



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **103691** (13) **C2**  
(51) МПК  
*H01J 37/21* (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**

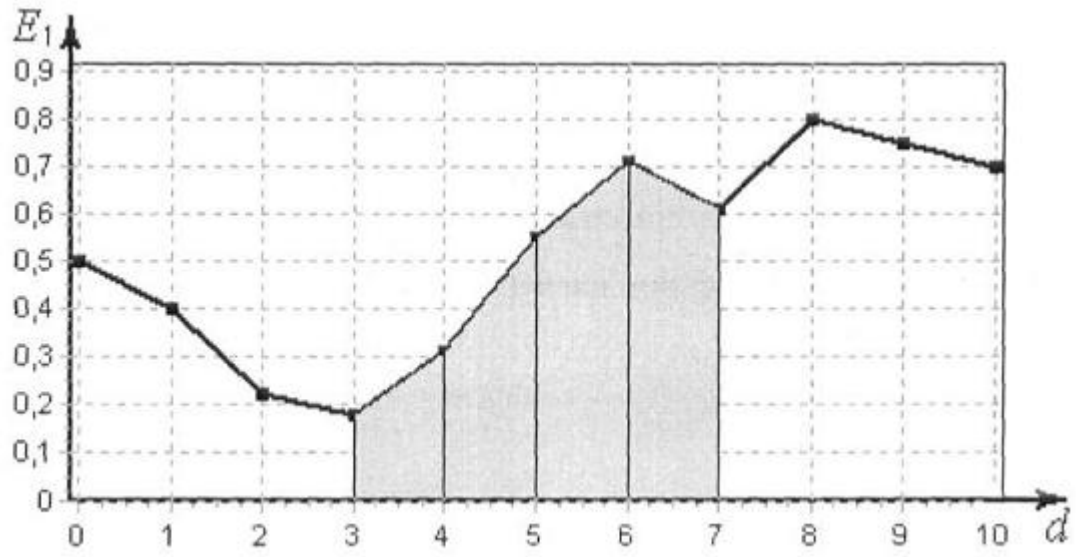
<p>(21) Номер заявки: <b>а 2012 01508</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>13.02.2012</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: <b>11.11.2013</b></p> <p>(41) Публікація відомостей про заяву: <b>27.08.2013, Бюл.№ 16</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>11.11.2013, Бюл.№ 21</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Довбиш Анатолій Степанович (UA), Шелехов Ігор Володимирович (UA), Барило Катерина Василівна (UA), Востоцький Віталій Олексійович (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,</b> вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 64570 A; 16.02.2004 SU 942189 A1; 07.07.1982 JPH 03289036 A; 19.12.1991 JPH 01255142 A; 12.10.1989 JPH 07318784 A; 08.12.1995 US 4183642 A; 15.01.1980</p>
--	--

**(54) СПОСІБ КЛАСИФІКАЦІЙНОГО НАСТРОЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО МІКРОСКОПА ЗА ЗОБРАЖЕННЯМ ЗРАЗКА, ЩО ДОСЛІДЖУЄТЬСЯ**

**(57) Реферат:**

Спосіб класифікаційного настроювання електронного мікроскопа за зображенням зразка, що досліджується, належить до електронної мікроскопії для самонастроювання електронного мікроскопа за зображенням досліджуваного об'єкта в таких областях науки, як біологія, геологія, фізика твердого тіла, матеріалознавство. Спосіб полягає в тому, що попередньо визначають для сфокусованого зображення нормоване поле допусків на параметр настроювання - струм управляючої обмотки фокусуючої лінзи, де нижній нормований допуск визначається шляхом зменшення номінального значення параметра настроювання, яке визначає сфокусоване зображення, на відносно малу величину, будують для сфокусованого зображення в радіальному базисі оптимальний в інформаційному розумінні контейнер, що розділяє сфокусоване та розфокусоване зображення, відображають радіус контейнера на шкалі виміру струму і приймають його за нижній нормований допуск. Аналогічно збільшують значення номінального струму фокусуючої лінзи, формують матрицю яскравості для поточного зображення і будують для нього оптимальний в інформаційному розумінні контейнер, який розділяє сфокусоване та розфокусоване зображення, відображають радіус контейнера на шкалі виміру струму і приймають його за верхній нормований допуск. При цьому на кожному кроці автофокусування порівнюють поточне значення параметра настроювання з нормованим полем допусків до тих пір, поки поточне значення параметра настроювання не попаде в нормоване поле допусків, що відповідає закінченню автонастроювання мікроскопа. Технічним результатом є підвищення швидкодії автофокусування електронного мікроскопа за рахунок зменшення тривалості коливального процесу екстремального настроювання.

