 6].

Також відомо багато наукових праць, присвячених методам оптимізації в різних галузях науки і техніки, наприклад, [7, 8, 9].

Для приладової системи потрібно враховувати те, що вимірювальний канал повинен забезпечити високоточну передачу двовимірної вимірювальної інформації про механічні величини. Перш за все, це пов'язано з найбільш точним відтворенням контурів об'єктів вимірювань та їх геометричних характеристик. Цей фактор залежить від параметрів двовимірної інформації.

Такий підхід повинен забезпечити більш високу точність та швидкодію вимірювань порівняно з існуючими засобами вимірювань. Це особливо важливо для вимірювань механічних величин у реальному масштабі часу, наприклад, у ході контролю за технологічними процесами.

Метою проведених досліджень є розробка методів оптимізації параметрів двовимірної інформації, що використовуються у приладовій системі для вимірювань механічних величин.

Параметри двовимірної інформації про механічні величини. Цифрові масиви двовимірної інформації про механічні величини мають дуже великий об'єм. Ця особливість двовимірної інформації суттєво впливає на характеристики приладової системи для вимірювань механічних величин, у тому числі на її швидкодію, точність, функціональні можливості.

Вказаний вплив є неоднозначним. Для підвищення точності необхідно зменшувати крок дискретності двовимірних цифрових масивів по просторових координатах. Ця вимога реалізується шляхом збільшення кількості дискретних точок при фіксованому полі зору пристрою формування двовимірної інформації для об'єкта вимірювань із заданими лінійними розмірами. В результаті збільшується об'єм цифрових масивів двовимірної інформації. Але для підвищення швидкодії необхідно зменшувати об'єм двовимірних масивів, що дозволяє вводити їх у цифрову ЕОМ, реєструвати та обробляти з мінімальними затратами часу. Ця вимога може бути реалізована шляхом зменшення кількості дискретних точок або стиснення цифрових масивів двовимірної інформації. У свою чергу, все це призводить до збільшення похибок двовимірної інформації.

Таким чином, необхідно визначити оптимальні параметри двовимірної інформації, які забезпечують суттєве підвищення метрологічних характеристик приладової системи для вимірювань механічних величин.

Основні параметри цифрових масивів двовимірної інформації є такими:

1. Розмір цифрового масиву по горизонталі й вертикалі N і M [д.т.].
2. Крок дискретності по горизонталі й вертикалі δ_x і δ_y [м] (зазвичай $\delta_x = \delta_y$).
3. Кількість двійкових розрядів, що використовуються для кодування амплітуди двовимірної інформації $N_{\text{ае}}$.
4. Кількість каналів $N_{\text{е}}$, що використовуються для представлення і передачі двовимірної інформації.
5. Коефіцієнт кореляції відліків у цифровому масиві двовимірної інформації ρ_{Δ^2} , а також коефіцієнти кореляції по горизонталі й вертикалі ρ_x і ρ_y .
6. Коефіцієнт форми двовимірної інформації:

$$K_{\phi} = N / M .$$

7. Початковий об'єм двовимірної інформації у пристрої формування:

$$V_0 = k_{\gamma 1} \cdot N \cdot M \cdot N_{\text{ае}} \cdot N_{\text{е}} = k_{\gamma 1} \cdot N^2 \cdot N_{\text{ае}} \cdot N_{\text{е}} / K_{\phi} \text{ [біт]}, \quad (1)$$

де $k_{\gamma 1} = 1 \text{ біт}/(\text{д.т.})^2$ – коефіцієнт пропорційності, що дозволяє при двійковому кодуванні визначити інформаційну ємність площини в (1 д.т.)x(1 д.т.) у масиві двовимірної інформації при відомих $N_{\text{ае}}$ і $N_{\text{е}}$.

8. Об'єм стиснутого цифрового масиву двовимірної інформації, що вводиться в цифрову ЕОМ від пристрою формування цієї інформації:

$$V_{\text{см.}} = \frac{V_0}{k_{\text{см.}}} = \frac{k_{n1} \cdot N^2 \cdot N_{\text{ок}} \cdot N_{\text{к}}}{k_{\text{см.}} \cdot k_{\phi}} \text{ [біт]}, \quad (2)$$

де

$$k_{\text{см.}} = V_0 / V_{\text{см.}} \quad (3)$$

– коефіцієнт стиснення цього цифрового масиву за одним з методів, що реалізований у пристрої формування двовимірної інформації.

