

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДВОВИМІРНИХ МАСИВІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРО МЕХАНІЧНІ ВЕЛИЧИНИ

У статті розглянуто ймовірнісні моделі двовимірних масивів з вимірювальною інформацією про механічні величини. Результати досліджень можуть бути використані для розробки методів алгоритмічної обробки двовимірної вимірювальної інформації про механічні величини.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими і практичними задачами. Одним із ефективних методів вимірювань механічних величин є формування та алгоритмічна обробка сигналів, які містять інформацію про об'єкт вимірювань. Носієм двовимірної вимірювальної інформації про механічні величини можуть бути цифрові відеозображення об'єктів вимірювань [1, 2]. Для отримання двовимірної вимірювальної інформації про механічні величини необхідно сформулювати цифрове відеозображення, яке являє собою двовимірний образ об'єкта вимірювань, ввести це відеозображення в обчислювальний пристрій та виконати цифрову обробку [1, 3].

Такий підхід має забезпечити більш високу точність та швидкість вимірювань у порівнянні з існуючими методами. Це особливо важливо для вимірювань механічних величин в реальному масштабі часу, наприклад, в ході контролю за технологічним процесом. Основою підвищення точності й швидкості є врахування всіх похибок вимірювань з подальшою розробкою заходів щодо їх компенсації. Суттєвою складовою частиною підвищення точності вимірювань механічних величин є врахування особливостей двовимірної вимірювальної інформації (відеозображень). Тому актуальною задачею є розробка та удосконалення математичних моделей двовимірної вимірювальної інформації про механічні величини.

Аналіз існуючих досліджень і публікацій, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Математичні моделі двовимірних відеозображень розглянуті в багатьох наукових працях [4–9]. В даному випадку двовимірні масиви (відеозображення) мають ряд суттєвих особливостей, пов'язаних насамперед з наявністю двовимірної вимірювальної інформації у вигляді об'єктів вимірювань і їх контурів та суміщенням різноманітних засобів формування та перетворення цієї інформації у вимірювальному каналі засобів вимірювання механічних величин (оптична система пристрою формування відеозображень, аналогові та цифрові засоби обробки сигналів). Найбільший вплив на формування та похибки двовимірних відеозображень мають: оптична система [10–13]; напівпровідникові перетворювачі світло–сигнал [14, 15]; аналогові кола обробки відеосигналів [2, 14].

Також відомо багато наукових праць, у яких розглядаються методи алгоритмічної обробки та відновлення двовимірних масивів інформації та відеозображень, наприклад, [16–19]. Основним критерієм оцінки результатів обробки є загальна якість відеозображення, призначеного для візуального сприйняття.

Однак для засобів вимірювань механічних величин потрібно враховувати те, що вимірювальний канал повинен забезпечити 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. А це відтворення, в свою чергу, істотно залежить від обраної математичної моделі, що використовується для розробки методів алгоритмічної обробки двовимірних масивів.

Тому необхідно проаналізувати існуючі математичні моделі з точки зору можливості їх використання для алгоритмічної обробки двовимірної вимірювальної інформації про механічні величини. Також необхідно сформулювати критерії оцінки результатів визначення параметрів математичної моделі, що враховують особливості двовимірної вимірювальної інформації про механічні величини.

Метою проведених досліджень є вибір математичної моделі двовимірних масивів вимірювальної інформації про механічні величини, а також розробка методики ідентифікації параметрів такої математичної моделі.

Викладення основного матеріалу досліджень. Будемо розглядати відеозображення (чи інший двовимірний масив вимірювальної інформації) $f(x, y)$ як реалізацію випадкового процесу. Математичною моделлю такого випадкового процесу може бути сумісна щільність ймовірностей $\rho\{f_1, f_2, \dots, f_L, x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_L, y_L\}$ для значень відеосигналу $f_i(x_i, y_i)$, отриманих з L реалізацій відеозображення як випадкового процесу.

