

УДК 004.92

В.Б. Яців, Б.П. Русин
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України
vicja@list.ru

Визначення оцінок якості металографічних зображень при масштабуванні дефектів

Розглядаються методи оцінки якості зображення в задачі масштабування зображень на основі вимірювань PSNR, середньоквадратичного відхилення, норми Мінковського, значення міри різкості та структурної подібності зображення. Наведено кількісні результати оцінок якості зображень при застосуванні різних алгоритмів масштабування зображень.

Оцінки якості зображення, PSNR, середньоквадратичного відхилення, норми Мінковського, алгоритми масштабування

Вступ

Отримання металографічних зображень для вивчення властивостей матеріалу супроводжується недосконалістю при здійсненні проміжних етапів отримання зображення, і як наслідок сприяє утворенню шумів, які в свою чергу приводять до погіршення виявлення дефектів, і статистика дефектності металу не відповідає дійсності. Застосування масштабування зображень в задачах неруйнівного контролю матеріалів дасть змогу ефективніше проводити виявлення дефектів на поверхні металу. Основна увага приділяється пітинговій корозії - утворення в металі корозійних порожнин (пітингів). Зовні пітинг проявляється у вигляді появи заглиблень на поверхні металу (рис. 1).

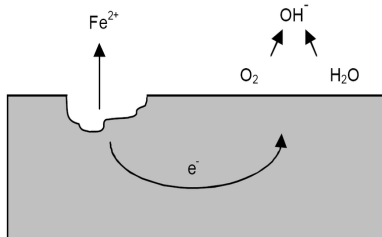


Рисунок 1 - Механізм виникнення корозійних заглиблень - пітингу, під впливом кисню.

Існує велика кількість методів масштабування зображень. Проте враховуючи їхні властивості і умови застосування деякі з них є малоефективними в задачі масштабування зображень з дефектами в неруйнівному контролі матеріалів.

Цілю даного дослідження є створення ефективного інструмента, який дозволить достатньо просто і масово тестувати алгоритми масштабування і покращувати їх параметри на основі визначення оцінок якості зображень. Кількісні методи визначення якості зображення є необхідні при створенні нових методів

масштабування зображень та оцінці ефективності їх роботи.

Аналіз оцінок якості зображень

При розробці алгоритму масштабування, який залежатиме від великої кількості різних параметрів, основною проблемою є визначення оптимальних параметрів для алгоритму, який буде використовуватися для конкретної задачі. Оскільки не всі залежності в алгоритмі можна передбачити, і в більшості випадків результати на одному зображенні не гарантують високої якості на іншому.

Для вибору оптимальних параметрів оцінки алгоритму потрібний механізм, який буде визначати кількісні міри якості зображень, на основі яких можна розвивати оптимізацію вже існуючих методів масштабування, а також інших систем обробки зображень.

Якість зображення визначається великою кількістю технічних характеристик системи: співвідношенням сигнал/шум та статистичними характеристиками шуму, градаційними та спектральними характеристиками, інтервалами дискретизації, зміщенням та інші.

Існують два можливі підходи до оцінки якості зображення: суб'єктивна оцінка на основі експертної оцінки, та кількісна оцінка з допомогою використання математичних методів [1]. Суб'єктивна і кількісна оцінки якості зображення можуть бути абсолютними і відносними. Тут абсолютна міра якості використовується для оцінки одного конкретного зображення. Відносна міра якості використовується для деякого набору зображень в вигляді шкали від найкращого до найгіршого зображення.

Для вирішення задачі оцінки якості зображення потрібно знайти кількісні оцінки, які найкраще відповідають суб'єктивним.

Одним із таких критеріїв є середньоквадратичне відхилення. Цей метод визначення якості зображення полягає в порівнянні зображення після обробки з еталонним і виражається коефіцієнтом погіршення.

За визначенням середньоквадратичне відхилення дорівнює квадратному кореню з дисперсії випадкової величини [2-3]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (1)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad (2)$$

де x_i - елемент вибірки, \bar{x} - середнє арифметичне, n - розмір вибірки.

