УДК 621.317

РОЗРОБКА МЕТОДУ МОДЕЛЮВАННЯ МАСИВІВ ДВОВИМІРНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРО МЕХАНІЧНІ ВЕЛИЧИНИ

Розроблено метод моделювання масивів двовимірної інформації про механічні величини. Особливістю методу є врахування кореляційних зв'язків між каналами кольорового зображення та визначення параметрів моделювання на основі даних про геометричні властивості об'єктів вимірювань

Ключові слова: геометричні параметри, вимірювальна інформація, зображення, моделювання

Разработан метод моделирования массивов двумерной информации о механических величинах. Особенность метода состоит в учете корреляционных связей между каналами цветного изображения и определении параметров моделирования на основе данных о геометрических свойствах объектов измерений

Ключевые слова: геометрические параметры, измерительная информация, изображение, моделирование

The method of modelling of arrays of the two-dimensional information about mechanical values is developed. The feature of a method consists in the taking into account of correlation between channels of a color image. Parameters of modelling also are determined based on data about geometric properties of objects of measurements

Key words: geometric parameters, measuring information, image, modelling

Ю.О. Подчашинський
Кандидат технічних наук, доцент
Кафедра автоматики і управління в технічних системах
Житомирський державний технологічний університет
вул. Черняхівського, 103, м. Житомир, Україна, 10005
Контактний тел.: (0412) 37-84-82
E-mail: ju-p@ztu.edu.ua

1. Вступ

1.1. Актуальність теми досліджень. Одним із ефективних методів вимірювань механічних величин є алгоритмічна обробка сигналів, які містять інформацію про об'єкт вимірювань. Наприклад, це можуть бути двовимірні зображення об'єктів вимірювань, що характеризують геометричні параметри вказаних об'єктів. Для розробки і оптимізації алгоритмічних методів обробки необхідно мати ряд реалізацій двовимірних масивів вимірювальної інформації, що по своїм властивостям відповідають реальним об'єктам вимірювань. Тому актуальною задачею є розробка методу моделювання масивів двовимірної інформації про механічні величини.

1.2. Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Для отримання випадкових реалізацій двовимірної інформації про механічні величини необхідно розробити метод і алгоритми моделювання цієї інформації. Початкові дані для методу моделювання повинні задаватися на основі апріорно відомих даних про геометричні властивості об'єктів вимірювань, що досліджуються. Також повинні бути враховані характеристики двовимірного масиву (наприклад, зображення), який використовується для передачі і зберігання вимірювальної інформації про механічні величини. Вказаний метод моделювання може бути використаний при розробці і дослідженні алгоритмічних методів обробки двовимірної інформації про механічні величини з метою підвищення їх точності і швидкодії.

1.3. Аналіз досліджень і публікацій за темою досліджень. Питанням моделювання двовимірних масивів інформації присвячено ряд робіт, наприклад [1 – 6]. Найбільш дослідженими в цих роботах є авторегресійні моделі випадкових полів. Основою цих моделей є рівняння авторегресії, що дозволяє обчислювати елементи двовимірного масиву як реалізації деякого випадкового поля. Для моделювання ізотропних випадкових полів також використовуються двопараметричні моделі. В цьому випадку результат моделювання залежить від випадкових аргументів моделей. Двопараметричні моделі по своїй суті є неперервними, але зводяться до обчислювальних процедур, що генерують елементи двовимірного масиву.

Методи і алгоритми моделювання двовимірних масивів інформації (зображень різноманітних об'єктів) базуються на математичних моделях цих масивів з урахуванням процесів їх формування і обробки в технічних і програмних засобах [7 – 9]. Але всі ці математичні моделі орієнтовані або на визначення візуальної якості отриманих зображень, або оперують показниками, що не можуть бути безпосередньо використані в процедурах аналізу та синтезу засобів вимірювання механічних величини.

Існуючі математичні моделі вимірювальної інформації і вимірювальних каналів приладів та вимірювальних систем орієнтовані перш за все на одновимірні вимірювальні сигнали або на декілька таких сигналів, що передаються паралельними каналами [10 – 12].

1.4. Метою статті є розробка методу моделювання масивів двовимірної інформації про механічні величини, який забезпечує визначенням параметрів моделювання на основі даних про геометричні властивості об'єктів вимірювань.

2. Викладення основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Розглянемо моделювання двовимірних масивів з вимірювальною інформацією про геометричні параметри об'єктів вимірювань. Наприклад, це можуть бути двовимірні кольорові зображення поверхні виробів з природного каменю, що використовуються для контролю їх якості [13].