Типові значення параметрів двовимірної інформації для існуючих пристроїв формування (на прикладі двовимірного зображення об'єкта вимірювань):

1. $N_{\text{min}} \leq N \leq N_{\text{max}}$, де $N_{\text{min}} = 256$; $N_{\text{max}} = 4000$. (4)
2. Крок дискретності δ_x і δ_y від 0,001 мм до декількох мм. Взагалі, він залежить від прикладної задачі, що розв'язується приладовою системою, і розмірів об'єктів вимірювань.
3. $N_{\text{ае}} = 8$ або 16.
4. $N_{\text{е}} = 1$ (напівтонове зображення) або $N_{\text{е}} = 3$ (кольорове зображення).
5. $0,70 \leq \rho_{\Delta^2}, \rho_x, \rho_y \leq 0,95$.
6. $K_{\phi} = 1$ або 4/3, або 16/9 (перше значення належить до спеціалізованих відеокамер, друге і третє – до звичайних відеокамер).
7. Початковий об'єм двовимірної інформації V_0 до декількох сотень Мбіт.

8. $k_{\text{см. min}} \leq k_{\text{см.}} \leq k_{\text{см. max}}$, де $k_{\text{см. min}} = 1$; $k_{\text{см. max}} = 50$, при $k_{\text{см.}} = 1$ стиснення відсутнє. (5)

Значення $k_{\text{см. max}} = 50$ є гранично можливим для методів на основі дискретного косинусного та wavelet-перетворення, при якому зберігається основна частина вимірювальної інформації.

Якщо формується часова послідовність двовимірної інформації, то в цьому випадку важливим є крок дискретності $\delta_{\text{а}}$, що визначає інтервал часу між моментами формування двох сусідніх двовимірних масивів у послідовності. Для стандартних пристроїв формування двовимірної інформації $\delta_{\text{а}} = 0,04$ с (формується 25 зображень за секунду) у спеціалізованих пристроях крок дискретності може бути зменшений до одиниць мс або сотень мкс.

Параметри вимірювального каналу приладової системи. При проведенні оптимізації параметрів двовимірної інформації також слід враховувати параметри вимірювального каналу приладової системи, що впливають на її метрологічні характеристики:

1. Ширина поля зору оптичної системи у пристрої формування двовимірної інформації:

$$l_{\Delta^2} = \frac{N \cdot \delta_x}{K_{\gamma}} \text{ [м]}, \quad (6)$$

де $K_{\gamma} = 1$ д.т. – коефіцієнт пропорційності.

Ширина поля зору має значення від декількох міліметрів до декількох метрів. Взагалі, вона залежить від прикладної задачі, що розв'язується приладовою системою, і розмірів об'єктів вимірювань. Зазвичай вимірювання організовані так, що лінійний розмір об'єкта вимірювань $l_{OB} = k_z \cdot l_{DI} = (0,8 - 0,9) \cdot l_{DI}$, де k_z – коефіцієнт заповнення площини цифрового масиву двовимірної інформації об'єктом вимірювань.

2. Пропускна здатність інтерфейсу введення двовимірної інформації в цифрову ЕОМ $C_{imm.}$, [біт/с].

Наприклад, $C_{imm.} = 480$ Мбіт/с для інтерфейсу USB 2.0, $C_{imm.} = 400$ Мбіт/с для інтерфейсу IEEE 1394.

Звідси мінімально допустимий крок дискретності часової послідовності двовимірної інформації (при фіксованому об'ємі $V_{cm.}$):

$$\delta_{\theta \min} = V_{cm.} / C_{imm.},$$

а максимально допустимий об'єм одного цифрового масиву двовимірної інформації (при фіксованому кроці δ_a):

$$V_{cm. \max} = C_{imm.} \cdot \delta_a. \tag{7}$$

3. Дисперсія похибки вимірювань координат точок об'єкта вимірювань:

$$\sigma_{\Delta x}^2 = \sigma_{\delta}^2 + \sigma_{cm.}^2, \tag{8}$$

де $\sigma_a^2 = \delta_x^2 / 12$ – складова похибки, що обумовлена дискретним характером цифрових масивів двовимірної інформації і має рівномірний розподіл на інтервалі $(-\delta_x / 2, \delta_x / 2)$; $\sigma_{cm.}^2$ – складова похибки, що обумовлена впливом процедур стиснення двовимірної інформації у пристрої формування.

Також вважаємо, що інші складові частини похибки (випадкові й динамічні викривлення амплітуди, геометричні викривлення форми двовимірної інформації) зменшено шляхом алгоритмічної обробки до незначного рівня відносно σ_a^2 .

4. Похибки вимірювань параметрів руху об'єкта вимірювань (поточних координат центра мас, лінійних і кутових швидкостей та прискорень), що визначені для методів ідентифікації параметрів руху.

Аналіз похибок вимірювань координат та їх зв'язок з параметрами двовимірної інформації.

