

УДК 528.854:528.71

Н.Ю. Калініна

ІДЕНТИФІКАЦІЯ МІКРОСТРУКТУРИ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНВАРІАНТНИХ ОЗНАК ЇХ RGB-ЗОБРАЖЕНЬ

Анотація. Запропоновано новий підхід до визначення інваріантних до геометричних та фотометричних перетворень інформаційних характеристик кольорових RGB-зображень у металографічних дослідженнях. Це дозволило підвищити точність автоматизованої ідентифікації цифрових кольорових зображень мікроструктури металів та сплавів.

Ключові слова: кольорове зображення, мікроструктура, металографія, інваріант, ідентифікація.

Постановка проблеми

Введення зображень мікроструктур у системі автоматизованого аналізу здійснюється з металографічного мікроскопа, який забезпечує вибір поля зору при різноманітних збільшеннях і умовах освітленості й формує зображення мікроструктури на площині спостереження. Можливі два методи вводу – прямий і з використанням проміжних носіїв. Прямий метод полягає в підключенні до мікроскопа цифрової фото- або відеокамери (аналогової або цифрової) через спеціальний порт мікроскопа або за допомогою адаптера через окуляр мікроскопа. Адаптер може бути оптико-механічний або механічний. Камера й мікроскоп підбираються по сумісності оптичних властивостей і утворюють систему вводу [1]. При іншому методі проводиться зйомка зображення з мікроскопа на фотоплівку або фотопластинку, а далі – його введення в комп'ютер за допомогою сканера. Недоліками методу є часові й грошові витрати на обробку носія, складність зіставлення розмірів на шліфі й введеному зображенні. В обох випадках зображення при зйомці і занесенні до комп'ютеру підпадають під вплив негативних факторів, що приводять до змазаності, появи малоконтрастних і зашумлених ділянок та інших викривлень – тобто зображення попадають під вплив геометричних і фотометричних викривлень. При вирішенні задач ідентифікації металографічних зображень, проводять порівняння отриманого зображення із

еталонним зображенням мікроструктури металу або сплаву. У автоматичному аналізі порівняння відбувається за допомогою дешифрувальних ознак, які для використання у металографії повинні бути інваріантними, принаймні до впливу таких факторів, як освітленість шліфу зразка, до поворотів, масштабування і афінних спотворень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

У роботі [1] була описана схема системи аналізу мікроструктур металів та сплавів. Оцифроване зображення мікроструктури являє собою матрицю пікселів, що містить залежно від типу колірної моделі відповідні компоненти, які визначають їхній колір і яскравість. Кожному пікселю цієї матриці відповідає певна ділянка на шліфі. Шліф розглядається як набір квадратних елементів (проекцій пікселів), що стикаються один з одним, з довжиною сторони 1, а піксель наділяється поняттям лінійних розмірів 1×1 . При статистичній класифікації обчислюється набір ознак зображень. Зображення, що належать до одного класу, мають ряд загальних властивостей (ознак), які відображають їхню подобу. Цей метод схожий з методом порівняння з еталоном, але оскільки зберігає тільки ознаки, то вимагає менше пам'яті. Оскільки ознаки, що характеризують клас у цілому, мають інваріантність, принцип зіставлення ознак допускає варіацію характеристик окремих об'єктів. Побудова алгоритму ідентифікації починається з вибору ознак і способів їх виміру для конкретного завдання. Кількість ознак, необхідна для успішного розв'язку задачі ідентифікації, залежить від поділяючих якостей обраних ознак. Найчастіше для задач ідентифікації кольорових зображень металоструктур використовуються гістограмні або моментні характеристики зображення. Вибір адекватної множини ознак, що враховує труднощі, пов'язані з виділенням і вибором ознак, що й забезпечує необхідну якість класифікації, становить одну з найбільш важких задач побудови алгоритмів розпізнавання.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Ці обставини ставлять задачу знаходження нових об'єднаних афінно- і фотометрично-інваріантних кольорових багатовидів подання зображень мікроструктур металів і сплавів з метою оптимізації

алгоритмів їх ідентифікації, що дозволить класифікувати зображення із заданою точністю за скінченою множиною обчислених інформаційних ознак.