Математична модель двовимірного кольорового зображення $f_\Sigma(X)$ з $N_{об}$ об'єктами вимірювань складається з трьох каналів, що містять двовимірну інформацію про яскравість і колір кожного об'єкту у заданій колориметричній системі ($X=(x,y)\in R^2$ – просторовий аргумент, що приймає значення в деякій області D двовимірного простору R^2). Наприклад, це може бути колориметрична система RGB (червоний, зелений та синій колір) або HSI (кольоровий тон, насиченість кольору, яскравість). Відліки амплітуди сигналу в кожному каналі корельовані між собою та відповідають двовимірному марківському процесу першого порядку.

Окрім того, відліки трьох каналів, що відповідають певній дискретній точці зображення, також корельовані між собою [7, 9].

Такій математичній моделі відповідає векторне випадкове поле, що складається з областей випадкової форми, які відповідають $N_{об}$ об'єктам вимірювань та фону. В межах кожної l-ї області ($l=0,...,N_{об}$) кольорове зображення $f(X)=(f_1(X),f_2(X),f_3(X))^T$ l-го об'єкту вимірювань або фону містить нерівномірності кольору і яскравості. Таке кольорове зображення може бути охарактеризовано математичним сподіванням $E_f=(m_{f1},m_{f2},m_{f3})^T$, середньоквадратичним значенням $\sigma_f=(\sigma_{f1},\sigma_{f2},\sigma_{f3})^T$ та матричною кореляційною функцією $R_f(T)=[R_{ij}(T)]$ або матричною спектральною щільністю $S_f(\Omega)=[S_{ij}(\Omega)]$, де $T=(\tau_x,\tau_y)^T$ – вектор просторових координат матричної кореляційної функції, $i,j=1,2,3$ – номер каналу.

Згідно [9] матрична кореляційна функція може бути визначена на основі типових кореляційних функцій зображень. В цьому випадку

$$R_{ii}(T)=\sigma_{fi}^2\exp\left(-\sqrt{(\alpha_{xi}\tau_x)^2+(\alpha_{yi}\tau_y)^2}\right),$$

$$S_{ii}(\Omega)=\frac{2\sigma_{fi}^2}{\alpha_{xi}\alpha_{yi}}\left[1+\left(\frac{\omega_1}{\alpha_{xi}}\right)^2+\left(\frac{\omega_2}{\alpha_{yi}}\right)^2\right]^{-3/2},$$

де α_{xi}, α_{yi} – параметри типової кореляційної функції l-го об'єкта вимірювань для i-го каналу кольорового зображення, $\sigma_{fi}^2=R_{ii}(0)$ – дисперсія двовимірної інформації l-го об'єкту вимірювань в i-му каналі кольорового зображення.

Так як всі канали відповідають одному кольоровому зображенню одного об'єкту вимірювань, то будемо вважати, що параметри типової кореляційної функції для всіх каналів однакові, тобто $\alpha_{xi}=\alpha_x$, $\alpha_{yi}=\alpha_y$ для $i=1,2,3$. Також будемо вважати, що нерівномірність амплітуди двовимірної інформації в межах кожного об'єкту вимірювань та фону має нормальний розподіл. Тоді

$$R_{ii}(T)=\sigma_{fi}^2\exp\left(-\sqrt{(\alpha_x\tau_x)^2+(\alpha_y\tau_y)^2}\right),$$

$$S_{ii}(\Omega)=\frac{2\sigma_{fi}^2}{\alpha_x\alpha_y}\left[1+\left(\frac{\omega_1}{\alpha_x}\right)^2+\left(\frac{\omega_2}{\alpha_y}\right)^2\right]^{-3/2}, \quad (1)$$

$$R_{ij}(T)=r_{кор\ ij}\sigma_{fi}\sigma_{fj}\exp\left(-\sqrt{(\alpha_x\tau_x)^2+(\alpha_y\tau_y)^2}\right),$$

$$S_{ij}(\Omega)=r_{кор\ ij}\sqrt{S_{ii}(\Omega)\cdot S_{jj}(\Omega)} \text{ при } i\neq j, \quad (2)$$

де $r_{кор\ ij}$ – коефіцієнт кореляції між каналами кольорового зображення.

Моделювання кольорового зображення з кореляційною функцією (1) може бути виконано на основі векторної параметричної моделі випадкових полів [2], що забезпечує відтворення поля на рівні перших двох статистичних моментів.