Іншою математичною моделлю відеозображення як випадкового процесу є його перший та другий статистичні моменти, тобто середнє значення амплітуди відеосигналу $E[f(x, y)]$ та кореляційна функція $R(\tau_x, \tau_y)$ чи спектральна щільність потужності $S(u, v)$.

Багатовимірну сумісну щільність ймовірностей визначити набагато складніше, ніж середнє значення та кореляційну функцію. Також слід враховувати, що в методах алгоритмічної обробки відеозображень як початкові дані використовуються саме кореляційні функції або еквівалентні їм спектральні щільності потужності. Тому далі будемо розглядати ймовірнісний опис двовимірних масивів вимірювальної інформації (відеозображень) на основі їх середніх значень та кореляційних функцій.

Для побудови ймовірнісної моделі двовимірної вимірювальної інформації про механічні величини необхідно вибрати загальний вигляд кореляційної функції двовимірного масиву та виконати ідентифікацію параметрів цієї кореляційної функції.

Для типового відеозображення, що належить певному класу двовимірних масивів вимірювальної інформації, кореляційна функція може бути обчислена за формулою [1, 2]:

$$R_{ij} = K_{ij} - E^2[f(x, y)], \quad i = 0, \dots, N - 1, \quad j = 0, \dots, M - 1, \tag{1}$$

$$K_{ij} = K(i\Delta_{x\bar{a}}, j\Delta_{y\bar{a}}) = K(\tau_x, \tau_y) = E[f(x + \tau_x, y + \tau_y) f(x, y)],$$

де K_{ij} – функція коваріації відеозображення розміром $N \times M$ дискретних точок, $\Delta_{x\bar{a}}, \Delta_{y\bar{a}}$ – крок дискретності цифрового відеозображення по осях x та y , далі будемо вважати, що $\Delta_{x\bar{a}} = \Delta_{y\bar{a}} = \Delta_{\bar{a}}$.

Слід враховувати, що для конкретного відеозображення $\Delta_{\bar{a}} = (1 \text{ \AA} \cdot \text{д}.) \times k_M$, де величина $(1 \text{ \AA} \cdot \text{д}.)$ відповідає відстані між центрами двох сусідніх дискретних точок відеозображення, k_M – масштабний коефіцієнт відеозображення, що залежить від параметрів зовнішнього орієнтування пристрою формування відеозображень та визначається на основі проведення тестових зйомок.

Кореляційна функція також може бути обчислена за іншим варіантом:

$$R_{ij} = R(i\Delta_{x\bar{a}}, j\Delta_{y\bar{a}}) = R(\tau_x, \tau_y) = E[f_0(x + \tau_x, y + \tau_y) f_0(x, y)] \tag{2}$$

$$f_0(x, y) = f(x, y) - E[f(x, y)].$$

Отримані на основі формул (1) або (2) відліки кореляційної функції відеозображення необхідно апроксимувати типовою кореляційною функцією. Для відеозображення математичною моделлю вважається двовимірний марковський процес першого порядку [2]. В цьому випадку типовою кореляційною функцією відеозображення буде

$$R(\tau_x, \tau_y) = \sigma_f^2 \exp\left\{-\sqrt{(\alpha_x \tau_x)^2 + (\alpha_y \tau_y)^2}\right\} \tag{3}$$

або у спрощеному варіанті

$$R(\tau_x, \tau_y) = \sigma_f^2 \exp\left\{-\alpha_x |\tau_x| - \alpha_y |\tau_y|\right\}, \tag{4}$$

де $\alpha_x = 3 / \tau_{x \text{ еі} \text{д}}$, $\alpha_y = 3 / \tau_{y \text{ еі} \text{д}}$ – коефіцієнти, що залежать від інтервалів кореляції $\tau_{x \text{ еі} \text{д}}$, $\tau_{y \text{ еі} \text{д}}$ по осях Ox і Oy за умови $R / \sigma_f^2 < 0,05$, σ_f^2 – дисперсія амплітуди відеосигналу на відеозображенні $f_0(x, y)$.