Основним недоліком використання даного підходу є те, що еталонне зображення саме може бути спотвореним (містити шуми або інші спотворення) і результат порівняння зображень може бути недостовірним.

Для кількісної характеристики існують різні методи, серед яких найбільшого поширення набули точні з математичної точки зору критерії оцінки якості є відношення сигнал/шум (SNR) [4-5], яке виражає кількісну характеристику відношення енергії і шуму, внесеного процесом обробки, до енергії вихідного сигналу. SNR виражається в децибелах (dB). Чим більша величина сигнал/шум, тим якісніше зображення - менше шуму.

На відміну від попереднього методу порівняння зображення відбувається після обробки зашумленого зображення, а не еталонного. Пікове відношення сигнал/шум визначається згідно виразу:

$$PSNR = 10 \lg \left(\frac{\max_i^2}{\frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} |I(i, j) - K(i, j)|^2} \right) \quad (3)$$

де \max_i - максимальне значення яскравості пікселя.

Вираз (3) використовується для встановлення пікового відношення сигнал/шум зображення розміром $m \times n$. Необхідно врахувати, що якість обробки та оцінки зображення залежить від співвідношення сигнал/шум. Практика показує, що сигнал повинен бути вище рівня шуму.

Ще однією важливою мірою оцінки різниці між двома зображеннями є норма Мінковського [6]. В випадку зображення вираз запишеться у вигляді:

$$L_p = \left[\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |x_{ij} - y_{ij}|^p \right]^{1/p}; \quad p = 1, 2, \dots, \quad (4)$$

де L_p - значення норми Мінковського.

Норма Мінковського не враховує структурної подібності зображень. Також ця норма не завжди відповідає візуальній оцінці зображень, що має однакове значення норми.

Міра структурної подібності зображень була запропонована Вангом в роботі [7] для порівняння напівтонових зображень. Значення даної міри визначається згідно виразу:

$$SSIM = \left(\frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} \right) \left(\frac{2\bar{XY}}{(\bar{X})^2 + (\bar{Y})^2} \right) \left(\frac{2\sigma_X \sigma_Y}{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2} \right), \quad (5)$$

де $SSIM$ - значення міри подібності, $X = \{x_{ij}\}$ та $Y = \{y_{ij}\}$ - порівняльні зображення, M, N - розміри зображень.

Чим більше значення міри подібності зображень, тим краще виконана обробка зображення.

Один з важливих кількісних показників якості зображення є різкість (ступінь розмитості границі між двома сусідніми елементами зображення з різними значеннями яскравості I):

$$\nabla I = \frac{\sum_{x=1}^{N-1} \sum_{y=1}^{M-1} \sum_{i=x-1}^{x+1} \sum_{j=y-1}^{y+1} |I_{x,y} - I_{i,j}|}{8(N-2)(M-2)}, \quad (6)$$

∇I - значення міри різкості, M, N - розміри зображень.

До інформативних параметрів якості зображення можна віднести контраст. Контраст є характеристикою зображення по відмінності в яскравості та насиченості кольору між його яскравими та темними областями. Контраст обраховується для кожної окремої пари зображення згідно формули:

$$C_{ij} = \frac{L_i - L_j}{L_i + L_j}, \quad (7)$$

де L_i, L_j - відповідні яскравості елементів зображення.

Найчастіше порівнюється сусідні пікселі зображення в вертикальному, горизонтальному напрямку, або по діагоналі.

Після усереднення матриці локальних контрастів отримують сумарний контраст. Результат сумарного контрасту є критерієм для оцінки якості зображення, оскільки при обробці зображень локальні зв'язки між пікселями підпадають змінам в першу чергу.

Реалізація алгоритму, результати

Використовуючи теоретичні дані з попереднього розділу був розроблений алгоритм розрахунку оцінок якості зображення (рис. 2) в задачі масштабування зображень дефектів на

поверхні металу. В експерименті використовувалися напівтонові зображення.

