

Комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи

Лабораторна робота №1-2

Алгоритмічна компенсація випадкових похибок інформаційних сигналів у вимірювальному каналу

1.1. Теоретичні відомості

Важливою умовою ефективної компенсації похибок є наявність апріорної інформації про властивості вимірювальної інформації. Для різних методів алгоритмічної компенсації похибок може бути використана така апріорна інформація [162, 240]:

– спектральна щільність і кореляційна функція випадкових похибок, наявних на відеозображенні:

$$S_{\xi}(j\omega_1, j\omega_2) = |F_T(\xi(x, y))|^2; \quad K_{\xi} = F_T^{-1}(S_{\xi}(j\omega_1, j\omega_2));$$

– спектральна щільність і кореляційна функція вимірювальної інформації

$$S_{f_0}(j\omega_1, j\omega_2) = |F_T(f_0(x, y))|^2; \quad K_{f_0} = F_T^{-1}(S_{f_0}(j\omega_1, j\omega_2));$$

– співвідношення сигнал/шум ПФВЗ

$$\Psi_{\bar{n}/\sigma} = 20 \cdot \lg \frac{A_{\max}}{\sigma_{\xi}},$$

де σ_{ξ} – середньоквадратичне значення напруги шуму, A_{\max} – максимально можливе значення амплітуди відеозображення (для 8-розрядного цифрового коду $A_{\max} = 255$ д.р.).

Отримання повних апріорних відомостей про вимірювальну інформацію є складною задачею, так як в загальному випадку початкова вимірювальна інформація (двовимірний масив $f_0(x, y)$) невідома, а для вимірювань доступне тільки спотворене відеозображення $f_1(n, m)$ на виході ПФВЗ. Тому для отримання апріорної інформації про вимірювальну інформацію пропонується використовувати методики, що розроблені в підрозділі 2.4.

Для оцінки ефективності застосування методів алгоритмічної компенсації похибок потрібно визначити критерії, за якими оцінюються результати компенсації. Відомі типові критерії оцінки вірності передачі та відтворення аналогових і цифрових відеозображень. Ці критерії орієнтовані на оцінку амплітудних похибок та візуальної якості відеозображень [161, 162, 216, 310, 315, 316]. Вказані критерії обчислюють середньоквадратичне значення похибки відтворення амплітуди відеосигналу на виході вимірювального каналу.

В приладовій системі для оцінки величини похибок цифрових відеозображень доцільно використовувати їх дискретні відліки. Основними

амплітудними критеріями, що дають узагальнену картину похибок цифрового відеозображення $\hat{f}_0(n, m)$, є [161]:

– середньоквадратичне значення похибки відтворення амплітуди відеосигналу на виході вимірювального каналу

$$\sigma_{\Delta f} = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{n,m} (\hat{f}_0(n, m) - f_0(n, m))^2}, \quad (3.1)$$

де $f_0(n, m)$ – дискретні відліки початкового двовимірного масиву $f_0(x, y)$;

– співвідношення сигнал/шум на виході вимірювального каналу

$$\Psi_{\hat{a}\hat{e}} = -10 \lg \frac{\sum_{n,m} (\hat{f}_0(n, m) - f_0(n, m))^2}{\sum_{n,m} (f_0(n, m))^2}; \quad (3.2)$$

– пікове співвідношення сигнал/шум на виході вимірювального каналу

$$\Psi_{\hat{a}\hat{e}i} = -10 \lg \frac{\frac{1}{MN} \sum_{n,m} (\hat{f}_0(n, m) - f_0(n, m))^2}{A_{\max}^2}. \quad (3.3)$$

Для кольорових відеозображень в формулах (3.1) – (3.3) потрібно враховувати наявність декількох каналів. В цьому випадку формула (3.1) набуває вигляду:

$$\sigma_{\Delta f} = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{n,m} \sum_r k_r (\hat{f}_0(n, m, r) - f_0(n, m, r))^2},$$

де r – номер каналу кольорового відеозображення у відповідності з обраною колориметричною системою, звичайно $r=1, 2, 3$,

k_r – вагові коефіцієнти, що враховують роль кожного каналу кольорового відеозображення у передачі вимірювальної інформації, $\sum_r k_r = 1$, у

найпростішому випадку $k_1 = k_2 = k_3 = 1/3$.