Амплітуда сигналу в i-му каналі двовимірного зображення для k-ї реалізації та l-го об'єкту вимірювань обчислюється згідно формул

$$f_{ik}(X)=\sum_{j=1}^{3}\xi_k f_{ijk}(X,\eta_{jk}),\ f_{ijk}(X,\eta_{jk})= \quad (3)$$

$$=\sqrt{2}\left\{\mathrm{Re}\left(a_{ij}(\eta_{jk})\right)\cdot\sin\left(\eta_{jk}^T\cdot(X_0+X)+\frac{\pi}{4}\right)+\mathrm{Im}\left(a_{ij}(\eta_{jk})\right)\cdot\cos\left(\eta_{jk}^T\cdot(X_0+X)+\frac{\pi}{4}\right)\right\},$$

де ξ_k – незалежні випадкові величини з щільністю розподілу за законом Релея, що симетрично подовжена на від'ємну напіввісь: $p(\xi_k)=|\zeta|\exp(-\zeta^2/2)$, $\zeta\in(-\infty,+\infty)$, $\xi_k=\chi_1\sqrt{-\ln(\gamma_1)}$, γ_1 рівномірно розподілена на інтервалі [0, 1], χ_1 приймає значення ±1 з рівною ймовірністю;

Re(.), Im(.) – дійсна та уявна частина коефіцієнтів $a_{ij}(\eta_{jk})$, що чисельно дорівнюють елементам матричної частотної характеристики $A_ф=[a_{ij}(\Omega)]$ формуючого фільтра, цей фільтр для i-го каналу кольорового двовимірного зображення враховує кореляцію цього каналу з j-м каналом;

$\eta_{jk} = (\eta_{1jk}, \eta_{2jk}) \in R^2$ – двовимірнимй випадковий вектор з щільністю розподілу, що чисельно дорівнює спектральній щільності двовимірної інформації в j-му каналі, $|\eta_k| = \alpha_x \sqrt{1/\gamma_2^2 - 1}$, γ_2 – випадкова величина, що рівномірно розподілена на інтервалі [0, 1], випадковий напрямок вектора задається ортом $e_k = (e_{1k}, e_{2k}) \in R^2$, де $e_{1k} = \cos\gamma_3$, $e_{2k} = \sin\gamma_3$, γ_3 – випадкова величина, що рівномірно розподілена на інтервалі $[0, 2\pi]$.

Для отримання математичної моделі i-го каналу двовимірного кольорового зображення l-го об'єкту вимірювань необхідно підсумувати N_p реалізацій $f_{ik}(X)$, отриманих за формулою (3):

$$f_i(X) = m_{fi} + \frac{\sigma_{fi}}{\sqrt{N_p}} \sum_{k=1}^{N_p} f_{ik}(X), \tag{4}$$

де m_{fi} і σ_{fi} – математичне сподівання і середньоквадратичне значення амплітуди i-го каналу в межах l-го об'єкту вимірювань.

В загальному випадку [2] коефіцієнти формуючого фільтра обчислюються за формулами:

$$a_{ii}(\Omega) = \left\{ \frac{S_{ii}(\Omega) - \sum_{r=1}^{i-1} |a_{ir}(\Omega)|^2 \psi_{rr}(\Omega)}{\psi_{ii}(\Omega)} \right\}^{1/2}, \tag{5}$$

$$a_{ij}(\Omega) = \frac{S_{ij}(\Omega) - \sum_{m=1}^{j-1} a_{im}(\Omega) a_{jm}(\Omega) \psi_{mm}(\Omega)}{a_{jj}(\Omega)\psi_{jj}(\Omega)},$$

при $j = 2, ..., i-1$,

$a_{ij}(\Omega) = 0$ при $j > i$,

де $\Psi_{вх} = [\psi_{ij}(\Omega)]$ – матрична спектральна щільність вхідного сигналу формуючого фільтра. Виходячи з фізичної суті задачі моделювання кольорового зображення з корельованими каналами, обираємо

$$\psi_{ii}(\Omega) = S_{ii}(\Omega). \tag{6}$$

Підставляючи формули (1), (2) і (6) у формулу (5), отримуємо значення коефіцієнтів a_{ij}:

$$a_{11} = \sqrt{\frac{S_{11}(\Omega)}{S_{11}(\Omega)}} = 1, \; a_{12} = 0, \; a_{13} = 0,$$

$$a_{21} = \frac{S_{21}(\Omega)}{a_{11} \cdot S_{11}(\Omega)} = r_{кор21},$$

$$a_{22} = \sqrt{\frac{S_{22}(\Omega) - a_{21}^2 \cdot S_{11}(\Omega)}{S_{22}(\Omega)}} = \sqrt{1 - r_{кор21}^2},$$

$$a_{23} = 0, \; a_{31} = \frac{S_{31}(\Omega)}{a_{11} \cdot S_{11}(\Omega)} = r_{кор31},$$

$$a_{32} = \frac{S_{32}(\Omega) - a_{31} \cdot a_{21} \cdot S_{11}(\Omega)}{a_{22} \cdot S_{22}(\Omega)} = \frac{r_{кор32} - r_{кор31} \cdot r_{кор21}}{\sqrt{1 - r_{кор21}^2}}, \tag{7}$$

$$a_{33} = \sqrt{\frac{S_{33}(\Omega) - a_{31}^2 \cdot S_{11}(\Omega) - a_{32}^2 \cdot S_{22}(\Omega)}{S_{33}(\Omega)}} = \sqrt{\frac{1 - r_{кор31}^2 - r_{кор21}^2 - r_{кор32}^2 + 2 r_{кор32} r_{кор31} r_{кор21}}{1 - r_{кор21}^2}}.$$