Цим кореляційним функціям відповідають спектральні щільності потужностей

$$S(u, v) = \frac{2\sigma_f^2}{\alpha_x \alpha_y} \cdot \frac{1}{1 + u^2 / \alpha_x^2 + v^2 / \alpha_y^2}$$

та

$$S(u, v) = \frac{4\sigma_f^2 \alpha_x \alpha_y}{(\alpha_x^2 + u^2) \cdot (\alpha_y^2 + v^2)}.$$

Кореляційні функції і спектральні щільності потужностей є еквівалентними характеристиками відеозображень і пов'язані між собою двовимірним перетворенням Фур'є [1]:

$$S(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau_x, \tau_y) e^{-j(u\tau_x + v\tau_y)} d\tau_x d\tau_y, \quad R(\tau_x, \tau_y) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(u, v) e^{j(u\tau_x + v\tau_y)} dudv.$$

Тому можна виконувати ідентифікацію параметрів ймовірнісної моделі відеозображення на основі експериментальних даних про кореляційну функцію або спектральні щільності потужності. Однак, обчислювальні методи отримання кореляційної функції для дискретного відеозображення дають результат, що більш придатний для ідентифікації параметрів, ніж обчислення спектральної щільності потужності. Тому далі будемо розглядати ідентифікацію параметрів, що входять до формули типової кореляційної функції вигляду (3) або (4).

В даному випадку σ_f^2 нам відомо і дорівнює дисперсії відеозображення $f_0(x, y)$, тобто $\sigma_f^2 = R(0,0)$. Застосуємо метод найменших квадратів для оцінки значень α_x та α_y і складемо функціонал для кореляційної функції (3):

$$I_{llE} = \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} \left(R_{ij} - \sigma_f^2 \exp \left\{ -\sqrt{(\alpha_x i \Delta_a)^2 + (\alpha_y j \Delta_a)^2} \right\} \right)^2 \rightarrow \min .$$

Цей функціонал зводиться до системи нелінійних рівнянь, вирішення якої є досить складною задачею. Тому будемо використовувати типову кореляційну функцію (4), додатково ввівши заміну $R_1(\tau_x, \tau_y) = \ln R(\tau_x, \tau_y)$ для лінеаризації моделі відносно α_x, α_y . Тоді

$$R_1(\tau_x, \tau_y) = \ln \sigma_f^2 - \alpha_x |\tau_x| - \alpha_y |\tau_y| ,$$

$$I_{llE} = \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} \left(\ln R_{ij} - \ln \sigma_f^2 + \alpha_x |i \Delta_a| + \alpha_y |j \Delta_a| \right)^2 \rightarrow \min ,$$

$$\begin{cases} \frac{\partial I_{llE}}{\partial \alpha_x} = 2 \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} \left(\ln R_{ij} - \ln \sigma_f^2 + \alpha_x |i \Delta_a| + \alpha_y |j \Delta_a| \right) \cdot |i \Delta_a| = 0, \\ \frac{\partial I_{llE}}{\partial \alpha_y} = 2 \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} \left(\ln R_{ij} - \ln \sigma_f^2 + \alpha_x |i \Delta_a| + \alpha_y |j \Delta_a| \right) \cdot |j \Delta_a| = 0. \end{cases}$$

В результаті отримуємо систему лінійних рівнянь в матричній формі:

$$\begin{bmatrix} M \Delta_a \sum_{i=0}^{N-1} i^2 & \Delta_a \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} ij \\ \Delta_a \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} ij & N \Delta_a \sum_{j=0}^{M-1} j^2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \alpha_x \\ \alpha_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} i (\ln \sigma_f^2 - \ln R_{ij}) \\ \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} j (\ln \sigma_f^2 - \ln R_{ij}) \end{bmatrix} .$$