Це є загальна оцінка похибок всього відеозображення. При цьому похибка відтворення кожного дискретного значення амплітуди відеосигналу розглядається незалежно від похибок відтворення сусідніх дискретних значень. Такий підхід дозволяє з високою точністю дати загальну оцінку похибок яскравості і кольору ОВ, що наявні на сформованому відеозображенні.

Однак, при оцінці похибок відеозображень з вимірювальною інформацією про ГП необхідно в першу чергу враховувати викривлення форми перепадів амплітуди відеосигналу, що відповідають контурам ОВ. Оскільки в амплітудних критеріях вказані викривлення не враховуються безпосередньо, то оцінка похибок відеозображень з вимірювальною інформацією на основі амплітудних критеріїв має низьку точність та об'єктивність. Окрім того, кількісну оцінку похибок ГП доцільно виражати в одиницях просторових координат відеозображення, а не в одиницях амплітуди відеосигналу.

Таким чином, суттєвим недоліком амплітудних критеріїв є низька точність оцінки вимірювальної інформації про ГП.

Тому для оцінки точності вимірювання ГП на відеозображенні пропонуються такі показники:

- похибки визначення лінійних розмірів ОБ Δ_h, Δ_l ;
- похибки визначення координат центра мас ОБ $\Delta_{x_c}, \Delta_{y_c}$;
- похибка визначення площі ОБ Δ_S ;
- похибка визначення координат контурних точок ОБ

$$\Delta_{\text{efo}} = \frac{\sum_{n,m} \hat{f}_{0\text{naai}}(n,m) \oplus f_{0\text{naai}}(n,m)}{l_{\text{efo}}}, \quad (3.4)$$

де

$$f_{0\text{naai}}(n,m) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } f_0(n,m) \in Q_{\text{IA}}, \\ 0, & \text{якщо } f_0(n,m) \notin Q_{\text{IA}}, \end{cases} \quad \hat{f}_{0\text{naai}}(n,m) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \hat{f}_0(n,m) \in \hat{Q}_{\text{IA}}, \\ 0, & \text{якщо } \hat{f}_0(n,m) \notin \hat{Q}_{\text{IA}} \end{cases},$$

результат розподілу на ОБ і фон (сегментації) початкового двовимірного масиву $f_0(n,m)$ та його алгоритмічної оцінки $\hat{f}_0(n,m)$, отриманої в результаті компенсації похибок, Q_{IA} і \hat{Q}_{IA} – множини точок, що належать ОБ відповідно у початковому двовимірному масиві $f_{\text{naai}}(n,m)$ та у його алгоритмічній оцінці $\hat{f}_{\text{naai}}(n,m)$, \oplus – логічна операція визначення суми за модулем 2; l_{efo} – сумарна довжина контуру ОБ в д.т.

Як було визначено в підрозділах 1.3 і 2.2, вимірювальний канал приладової системи складається з двох основних частин:

- ПФВЗ з частотною передаточною функцією $W_f(j\omega_1, j\omega_2)$, що вносить похибки у відеозображення;
- цифрової ЕОМ з частотною передаточною функцією $W_{\text{aea}}(j\omega_1, j\omega_2)$, що компенсує похибки відеозображень з вимірювальною інформацією.

Цифрова ЕОМ виконує алгоритмічну компенсацію (фільтрацію) випадкових похибок відеозображень, що виникають в ПФВЗ. Фільтрацію двовимірних сигналів розглянуто в багатьох наукових працях [155, 160, 161, 245, 251, 306, 317 – 320]. Частотна передаточна функція оптимального фільтра випадкових похибок відеозображень дорівнює [155, 160, 245]:

$$W_{\text{ea}}(j\omega_1, j\omega_2) = \frac{S_{f\ddot{A}}(\omega_1, \omega_2)}{S_{f\ddot{A}}(\omega_1, \omega_2) + S_{\xi}(\omega_1, \omega_2)}, \quad (3.5)$$

де $S_{f\ddot{A}}(\omega_1, \omega_2)$ – спектральна щільність вимірювальної інформації $f_{\ddot{A}}(x, y)$ з динамічними і геометричними похибками на виході ПФВЗ, $S_{\xi}(\omega_1, \omega_2)$ – спектральна щільність випадкових похибок $\xi(x, y)$ на виході цього пристрою.