Підставляючи (7) у (3) та (4), отримуємо математичну модель двовимірного кольорового зображення одного l-го об'єкту вимірювань:

$$f(X) = E_f + \frac{\sigma_f}{\sqrt{N_p}} \sum_{k=1}^{N_p} \left[(f_{1k}(X), f_{2k}(X), f_{3k}(X))^T \right],$$

$$f_{1k}(X) = \sqrt{2}\xi_{1k} \sin\left(\eta_{1k}^T \cdot (X_0 + X) + \frac{\pi}{4} \right),$$

$$f_{2k}(X) = r_{кор21} f_{1k}(X) + \xi_{2k} \sqrt{2(1 - r_{кор21}^2)} \sin\left(\eta_{2k}^T \cdot (X_0 + X) + \frac{\pi}{4} \right), \tag{8}$$

$$f_{3k}(X) = r_{кор31} f_{1k}(X) + \frac{r_{кор32} - r_{кор31} \cdot r_{кор21}}{\sqrt{1 - r_{кор21}^2}} f_{2k}(X) +$$

$$+ \sqrt{2}\xi_{3k} \sqrt{\frac{1 - r_{кор31}^2 - r_{кор21}^2 - r_{кор32}^2 + 2 r_{кор32} r_{кор31} r_{кор21}}{1 - r_{кор21}^2}} \sin\left(\eta_{3k}^T \cdot (X_0 + X) + \frac{\pi}{4} \right)$$

Математична модель (8) дозволяє сформувати $(N_{об} + 1)$ двовимірних масивів інформації, що відповідають кожному з $N_{об}$ об'єктів вимірювань та фону. Для об'єднання цих масивів в загальну математичну модель двовимірного кольорового зображення необхідно додатково сформувати двовимірний масив-маску $\overline{f_\Sigma(X)}$, що визначає розташування у просторі R^2 областей, які належать кожному з об'єктів вимірювань та фону. Якщо точка простору R^2 з координатами $X_1 = (x_1, y_1)$ належить l-му об'єкту вимірювань, то $\overline{f_\Sigma(X_1)} = l$, якщо фону – то $\overline{f_\Sigma(X_1)} = 0$.

За основу математичної моделі двовимірного масиву-маски візьмемо випадковий двовимірний масив $f_{поч}(X)$. Для отримання маски $\overline{f_l(X)}$ l-го об'єкту вимірювань випадкової форми до цього масиву необхідно застосувати нелінійне перетворення [14]

$$\overline{f_l(X)} = H(f_{поч}(X)) = \begin{cases} 0, & f_{поч}(X) < f_{пор} \\ 1 & f_{пор}(X) \geq f_{пор} \end{cases}. \tag{9}$$

В результаті область, що належить певному типу об'єктів вимірювань, містить одиничні значення, фон – нульові значення.

При цьому геометричні параметри отриманих об'єктів вимірювань визначаються параметром $f_{пор}$ нелінійного перетворення та кореляційними властивостями (параметрами кореляційної функції $\alpha_{x\,поч}, \alpha_{y\,поч}$) початкового масиву $f_{поч}(X)$.

В якості початкового масиву $f_{поч}(X)$ будемо використовувати однорідне випадкове поле з нормальним законом розподілу (математичне сподівання $E\left[f_{поч}(X)\right] = 0$, дисперсія $D\left[f_{поч}(X)\right] = \sigma_{f\,поч}^2$) та кореляційною функцією

$$R_{\text{поч}}(X)=R_{\text{поч}}(\tau_x,\tau_y)=\sigma^2_{f\ \text{поч}}\rho_{\text{поч}}(\tau_x,\tau_y)=\sigma^2_{f\ \text{поч}}\rho_{\text{поч}}(\tau_x)\cdot\rho_{?>G}(\tau_y)=$$
$$=\sigma^2_{f\ \text{поч}}\exp\left\{-\frac{\alpha^2_{x\ \text{поч}}\tau_x^2}{2}\right\}\cdot\exp\left\{-\frac{\alpha^2_{y\ \text{поч}}\tau_y^2}{2}\right\}, \qquad (10)$$

де $\rho_{\text{поч}}(.)$ – нормована кореляційна функція.