Визначення оцінок якості масштабованого зображення проводилася за наступною методикою. Спочатку елемент зображення масштабувався "вниз", а потім "вверх". Далі обчислювалися оцінки якості між вхідним та

опрацьованим зображенням, враховуючи рівень масштабування. Під час дослідження були використанні наступні методи масштабування (рис. 3): Nearest neighbor, Bilinear, Bicubic, Lanczos, Seam Carving [8-12]. Нижче наведена блок-схема алгоритму, який був реалізований в середовищі програмування Delphi.

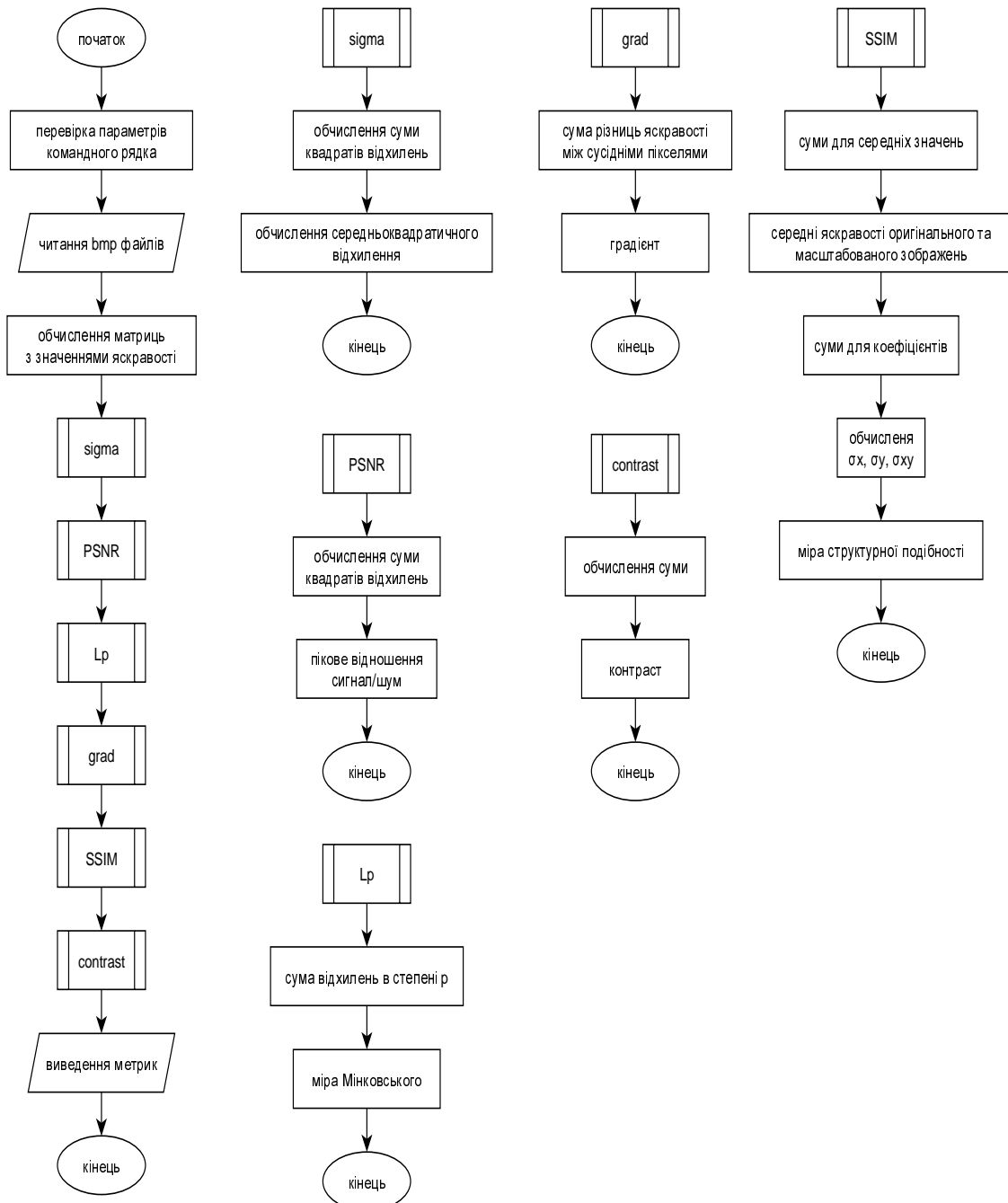


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма

Результатом роботи, запропонованої програми є обчислення оцінок якості зображень (табл. 1) та побудова графіків залежності різних метрик оцінки якості від рівня масштабування (рис. 4) для різних методів масштабування.