Звідси за методом Крамера отримуємо значення параметрів типової кореляційної функції відеозображення:

$$\alpha_x = \frac{1}{\Delta_a} \cdot \frac{N \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} i (\ln \sigma_f^2 - \ln R_{ij}) \sum_{j=0}^{M-1} j^2 - \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} j (\ln \sigma_f^2 - \ln R_{ij}) \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} ij}{MN \sum_{j=0}^{M-1} j^2 \sum_{i=0}^{N-1} i^2 - \left(\sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} ij \right)^2} ,$$

$$\alpha_y = \frac{1}{\Delta_a} \cdot \frac{M \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} j (\ln \sigma_f^2 - \ln R_{ij}) \sum_{i=0}^{N-1} i^2 - \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} i (\ln \sigma_f^2 - \ln R_{ij}) \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} ij}{MN \sum_{j=0}^{M-1} j^2 \sum_{i=0}^{N-1} i^2 - \left(\sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} ij \right)^2} .$$

Враховуючи співвідношення

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^{N-1} i &= N(N-1)/2, & \sum_{i=0}^{N-1} i^2 &= N(N-1)(2N-1)/6, \\ \sum_{j=0}^{M-1} j^2 &= M(M-1)(2M-1)/6, & \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} i &= M \sum_{i=0}^{N-1} i = MN(N-1)/2, \\ \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} j &= N \sum_{j=0}^{M-1} j = MN(M-1)/2, & \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} ij &= MN(M-1)(N-1)/4, \end{aligned}$$

остаточно отримуємо:

$$\alpha_x = \frac{12}{\Delta_a} \cdot \frac{\frac{M+1}{2} \ln \sigma_f^2 - \frac{2(2M-1)}{MN(N-1)} \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} i \ln R_{ij} + \frac{3}{MN} \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} j \ln R_{ij}}{7MN + M + N - 5} ,$$

$$\alpha_y = \frac{12}{\Delta_a} \cdot \frac{\frac{N+1}{2} \ln \sigma_f^2 - \frac{2(2N-1)}{MN(M-1)} \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} j \ln R_{ij} + \frac{3}{MN} \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} i \ln R_{ij}}{7MN + M + N - 5} . \tag{5}$$

Іншим підходом до ідентифікації параметрів типової кореляційної функції відеозображень є врахування того, що проекція ліній рівних значень двовимірної кореляційної функції на площину відеозображення має форму кола або еліпса. В першому випадку відеозображення вважається ізотропним випадковим полем з $\alpha_y = \alpha_x = \alpha$, в другому випадку – анізотропним випадковим полем з ступеню анізотропії $L_{ai} = \alpha_y / \alpha_x$. Тоді ідентифікацію параметрів можна виконати для одновимірної кореляційної функції $R(\tau_x) = \sigma_x^2 \exp \left\{ -\alpha_x |\tau_x| \right\}$, що визначається для рядків відеозображення. Двовимірна

кореляційна функція визначається на основі одновимірної кореляційної функції з урахуванням L_{ai} та рівняння (4).

Для одновимірної кореляційної функції, що обчислюється по рядках відеозображення, застосування методу найменших квадратів дає такі рівняння з урахуванням заміни $R_1(\tau_x) = \ln R(\tau_x)$:

$$I_{llE} = \sum_{i=0}^{N-1} (\ln R_i - \ln \sigma_x^2 + \alpha_x |i\Delta_a|)^2 \rightarrow \min ,$$

$$\frac{\partial I_{llE}}{\partial \alpha_x} = 2 \sum_{i=0}^{N-1} (\ln R_i - \ln \sigma_x^2 + \alpha_x |i\Delta_a|) \cdot |i\Delta_a| = 0 ,$$

$$\alpha_x = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} i (\ln \sigma_x^2 - \ln R_i)}{\Delta_a \sum_{i=0}^{N-1} i^2} .$$