UA 103691 C2



Фиг. 2

Винахід належить до області електронної мікроскопії для самонастроювання електронного мікроскопа за зображенням досліджуваного об'єкта і може бути використаний в таких галузях науки, як біологія, геологія, фізика твердого тіла, матеріалознавство.

Відомий спосіб автоматичного фокусування електронного мікроскопа за зображенням досліджуваного об'єкта, в якому фокусування здійснюється шляхом пошуку екстремуму автокореляційної функції відеосигналу (див. ав. св. СРСР № 942189, М. кл. Н01J 7/21, 1982). Недоліками аналога є вузький діапазон розгортки, в якому функціонують ці пристрої, та відносно висока стала частота (порядку десятків кілогерц) квантування значень для обчислення автокореляційної функції.

Найбільш близьким по технічній суті до способу, що пропонується, є спосіб автоматичного фокусування електронного мікроскопа, який включає формування матриці яскравості зображення, що фокусується, послідовне скануванням потоком електронів його рецепторного поля, порівняння значень яскравості з відповідними контрольними допусками із наступним перетворенням матриці яскравості розфокусованого (базового) зображення у бінарну матрицю, цілеспрямоване змінювання значення струму фокусуєної лінзи на задану величину і для поточного зображення аналогічне формування бінарної матриці яскравості, обчислювання міри різноманітності між базовим і поточним зображеннями по статистичному інформаційному критерію і на кожному кроці зміни струму фокусуєної лінзи здійснювання ітераційного пошуку максимуму критерію доти, поки не буде знайдене його максимальне значення, що відповідає закінченню процесу автофокусування мікроскопа (див. патент України на винахід № 64570А, М. кл. Н01J 37/21, 2004).

Недоліком цього винаходу є можливість появи коливального процесу при зміні значення параметра настроювання в області його екстремального значення, що призводить до зменшення оперативності процесу автофокусування мікроскопа, а також необхідність для обчислення автокореляційної функції здійснювати високочастотне квантування сигналу, що викликає запізнення зміни струму обмотки фокусуєної лінзи через її інерційність.

В основу винаходу поставлена задача створити такий спосіб класифікаційного настроювання електронного мікроскопа, в якому за рахунок підвищення швидкодії та якості автофокусування забезпечувалась необхідна фокусність зображення шляхом зменшення тривалості коливального процесу екстремального настроювання.

Поставлена задача вирішується тим, що в запропонованому способі класифікаційного настроювання електронного мікроскопа, де формують матрицю яскравості зображення фокусуєного об'єкта послідовним скануванням потоком електронів його рецепторного поля з наступним оцінюванням ступеня фокусування електронного зображення об'єкта, відповідно до винаходу, попередньо визначають для сфокусованого зображення нормоване поле допусків на параметр настроювання - струм управляючої обмотки фокусуєної лінзи, де нижній нормований допуск визначається шляхом зменшення номінального значення параметра настроювання, яке визначає сфокусоване зображення, на відносно малу величину, будують для сфокусованого зображення в радіальному базисі оптимальний в інформаційному розумінні контейнер, що розділяє сфокусоване та розфокусоване зображення, відображають радіус контейнера на шкалі виміру струму і приймають його за нижній нормований допуск, потім аналогічно збільшують значення номінального струму фокусуєної лінзи, формують матрицю яскравості для поточного зображення і будують для нього оптимальний в інформаційному розумінні контейнер, який розділяє сфокусоване і розфокусоване зображення, відображають радіус контейнера на шкалі виміру струму і приймають його за верхній нормований допуск, при цьому на кожному кроці автофокусування порівнюють поточне значення параметра настроювання з нормованим полем допусків до тих пір, поки поточне значення параметра настроювання не попаде в нормоване поле допусків, що і відповідає закінченню автонастроювання мікроскопа.