Таким чином, кожний користувач

використовуючи запропоновану програму, має можливість обчислити оцінки якості для різних типів зображень порівнюючи вхідне зображення з опрацьованим зображенням, в нашому випадку з масштабованим в двох напрямках (спочатку відбувається зменшення в n раз, а далі повернення

до початкового розміру, використовуючи той самий алгоритм що і при зменшенні).

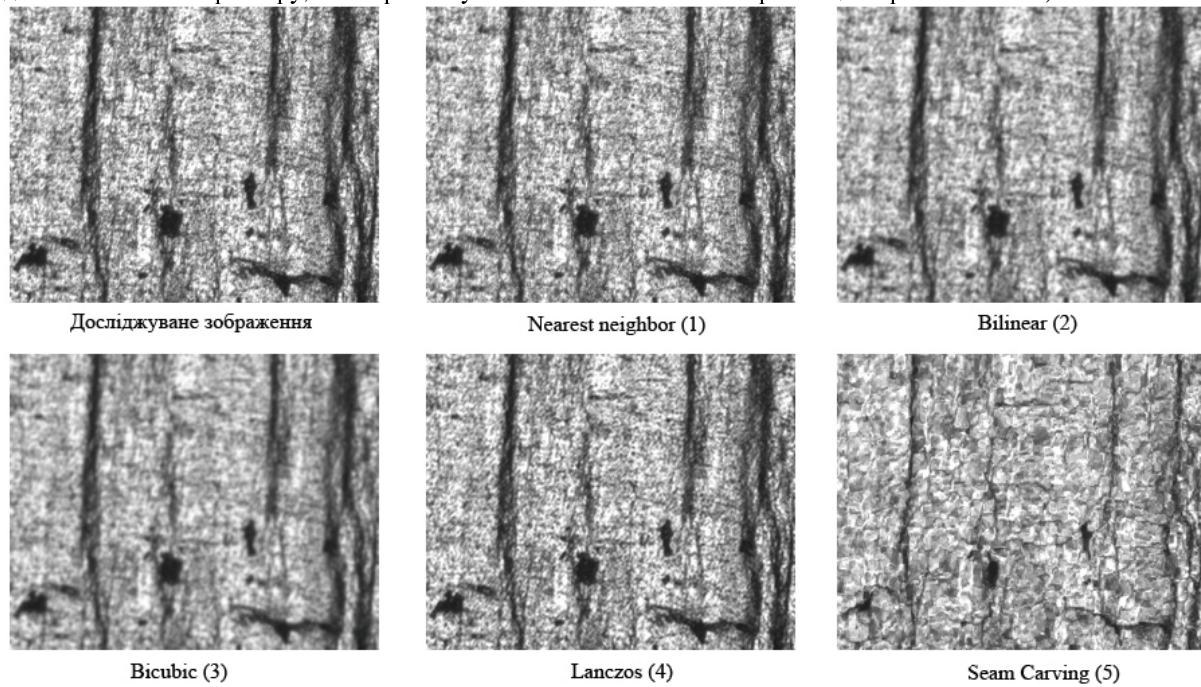


Рисунок 3 – Застосування методів масштабування (1) – (5) до зображення з дефектами при рівні масштабування $\times 2$

Таблиця 1. Значення оцінок якості зображень для методів масштабування (1) – (5) при різних рівнях масштабування