Такий вибір кореляційної функції обумовлений необхідністю отримання випадкового поля, що може бути диференційовано по двом координатам. Випадкове поле з кореляційною функцією (10) може бути отримано за формулами (3) та (4), причому $i=1$, $j=1$, $\mathrm{Re}(a_{11})=1$, $\mathrm{Im}(a_{11})=0$, $\eta_1=\alpha_{x\ \text{поч}}\gamma_4$, $\eta_2=\alpha_{y\ \text{поч}}\gamma_5$, де γ_4,γ_5 – випадкові величини з нормальним розподілом на інтервалі [0, 1] та одиничним середньоквадратичним відхиленням.

Усереднені геометричні параметри об'єктів вимірювань та їх кількість на двовимірному зображенні можуть бути визначені на основі теорії випадкових функцій, що застосовується до двовимірних однорідних випадкових полів. При цьому будемо вважати, що маска об'єкту вимірювань, отримана згідно (9), відповідає викиду двовимірної випадкової функції вище порогового значення $f_{\text{пор}}$. Тоді, згідно [14], середня кількість об'єктів вимірювань на одиницю площі двовимірного зображення дорівнює:

$$\overline{N_{\text{ов}}}=\frac{f_{\text{пор}}}{2\pi\sqrt{2\pi}k_0}\cdot\sqrt{\frac{k_{11}\cdot k_{22}-k_{12}^2}{k_0}}\cdot\exp\left\{-\frac{f^2_{\text{пор}}}{2k_0}\right\}, \qquad (11)$$

де $k_0=R_{\text{поч}}(\tau_x,\tau_y)\big|_{\tau_x=\tau_y=0}$, $k_{11}=-\dfrac{\partial^2 R_{\text{поч}}(\tau_x,0)}{\partial\tau_x^2}\Big|_{\tau_x=0}$,

$k_{22}=-\dfrac{\partial^2 R_{\text{поч}}(0,\tau_y)}{\partial\tau_y^2}\Big|_{\tau_y=0}$, $k_{12}=-\dfrac{\partial^2 R_{\text{поч}}(\tau_x,\tau_y)}{\partial\tau_x\partial\tau_y}\Big|_{\tau_x=\tau_y=0}$,

а середня площа об'єкту вимірювань

$$\overline{S_{\text{ов}}}=\frac{1-P_f(f_{\text{пор}})}{\overline{N_{\text{ов}}}}, \qquad (12)$$

де $P_f(.)$ – функція розподілу амплітуди випадкового поля $f_{\text{поч}}(X)$.

Будемо вважати, що об'єкти вимірювань на кольоровому зображенні можуть бути апроксимовані еліпсом. Така апроксимація, наприклад, добре відповідає формі структурних елементів поверхні природного каменю, що досліджується на основі двовимірної інформації. Тоді зображення в цілому характеризується середнім лінійним розміром об'єктів вимірювань $2\bar{a}$, степінню анізотропії $L_a=\bar{a}/\bar{b}$ та загальною відносною площею об'єктів вимірювань $\overline{S_{\text{ов}\Sigma}}$, де $\bar{a},\bar{b}$ – середні значення великої і малої напіввісі еліпсів.

Середня площа об'єктів вимірювань в цьому випадку

$$\overline{S_{\text{ов}}}=\pi\bar{a}\cdot\bar{b}=\pi\left(\bar{a}\right)^2/L_a. \qquad (13)$$

Також будемо враховувати співвідношення

$$\alpha_{y\ \text{поч}}=\alpha_{x\ \text{поч}}\cdot L_a,$$
$$f_{\text{порв}}=f_{\text{пор}}/\sigma_{f\ \text{поч}}, \qquad (14)$$
$$\overline{S_{\text{ов}\Sigma}}=1-\Phi(f_{\text{пор в}}),$$

де $\Phi(f_{\text{порв}})=\dfrac{1}{\sqrt{2\pi}}\displaystyle\int_{-\infty}^{f_{\text{пор в}}}\exp\left\{-\frac{t^2}{2}\right\}dt$ – функція розподілу нормованої випадкової величини $f_{\text{поч}}(X)/\sigma_{f\text{поч}}$ з нормальним законом розподілу та математичним сподіванням $E\left[f_{\text{поч}}(X)\right]=0$.