Враховуючи співвідношення

$$\sum_{i=0}^{N-1} i = N(N-1)/2, \quad \sum_{i=0}^{N-1} i^2 = N(N-1)(2N-1)/6,$$

остаточно отримуємо:

$$\alpha_x = \frac{3 \ln \sigma_x^2 - \frac{6}{N(N-1)} \sum_{i=0}^{N-1} i \ln R_i}{(2N-1)\Delta_a} . \tag{6}$$

Визначення параметрів ймовірнісних моделей було виконано для ряду відеозображень поверхні промислових виробів з природного каменю (рис. 1). Ці відеозображення використовуються для автоматизованого обчислення розмірів цих виробів, а також для визначення геометричних параметрів структурних елементів поверхні природного каменю. Вказані вимірювання є складовою частиною контролю якості промислових виробів з природного каменю [21, 22].

Для перевірки результатів визначення параметрів типових кореляційних функцій було обчислено кореляційну функцію за формулою (4) з коефіцієнтами (5), (6) і порівняно результати обчислень з експериментальними даними, отриманими за формулою (2). Для порівняння використовувалися оцінки нормованої середньоквадратичної похибки

$$\Delta_{\text{нєr}} = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} \frac{(R(i\Delta_a, j\Delta_a) - R_{ij})^2}{(\sigma_r^2)^2}} \tag{7}$$

та нормованої максимальної похибки

$$\Delta_{\text{max}} = \max_{i,j} \frac{|R(i\Delta_a, j\Delta_a) - R_{ij}|}{\sigma_r^2} . \tag{8}$$

Отримані результати наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Параметри ймовірнісної моделі двовимірних відеозображень з вимірювальною інформацією про механічні величини

Тип відеозображення	Середнє значення амплітуди відеосигналу, дискретних рівнів	Середньоквадратичне значення амплітуди відеосигналу, дискретних рівнів	Параметр кореляційної функції α_x , (дискретн. точок) ₁	Параметр кореляційної функції α_y , (дискретн. точок) ₁	Похибка апроксимації за методом найменших квадратів для типової кореляційної функції (4), нормованої відносно σ_f^2 :	
					середньоквадратична похибка	максимальна похибка
1. Граніт Омелянівського родовища Житомирської області: – канал R – канал G – канал B	145,90 84,67 49,66	76,41 47,96 36,13	0,17 0,20 0,33	0,14 0,18 0,34	0,04 0,09 0,08	0,07 0,17 0,16
2. Граніт Корніського родовища Житомирської області: – канал R – канал G – канал B	51,46 52,94 46,36	48,49 41,87 36,17	0,08 0,09 0,08	0,10 0,13 0,16	0,04 0,07 0,11	0,06 0,13 0,22
3. Граніт Маславського родовища Житомирської області: – канал R – канал G – канал B	43,82 53,92 30,95	28,45 26,81 23,34	0,25 0,25 0,30	0,25 0,28 0,33	0,03 0,05 0,08	0,07 0,12 0,18

