

УДК 681.518

О.Ю. Соколов, А.М. Скаковська

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків

## ОПТИМІЗАЦІЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЗОБРАЖЕННЯ ЗА ОПЕРАТИВНІСТЮ ПРИ КЛАСИФІКАЦІЙНОМУ НАСТРОЮВАННІ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ

*Пропонується підхід до підвищення оперативності стабілізації зображення для класифікаційної автонастройки електронно-оптичної системи розпізнавання зображень. Підвищення оперативності досягається шляхом визначення системи прирощень управляючого параметру настройки – струму обмотки об'єктивної лінзи.*

*електронно-оптична система розпізнавання зображень, класифікаційна настройка, критерій*

### Вступ

Важливою задачею в електронно-оптичних дослідженнях є стабілізація зображення, що залежить від багатьох факторів, які впливають на функціонування електронно-оптичної системи розпізнавання зображень [1]. Зображення вважається стабілізованим, коли область зондування електронним пучком на зразку (беручи до уваги вплив області взаємодії, внесок якої в область зразка, що зондується, може бути основною) менше, ніж розмір елемента зображення. Це особливо актуально, наприклад, при автоматичній класифікації зразків, яка вимагає додержання незмінних і однакових умов для прийняття високодостовірних рішень.

В роботі [2] наведено особливості реалізації алгоритму класифікаційної автонастройки електронно-оптичної системи розпізнавання зображень (ЕОСРЗ). Процес настроювання розглядається як ітераційна процедура пошуку максимуму інформаційної міри різноманітності початкового (розфокусованого) і поточного класів зображення. Недоліком цього алгоритму є можливість появи тривалого коливального процесу при зміні значення параметра настройки в області його екстремального значення, що призводить до зменшення оперативності стабілізації зображення.

**Постановка задачі.** З метою усунення цього недоліку розглянемо шляхи підвищення оперативності стабілізації електронно-оптичного зображення при реалізації запропонованої в роботі [2] методики. Оперативність настройки залежить безпосередньо від вибору системи прирощень параметрів настройки.

Дамо наступну постановку задачі оптимізації класифікаційної настройки за оперативністю. Нехай  $X_H^0$  – клас, який характеризує найвищу функціональну ефективність  $E_{\max}$  системи, що настроюється. Дано вектор параметрів настройки  $g = \langle g_1, \dots, g_j, \dots, g_J \rangle$ , відповідні обмеження на них

$R_j(g_1, \dots, g_J) \leq 0$  і клас  $X_0$ , який характеризує початковий функціональний стан ЕОСРЗ, що настроюється. Треба з найбільшою оперативністю (швидкодією) перевести систему за  $k$  кроків настройки із класу  $X_0$  в клас  $X_H^0$  при умові досягнення максимального значення інформаційного критерію функціональної ефективності (КФЕ)

$$E_{\max} = \max_{\{k\}} E(k),$$

де  $E(k)$  – значення КФЕ системи на  $k$ -му кроці настройки.

### Теоретичні та методологічні положення підходу

В якості міри різноманітності класів  $X_0$  і  $X_k$  було використано одну із модифікацій інформаційного критерію Шеннона, описану в роботі [2].

На рис. 1 показано розміщення цих класів в області значень одного параметру  $g_j$  – струму обмотки управління об'єктивної лінзи, який впливає на функціональний стан ЕОСРЗ в процесі її настройки.

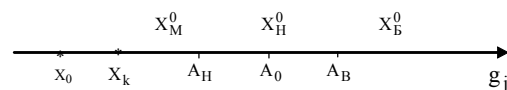


Рис. 1. Області параметру  $g_j$ , що настроюється

Наведено такі означення:  $A_0$  – номінальне значення параметру  $g_j$ ;  $A_H, A_B$  – нижній та верхній експлуатаційні (нормовані) допуски на параметр  $g_j$  відповідно;  $X_0$  – початковий (базовий) клас настройки, який відповідає розфокусованому функціональному стану ЕОСРЗ;  $X_k$  – поточний клас функціонального стану системи, який сформовано на  $k$ -му кроці настройки.

Для порівняння розглянемо три системи прирощень параметра системи, що настроюється –  $g_j$ . Перша система складається з однакових незмінних

прирошень параметра  $g_j$ . Друга система складається із природень, які на кожному кроці  $k$  настройки дорівнюють половинному поділу відрізка від точки  $A_0$  до поточної точки  $X_k$  (рис. 1). При  $k=1$  точка  $X_k$  співпадає з базовою точкою  $X_0$ . Третя система складається з природень, які дорівнюють  $r$ -числам Фібоначчі. Розглянемо докладніше формування третьої системи природень, оскільки формування перших двох систем не потребує пояснень.

