



УКРАЇНА

(19) UA (11) 42866 (13) U  
(51) МПК (2009)  
G01N 25/72

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

### (54) СПОСІБ ОЦІНКИ ПЕРЕМІЩЕНЬ ПОВЕРХНІ

1

2

(21) u200901531

(22) 23.02.2009

(24) 27.07.2009

(46) 27.07.2009, Бюл.№ 14, 2009 р.

(72) МАРУЩАК ПАВЛО ОРЕСТОВИЧ, КОНОВА-  
ЛЕНКО ІГОР ВОЛОДИМИРОВИЧ, БИЩАК РОМАН  
ТЕОДОРОВИЧ, ОКІПНИЙ ІГОР БОГДАНОВИЧ

(73) ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧ-  
НИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

(57) Спосіб оцінки переміщень поверхні, при якому  
одержують зображення аналізованої ділянки, усу-

вають компоненти зображення, менші за задану величину, проводять обчислення зміщення між опорним і поточним кадром за дискретним набором чисел, який **відрізняється** тим, що на досліджену поверхню попередньо наносять сітку маркерів, а зображення одержують цифровим методом у вигляді матриці яскравості, проводять адаптивне бінарне перетворення, кластеризацію та розраховують усереднене зміщення кожного маркера.

Спосіб оцінки переміщень поверхні відноситься до механіки та машинобудування, зокрема тріщин і може бути використаний для оцінки напружено-деформованого стану плоских поверхонь.

Найбільш близьким за технічною суттю до результату що досягається і способу, що заявляється, є спосіб оцінки переміщень поверхні, при якому одержують зображення аналізованої ділянки, усувають компоненти зображення менші за задану величину, проводять обчислення зміщення між опорним і поточним кадром за дискретним набором чисел [пат. RU 2328768, кл. G06F17/15, 10.07.2008, Бюл. 19, «Спосіб вычисления сдвига в датчике перемещения с высокой разрешающей способностью»].

Недоліком цього способу є усунення компонентів зображення лише за геометричною характеристикою, при чому враховується тільки одна межа діапазону, що може привести до похибок, розпізнавання хибних компонентів зображення та усунення ряду інформативних параметрів, особливо за умови їх неповного розпізнавання.

В основу корисної моделі покладено завдання підвищення точності визначення переміщення ділянок елементів зображення, шляхом виконання способу оцінки переміщень поверхні, при якому одержують зображення аналізованої ділянки, усувають компоненти зображення менші за задану величину, проводять обчислення зміщення між опорним і поточним кадром за дискретним набором чисел, причому на досліджену поверхню попередньо наносять сітку маркерів, а зображення

одержують цифровим методом у вигляді матриці яскравості, проводять фільтрування, адаптивне бінарне перетворення, кластеризацію та розраховують усереднене зміщення кожного маркера.

На Фіг.1 представлено початкові багатореградційні зображення поверхні одержане цифровим методом у вигляді матриці яскравості. На Фіг.2 подане зображення після адаптивного бінарного перетворення, кластеризації. На Фіг.3 показано векторне поле деформацій зображення, приведеного на Фіг.1. Векторне поле розраховують відносно осі, напрямком якої співпадає з напрямком нанесених на зразок ланцюжків маркерів і проходить через вістря тріщини. На Фіг.4 показано поле переміщень вздовж осі Y, побудоване на основі середніх значень кожної елементарної ділянки для зображень Фіг.1.

Спосіб реалізується таким чином

На попередньо відполіровану та знежирену поверхню гладкого зразка з шорсткістю не вище 0,63, напильють лак-фоторезист типу POSITIV 20 з наступним просушуванням зразка при температурі 70°C на протязі 20хв. Розміщують оригінал ділільної сітки, виготовлений на прозорій плівці, на поверхню зразка, забезпечуючи його щільне прилягання до поверхні.

Зображення ділільної сітки на світлочутливому захисному покритті лаку-фоторезисту, нанесеному на поверхню зразка, отримують контактним способом під ртутно-кварцевою лампою, тривалість експозиції 120с, потім здійснюють проявлення ділільної сітки у ванні з слабким розчином

(19) UA (11) 42866 (13) U

NaOH з наступним промиванням зразка у дистильованій воді та просушуванням. Після висихання зразка його занурюють в натрій хлоридно фосфатну суміш яка містить, г/л:

ортофосфорної кислоти $H_3PO_4$	500
хлористого натрію NaCl	80

та проводять електрохімічне контурне травлення незахищених ділянок поверхні зразка при температурі електроліту 18-25°C та густині струму 2-4  $A/dm^2$ , час проходження струму 2-3хв. Глибина отриманих лунок 1 ділильної сітки становить 2-3мкм, крок не більше 0,1мм, діаметр лунок не більше 0,02мм.

Поверхню в околі втомної тріщини 2 фотографують цифровою фотокамерою, через об'єктив оптичного мікроскопа. Одержують кольорове зображення досліджуваної поверхні  $M = \{m_i\}$  отримують матрицю яскравості у градаціях сірого кольору  $G = \{g_j\}$ , кожен піксель якого відповідає величині інтенсивності певного пікселя початково-го зображення.