Розглянемо складову похибки вимірювання координат $\sigma_{cm.}^2$, що пов'язана з параметрами алгоритмів стиснення двовимірної інформації, насамперед з коефіцієнтом стиснення $k_{cm.}$. Для встановлення цього зв'язку перерахуємо похибку вимірювань координат у відповідну похибку амплітуди двовимірної інформації [10]:

$$\sigma_{cm.a}^2 = \frac{\sigma_{cm.}^2 \cdot h_n^2}{l_n^2}, \tag{9}$$

де h_n [д.р.] і l_n [д.т.] – відповідно висота й довжина перепаду амплітуди двовимірної інформації, який утворює контур об'єкта вимірювань на зображеннях, сформованих за допомогою відеокамери.

Довжина перепаду в міліметрах на основі (5) дорівнює:

$$l_n = \frac{N_r \cdot \delta_x}{k_r} = \frac{N_r \cdot l_{\Delta^2}}{N} = \frac{N_r \cdot l_{\Delta^2}}{k_z \cdot N},$$

де N_r – довжина цього перепаду в д.т., що може бути визначена для зображень експериментальним шляхом.

Зв'язок між $\sigma_{cm.a}^2$ і $k_{cm.}$ може бути визначений на основі [4, 11]. Для цього вводиться поняття швидкості створення інформації джерелом цієї інформації:

$$R_D(D_{cm. \max}) = \lim_{N_{el.} \rightarrow \infty} \left[\inf \left(\frac{1}{N_{el.}} I_D(f_n, f_{cm.}) \right) \right],$$

де $D_{cm. \max}$ – максимально допустиме значення міри викривлень двовимірної інформації в результаті стиснення; $N_{el.}$ – кількість дискретних відліків амплітуди в цифровому масиві двовимірної інформації; $\inf [.]$ – нижня границя виразу в дужках для множини всіх можливих реалізацій двовимірної інформації; $I_D(f_n, f_{cm.})$ – кількість взаємної інформації для початкового масиву двовимірної інформації f_n і

масиву f_{cm} , відновленого після стиснення. За умови відсутності викривлень при стисненні кількість взаємної інформації дорівнює ентропії одного цифрового масиву двовимірної інформації.

Для гауссівського джерела інформації з нульовим середнім значенням і середньоквадратичної міри викривлень:

$$R_D(D_{cm,max}) = \begin{cases} \frac{1}{2} \log_2 \left(\frac{\sigma_D^2}{D_{cm,max}} \right) & \text{при } \sigma_D^2 > D_{cm,max}, \\ 0 & \text{при } \sigma_D^2 \leq D_{cm,max}, \end{cases} \quad (10)$$

де $\sigma_{\hat{A}_2}^2$ – дисперсія масиву двовимірної інформації.

Якщо цифровий масив двовимірної інформації вважати двовимірним марковським джерелом з коефіцієнтами кореляції ρ_x і ρ_y вздовж рядків і стовпців, а степінь викривлень є невеликим, то

$$R_D(\sigma_{cm,a}^2) = \frac{k_{n1}}{2} \log_2 \left(\frac{\sigma_D^2 \cdot (1 - \rho_x^2) \cdot (1 - \rho_x^2)}{\sigma_{cm,a}^2} \right), \quad (11)$$

де коефіцієнт пропорційності $k_{r1} = 1$ біт/(д.т.)² визначає розмірність швидкості створення інформації для випадку двійкового кодування двовимірного масиву.

Формула (10) дозволяє вказати граничні можливості стиснення для будь-якого джерела інформації із заданими другими моментами та переноситься на випадок кодування зображень з перетворенням [4]. Методи стиснення, що використовуються у пристроях формування двовимірної інформації, якраз і відповідають цьому випадку.

Враховуючи (1)–(3) і (11), визначимо коефіцієнт стиснення двовимірної інформації для ідеального випадку. Він дорівнює співвідношенню кількості біт, що відповідають одній д.т. у початковому масиві двовимірної інформації, до кількості біт, що відповідають одній д.т. у стиснутому масиві двовимірної інформації:

$$k_{cm,0}(\sigma_{cm,a}^2) = \frac{k_{n1} \cdot N_{\partial k} \cdot N_{\kappa}}{R_D(\sigma_{cm,a}^2)} = \frac{2N_{\partial k} \cdot N_{\kappa}}{\log_2 \left(\frac{\sigma_D^2 \cdot (1 - \rho_x^2) \cdot (1 - \rho_x^2)}{\sigma_{cm,a}^2} \right)}. \quad (12)$$

Будемо вважати, що $\rho_x = \rho_y$. Це припущення відповідає властивостям двовимірних зображень, що використовуються у приладовій системі. Також потрібно враховувати той факт, що для реальних методів стиснення двовимірної інформації коефіцієнт стиснення для конкретного значення похибки є дещо меншим, ніж той, що визначений для ідеального випадку за (11) і (12). Тому вводимо корекцію шляхом додавання величини λ_{cm} [біт/(д.т.)²] до величини швидкості створення двовимірної інформації джерелом. У результаті реальна величина цієї швидкості:

$$R_{D1}(\sigma_{cm,a}^2) = R_D(\sigma_{cm,a}^2) + \lambda_{cm}, \quad (13)$$

де показник $\lambda_{cm} \approx 0,7 - 1,5$ [біт/(д.т.)²]. Цей показник встановлюється на основі експериментальних досліджень і порівняння існуючих методів стиснення з теоретично можливою ефективністю стиснення двовимірної інформації.