Використання способу, що заявляється, у сукупності з усіма істотними ознаками, включаючи відмінні, дозволяє шляхом цілеспрямованої зміни струму фокусуєної лінзи в процесі пошуку максимуму інформаційного критерію різноманітності між початковим розфокусованим і поточним зображеннями досягти необхідної фокусності зображення, зменшуючи тривалість коливального процесу екстремального настроювання.

Спосіб, що пропонується, реалізовано при автофокуванні серійного мікроскопа РЕМ-103 виробництва ВАТ "Selmi" (м. Суми, Україна). Мікроскоп містить відеопристрій, що відображає телевізійним способом досліджуваний зразок на екрані керуючого комп'ютера. Функціональний стан мікроскопа характеризується трьохальтернативною системою оцінок параметра настроювання  $I_{\phi}$  - струму фокусуєної лінзи: "МЕНШЕ НОРМИ" - клас  $X_M^0$ , "НОРМА" - клас  $X_H^0$  і "БІЛЬШЕ НОРМИ" - клас  $X_B^0$ . На фіг. 1 наведено розташування цих класів в області значень

параметра  $I_\phi$ . Тут  $A_0, A_H, A_B$  - номінальне значення параметра, нижній і верхній нормовані (експлуатаційні) допуски на параметр настроювання відповідно.

Спосіб здійснюють таким чином. Нормовані допуски  $A_H$  і  $A_B$ , задають область  $X_H^0$ . Оскільки вони є індивідуальними характеристиками кожного мікроскопа, то після кожного виходу мікроскопа в робочий режим здійснюють їх визначення з метою забезпечення однакових умов формування вхідних даних. Для визначення допусків  $A_H$  і  $A_B$  застосовуємо алгоритм класифікаційного аналізу за інформаційно-екстремальним методом навчання системи автофокусування, який дозволяє побудувати оптимальний контейнер між двома сусідніми класами. За основний клас, який забезпечується поточним значенням струму  $I_\phi$  і характеризує функціональний стан мікроскопа "НОРМА", приймаємо клас  $X_1^0$ , що належить області  $X_H^0$  (фіг. 1). За "сусіда" зліва приймаємо клас  $X_2^0$ , що належить області  $X_M^0$ , і за "сусіда" справа - клас  $X_3^0$ , який належить області  $X_B^0$ . Оскільки на початку функціонування мікроскопа значення  $A_0$  і допуски  $A_H$  і  $A_B$  невідомі, то послідовне формування класів  $X_2^0$  і  $X_3^0$  здійснюють шляхом допускової оцінки зміни однієї з об'єктивних інтегральних характеристик зображення, наприклад максимальної контрастності зображення, яку визначають за формулою:

$$\Delta\eta = \max_{\{i,j\}} \eta - \min_{\{i,j\}} \eta, \quad (1)$$

де  $\max_{\{i,j\}} \eta$ ,  $\min_{\{i,j\}} \eta$  - максимальна та мінімальна яскравості рецепторного поля відповідно.