Для визначення положення плям визначають приналежність кожного пікселя плямі, або фону. Це завдання вирішують бінарним перетворенням. На бінарному зображенні білі пікселі належать фону, а чорні - шукані об'єктам.

З цією метою зображення розбивають на прямокутні ділянки розміром не менше  $b_R \times b_R$ , визначаючи для кожної з них мінімальне  $I_{GF \min}$  та максимальне  $I_{GF \max}$  значення інтенсивності.

В результаті бінарного перетворення утворюється матриця  $B = \{b_i\}$ .

Множину точок бінарного зображення об'єднують в окремі плями 3 агломеративною кластеризацією. Спочатку кожну точку розглядають як окремий кластер. Далі об'єднують всі кластери, відстань між якими менша, чи дорівнює граничній величині  $L_{gr}$ .

Важливим параметром кластеризації є допустимі мінімальний  $S_{\min}$  та максимальний  $S_{\max}$  розміри кластера. Приймаючи, що розміри нанесених на поверхню досліджуваного зразка плям близькі, кластери, розмір яких виходить за межі певного діапазону  $[S_{\min} \dots S_{\max}]$ , а також кластери дотичні до країв зображення відкидають. Визначають координати центра кожного кластера після завершення кластеризації, формуючи їх масив.

Кожен кластер є відмінним від фону елементом зображення. Масив  $S$  містить як шукані плями, так і деякі шумові елементи, які не вдалося видалити на попередніх етапах алгоритму.

Переміщення відповідних центрів кластерів знаходять порівнянням двох зображень (до і після деформування), на основі векторів переміщень 4.

Векторне поле розраховують відносно осі, напрямком якої співпадає з напрямком нанесених на зразок ланцюжків маркерів і проходить через вістря тріщини, обчислюючи поле переміщень 5 вздовж осі  $Y$ .

Приклад конкретного виконання способу

В таблиці наведено приклад параметрів режимів електрохімічного контурного травлення ділильної сітки 1 на поверхні сталюого зразка типу 25X1M1ФВ околі втомної тріщини 2.

Таблиця 1

Режими електрохімічного контурного травлення зразка з сталі 25X1M1Ф

1	Площа робочої ділянки зразка, $dm^2$	Режим травлення		
		Густина струму, $A/dm^2$	Час протікання струму, хв	Температура реалізації процесу, °C
25X1M1Ф	0,1*	1,54	2	70

Таким чином на робочій ділянці зразка ми отримуємо систему лунок із чітким контуром та сталим кроком не більшим 0,1мм, діаметр лунок не більше 0,02мм.

В таблиці 2 наведено приклад параметрів для аналізу переміщень сітки лунок 1 поверхні зразка

із сталі 25X1M1Ф, в результаті прикладання навантаження розтягу. Графічно результат аналізу пари бінаризованих зображень поверхні 3, одержують у вигляді векторів переміщень 4 та поля переміщень 5.

## Режими аналізу зображення поверхні

Матеріал	Сталь 25X1 МІФ
Збільшення мікроскопа	x70
Роздільна здатність фотоапарата	4 Мпікс
Крок нанесеної на зразок сітки, мм (піке)	0.1 (48)
Вид фільтру	Гаусовий фільтр
Середньоквадратичне відхилення гаусіана, піке	2
Розмір ядра, піке	11
Відносна границя, %	20
Розмір ділянки, піке	150
Гранична відстань між кластерами, піке	1,41
Мінімально допустимий розмір кластера, піке	60
Максимально допустимий розмір кластера, піке	500

Поверхню фотографують цифровою фотокамерою, об'єктив якої жорстко закріплено на окулярі оптичного мікроскопа. На основі вихідного кольорового зображення досліджуваного зразка  $M = \{m_i\}$  отримують матрицю яскравості у градаціях сірого кольору  $G = \{g_i\}$ , кожен піксель якого відповідає величині інтенсивності певного пікселя початкового зображення. Для перетворення використовують формулу, прийняту стандартом телебачення NTSC:

$$g_i = 0.30m_{Ri} + 0.59m_{Gi} + 0.11m_{Bi} \quad (1)$$

де  $m_{Ri}$ ,  $m_{Gi}$  та  $m_{Bi}$  - величина інтенсивності відповідно червоної, зеленої та синьої складової для  $i$ -го пікселя зображення  $M$ .

Для визначення положення плям щодо кожного пікселя слід прийняти рішення: він є елементом плями, або належить фону. Це завдання вирішують бінарним перетворенням. На бінарному зображенні білі пікселі відповідають фону, а чорні - шуканим об'єктам.

З цією метою зображення розбиваємо на прямокутні ділянки розміром не менше  $b_R \times b_R$ , для кожної з яких визначаємо мінімальне  $I_{GF \min}$  та максимальне  $I_{GF \max}$  значення інтенсивності.