Тоді на основі (11) і (13) отримуємо значення реального можливого коефіцієнта стиснення двовимірної інформації у приладовій системі:

$$k_{cm}(\sigma_{cm,a}^2) = \frac{2N_{\partial k} \cdot N_{\kappa}}{\log_2 \left(\frac{\sigma_D^2 \cdot (1 - \rho_x^2)^2}{\sigma_{cm,a}^2} \right) + \frac{2\lambda_{cm}}{k_{n1}}}. \quad (14)$$

З (14) також отримуємо:

$$\sigma_{cm,a}^2(k_{cm}) = \sigma_D^2 \cdot \left(\frac{1 - \rho_x^2}{2 \left(\frac{N_{\partial k} \cdot N_{\kappa} \cdot \lambda_{cm}}{k_{cm} \cdot k_{n1}} \right)} \right)^2. \quad (15)$$

З (9) і (15) випливає, що

$$\sigma_{cm.}^2(k_{cm.}) = \sigma_{cm.a}^2 \left(\frac{l_n}{h_n} \right)^2 = \sigma_{Д}^2 \cdot \left(\frac{1 - \rho_x^2}{2 \left(\frac{N_{ок} \cdot N_k \cdot \lambda_{cm.}}{k_{cm.} \cdot k_{n1}} \right)} \right)^2 \cdot \left(\frac{l_n}{h_n} \right)^2. \quad (16)$$

Загальна похибка вимірювань координат точок на основі (8) і (16) дорівнює:

$$\sigma_{\Delta x}^2 = \frac{\delta_x^2}{12} + \sigma_{Д}^2 \cdot \left(\frac{1 - \rho_x^2}{2 \left(\frac{N_{ок} \cdot N_k \cdot \lambda_{cm.}}{k_{cm.} \cdot k_{n1}} \right)} \right)^2 \cdot \left(\frac{l_n}{h_n} \right)^2. \quad (17)$$

Для фіксованої ширини поля зору пристрою формування двовимірної інформації $l_D = \text{const}$ і згідно з (6):

$$\delta_x = \frac{k_l \cdot l_{\Delta z}}{N} = \frac{k_l \cdot l_{\Delta \bar{a}}}{k_{\varphi} \cdot N}. \quad (18)$$

На основі (17) і (18) отримуємо результуюче співвідношення:

$$\sigma_{\Delta x}^2(N, k_{cm.}) = \frac{k_n^2 \cdot l_{OB}^2}{12k_3^2 \cdot N^2} + \sigma_{Д}^2 \cdot \left(\frac{1 - \rho_x^2}{2 \left(\frac{N_{ок} \cdot N_k \cdot \lambda_{cm.}}{k_{cm.} \cdot k_{n1}} \right)} \right)^2 \cdot \left(\frac{l_n}{h_n} \right)^2. \quad (19)$$

Розв'язання задачі оптимізації параметрів двовимірної інформації про механічні величини. Задачу оптимізації параметрів двовимірної інформації можна сформулювати так. При заданих показниках швидкодії приладової системи необхідно мінімізувати похибку визначення координат точок об'єкта вимірювань

$$\sigma_{\Delta x}^2(N, k_{cm.}) \rightarrow \min \quad (20)$$

шляхом добору оптимальних значень параметрів двовимірної інформації N і $k_{cm.}$ (розмір цифрового масиву двовимірної інформації в д.т. та коефіцієнт стиснення цього масиву). Цільова функція задається (19) і (20), а область допустимих значень параметрів – (4) і (5). Аналізуючи (19), можна зробити висновок, що для зменшення похибки $\sigma_{\Delta x}^2$ необхідно збільшувати N і зменшувати $k_{cm.}$ з урахуванням області їх допустимих значень. Тому мінімум цільової функції досягається в точці A_2 (рис. 1).