За зображення класу  $X_2^0$  - вибирають зображення, для якого середня контрастність при значеннях струму  $I_\phi < A_0$  не більше допустимої  $\Delta\eta_{\text{доп}}$ , яка визначається як гранична середня контрастність зображення  $X_1^0$ , і за зображення класу  $X_3^0$  - зображення, для якого відповідно  $\Delta\eta_{\text{доп}} \leq \Delta\eta_{\text{доп}}$  при  $I_\phi > A_0$ . Для формування класу  $X_2^0$  зменшують струм  $I_\phi$  з кроком  $\Delta I_\phi$ , обчислюють поточну максимальну контрастність  $i$ , якщо виконується умова  $\eta_{\text{доп}} \leq 0,95\eta_1$ , де  $\eta_1$  - середня яскравість зображення класу  $X_1^0$ , то поточне зображення визначають як клас  $X_2^0$ . Аналогічно формують зображення класу  $X_3^0$  за умови збільшення струму  $I_\phi$ . Визначення допуску  $A_H$  здійснюють шляхом побудови контейнера між класами  $X_1^0$  і  $X_2^0$ , а допуску  $A_B$  - шляхом побудови контейнера між класами  $X_1^0$  і  $X_3^0$ . Основні етапи побудови контейнерів, наприклад, між класами  $X_1^0$  і  $X_2^0$  наступні:

1. Формують масив реалізацій зображення класу  $X_1^0 \{g_{1,i}^{(n)}\}$ ,  $i = \overline{1, N}$ ,  $j = \overline{1, n_{\text{min}}}$ , де  $N$ ,  $n_{\text{min}}$  - кількість ознак у рядку рецепторного поля і реалізацій образу відповідно.
2. Визначають еталонну реалізацію  $g_1 \in X_1^0$  шляхом усереднення реалізацій  $\{g_{1,i}^{(n)}\}$ .
3. Здійснюють вибір системи контрольних допусків  $\{\delta_{k,i}\}$  на значення еталонної реалізації  $g_1$ . При цьому  $|\delta_{k,i}| \leq |\delta_{n,i}|$ , де  $\delta_{n,i}$  - нормоване поле допусків для  $i$ -го рецептора.
4. Формують навчальну матрицю - бінарний масив  $\{BM1[j, i]\}$ ,  $j, i = \overline{1, 512}$ , шляхом порівняння значень кожної реалізації масиву  $\{g_{1,i}^{(j)}\}$  з відповідними контрольними допусками  $\{\delta_{k,i}\}$ : if  $g_{1,i}^{(j)} \in \delta_{k,i}$  then  $BM1[j, i] := 1$  else  $BM1[j, i] := 0$ .
5. Формують за зображенням класу  $X_1^0$  двійковий еталонний (усереднений) вектор-реалізацію  $x$ , шляхом статистичного усереднення відповідних стовпчиків матриці  $\{BM1[j, i]\}$ .
6. Формують масив  $\{BM2[j, i]\}$  - навчальну матрицю для класу  $X_2^0$  - яке здійснюється аналогічно пунктам 1, 2, 4 для класу  $X_1^0$ .
7. Формують за зображенням класу  $X_2^0$  двійковий еталонний вектор  $x_2$  шляхом усереднення відповідних стовпців матриці  $\{BM2[j, i]\}$ .

8. Відновлюють оптимальний контейнер для класу  $X_1^o$  у вигляді гіперсфери з центром у вершині вектора  $x_1$  шляхом пошуку на кожному кроці навчання максимуму інформаційного критерію функціональної ефективності, який, наприклад, для нормованої ентропійної міри (за Шенноном) має таку модифікацію

$$E = 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{\alpha^{(k)}}{\alpha^{(k)} + D_2^{(k)}} \log_2 \frac{\alpha^{(k)}}{\alpha^{(k)} + D_2^{(k)}} + \frac{\beta^{(k)}}{D_1^{(k)} + \beta^{(k)}} \log_2 \frac{\beta^{(k)}}{D_1^{(k)} + \beta^{(k)}} + \frac{D_1^{(k)}}{D_1^{(k)} + \beta^{(k)}} \log_2 \frac{D_1^{(k)}}{D_1^{(k)} + \beta^{(k)}} + \frac{D_2^{(k)}}{\alpha^{(k)} + D_2^{(k)}} \log_2 \frac{D_2^{(k)}}{\alpha^{(k)} + D_2^{(k)}} \right), \quad (2)$$

де  $D_1^{(k)}$ ,  $D_2^{(k)}$ ,  $\alpha^{(k)}$ ,  $\beta^{(k)}$  - точнісні характеристики процесу навчання: перша і друга достовірності, помилки першого та другого роду відповідно,  $k$  - крок навчання.