Основна частина

При вирішенні багатьох задач кількісної металографії часто постає проблема розпізнавання і класифікації металевих структур у відповідності із визначеними стандартами. При цьому більшість наявних ГОСТів у металографії передбачає візуальне порівняння структури мікрооб’єктів з еталонними зображеннями. Кількісна оцінка структури мікрооб’єктів передбачає збирання великого статистичного матеріалу, оскільки правильність кількісного опису структури залежить від кількості виміряних об’єктів, і точні дані можна отримати тільки при застосуванні статистичного аналізу. Одним з найбільш ефективних підходів до розпізнавання видової належності зображень — введення так званого ознакового простору и подальше його розбиття на області, що відповідають різним типам структур. При вдалому виборі простору ознак задача розпізнавання може виявитися тривіальною і, навпаки, невдале обрання вихідного опису може призвести або к ускладненню подальшої обробки інформації, або взагалі до відсутності рішення задачі.

У роботах [2, 3] були розвинені математичні моделі форм цифрових зображень, де кольорове зображення математично описується вектором інваріантних моментів для геометричних і фотометричних перетворень таким чином: нехай $R(x,y)$, $G(x,y)$ і $B(x,y)$ означають RGB-значення пікселя в позиції (x,y) на зображенні. Узагальнені моменти кольору для інваріантної області Ω :

$$M_{pq}^{abc} = \sum_{i=1}^x \sum_{j=1}^y x^p y^q [R(x,y)]^a [G(x,y)]^b [B(x,y)]^c. \quad (1)$$

На основі узагальнених кольорових моментів зображень, поданого у форматі RGB знаходяться семіінваріантні характеристики зображення:

$$S_{nm} = \frac{1}{j^N} \frac{\partial^N}{\partial u_1^n \partial u_2^m} \ln F(\mathbf{u}) \Big|_{\mathbf{u} = 0}, \quad (2)$$

де $j = \sqrt{-1}$ — уявна одиниця; $F(\mathbf{u})$ — інтегральне перетворення Фур’є ФЯ зображення з вектором параметрів $\mathbf{u} = (u_1, u_2)$, $N = n + m$.

Інваріантні властивості системи інформаційних характеристик на основі семіінваріантів визначаються тим, що при $N \geq 2$ (N — порядок семіінваріанту) вони не залежать від паралельних перенесень зображення в силу свого означення. Інваріантність геометричної моделі зображень фіксованого об’єкта до позиційних умов їхньої фіксації включає, серед іншого, незалежність від метричних характеристик зображень. Тому за простір ІХ зображення прийнято безрозмірні комбінації X_{nm}^{abc} :

$$X_{nm}^{abc} = S_{nm}^{abc} \exp\left(-\frac{N \cdot S_{00}^{abc}}{2}\right). \quad (3)$$

В роботі [4] для кожного з трьох кольорових каналів окремо знайдено геометричні і фотометричні інваріанти на основі безрозмірних комбінацій X_{nm}^{abc} узагальнених кольорових семіінваріантів до першого порядку і другого ступеня включно, що дозволяє обмеження збільшення простору моделі. Знайдені в [4] моментні семіінваріанти доцільно перевірити на зображеннях мікроструктури металів і сплавів для застосування у металографії. Тестування було проведено на цифрових кольорових зображення мікроструктур, які були отримані за допомогою оптичного мікроскопу, який укомплектований системами для отримання зображень на просвіт і відображення, у світлому і темному полі зору, і підключеною до нього цифровою фотокамерою, яка забезпечує розподільну здатність цифрової фотографії не гірше, ніж розподільна здатність мікроскопу, із спеціальним додатковим окуляром для з’єднання із мікроскопом і мікрофотографування. Для дослідження була взята фотографія чавуну розміром 150 на 150 пікселів (рис.1). Можна бачити темно-сірі включення крабовидного (пластинчастого) графіту в перлітній матриці (кольори тонких плівок на окисленому шліфі забарвлюють перліт). У верхній частині видно ділянки потрійної фосфідної евтектики, яка закристалізувалася в останню чергу і розташована на стиках зерен колишнього аустеніту.

При введенні зазначеним методом зображень мікроструктур у систему автоматизованого аналізу всі можливі спотворення оригінального зображення можна розбити на такі підгрупи: поворот

зображення; перетворення подібності, тобто стиск або розтягнення відносно точки (гомотетія); фотометричні спотворення, тобто нерівномірна освітленість об’єктів зображення; афінні перетворення. Знаходження інваріантних ознак здійснено для штучно спотворених зображень, поданих на рис.2.