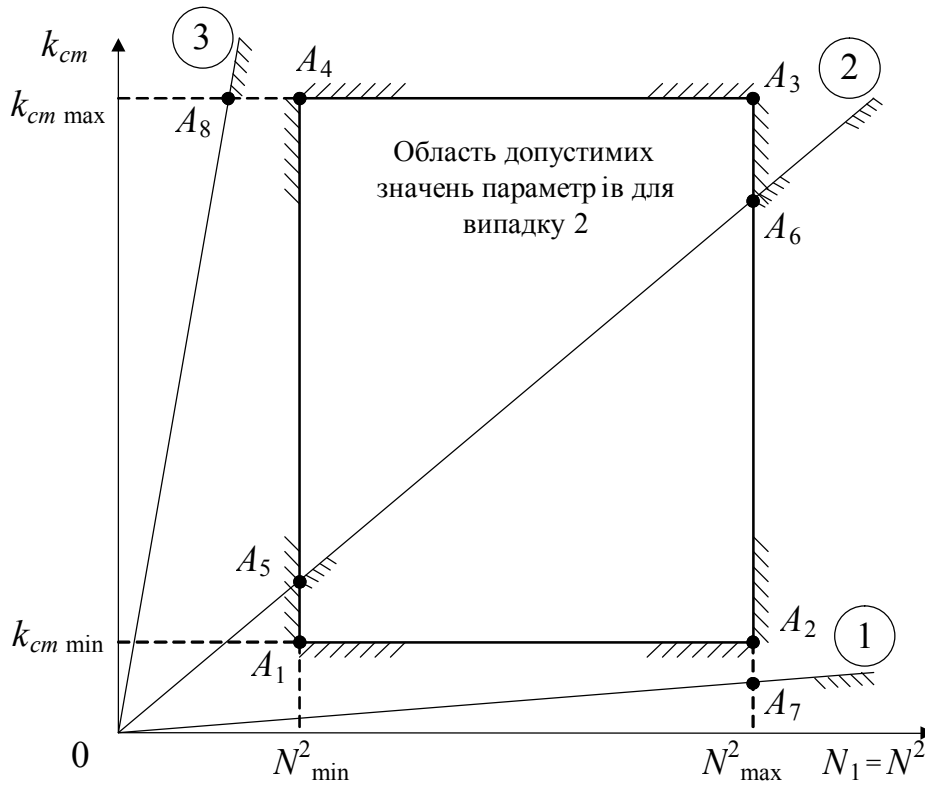


Рис. 1. Геометрична інтерпретація задачі оптимізації параметрів двовимірної інформації

Також додатково слід враховувати обмежену пропускну здатність інтерфейсу введення двовимірної інформації в цифрову ЕОМ. На основі (1), (3) і (7) маємо:

$$k_{cm} \geq \frac{V_0}{V_{cm.max}} = \frac{k_{n1} \cdot N^2 \cdot N_{ок} \cdot N_{\kappa}}{k_{\phi} \cdot C_{int.} \cdot \delta_{\delta}} \quad (21)$$

На рисунку 1 (21) відповідає пряма OA_7 , OA_6 або OA_8 . Область допустимих значень параметрів лежить вище цієї прямої, тому в першому випадку (пряма OA_7) оптимальне значення параметрів досягається в точці A_2 . При цьому $k_{cm} > k_{cm.min}$, $V_{cm} < V_{cm.max}$, для досягнення співвідношення $V_{cm} = V_{cm.max}$ можна дещо зменшити δ_{δ} .

У другому випадку, що відповідає розв'язку задачі оптимізації, область допустимих значень лежить на відрізку A_5A_6 . У третьому випадку задача оптимізації не має розв'язку. Це пояснюється тим, що інтерфейс введення двовимірної інформації не може забезпечити її передачу в цифрову ЕОМ із заданою швидкістю та точністю. Тому в цьому випадку потрібно переходити до використання інтерфейсу з більшою пропускну здатністю.

Виходячи з (21), відрізок A_5A_6 відповідає обмеження:

$$k_{cm}(N^2) = \frac{k_{n1} \cdot N^2 \cdot N_{ок} \cdot N_{\kappa}}{k_{\phi} \cdot V_{cm.max}} \quad (22)$$

де $V_{cm.max} = C_{int.} \cdot \delta_{\delta}$ або цей максимальний об'єм дорівнює іншому значенню, яке не перевищує $C_{int.} \cdot \delta_{\delta}$ і задається оператором, виходячи з потрібної швидкодії приладової системи.

Визначимо область допустимих значень для N . Оскільки при $k_{cm} = 1$, $N = N_{min}$ на основі (8) маємо співвідношення:

$$\sigma_{\Delta x}^2(N_{min}) = \sigma_{\Delta x_{max}}^2(N_{min}), \quad \sigma_{\Delta x_{max}}(N_{min}) = \frac{\Delta_{x_{max}}}{\sqrt{3}}, \quad \Delta_{x_{max}} = \frac{\delta_x}{2},$$

де $\Delta_{x_{\max}}$ – задана максимальна допустима похибка визначення координат точок об’єкта вимірювань, то на основі (6)

$$N_{\min} = \frac{l_{i\bar{A}} \cdot k_{\gamma}}{2k_{\phi} \cdot \Delta_{x_{\max}}} \quad (23)$$