Означимо одиничну градацію шкали виміру параметра  $g_j$  через  $\varphi_p(0)=1$ , а найбільше число градацій через  $\varphi_p(n-1)=n-1$ . Тоді має місце наступна система природень значень параметра настройки:

$$\{\varphi_p(n-1), \varphi_p(n-2), \dots, \varphi_p(p+1), \varphi_p(p), \dots, \varphi_p(0)\}.$$

При цьому останні  $p+1$  природень з боку найменшого дорівнюють одній градації:

$$\varphi_p(0) = \varphi_p(1) = \dots = \varphi_p(p) = 1.$$

Величина кожного наступного природення  $\varphi_p(k)$ , де  $k \in (p+1, p+2, \dots, n-1)$ , обчислюється за рекурентною формулою

$$\varphi_p(k) = \begin{cases} 0 & \text{при } k < 0; \\ 1 & \text{при } k = 0; \\ \varphi_p(k-1) + \varphi_p(k-p-1) & \text{при } k > 0. \end{cases} \quad (1)$$

Всі числа, які породжуються формулою (1) і відповідають заданому  $p$  називаються  $r$ -числами Фібоначчі. В табл. 1 наведено  $r$ -числа Фібоначчі при різних значеннях  $p$ .

Таблиця 1

$R$ -числа Фібоначчі при різних значеннях  $p$

$p \setminus k$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024
1	1	1	2	3	5	8	13	21	34	55	89
2	1	1	1	2	3	4	6	9	13	19	28
3	1	1	1	1	2	3	4	5	7	10	15
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$\infty$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

З таблиці видно, що  $r$ -числа Фібоначчі при  $p=0$  співпадають з класичними двоїчними числами. При  $p=\infty$  ряд  $r$ -чисел Фібоначчі складається з  $p$  одиниць.

Розглянемо вибір  $r$ -чисел Фібоначчі в якості системи природень значень параметра  $g_j$ . З цієї метою визначимо цілочислене значення параметра  $p$ :

$$p = \text{round}\left(\frac{t_{\Pi}}{\Delta t}\right), \quad (2)$$

де  $t_{\Pi}$  – час перехідного процесу в ЕОСРЗ;  $\Delta t$  – час одного кроку настройки. Далі для обчисленого за формулою (1) значення  $p$  формується за допомогою табл. 1 система природень значень параметру настройки  $g_j$ . При цьому необхідною умовою є перекриття сумою природень динамічного діапазону значень параметру  $g_j$ :

$$\sum_{k=0}^{n-1} \varphi_p(k) \geq L,$$

де  $L = \gamma\chi$  – динамічний діапазон параметра  $g_j$ ;  $\gamma$  – число градацій динамічного діапазону;  $\chi$  – ціна градацій.

Динамічний діапазон значень параметра настройки визначається перед процесом настройки

шляхом обчислення різниці між номінальним значенням  $A_0$  і значенням параметра, яке відповідає початковому (базовому) класу  $X_0$ , тобто на рис. 1 дорівнює відрізка  $A_0X_0$ .

### Реалізація алгоритму класифікаційного настроювання

Означимо три класи функціонального стану ЕОСРЗ:  $X_H^0$ , який відповідає прийнятій фокусності, тобто оцінці “НОРМА”;  $X_M^0$ , який відповідає значенню параметру  $g_j$  “МЕНШЕ НОРМИ”;  $X_B^0$ , який відповідає значенню параметру  $g_j$  “БІЛЬШЕ НОРМИ” (рис. 1).

Зрозуміло, що класи  $X_M^0$  і  $X_B^0$  містять не стабілізовані зображення різного ступеню. Умовою запуску алгоритму є вихід системи зі стану, що відповідає класу  $X_H^0$ . За базовий клас  $X_0$  приймаємо стан системи розпізнавання на момент запуску алгоритму класифікаційної настройки.

Розглянемо алгоритм стабілізації електронно-оптичного зображення в рамках методу функціонально-статистичних випробувань [2]:

1. Зчитується масив значень яскравості зображення базового класу  $X_0$ .

2. Здійснюється вибір початкових допусків  $A_H$  і  $A_B$  за правилом:  $A_H = A_0 - \Delta$  і  $A_B = A_0 + \Delta$ . Оскільки двобічне поле контрольних допусків вибрано симетричним, то початкове значення  $\Delta$  дорівнює чверті шкали яскравості, тобто 64.

3. Формується бінарний масив  $\{x_{0,n}^{(j)}\}$  за правилом:

$$x_{0,n}^{(j)} = \begin{cases} 1, & \text{if } A_H \leq d_n^{(j)} \leq A_B; \\ 0, & \text{if else,} \end{cases}$$

де  $d_n^{(j)}$ , ( $n = \overline{1, n^*}; j = \overline{1, J_{\max}}$ ) – випадкові реалізації зображення.