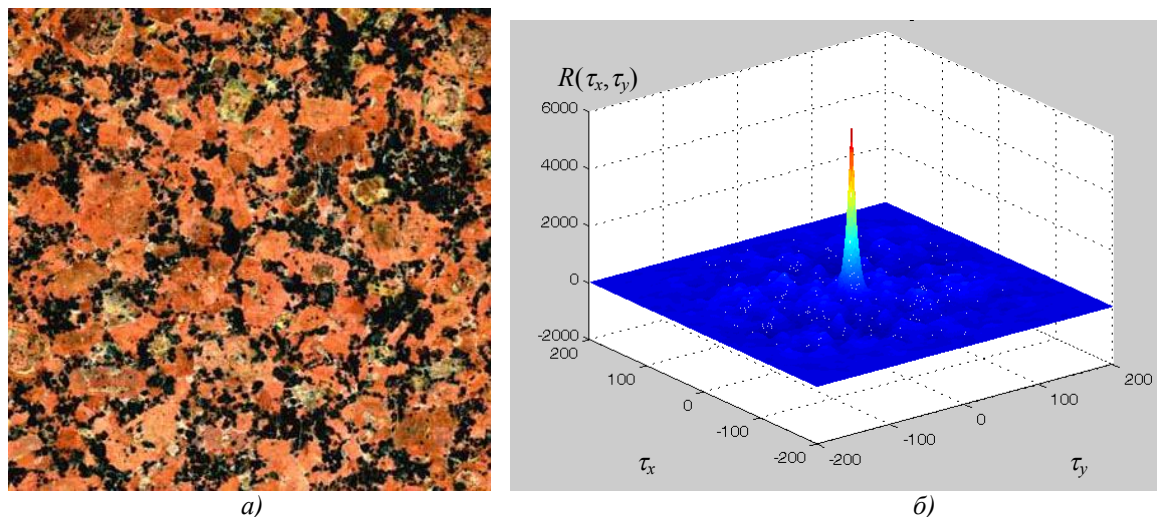


Рис. 1. Відеозображення поверхні граніту з Омелянівського родовища Житомирської області (а) та його двовимірна кореляційна функція, отримана для каналу червоного кольору (б)

Висновки:

У статті розглянуто ймовірнісні моделі двовимірних масивів вимірювальної інформації (відеозображень) з вимірювальною інформацією про механічні величини. Математична модель двовимірних масивів вимірювальної інформації побудована на основі їх кореляційних функцій. Загальний вигляд кореляційної функції двовимірного масиву обрано, виходячи з того, що відеозображення вважається двовимірним марковським процесом першого порядку. В цьому випадку типовою кореляційною функцією відеозображення буде експонента, аргументом якої є відстань між дискретними точками відеозображення.

Виконано апроксимацію кореляційної функції, обрахованої за цифровими даними відеозображення, типовою кореляційною функцією згідно з (4). Для типової кореляційної функції визначено коефіцієнти кореляції відеозображення по двох координатних осях. Точність апроксимації складає (3...7) % для каналу красного кольору, що є переважаючим для відеозображень поверхні природного каменю.

Результати досліджень можуть бути використані для розробки і моделювання методів алгоритмічної обробки двовимірної вимірювальної інформації про геометричні параметри різних об'єктів вимірювань.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Цифровое кодирование телевизионных изображений / под ред. И.И. Цуккермана. – М. : Радио и связь, 1981. – 240 с.
2. Претт У. Цифровая обработка изображений : пер. с англ. / У.Претт. – М. : Мир, 1982. – 792 с.
3. Левшин В.Л. Обработка информации в оптических системах пеленгации / В.Л. Левшин. – М. : Машиностроение, 1978. – 167 с.
4. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р.Гонсалес, Р.Вудс. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с.
5. Форсайт Д. Компьютерное зрение. Современный подход / Д.Форсайт, Д.Понс. – М. : Техносфера, 2005. – 840 с.
6. Анисимов Б.В. Распознавание и цифровая обработка изображений : учебное пособие для вузов / Б.В. Анисимов, В.Д. Курганов, В.К. Злобин. – М. : Высшая школа, 1983. – 295 с.
7. Грушенко М.В. Мониторинг морской поверхности с использованием метода “К-дерева” поля фрактальных размерностей / М.В. Грушенко, Р.Э. Пащенко, А.В. Шаповалов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2006. – № 1/2 (19). – С. 100–104.
8. Потапов А.А. Фракталы в дистанционном зондировании / А.А. Потапов // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. – 2000. – № 6. – С. 3–65.
9. Марков Е.П. Фрактальная модель космических оптико-электронных изображений / Е.П. Марков // Исследование Земли из космоса. – 1996. – № 1. – С. 56–61.
10. Ярославский Л.П. Введение в цифровую обработку изображений / Л.П. Ярославский. – М. : Советское радио, 1979. – 312 с.