Оскільки при $k_{cm.} = k_{cm.\max}$, $N = N_{\max}$ на основі (1), (2) і (7) маємо співвідношення

$$V_{cm.}(N_{\max}) = \frac{V_0(N_{\max})}{k_{cm.\max}} = C_{i_{\text{int.}}} \cdot \delta_{\delta}, \quad V_0(N_{\max}) = k_{\gamma 1} \cdot N_{\max}^2 \cdot N_{\text{д\text{е}}} \cdot N_{\text{е}} / k_{\delta},$$

то

$$N_{\max} = \sqrt{\frac{C_{i_{\text{int.}}} \cdot \delta_{\delta} \cdot k_{\phi} \cdot k_{cm.\max}}{k_{n1} \cdot N_{\text{ок}} \cdot N_{\kappa}}} \quad (24)$$

Таким чином, маємо класичну задачу оптимізації з цільовою функцією (19), (20), двома параметрами N і $k_{cm.}$, що оптимізуються, одним обмеженням (22) і областю допустимих значень параметрів (4), (5), (23), (24).

Для розв’язку вказаної задачі підставимо $k_{cm.}$ з обмеження (22) в цільову функцію (19):

$$\sigma_{\Delta x}^2(N^2) = \frac{k_n^2 \cdot l_{OB}^2}{12k_3^2 \cdot N^2} + \sigma_D^2 \cdot \left(\frac{1 - \rho_x^2}{2 \left(\frac{k_{\phi} \cdot V_{cm.\max}}{k_{n1} \cdot N^2} \cdot \frac{\lambda_{cm.}}{k_{n1}} \right)} \right)^2 \cdot \left(\frac{l_n}{h_n} \right)^2 \rightarrow \min \quad (25)$$

Далі знайдемо стаціонарні точки цільової функції (25) для змінної $N_1 = N^2$:

$$\frac{d\sigma_{\Delta x}^2}{dN_1} = -\frac{k_n^2 \cdot l_{OB}^2}{12k_3^2 \cdot N_1^2} + \frac{2\sigma_D^2 (1 - \rho_x^2)^2 \cdot k_{\phi} \cdot V_{cm.\max} \cdot \ln(2)}{2 \left(\frac{2k_{\phi} \cdot V_{cm.\max}}{k_{n1} \cdot N_1^2} \cdot \frac{2\lambda_{cm.}}{k_{n1}} \right) \cdot N_1^2 \cdot k_{n1}} \cdot \left(\frac{l_n}{h_n} \right)^2 = 0; \quad (26)$$

$$N_{1_{\text{opt.}}} = \frac{k_{\phi} \cdot V_{cm.\max} \cdot \ln(2)}{\lambda_{cm.} \cdot \ln(2) + \ln \left(\frac{2\sqrt{6\ln(2)} \cdot k_{n1} \cdot k_{\phi} \cdot V_{cm.\max} \cdot (\rho_x^2 - 1) \cdot k_3^2 \cdot l_n \cdot \sigma_D}{h_n \cdot l_{OB}} \right) \cdot k_{n1}} \quad (27)$$

Оскільки в точці $N_{\text{opt.}} = \sqrt{N_{1_{\text{opt.}}}}$ похідна (26) змінює свій знак з “-” на “+”, то це і є точка мінімуму цільової функції (25), що відповідає оптимальному розміру зображення в д.т. по горизонталі. Оптимальний коефіцієнт стиснення може бути знайдений на основі $N_{\text{opt.}}$ за (22), похибка вимірювань координат – за (25). Таким чином, першу задачу оптимізації параметрів двовимірної інформації розв’язано.

Приклад оптимізації параметрів двовимірної інформації. Розглянемо приклад оптимізації параметрів двовимірної інформації. Нехай потрібно контролювати лінійні розміри облицювальних виробів з природного каменю за допомогою приладової системи з двовимірними зображеннями. Максимальний розмір таких виробів $x_{\max} = 2000$ мм, максимальне відхилення лінійних розмірів $\Delta_{l_{\max}} = 3$ мм [12]. Для контролю використовується цифрова камера Sony Cyber-Shot DSC-H9 з ПЗС-матрицею розміром 7,18 мм та ємністю 8 Мпікселів, об’єктивом Carl Zeiss Vario-Tesson (15х оптичне збільшення, фокусна відстань $f = 5,2-78$ мм або 31-465 мм у перерахунку на 35 мм плівку).