Відповідні результати тестування зведено в табл.1 і табл.2.



Рисунок 1 - Сірий чавун на перлітній металевій основі з фосфідною евтектикою

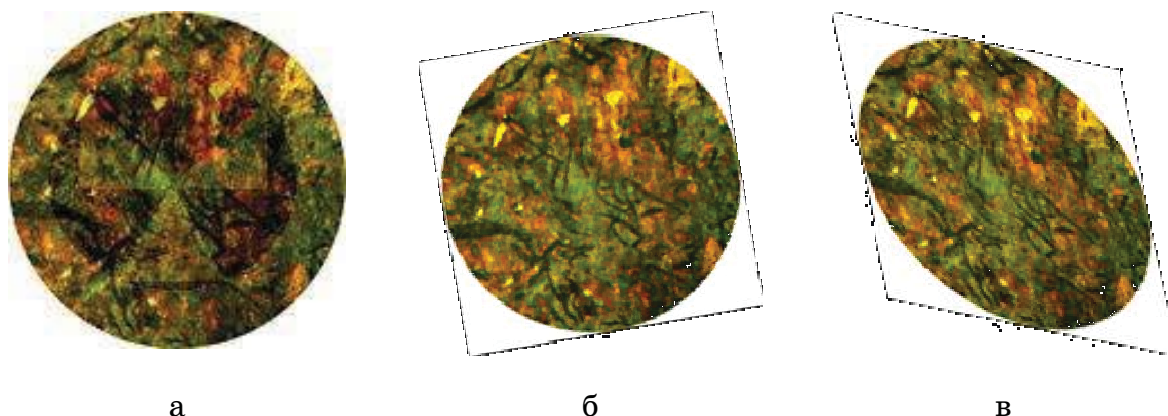


Рисунок 2 - а) фотометричне спотворення зображення;
б) поворот зображення і перетворення подібності;
в) афінне перетворення

Висновки та перспективи подальших досліджень.

Було перевірено доцільність використання у металографічних дослідженнях нових інваріантних ознак кольорових зображень на основі семінваріантів. Перевірені багатовиди є стійкими до афінної групи геометричних перетворень і, водночас, стійкими до лінійних змін значень інтенсивності випромінювання кожного з кольорових RGB-каналів. Таким чином досягається інваріантність відносно основних

спотворень цифрових кольорових зображень мікроструктур, які були отримані за допомогою оптичного мікроскопу і вводяться у систему автоматизованого аналізу прямим методом.

Таблиця 1.

Порівняння значень інваріантних ознак оригінального зображення і спотворених зображень

Значення інваріантів	Оригінальне зображення. Розмір: 150*150 пікс.	Фотометричне перетворення. Розмір: 150*150 пікс.	Поворот і зміна розмірів. Розмір: 260*260 пікс.	Афінне перетворення. Розмір: 180*180 пікс.
B_{02}^R	1.97955e+007	1.63416e+007	3.3232e+007	1.31732e+007
B_{02}^G	1.59792e+007	1.29105e+007	2.68544e+007	1.06512e+007
B_{02}^B	4.16684e+006	4.53677e+006	7.43195e+006	3.06384e+006
C_{02}^{RG}	0.696088	0.629424	0.553723	0.495447
C_{02}^{RB}	0.537975	0.501654	0.433782	0.3919
C_{02}^{GB}	0.486582	0.451835	0.394651	0.357468
C_{11}^{RG}	-0.113808	-0.05439	-0.163494	-0.101005
C_{11}^{RB}	-0.255314	-0.214266	-0.346911	-0.200556
C_{11}^{GB}	-0.151246	-0.160479	-0.198808	-0.109136
B_{12}^R	-0.0769378	-0.0844147	-0.00896962	-0.0543136
B_{12}^G	-0.0517323	-0.0976545	-0.0154706	-0.0500804
B_{12}^B	0.05514	-9.88275e-005	0.13317	0.0176611
$C_{12}^{1(RG)}$	-0.156196	-0.149123	-0.161518	-0.14532
$C_{12}^{1(RB)}$	-0.357514	-0.334193	-0.438894	-0.30353
$C_{12}^{1(GB)}$	-0.190025	-0.244788	-0.186831	-0.152116
$C_{12}^{2(RG)}$	0.0166639	-0.0636037	0.0956618	0.014446
$C_{12}^{2(RB)}$	0.0585855	0.0187557	0.144097	0.0398495
$C_{12}^{2(GB)}$	0.0545593	0.0189497	0.140714	0.0333882
$C_{12}^{3(RG)}$	-0.225214	-0.183583	-0.273811	-0.210496
$C_{12}^{3(GB)}$	-0.188547	-0.264611	-0.193476	-0.168848
$C_{12}^{4(RB)}$	-0.316396	-0.248994	-0.533714	-0.265828