Метод	масштаб	σ	$PSNR, dB$	L_p	$SSIM$	∇I	C_{ij}
Nearest neighbor	x2	40,28	16,03	50,95	0,92	32,67	0,06
	x3	50,00	14,15	62,91	0,87	27,28	0,05
	x4	56,83	13,04	69,55	0,83	23,18	0,05
	x5	61,85	12,3	75,04	0,79	19,80	0,04
	x6	71,32	11,07	86,91	0,73	17,49	0,04
Bilinear	x2	30,23	18,52	35,26	0,95	16,60	0,03
	x3	41,13	15,85	49,61	0,90	13,04	0,03
	x4	45,35	15,00	52,64	0,87	9,78	0,02
	x5	49,55	14,23	57,46	0,83	8,61	0,02
	x6	56,31	13,12	67,3	0,78	7,02	0,01
Bicubic	x2	36,60	16,86	42,55	0,92	12,97	0,03
	x3	47,33	14,63	55,94	0,85	9,06	0,02
	x4	51,73	13,86	59,76	0,81	6,80	0,01
	x5	56,01	13,17	64,56	0,77	5,49	0,01
	x6	61,40	12,37	72,37	0,72	4,73	0,01
Lanczos	x2	20,68	21,82	24,57	0,98	26,72	0,05
	x3	35,5	17,13	44,42	0,93	19,98	0,04
	x4	38,65	16,39	45,47	0,91	15,50	0,03
	x5	44,16	15,23	51,83	0,88	12,53	0,03
	x6	52,09	13,80	63,49	0,83	10,56	0,02
SeamCarving	x2	109,30	7,36	127,26	0,29	32,83	0,06
	x3	117,73	6,71	136,29	0,22	28,45	0,05
	x4	123,31	6,31	142,71	0,14	25,72	0,05
	x5	125,55	6,15	145,23	0,15	23,10	0,04
	x6	134,86	5,53	155,61	0,03	22,17	0,04