Розглянемо відеозображення ОВ з кореляційною функцією (2.4) та їх випадкові похибки з кореляційною функцією (2.52) (див. підрозділи 2.1 і 2.4). Цим кореляційним функціям відповідають спектральні щільності [161]:

$$S_{f\ddot{A}}(\omega_1, \omega_2) = \frac{2D_{f\ddot{A}}}{\alpha_x \alpha_y} \cdot \frac{1}{1 + \omega_1^2 / \alpha_x^2 + \omega_2^2 / \alpha_y^2},$$

$$S_{\xi}(\omega_1, \omega_2) = \frac{2D_{\xi}}{\alpha_{x\xi} \alpha_{y\xi}} \cdot \frac{1}{1 + \omega_1^2 / \alpha_{x\xi}^2 + \omega_2^2 / \alpha_{y\xi}^2},$$
(3.6)

де $D_{f\ddot{A}}$ та D_{ξ} – дисперсії вимірювальної інформації та випадкових похибок.

Розглянемо відеозображення ОВ з кореляційною функцією (2.5) та випадкові викривлення цих відеозображень з кореляційною функцією (2.53). Цим кореляційним функціям відповідають спектральні щільності [161]:

$$S_{f\ddot{A}}(\omega_1, \omega_2) = \frac{4D_{f\ddot{A}}\alpha_x\alpha_y}{(\alpha_x^2 + \omega_1^2) \cdot (\alpha_y^2 + \omega_2^2)}, \quad S_{\xi}(\omega_1, \omega_2) = \frac{4D_{\xi}\alpha_{x\xi}\alpha_{y\xi}}{(\alpha_{x\xi}^2 + \omega_1^2)(\alpha_{y\xi}^2 + \omega_2^2)}. \quad (3.7)$$

Приклад спектральних щільностей вимірювальної інформації та її випадкових похибок згідно формул (3.6) і (3.7) наведено в табл. В.1 та на рис. В.1. Початкові дані та результати розрахунку частотних характеристик оптимального фільтра для компенсації випадкових похибок відеозображень згідно формул (3.5) і (3.7) наведено в табл. В.1, В.2 та на рис. 3.1.

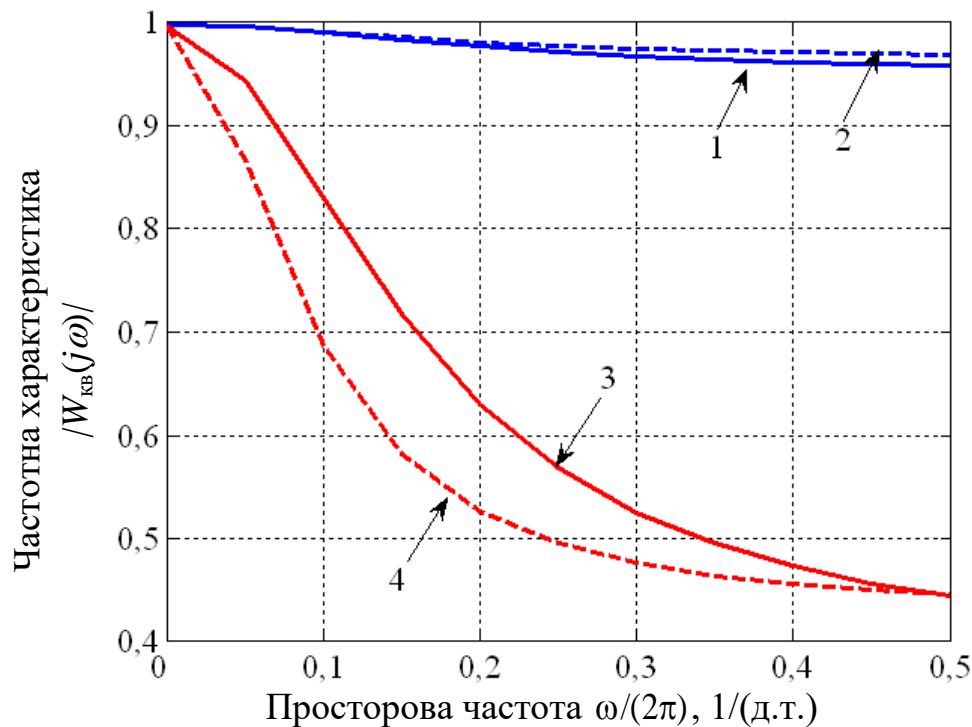


Рис. 3.1. Частотна характеристика оптимального фільтра для компенсації випадкових похибок на відеозображенні виробу з граніту Покостівського родовища: цифровий фотоапарат Sony Cyber-Shot DSC-H9, нормальні умови вимірювань, $\psi_{\text{н}/\phi} = 55$ дБ (1 – вздовж осі Ox ; 2 – вздовж осі Oy); відеокамера Panasonic M3000, робочі умови вимірювань на виробництві, $\psi_{\text{н}/\phi} = 40$ дБ (3 – вздовж осі Ox ; 4 – вздовж осі Oy)