Пошук оптимального радіуса  $d_1^*$  контейнера класу  $X_1^o$  здійснюють за алгоритмом:

- а)  $d:=0$ ;
- б)  $d:=d+1$ ;
- в) обчислюють за формулою (2) критерій  $E_1$ ;
- г) визначають робочу (допустиму) область функції критерію (2), в якій перша та друга достовірності дорівнюють  $D_1, D_2 > 0,5$ ;
- д) для максимального значення критерію (2) в робочій області визначення його функції знаходять екстремальне значення радіуса  $d_1^*$  гіперсферичного контейнера;

9. Обчислюють нижній нормований допуск  $A_H$  за формулою:

$$A_H = I_{\Phi_1} - d_{1,2}^* \cdot \chi, \quad (3)$$

де  $I_{\Phi_1}$  - струм фокусуючої лінзи, який визначає яскравість зображення класу  $X_1^o$ ;  $d_{1,2}^*$  - оптимальний радіус, визначений при побудові контейнера класу  $X_1^o$  відносно класу  $X_2^o$ ;

$\chi$  - ціна градації, яку визначають за формулою:

$$\chi = \frac{\Delta I_{1,2}}{d(x_1 \oplus x_2)}. \quad (4)$$

У виразі (4)  $\Delta I_{1,2} = I_{\Phi_1} - I_{\Phi_2}$  - різниця струмів фокусуючої лінзи, які визначають зображення класів  $X_1^o$  і  $X_2^o$  відповідно;  $d(x_1 \oplus x_2)$  - кодова відстань між центрами класів  $X_1^o$  і  $X_2^o$ .

Аналогічно здійснюють визначення верхнього нормованого допуску  $A_B$  за формулою:

$$A_B = I_{\Phi_1} - d_{1,3}^* \cdot \chi, \quad (5)$$

де  $d_{1,3}^*$  - оптимальний радіус, визначений при побудові контейнера класу  $X_1^o$  відносно класу  $X_3^o$ .

На фіг. 2 показано графік залежності інформаційного критерію (2) від радіуса контейнера класу  $X_1^o$ . Аналіз цього графіку показує, що оптимальний радіус дорівнює  $d_{1,2}^* = 6$  (кодових одиниць). При цьому міжцентрова відстань класів  $X_1^o$  і  $X_2^o$  дорівнює  $d(x_1 \oplus x_2) = 10$  (кодових одиниць).

Оскільки для класу  $X_1^o$  значення струму  $I_{\Phi_1} = 1,280$  А, а для класу  $X_2^o - I_{\Phi_2} = 1,268$  А, тобто різниця дорівнює  $\Delta I_{1,2} = 12$  мА. Тоді згідно з виразом (4) ціна градації дорівнює  $\chi = 1,2$  мА. Таким чином, нижній допуск  $A_H$  інтервалу

"Норма", обчислений за формулою (3), дорівнює 1273 мА.