Параметри сформованих кольорових зображень: $k_{\phi} = 0,9$; $N_{\gamma} = 5$ д.т. при $N = 3200$ д.т.; $l_{\gamma} = 3,13$ мм; $h_{\gamma} = 150$ д.р.; $\sigma_{\Delta z} = 50$ д.р.; $k_{\delta} = 4/3$; $\rho_x = \rho_y = 0,9$; $N_{\text{д\text{е}}} = 8$; $N_{\text{е}} = 3$. Ці зображення стискаються в цифровому фотоапараті, для якого $\lambda_{cm.} = 1,5$ біт/(д.т.)², $k_{cm.\max} = 50$ разів, та вводяться в цифрову ЕОМ по інтерфейсу USB 2.0 з пропускнуою здатністю $C_{i_{\text{int.}}} = 480$ Мбіт/с. На введення одного зображення відводиться $\delta_{\text{в}} = 0,04$ с, тобто $V_{cm.\max} = 19,2$ Мбіта = 2,40 Мбайта (7). Так для контролю лінійних розмірів потрібно вимірювати координати точок з вищою точністю, ніж вказані відхилення, приймаємо

$\Delta_{x\max} = 0,50$ мм, $\sigma_{\Delta x\max} = 0,29$ мм, $N_{\min} = 2222$ д.т., $N_{\max} = 7303$ д.т. (23)–(24). З урахуванням технічних характеристик пристроїв формування двовимірної інформації (4)–(5) маємо: $N_{\min} = 2222$ д.т., $N_{\max} = 4000$ д.т.

Розв’язуючи першу задачу оптимізації, отримуємо оптимальні значення параметрів двовимірної інформації згідно з (27) і (22):

$$N_{opt.} = 3281 \text{ д.т.}, \quad k_{cm.opt.} = 10,1 \text{ раза.}$$

При цьому, згідно з (25), мінімальна середньоквадратична похибка визначення координат $\sigma_{\Delta x\min} = 0,22$ мм, об’єм одного нестиснутого зображення, згідно з (1), $V_0 = 193,8$ Мбіта = = 24,2 Мбайта, об’єм одного стиснутого зображення згідно, з (2) і (7), $V_{cm.} = 19,2$ Мбіта = = 2,40 Мбайта, а швидкодія приладової системи становить 0,04 с на введення в ЕОМ одного зображення.

Таким чином, при заданій швидкодії приладової системи ($\delta_a = 0,04$ с) точність вимірювань координат точок підвищено в $\sigma_{\Delta x\max} / \sigma_{\Delta x\min} = 1,3$ раза.

Результати обчислення цільової функції приладової системи згідно з (25) наведено на рисунку 2. На рисунку 3 наведено значення коефіцієнта стиснення, що обчислені згідно з (22).

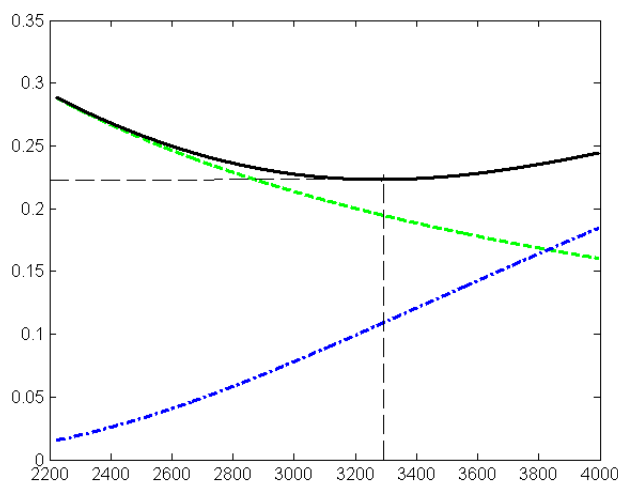


Рис. 2. Цільова функція приладової системи: по горизонталі – розмір зображення, д.т.; по вертикалі – середньоквадратичне значення похибок визначення координат точок, мм; — загальна похибка; --- похибка, обумовлена дискретністю зображення; - . - похибка, обумовлена стисненням зображення

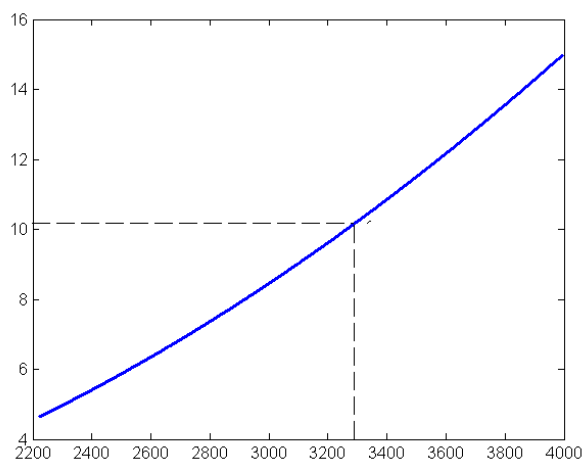


Рис. 3. Коефіцієнт стиснення двовимірної інформації в приладовій системі: по горизонталі – розмір зображення, д.т.; по вертикалі – коефіцієнт стиснення, разів

Висновки. У статті розглянуто питання оптимізації параметрів двовимірної інформації (двовимірних зображень різних об’єктів вимірювань). Ця інформація використовується для вимірювального каналу

приладової системи, що призначена для визначення механічних величин. До основних параметрів двовимірної інформації належать розмір двовимірного зображення об'єкта вимірювань, похибки вимірювань координат, час введення зображення в цифрову ЕОМ.