Тоді

$$\Phi(f_{\text{порв}})=1-\overline{S_{\text{ов}\Sigma}},\ f_{\text{порв}}=\Phi^{-1}\left(1-\overline{S_{\text{ов}\Sigma}}\right). \qquad (15)$$

З формули (12) отримуємо кількість об'єктів вимірювань на одиницю площі зображення:

$$\overline{N_{\text{ов}}}=\frac{1-\Phi(f_{\text{порв}})}{\overline{S_{\text{ов}}}}, \qquad (16)$$

та загальну кількість об'єктів вимірювань на зображенні

$$\overline{N_{\text{ов}\Sigma}}=\overline{N_{\text{ов}}}\cdot M\cdot N,$$

де M,N – розмір зображення. Величини, що входять в формулу (16), визначаються на основі формул (13) і (15).

Для зображень з кореляційною функцією (10)

$$\frac{\partial R_{\text{поч}}(\tau_x,0)}{\partial\tau_x}=-\sigma^2_{f\ \text{поч}}\alpha^2_{x\ \text{поч}}\tau_x\exp\left\{-\frac{\alpha^2_{x\ \text{поч}}\tau_x^2}{2}\right\},$$
$$\frac{\partial^2 R_{\text{поч}}(\tau_x,0)}{\partial\tau_x^2}=\sigma^2_{f\ \text{поч}}\alpha^4_{x\ \text{поч}}\tau_x^2\exp\left\{-\frac{\alpha^2_{x\ \text{поч}}\tau_x^2}{2}\right\}-$$
$$-\sigma^2_{f\ \text{поч}}\alpha^2_{x\ \text{поч}}\exp\left\{-\frac{\alpha^2_{x\ \text{поч}}\tau_x^2}{2}\right\},$$
$$\frac{\partial^2 R_{\text{поч}}(\tau_x,\tau_y)}{\partial\tau_x\partial\tau_y}=-\sigma^2_{f\ \text{поч}}\alpha^4_{x\ \text{поч}}\tau_x\tau_y\exp\left\{-\frac{\alpha^2_{x\ \text{поч}}\tau_x^2+\alpha^2_{y\ \text{поч}}\tau_y^2}{2}\right\},$$

$$k_0=\sigma^2_{f\ \text{поч}},\ k_{11}=\sigma^2_{f\ \text{поч}}\alpha^2_{x\ \text{поч}},\ k_{22}=\sigma^2_{f\ \text{поч}}\alpha^2_{y\ \text{поч}},\ k_{12}=0.$$

Тоді на основі (11) маємо:

$$\overline{N_{\text{ов}}}=\frac{f_{\text{порв}}\cdot\alpha^2_{x\ \text{поч}}\cdot L_a}{2\pi\sqrt{2\pi}}\exp\left\{-\frac{f^2_{\text{порв}}}{2}\right\}. \qquad (17)$$

Порівнюючи (16) і (17), та враховуючи (13) і (14), отримуємо:

$$\alpha_{x\ \text{поч}}=\sqrt{\frac{2\pi\sqrt{2\pi}\cdot\overline{N_{\text{ов}}}}{L_a\cdot f_{\text{пор в}}\cdot\exp(-f^2_{\text{пор в}}/2)}}=$$
$$=\sqrt{\frac{2\sqrt{2\pi}\cdot\overline{S_{\text{ов}\Sigma}}}{\left(\bar{a}\right)^2\cdot f_{\text{пор в}}\cdot\exp(-f^2_{\text{пор в}}/2)}}, \qquad (18)$$

$$\alpha_{y\ \text{поч}}=\alpha_{x\ \text{поч}}\cdot L_a.$$

Таким чином, формули (15) і (18) дозволяють визначити параметри $\alpha_{x\ \text{поч}},\alpha_{y\ \text{поч}}$ двовимірного напівтонового зображення $f_{\text{поч}}(X)$ з кореляційною функцією (15) та параметр $f_{\text{порв}}$ нелінійного перетворення (9). Це забезпечує отримання зображень об'єктів вимірювань із заданими параметрами $2\bar{a},L_a,\overline{S_{\text{ов}\Sigma}}$ (середній лінійний розмір, степінь анізотропії, загальна відносна площа цих об'єктів вимірювань на зображенні).

Якщо узагальнити цей підхід для кольорового зображення, що містить декілька об'єктів різного типу (наприклад, поверхня природного каменю з різними типами структурних елементів), то потрібно моделювати кожний тип об'єктів вимірювань окремо та об'єднувати їх за певними правилами. Для поверхні природного каменю певного типу можуть бути отримані параметри структурних елементів цієї поверхні на основі лабораторних досліджень та тестових вимірювань [15, 16, 17]. Ці параметри узагальнюються та зводяться до параметрів $2a, L_a, \overline{S_{ов\Sigma}}$, які використовуються для моделювання двовимірного кольорового зображення поверхні даного типу природного каменю. Якщо декілька структурних елементів на змодельованому зображенні поверхні природного каменю перекриваються, то визначення елементу, який буде видимим на зображенні, виконується випадковим чином. Це пояснюється тим, кристали мінералів в товщі природного каменю можуть розташовуватися та перекривати один одного випадковим чином.