11. *Сарвин А.А.* Системы бесконтактных измерений геометрических параметров / *А.А. Сарвин.* – Л. : Издательство Ленинградского университета, 1983. – 144 с.
12. Измерительные сканирующие приборы / под ред. Б.С. Розова. – М. : Машиностроение, 1980. – 198 с.
13. *Даджион Д.* Цифровая обработка многомерных сигналов / *Д.Даджион, Р.Мерсеро* ; под ред. Л.П. Ярославского. – М. : Мир, 1988. – 488 с.
14. *Петров В.В.* Информационная теория синтеза оптимальных систем контроля и управления / *В.В. Петров, А.С. Усков.* – М. : Энергия, 1979. – 232 с.
15. *Шарыгин М.Е.* Сканеры и цифровые камеры / *М.Е. Шарыгин.* – СПб. : ВHV – Санкт-Петербург, 2000. – 384 с.
16. *Виленкин С.Я.* Статистическая обработка результатов исследования случайных функций / *С.Я. Виленкин.* – М. : Энергия, 1979. – 320 с.
17. *Лебедько Е.Г.* Теория и расчет импульсных и цифровых оптико-электронных систем : учебное пособие для вузов / *Е.Г. Лебедько, Л.Ф. Порфирьев, Ф.К. Хайтун.* – М. : Машиностроение, 1984. – 191 с.
18. *Егорова С.Д.* Оптико-электронное цифровое преобразование изображений / *С.Д. Егорова, Колесник В.А.* – М. : Радио и связь, 1991. – 208 с.
19. *Мирошников М.М.* Теоретические основы оптико-электронных приборов / *М.М. Мирошников.* – 2-е изд. – Л. : Машиностроение, 1983. – 696 с.
20. *Писаревский А.Н.* Системы технического зрения / *А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К. Афанасьев, П.Д. Кухарчук, В.И. Лебедев* ; под ред. А.Н. Писаревского. – Л. : Машиностроение, 1988. – 424 с.
21. Спосіб контролю зовнішнього вигляду поверхні виробів з лицювального каменю : патент України на винахід 71412 А МПК7 G01 В7/00 / *Є.С. Купкін, Ю.О. Подчашинський* ; Державний департамент інтелектуальної власності. – № 20031212802 ; заявл. 28.12.03 ; опубл. 15.11.04, Бюл. № 11. – 3 с.
22. *Криворучко А.О.* Застосування інформаційно-комп'ютерних технологій обробки відеоінформації в гірничо-геологічній галузі / *А.О. Криворучко, Є.С. Купкін, Ю.О. Подчашинський, О.О. Ремезова* // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2005. – № 1 (32). – С. 107–116.

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

Наукові інтереси:

- методи вимірювання механічних величин;
- цифрова обробка відеозображень.

Подано 17.11.2009

Подчашинський Ю.О. Математична модель двовимірних масивів вимірювальної інформації про механічні величини

Подчашинский Ю.А. Математическая модель двумерных массивов измерительной информации о механических величинах

Podchashinsky Yu.A. Mathematical model of two-dimensional arrays of measuring information on mechanical values

УДК 621.317:004.932

Математическая модель двумерных массивов измерительной информации о механических величинах / Ю.А. Подчашинский

В статье рассмотрены вероятностные модели двумерных массивов с измерительной информацией о механических величинах. Результаты исследований могут быть использованы для разработки методов алгоритмической обработки двумерной измерительной информации о механических величинах.

УДК 621.317:004.932

Mathematical model of two-dimensional arrays of measuring information on mechanical values / Yu.A. Podchashinsky

In the article the probabilistic models of two-dimensional arrays with the measuring information on mechanical values are considered. The outcomes of researches can be used for development of methods of algorithmic processing of the two-dimensional measuring information about mechanical values.