Знайдено аналітичний розв'язок задачі оптимізації параметрів двовимірної інформації. Ця задача полягає в тому, що при заданих показниках швидкодії приладової системи необхідно мінімізувати похибку визначення координат точок об'єкта вимірювань. Шляхом експериментальних досліджень оптимізаційних процедур доведено, що точність вимірювань координат точок підвищується в 1,3 раза. При цьому швидкодія приладової системи (час формування та введення в цифрову ЕОМ одного двовимірного масиву) становить 0,04 с.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Вострокнутов Н.Г.* Информационно-измерительная техника : учеб. пособие / *Н.Г. Вострокнутов, Н.Н. Евтихийев.* – М. : Высшая школа, 1977. – 232 с.
2. *Гаврилюк М.А.* Электрические измерения электрических и неэлектрических величин : учеб. / *М.А. Гаврилюк, Е.С. Полищук, С.С. Обозовский* ; под ред. *Е.С. Полищука.* – К. : Вища школа, 1984. – 359 с.
3. Засоби і методи вимірювань неелектричних величин : підр. / *Є.С. Полищук, М.М. Дорожжовець, Б.І. Стадник* та ін. ; за ред. *Є.С. Полищука.* – Львів : Бескид Біт, 2008. – 618 с.
4. *Претт У.* Цифровая обработка изображений : пер. с англ. – М. : Мир, 1982. – 792 с.
5. Измерительные сканирующие приборы / под ред. *Б.С. Розова.* – М. : Машиностроение, 1980. – 198 с.
6. *Шарыгин М.Е.* Сканеры и цифровые камеры / *М.Е. Шарыгин.* – СПб. : ВНВ – Санкт-Петербург, 2000. – 384 с.
7. *Иванов В.В.* Методы вычислений на ЭВМ : справ. пособие / *В.В. Иванов.* – К. : Наукова думка, 1986. – 582 с.
8. *Кориунов Ю.М.* Математические основы кибернетики : учеб. пособие / *Ю.М. Кориунов.* – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 1980. – 424 с.
9. *Растринин Л.А.* Современные принципы управления сложными объектами / *Л.А. Растринин.* – М. : Сов. радио, 1980. – 232 с.
10. Спосіб оцінки викривлень вимірювальної інформації на відеозображеннях, відновлених після стиснення : пат. 78419 С2 Україна : МПК (2006) G 01 В 7/00 / *Подчашинський Ю.О.* ; заявник і власник патенту Житомирський державний технологічний університет. № а2005 06848 ; заявл. 11.07.05 ; опубл. 15.03.07, Бюл. № 3. – 5 с.
11. *Гонсалес Р.* Цифровая обработка изображений / *Р.Гонсалес, Р.Вудс.* – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с.
12. ДСТУ БВ 2.7-16-95. Матеріали стінові кам'яні. Номенклатура показників якості. – К. : Державний комітет у справах містобудування і архітектури, 1996. – 19 с.

ПОДЧАШИНСЬКИЙ Юрій Олександрович — кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматичного управління в технічних системах Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- методи вимірювання механічних величин;
- цифрова обробка відеозображень.

Подано 06.04.2010

Подчашинський Ю.О. Оптимізація параметрів двовимірної інформації в приладовій системі для вимірювання механічних величин

Подчашинский Ю.А. Оптимизация параметров двумерной информации в приборной системе для измерения механических величин

Podchashinsky Yu.A. Optimization of parameters of the two-dimensional information in an instrumental system for measurement of mechanical values

УДК 621.317

Оптимизация параметров двумерной информации в приборной системе для измерения механических величин / Ю.А. Подчашинский

В статье рассмотрены вопросы оптимизации параметров двумерной информации о механических величинах. Это такие параметры, как размер двумерного изображения объекта измерений, погрешности измерения координат, время ввода изображения в цифровую ЭВМ. Путем подбора оптимальных значений этих параметров можно повысить точность и быстродействие приборной системы для измерения механических величин.

УДК 621.317

Optimization of parameters of the two-dimensional information in an instrumental system for measurement of mechanical values / Yu.A. Podchashinsky

In the article the problems of optimization of parameters of the two-dimensional information on mechanical values are considered. It is such parameters, as the size of a two-dimensional image of object of measurements, error of measurement of coordinates, time of input of an image in the digital computer. By a selection of best values of these parameters it is possible to increase accuracy and response of an instrumental system for measurement of mechanical values.