

**МОДЕЛЮВАННЯ РЕЛЬЄФУ ПОВЕРХНІ МАТЕРІАЛУ
ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ АНАЛІЗУ ЛОКАЛЬНИХ КОНТРАСТІВ
ЇЇ ЗОБРАЖЕННЯ**

І. М. Журавель

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України

E-mail: izhuravel@ukr.net

Запропоновано метод побудови морфометричних карт профілю поверхні зламу матеріалу на основі одного фрактографічного зображення. За параметр для побудови глибини профілю використано локальний контраст. Перевага методу – відсутність необхідності побудови серії зображень з різним рівнем фокусування.

Ключові слова: *обробка зображень, 3D-моделювання, локальний контраст, морфометрична карта.*

**MODELLING OF MATERIAL SURFACE RELIEF BY ANALYSIS
OF IMAGE LOCAL CONTRASTS**

I. M. Zhuravel

Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine

A method to analyze the problem of three-dimensional shape of objects observed through a microscope is proposed. The most common approach for reconstruction of three-dimensional scenes is based on using stereo-images. But these methods are not sufficiently reliable and sensitive to operating conditions. This served as an impulse for searching new approaches to three-dimensional imaging. The construction method of the morphometric maps of the profile surface of material fracture based on one fractographic image is proposed. For building the depth profile local contrast was used. The advantage of this method is the absence of the necessity to build a series of images with different level of focus. The proposed method makes it possible to reproduce a relief with any textured surface based on its image. Until now this method does not make it possible to calculate the geometric parameters with a certain precision. To overcome this shortcoming, it is necessary to establish the relationship between the parameters of the blur and depth profile.

Keywords: *image processing, 3D-modeling, local contrast, morphometric maps.*

Останнім часом під час досліджень фізико-механічних властивостей матеріалів застосовують системи комп'ютерного бачення. Важливою для їх створення є реконструкція тривимірних сцен [1], для якої здебільшого використовують різноракурсні зображення. Під час розв'язання таких задач необхідно знайти відповідні точки на різних зображеннях сцени. Для спрощення пошуку ректифікують різноракурсні зображення. Але такий підхід теж не завжди дає прийнятний результат, оскільки призводить до спотворень всього зображення та об'єктів на ньому. Це свідчить про додаткову актуальність методів побудови тривимірних моделей матеріалів.

Тут особливо зацікавлюють методи формування тривимірних об'єктів за серією зображень з різним фокусуванням. В основі усіх цих підходів – відома ідея [5] – про можливість визначати відстань до об'єктів залежно від того, на якій віддалі фокусування зображення матиме найбільшу різкість. Ключовим моментом є серія зображень однієї і тієї ж стаціонарної сцени, які відрізняються одне від одного рівнем фокусування. Враховуючи це, будуватимемо глибину профілю.

Основними недоліками такого підходу є необхідність формувати згадану вище серію вхідних зображень та складність у встановленні відповідності між глибиною профілю та рівнем фокусування. Окрім цього, вони візуалізують лише нерухомі об'єкти та непридатні для динамічних сцен.

Нижче запропоновано метод побудови морфометричних карт профілю поверхні зламу матеріалу за одним фрактографічним зображенням.

Розглянемо модель підходу. Метод комп'ютерної побудови тривимірних сцен базується на аналізі контрастності локальних ділянок зображення реконструйованої поверхні. За вхідне використовуватимемо зображення зламів сталі 12Х1МФ, отримане на оптичному мікроскопі, яке містить ділянки з різною контрастністю. Висококонтрастні ділянки можна інтерпретувати як локальні області, які попали у фокус об'єктива мікроскопа, а низькоконтрастні – як розфокусовані, тобто такі, що не знаходяться у фокальній площині об'єктива. Рівень розфокусування свідчить, на якій віддалі від фокуса об'єктива мікроскопа знаходиться локальна ділянка та як кількісно можна оцінити її контрастність. Віддаленість від фокуса надає інформацію про глибину профілю локальної ділянки.

Таким чином, основні кроки алгоритму такі:

1) на основі вхідного фрактографічного зображення L формуємо серію зображень L_1, L_2, \dots, L_k з різним рівнем розфокусування;

2) обчислюємо значення локальних контрастів $C(i, j)$ для кожного зображення з серії L_1, L_2, \dots, L_k ;

3) формуємо результуюче зображення L_{res} , в якому кожному пікселю (i, j) присвоїмо значення інтенсивності, яке відповідатиме номеру зображення зі серії L_1, L_2, \dots, L_k з найбільшою контрастністю в точці з тими ж координатами. Рівні інтенсивностей у тривимірно сформованому зображенні L_{res} подамо як глибину профілю.