4. Формування бінарного еталонного вектору базового класу  $X_0$  здійснюється шляхом статистичного усереднення масиву  $\{x_{0,n}^{(j)}\}$  за формулою:

$$x_0^{(j)} = \begin{cases} 1, & \text{if } \sum_{n=1}^{n^*} x_{0,n}^{(j)} \geq n^*/2; \\ 0, & \text{if else.} \end{cases}$$

5. Після визначення напрямку зміни струму  $g_j$  шляхом встановлення приналежності класу  $X_0$  до одного із класів  $X_M^0$  або  $X_B^0$  обирається стратегія зміни  $g_j$  на кожному кроці класифікаційної настройки за правилом:

$$g_j(k) = g_j(k-1) + \begin{cases} \varphi_p(k), & \text{if } E[g_j(k-1)] < E[g_j(k)]; \\ 0, & \text{if } E[g_j(k-1)] \geq E[g_j(k)], \end{cases}$$

де  $\varphi_p(k)$  – прирощення струму фокусуєної лінзи, які дорівнюють  $p$ -числам Фібоначчі, обчислені за формулою (1).

Поточне зображення  $X_s$  формується аналогічно до  $X_0$  при незмінних контрольних допусках.

Процес настройки закінчується при досягненні максимуму КФЕ  $E^* = \max_{\{k\}} E_k$ , де  $E_k$  – значення критерію на  $k$ -му кроці настройки.

Реалізація розглянутого алгоритму здійснювалася для стабілізації зображення, отриманого на електронному мікроскопі РЕМ-103-1 виробництва АТ СЕЛМІ (м. Суми, Україна), для якого сталий струм обмотки об'єктивної лінзи змінюється в діапазоні 0,3 – 2,0 А. При цьому значення струму  $g_j$ , яке відповідає класу  $X_H^0$ , знаходиться в інтервалі 1,08 – 1,32 А і залежить від багатьох внутрішніх і зовнішніх випадкових факторів функціонування РЕМ. В якості системи прирощень значень параметра  $g_j$  було застосовано  $p$ -числа Фібоначчі (табл. 1).

Експериментально доведено, що тривалість стабілізації зображення для РЕМ-103-1 не перевищувала 5 с замість 14 с при сталому кроці настроювання. На рис. 2 показано залежність кількості ітерацій від часу настроювання системи розпізнавання зображень: 1 – оператором; 2 – системою розпізнавання при збільшенні в процесі навчання параметру настроювання  $g_j$  зі сталим кроком  $k = 1$ ; 3 – системою розпізнавання при збільшенні в процесі навчання параметру настроювання  $g_j$  за законом  $p$ -чисел Фібоначчі.

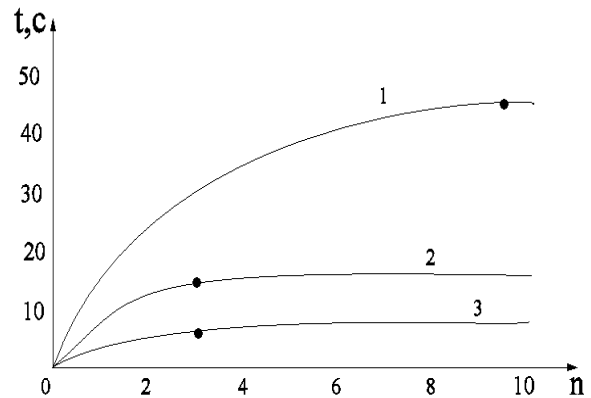


Рис. 2. Залежність кількості ітерацій від часу настроювання системи розпізнавання

## Висновки

Набув подальшого розвитку метод автоматичної класифікації для самонастроювання, що полягає в побудові метричного простору по класам матриць яскравостей досліджуваного об'єкту, і дозволяє оцінити міру різноманітності між зображеннями досліджуваного зразку. Отримана метрика застосовується для формування керуючих впливів на функціональну ефективність ЕОСРЗ.

## Список літератури

1. Соколов А.Ю., Скаковская А.Н. Интеллектуальные методы управления растровым электронным микроскопом на основе функционально-статистического подхода // Тези доповіді на Міжнародну конференцію з автоматичного керування «Автоматика-2007». – Севастополь. – 2007. – С. 85-86.
2. Кузьмін І.В., Скаковська А.М. Класифікаційне настроювання електронного мікроскопа за методом функціонально-статистичних випробувань // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – Вінниця: ВДТУ. – 2001. – № 1. – С. 92-98.

Надійшла до редколегії 4.12.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.А. Борисенко, Сумський державний університет, Суми.