Перевагою формул (3.7) є можливість розділення виразів для спектральних щільностей та частотної передаточної функції оптимального фільтра на дві частини, кожна з яких залежить тільки від однієї просторової частоти ω_1 або ω_2 . Такий підхід дозволяє організувати алгоритмічну обробку відеозображень окремо по рядкам і стовпцям, зменшивши при цьому кількість обчислювальних операцій. В результаті значно підвищується швидкодія приладової системи. Такий підхід використано в розділі 5 для алгоритмічної компенсації випадкових і динамічних похибок на основі штучних нейронних мереж.

1.2. Початкові дані варіантів індивідуальних завдань

Таблиця 1

Початкові дані для розрахунку оптимального фільтра для компенсації випадкових похибок відеозображень з вимірювальною інформацією про ГП виробів

Варіант	Початкові дані для розрахунку					
	Корисний сигнал вимірювальної інформації			Випадкові викривлення (шум)		
	Параметр кореляційної функції $\alpha_x, (\text{д.т.})^{-1}$	Параметр кореляційної функції $\alpha_y, (\text{д.т.})^{-1}$	Середньоквадратичне значення амплітуди $\sigma_{f2}, \text{д.р.}$	Параметр кореляційної функції $\alpha_{x\xi}, (\text{д.т.})^{-1}$	Параметр кореляційної функції $\alpha_{y\xi}, (\text{д.т.})^{-1}$	Середньоквадратичне значення амплітуди $\sigma_\xi, \text{д.р.}$
1	2	3	4	5	6	7
МТ-2						
1	0,262	0,231	49,1	1,446	1,277	4,8
2	0,074	0,067	18,6	1,652	0,881	3,3
3	0,252	0,301	39,1	3,546	2,277	5,8
4	0,064	0,037	28,6	1,552	0,881	3,9
5	0,292	0,370	29,1	3,346	3,277	4,0
6	0,087	0,057	17,6	1,352	0,881	2,7
7	0,362	0,391	40,1	4,746	4,277	6,8
8	0,074	0,047	8,6	1,652	0,881	2,3
9	0,262	0,331	49,1	1,446	1,277	4,8
10	0,060	0,057	10,6	1,452	0,681	2,9
11	0,240	0,231	49,1	1,446	1,277	4,8
12	0,070	0,067	18,6	1,652	0,881	3,3
13	0,242	0,301	39,1	3,546	2,277	5,8

<i>14</i>	0,049	0,037	28,6	1,552	0,881	3,9
<i>15</i>	0,330	0,370	29,1	3,346	3,277	4,0
<i>16</i>	0,077	0,057	17,6	1,352	0,881	2,7
<i>17</i>	0,462	0,391	40,1	4,746	4,277	6,8
<i>18</i>	0,054	0,047	8,6	1,652	0,881	2,3
<i>19</i>	0,362	0,331	49,1	1,446	1,277	4,8
<i>20</i>	0,0454	0,057	10,6	1,452	0,681	2,9
MTK-2						
<i>1</i>	0,074	0,047	8,6	1,652	0,881	2,3
<i>2</i>	0,262	0,331	49,1	1,446	1,277	4,8

1.3. Послідовність виконання роботи

1. Проаналізувати початкові дані завдання, записати вирази спектральних щільностей корисного сигналу та випадкових похибок (шуму), частотної характеристики оптимального фільтра
2. Розробити програму для дослідження фільтрації шумів на зображенні оптимальним фільтром.
3. Вибрати приклад цифрового зображення об'єктів, для яких вимірюються геометричні параметри, та додати до нього випадкові викривлення з заданими параметрами (табл. 1).
4. Застосувати фільтрацію оптимальним фільтром до цифрового зображення.
5. Побудувати графіки спектральних щільностей сигналу та шуму, графік частотної характеристики оптимального фільтра.
6. Зробити висновки по роботі.