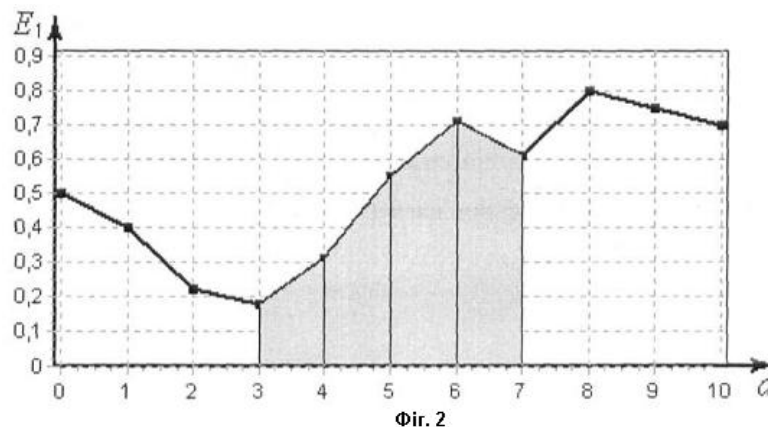
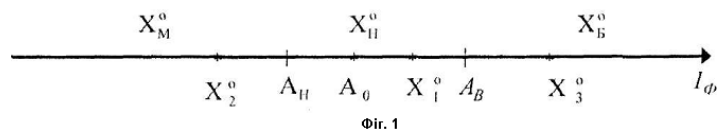
Процес автофокусування мікроскопа полягає у виконанні наступних дій: визначають напрямок зміни струму  $I_{\Phi}$  шляхом визначення належності початкового розфокусованого зображення одній з областей:  $X_M^o$  або  $X_B^o$  для цього зображення шляхом послідовного сканування його рецепторного поля формують матрицю яскравості; формують еталонну реалізацію зображення шляхом статистичного усереднення кривих яскравості, отриманих для кожного рядка рецепторного поля; перетворюють матрицю яскравості в бінарну шляхом порівняння значень яскравості з відповідними контрольними допусками. Цілеспрямовано

змінюють струм  $I_\phi$  на величину  $\Delta I_\phi$ . Для поточного зображення зразка аналогічно формують бінарну матрицю яскравості й еталонну реалізацію. У рамках інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології, що ґрунтується на машинному навчанні та розпізнаванні образів (див. Краснопоясовський А.С. Інформаційний синтез інтелектуальних систем керування. - Суми: Видавництво СумДУ, 2004.-261 с.) обчислюють інформаційний критерій (2), наприклад, між початковим і поточним зображеннями зразка. Потім порівнюють поточне значення інформаційного критерію з попереднім і, якщо воно має тенденцію до збільшення, змінюють струм  $I_\phi$  у вибраному напрямі. Настроювання продовжують до тих пір, поки не буде знайдено максимальне значення критерію (2) за умови, що відповідний цьому значенню струм  $I_\phi$  знаходиться в полі визначених за запропонованим способом нормованих допусків, тобто  $A_H < I_\phi < A_B$ .

Таким чином, запропонований спосіб класифікаційного настроювання електронного мікроскопа за зображенням зразка, що досліджується, дозволяє визначити в робочому режимі функціонування мікроскопа нормовані допуски на параметр настроювання, що підвищує швидкодню його автофокусування за рахунок зменшення тривалості коливального процесу екстремального настроювання.

### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб класифікаційного настроювання електронного мікроскопа за зображенням зразка, що досліджується, який включає формування матриці яскравості зображення, що фокусується, шляхом послідовного сканування потоком електронів його рецепторного поля і оцінки ступеня фокусування електронного зображення об'єкта, який **відрізняється** тим, що для формування матриці яскравості попередньо для сфокусованого зображення визначають нормоване поле допусків на параметр настроювання, де нижній нормований допуск визначають шляхом зменшення номінального значення параметра настроювання на величину, яка відображає сфокусоване зображення, для чого будують для сфокусованого зображення в радіальному базисі оптимальний в інформаційному розумінні контейнер, що розділяє сфокусоване та розфокусоване зображення, відображають радіус контейнера на шкалі виміру струму і приймають його за нижній нормований допуск, потім збільшують значення номінального струму фокусувальної лінзи, формують матрицю яскравості для поточного зображення і будують для нього оптимальний в інформаційному розумінні контейнер, який розділяє сфокусоване і розфокусоване зображення, відображають радіус контейнера на шкалі виміру струму і приймають його за верхній нормований допуск, при цьому на кожному кроці автофокусування порівнюють поточне значення параметра настроювання з нормованим полем допусків до тих пір, поки поточне значення параметра настроювання не попаде в нормоване поле допусків, що і відповідає закінченню автонастроювання електронного мікроскопа.



---

Комп'ютерна верстка І. Скворцова

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601