Розглянемо тепер основні кроки алгоритму детальніше. Отже, на рис. 1 маємо деяке фрактографічне зображення сталі 12Х1МФ. Сформуємо на його основі набір зображень L_1, L_2, \dots, L_k з різним розфокусуванням.

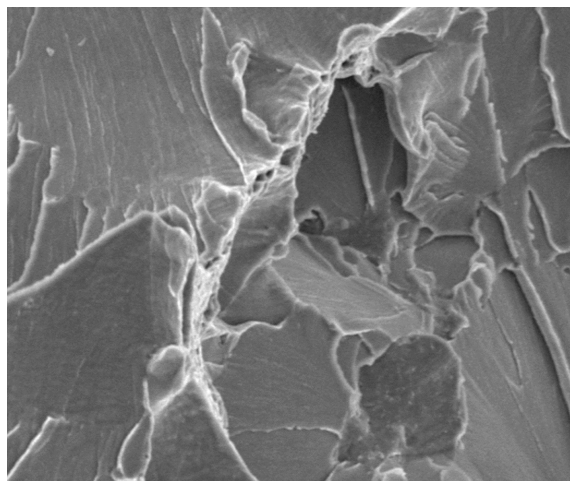


Рис. 1. Вхідне фрактографічне зображення сталі 12Х1МФ.

Для побудови набору зображень L_1, L_2, \dots, L_k використаємо вираз для обчислення усередненого значення інтенсивності $\overline{L(i, j)}$ з різним розміром квадратної локальної апертури $n \times n$:

$$\overline{L(i, j)} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n L(i, j). \quad (1)$$

Далі формуємо набір з пікселів з координатами (i, j) та їх локальних околів, які взяті із кожного з k зображень на попередньому кроці (рис. 2).

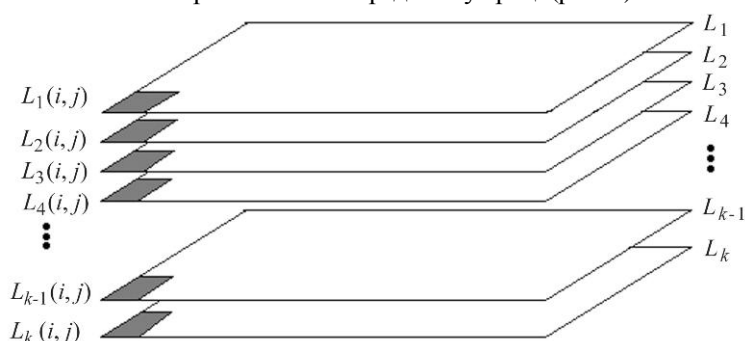


Рис. 2. Набір зображень L_1, L_2, \dots, L_k , сформованих згідно з виразом (1).

Наступний крок – вибір параметра, який оцінюватиме сфокусованість чи розфокусованість у кожній точці зображення. Надалі використаємо його для побудови профілю глибини. У праці [2] за такий параметр взято дисперсію. Для кожного пікселя усього набору зображень аналізують локальну дисперсію та визначають мінімальне і максимальне її значення. У результаті зображення заносять значення інтенсивності пікселя з мінімальною дисперсією. Номер зображення, з якого взято цей піксель, інтерпретують як найімовірнішу віддаль до відповідної точки об'єкта. У підході [3] за числовий параметр, який оцінює сфокусованість, вжили суму максимальних похідних уздовж прямих в зоні аналізу.

Для оцінки сфокусованості зображення використаємо локальні контрасти [4]. Для кожного з пікселів $L_1(i, j), L_2(i, j), \dots, L_k(i, j)$ та їх локальних околів обчислюємо локальні контрасти $C_1(i, j), C_2(i, j), \dots, C_k(i, j)$:

$$C_s(i, j) = \frac{|L_s(i, j) - \overline{L_s(i, j)}|}{L_s(i, j) + \overline{L_s(i, j)}}, \quad (2)$$

де $L_s(i, j)$ – інтенсивність пікселя з координатами (i, j) для зображення L_s , $s = 1, 2, \dots, k$; $\overline{L_s(i, j)}$ – середнє значення інтенсивності околу з центром в (i, j) ,

$$\overline{L_s(i, j)} = \frac{1}{n \times n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n L(i, j), \quad n \times n - \text{розміри локальної апертури.}$$