Таким чином, моделювання двовимірного кольорового зображення $f_\Sigma(X)$ виконуються за допомогою такої методики:

1. Визначають параметри алгоритму моделювання $f_{порв}$, $\alpha_{x\,поч}$, $\alpha_{y\,поч}$ на основі формул (15) і (18) для першого типу об'єктів вимірювань.

2. Отримують початкове зображення $f_{поч}(X)$ з кореляційною функцією (10) на основі (4), виконують його нелінійне перетворення за формулою (9) та отримують двовимірний масив-маску $\overline{f_1(X)}$ для першого типу об'єктів вимірювань.

3. Повторюють п.п. 1 і 2 для кожного з типів об'єктів вимірювань, що повинні бути присутні на зображенні.

4. Об'єднують області, що належать всім типам об'єктів вимірювань, в один двовимірний масив-маску за правилом: $\overline{f_\Sigma(X)}=l$, якщо точка X належить l-му типу об'єктів вимірювань ($\overline{f_l(X)}=1$), $\overline{f_\Sigma(X)}=0$, якщо точка X належить фону ($\overline{f_l(X)}=0$ для всіх $l=1,...,N_{об}$). Також додатково враховуються можливі перекриття різних типів об'єктів вимірювань з урахуванням особливостей цих об'єктів для конкретної прикладної задачі.

5. Виконують моделювання нерівномірностей кольору поверхні для кожного типу об'єктів вимірювань та для фону за формулою (8), отримують $(N_{об}+1)$ двовимірне кольорове зображення $f_l(X)$ для всіх $l=0,...,N_{об}$.

6. Формують вихідне двовимірне кольорове зображення $f_\Sigma(X)$, що містить різні типи об'єктів вимірювань, за правилом

$$f_\Sigma(X)=f_l(X)\Big|_{l=\overline{f_\Sigma(X)}}.$$

При реалізації розробленої методики на цифровій ЕОМ всі двовимірні сигнали повинні бути представлені у вигляді двовимірних масивів дискретних відліків цих сигналів.

Наприклад, для зображення розміром $N \times M = 2048 \times 1536$ дискретних точок (д.т.) задано середній лінійний розмір об'єктів вимірювань $2a=50$ д.т., степінь анізотропії $L_a=2$, загальну відносну площу об'єктів вимірювань $\overline{S_{ов\Sigma}}=0,3$ або 30%.

Тоді середня площа об'єкту вимірювань $\overline{S_{ов}}=982$ (д.т.)^2 (формула (13)), кількість об'єктів вимірювань на одиницю площі зображення $\overline{N_{ов}}=3,04\cdot10^{-4}$ об'єктів/(д.т.)^2 (формула (16)), загальна кількість об'єктів вимірювань на зображенні $\overline{N_{ов\Sigma}}=\overline{N_{ов}}\cdot M\cdot N=959$ об'єктів.

Параметри алгоритму моделювання $f_{порв}=0,53$, $f_{пор}=0,53\cdot\sigma_f$, $\alpha_{x\,поч}=0,072$ (д.т.)$^{-1}$, $\alpha_{y\,поч}=0,114$ (д.т.)$^{-1}$.

3. Висновки

У статті розроблено метод моделювання двовимірної інформації про механічні величини. Цей метод дозволяє отримати ряд випадкових реалізацій двовимірних масивів вимірювальної інформації, наприклад, зображень об'єктів вимірювань. Отримані за цим методом реалізації відповідають вимірювальній інформації про реальні об'єкти вимірювань.

Особливістю розробленого методу моделювання є врахування кореляційних зв'язків між каналами кольорового зображення та визначення параметрів моделювання на основі даних про геометричні властивості об'єктів вимірювань, що наявні у прикладних задачах по вимірюванню механічних величин.

Вказаний метод може бути використані при розробці і дослідженні алгоритмічних методів обробки двовимірної інформації про механічні величини з метою підвищення їх точності і швидкодії.