Розмір ділянки має відповідати умові:

$$b_R \geq \sqrt{2} \cdot L_{Scep} \quad (2)$$

де  $L_{Scep}$  - середня відстань між центрами плям.

Після цього на основі знайдених значень розраховуємо границю перетворення:

$$L_B = \frac{L_A}{100} (I_{GF \max} - I_{GF \min}), \quad (3)$$

де  $L_A$  - відносна границя перетворення, %.

Результатом бінарного перетворення є матриця  $B = \{b_i\}$ , кожен елемент якої  $b_i$  дорівнює:

$$b_i = \begin{cases} 0, & \text{при } g_{Fi} < L_B \\ 1, & \text{при } g_{Fi} \geq L_B \end{cases} \quad (4)$$

На Фіг.2 подано бінарні зображення, які відповідають початковим зображенням Фіг.1 після програмної обробки за запропонованим алгоритмом.

Для об'єднання множини точок бінарного зображення в окремі плями проводять агломеративну кластеризацію. Спочатку кожен точку вважають окремим кластером. Далі об'єднують всі кластери, відстань між якими менша, чи дорівнює граничній величині  $L_{гр}$ :

$$l \leq L_{гр} \quad (5)$$

На практиці при опрацюванні отриманих зображень приймають, що кластери об'єднуються, якщо вони дотикаються.

Важливим параметром кластеризації є допустимий мінімальний  $S_{\min}$  та максимальний  $S_{\max}$  розмір кластера. Оскільки розміри нанесених на поверхню досліджуваного зразка плям приблизно однакові, то кластери, розмір яких виходить за межі допустимого діапазону  $[S_{\min} \dots S_{\max}]$ , відкидають; також видаляють кластери, які дотикаються до країв зображення.

Після завершення кластеризації визначають координати центра кожного кластера:

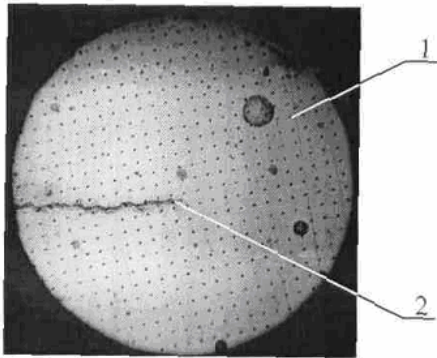
$$x_{ci} = \frac{1}{N} \sum_1^N x_i, \quad y_{ci} = \frac{1}{N} \sum_1^N y_i, \quad (6)$$

де  $N$  - кількість точок у кластері;  $x_i$ ,  $y_i$  - координати  $i$ -ої точки кластера. На основі множини центрів кластерів формують масив

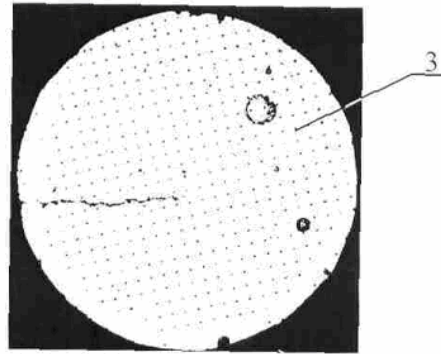
$$C = \{c_i\} = \{(x_{ci}, y_{ci})\}. \quad (7)$$

Кожен кластер є відмінним від фону елементом зображення. Масив  $C$  містить як шукані плями, так і деякі шумові елементи, які не вдалося видалити на попередніх етапах алгоритму.

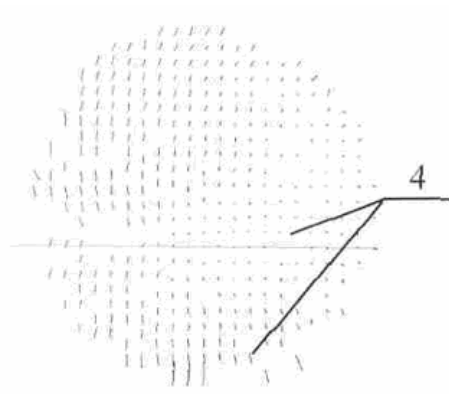
Таким чином, запропонований спосіб забезпечує підвищення точності визначення переміщення ділянок елементів зображення.



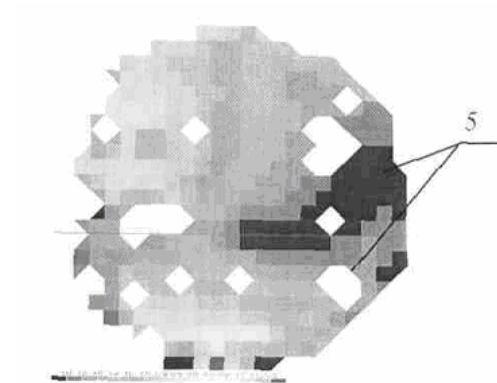
Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3



Фіг. 4