Надалі з масиву отриманих значень $C_1(i, j), C_2(i, j), \dots, C_k(i, j)$ вибираємо максимальне $C_s(i, j) = \max\{C_1(i, j), C_2(i, j), \dots, C_k(i, j)\}$, яке визначає глибину профілю s досліджуваної локальної ділянки та свідчить про те, що ця ділянка перебуває найближче до фокуса об'єктива мікроскопа. Діапазон глибини профілю знаходиться в межах від 1 до k . Для усунення шумів, які виникають під час побудови профілю глибини, використовуємо згладження. Розмір апертури згладження підбираємо емпірично. Це вносить суттєву методичну похибку у формування рельєфу, оскільки неправильно вибрана апертура призводить або до неповного усунення шумів, або до втрати детальності на поверхні. Результати комп'ютерного моделювання цього підходу подано на рис. 3.

Описаний метод дає можливість відтворити рельєф будь-якої текстурованої поверхні за її зображенням. Проте отримані результати є лише морфометричною картою профілю поверхні зламу матеріалу на основі одного фрактографічного зображення і не дають можливості обчислювати геометричні параметри.

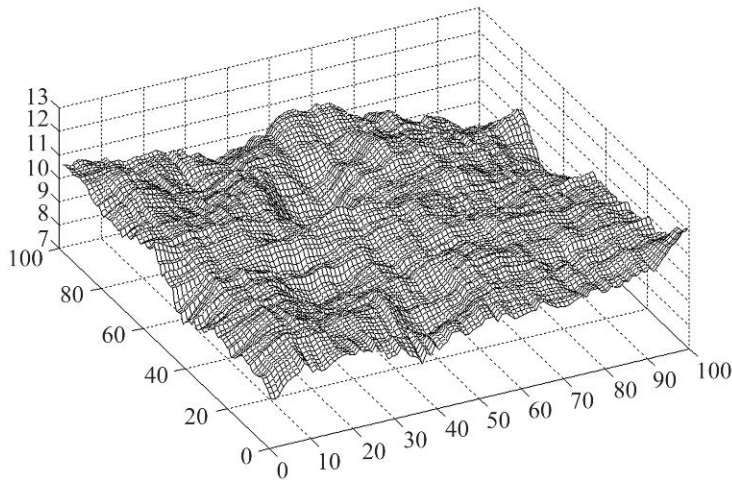


Рис. 3. Об'ємна модель рельєфу поверхні ділянки сталі 12Х1МФ.

Існують два способи використання об'ємної моделі рельєфу деякої поверхні для геометричних обчислень. Перший полягає у встановленні залежності між параметрами розмиття та глибиною профілю. Другий спосіб тривимірного подання рельєфу деякої поверхні полягає у тому, що серію зображень L_1, L_2, \dots, L_k формують не шляхом розмиття, використовуючи вираз (1), а оптично, застосовуючи різну фокусну віддаль. Таким чином, для точок, які перебувають у фокусі, буде відома фокусна віддаль, яку надалі інтерпретуватимуть як глибину профілю поверхні.

Запропоновано підхід до побудови об'ємної моделі рельєфу деякої поверхні матеріалу за одним зображенням. Його перевага у відсутності необхідності побудови серії зображень з різним рівнем фокусування. Виконано комп'ютерне моделювання методу з використанням фрактографічного зображення сталі 12Х1МФ. Також вказані напрямки досліджень, які дадуть можливість застосовувати об'ємну модель рельєфу для метричних вимірювань.

1. Вахитов А. Т., Гуревич Л. С., Павленко Д. В. Обзор алгоритмов стереозрения // Стохастическая оптимизация в информатике / Под ред. О. Н. Граничина. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2008. – Вып. 4. – 300 с.
2. Аверкин А. Н., Потапов А. С., Рожков А. С. Формирование и визуализация 3D-изображений микрообъектов по серии видеок кадров с изменяемой фокусировкой // Фотоника и оптоинформатика. – 2011. – № 6 (76). – С. 12–17.
3. Аверченков В. И., Чмыхов Д. В. Метод компьютерной реконструкции рельефа поверхности интерпретацией сфокусированности изображений // Вестник Брянск. гос. техн. ун-та. – 2008. – № 2 (18). – С. 111–116.
4. Воробель Р. А., Журавель І. М. Застосування контрасту з нелінійними симетричними властивостями для підвищення візуальної якості зображень // Вісник Держ. ун-ту "Львівська політехніка". – 1998. – № 324. – С. 120–125.
5. Pentland A. P. Depth of Scene from Depth of Field // Proc. Image Understanding Workshop. – 1982. – P. 253–259.

Одержано 12.05.2015