Література

1. Быков, В. В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике / В. В. Быков. – М. : Советское радио, 1971. – 328 с.
2. Шалыгин, А. С. Прикладные методы статистического моделирования / А. С. Шалыгин, Ю. И. Палагин. – Л. : Машиностроение, 1986. – 320 с.
3. Прикладная теория случайных процессов и полей / К. К. Васильев, Я. П. Драган, В. А. Казаков и др. ; под ред. К. К. Васильева и В. А. Омельченко. – Ульяновск : УлГТУ, 1995. – 256 с.
4. Васильев, К. К. Математическое моделирование систем связи : учебное пособие / К. К. Васильев, М. Н. Служивый. – Ульяновск : УлГТУ, 2008. – 170 с.
5. Ермаков, С. М. Статистическое моделирование : учебное пособие / С. М. Ермаков, Г. А. Михайлов. – М. : Наука, 1982. – 296 с.
6. Полляк, Ю. Г. Статистическое машинное моделирование средств связи / Ю. Г. Полляк, В. А. Филимонов. – М. : Радио и связь, 1988. – 176 с.
7. Претт, У. Цифровая обработка изображений : пер. с англ. / У. Претт. – М. : Мир, 1982. – 792 с.
8. Форсайт, Д. Компьютерное зрение. Современный подход / Д. Форсайт, Ж. Понс. – М. : Вильямс, 2004. – 928 с.
9. Левшин, В. Л. Обработка информации в оптических системах пеленгации / В. Л. Левшин. – М. : Машиностроение, 1978. – 167 с.
10. Вострокнутов, Н. Г. Информационно-измерительная техника : учебное пособие / Н. Г. Вострокнутов, Н. Н. Евтихиев. – М. : Высшая школа, 1977. – 232 с.
11. Электрические измерения электрических и неэлектрических величин : учебник / М. А. Гаврилюк, Е. С. Полищук, С. С. Обозовский ; под ред. Е. С. Полищука. – К. : Вища школа, 1984. – 359 с.

12. Засоби і методи вимірювань неелектричних величин : підручник / Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець, Б. И. Стадник та ін. ; за ред. Є. С. Поліщука. – Львів : Бескид Біт, 2008. – 618 с.
13. Пат. 71412 А Україна, МПК7 G 01 B 7/00. Спосіб контролю зовнішнього вигляду поверхні виробів з лицювального каменю / Купкін Є. С., Подчашинський Ю. О. ; заявник і власник патенту Житомирський державний технологічний університет. – № 20031212802 ; заявл. 28.12.03 ; опубл. 15.11.04. Бюл. № 11. – 3 с.
14. Свешников, А. А. Прикладные методы теории случайных функций / А. А. Свешников. – 2-е изд. – М. : Наука, 1968. – 463 с.
15. Бакка, М. Т. Добыча природного камня. Ч.1. Геолого-промышленная и технологическая оценка месторождений природного камня : учебное пособие / М. Т. Бакка, А. Х. Кузьменко, Л. С. Сачков. – К. : УМК ВО, 1993. – 368 с.
16. Бакка, Н. Т. Облицовочный камень. Геолого-промышленная и технологическая оценка месторождений : справочник / Н. Т. Бакка, И. В. Ильченко. – М. : Недра, 1992. – 303 с.
17. Карасев, Ю. Г. Природный камень. Добыча блочного и стенового камня : учебное пособие / Ю. Г. Карасев, Н. Т. Бакка. – СПб. : Санкт-Петербургский горный институт, 1997. – 428 с.

УДК 625, 512, 338

НАДЁЖНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОТ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЯ

Н.Ю. Ламнауэр
Кандидат технических наук, старший преподаватель
Кафедра экономики промышленного предприятия и маркетинга
Украинская инженерно-педагогическая академия
ул. Университетская, 16, г. Харьков, Украина, 61003
Контактный тел.: (0572) 62-22-50, 067-305-94-39
E-mail: lamnaouernatali@mail.ru

Запропонована модель надійності технологічної системи з залежністю відмови від точності виготовлення виробу та знайдені її параметри

Ключові слова: якість, технологічна система, надійність, точність

Предложена модель надежности технологической системы с зависимостью отказа от точности изготовления изделия и найдены ее параметры

Ключевые слова: качество, технологическая система, надежность, точность

The model of reliability of the technological system is offered with dependence of refuse on exactness of making of good and its parameters are found

Keywords: quality, technological system, reliability, exactness

1. Введение

Технологии изготовления изделий, сборки и разборки соединений и узлов должны реализовываться высоконадежными технологическими системами (ТС), поскольку иногда отказ по одному из показателей качества может привести к браку или даже к авариям. Выбор структуры и алгоритма управления качеством таких ТС не может быть осуществлен без предварительного моделирования. Полное математическое описание достаточно сложных ТС, как известно, является очень сложной задачей, и поэтому математическую модель разрабатывают для ключевых процессов системы на детерминированных или стохастических принципах, в зависимости от природы и степени изученности процессов.

Надежность является важнейшим показателем ТС. Под надежностью понимается свойство ТС находиться в работоспособном состоянии при установленной наработке (времени, циклов работы, объема продукции) в соответствии с требованиями нормативно-технической документации и регламентированными условиями производства. Очевидно, что снижение надежности ТС по параметрам качества происходит под действием внутренних факторов, действующих в системе: старение, износ, температурные деформации,