Таблиця 2.

Порівняння значення абсолютних (Δ) і відносних (δ) похибок інваріантних ознак оригінального і спотворених зображень

Фотометричне перетворення. Розмір: 150*150 пікс.		Поворот і зміна розмірів. Розмір: 260*260 пікс.		Афінне перетворення. Розмір: 180*180 пікс.	
Δ	$\delta, \%$	Δ	$\delta, \%$	Δ	$\delta, \%$
0.3454e+007	8.2890	1.3437e+007	32.2463	0.6622e+007	15.8929
0.3069e+007	7.3646	1.0875e+007	26.0994	0.5328e+007	12.7867
0.3699e+006	8.8780	3.2651e+006	78.3594	1.1030e+006	26.4709
0.0667	1.5999	0.1424	3.4166	0.2006	4.8152
0.0363	0.8717	0.1042	2.5005	0.1461	3.5057
0.0347	0.8339	0.0919	2.2063	0.1291	3.0986
0.0594	1.4260	0.0497	1.1924	0.0128	0.3073
0.0410	0.9851	0.0916	2.1982	0.0548	1.3141
0.0092	0.2216	0.0476	1.1414	0.0421	1.0106
0.0075	0.1794	0.0680	1.6312	0.0226	0.5430
0.0459	1.1021	0.0363	0.8702	0.0017	0.0396
0.0552	1.3257	0.0780	1.8726	0.0375	0.8995
0.0071	0.1697	0.0053	0.1277	0.0109	0.2610
0.0233	0.5597	0.0814	1.9530	0.0540	1.2956
0.0548	1.3143	0.0032	0.0767	0.0379	0.9098
0.0803	1.9263	0.0790	1.8959	0.0022	0.0532
0.0398	0.9559	0.0855	2.0522	0.0187	0.4496
0.0356	0.8546	0.0862	2.0676	0.0212	0.5081
0.0416	0.9991	0.0486	1.1663	0.0147	0.3532
0.0761	1.8255	0.0049	0.1183	0.0197	0.4728
0.0674	1.6176	0.2173	5.2154	0.0506	1.2136

Використання запропонованих інваріантних ознак при розпізнаванні зображень металів і сплавів дозволило підвищити точність та вірогідність прийняття рішень про ідентифікацію без збільшення порядків застосованих семінваріантів, що пов'язано з економією обчислювальних ресурсів.

Наші подальші дослідження будуть присвячені питанням знаходження нових інваріантних характеристик кольорових

зображень мікроструктур металів, пов’язаних афінними і фотометричними перетвореннями.

ЛІТЕРАТУРА

1. Чубов А.А. Автоматизация металлографического анализа и контроля сплавов с использованием методов цифровой обработки оптических изображений микроструктур: Дис. канд. техн. наук: 05.13.06. - М., 2007. – 359 с.: ил.-Библиогр.: с. 14-33, 49-55.
2. Гнатушенко В.В. Математична модель ідентифікації цифрових зображень / В.В. Гнатушенко, Н.Ю. Калініна // Прикладна геометрія та інженерна графіка. - К.: КНУБА, 2010. - Вип. 86. – С. 94-98.
3. Гнатушенко В.В. Інваріантні системи ознак в задачах розпізнавання фотограмметричних зображень / В.В. Гнатушенко // Вісник ХДТУ. – Херсон: ХДТУ, 2003. - № 3 (19). – С. 90-93.
4. Калініна Н.Ю. Інваріантні характеристики кольорових RGB-зображень // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 1(72). - Дніпропетровськ, 2011. - С. 42–47.
5. База даних микроструктур металов и сплавов. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.microstructure.ru>.

Получено 05.02.2011 г.