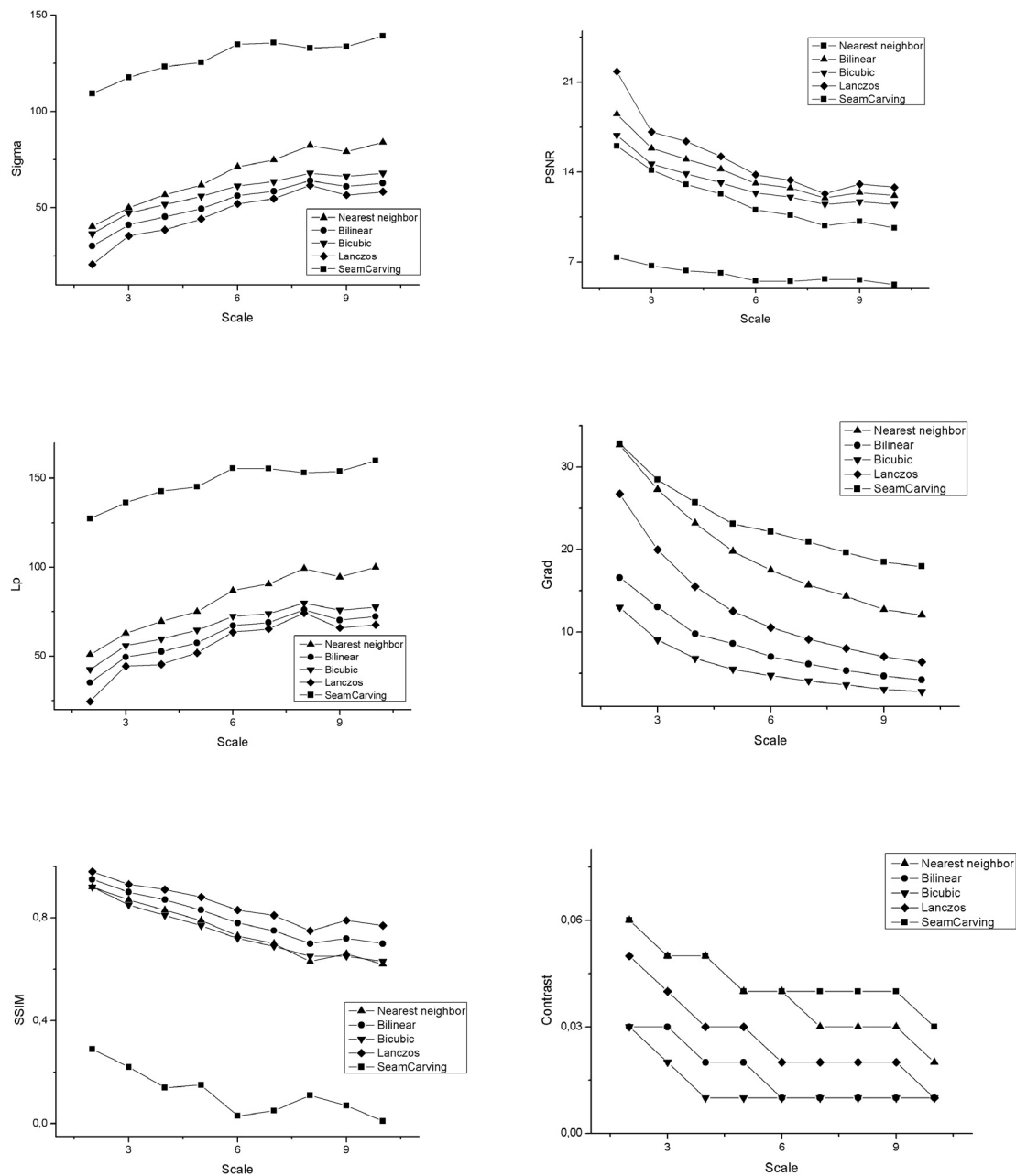


Рисунок 4 - Графіки залежності оцінок якості зображення від рівня масштабування для різних методів масштабування

Проаналізуємо графіки залежності різних метрик для оцінки якості зображення від рівня масштабування (рис. 4). Оскільки будь-яка інтерполяція в тій чи іншій мірі розмиває зображення - то метрики, які характеризують різкість зображення (градієнт та контраст) зменшуються при збільшенні масштабу. В свою чергу при зменшенні зображення зникає частина шумів, тому пікове відношення сигнал/шум також спадає. Разом з шумом зникають і дрібні деталі зображення. Тому метрики, що показують відмінність з масштабованого зображення від оригіналу (середньоквадратичне відхилення та

норма Мінковського) зростають. Відповідно структурна подібність зображень SSIM - падає.

При порівнянні алгоритмів масштабування в цілому найкращі результати дає фільтр Ланцоша. Структурна подібність є найбільш інформативною з використаних метрик і для цього алгоритму вона має найбільші значення. Значення контрасту та градієнту більші для методу найближчого сусіда, але це не вказує на кращу якість зображення, а є відображенням ефекту пікселізації.

Неоднозначні результати отримані для алгоритму Seam Carving. Деякі метрики для нього

мають дуже високі значення, але структурна подібність при цьому низька. Причина в тому, що цей алгоритм може змінювати взаємне розміщення об'єктів на зображенні, а значить спотворювати його в цілому. Тому для обробки даного виду зображень він не підходить.

Висновок

Запропонований в статті алгоритм показав себе як зручний інструмент, який дозволяє масово тестувати довірливі алгоритми масштабування і покращувати їх параметри на основі визначення оцінок якості зображення.

Проте слід пам'ятати, що всі існуючі критерії не є універсальними. Тому висновок про якість зображення можна робити лише базуючись на декількох критеріях якості зображення.

Такі методи в більшості допомагають позбавитися від трудомістких і неточних методик оцінки зображення через суб'єктивну експертизу. На основі визначення кількісних мір якості зображення можуть базуватися методи оптимізації уже існуючих методів масштабування зображень.

Список літератури

1. Shnayderman A. An SVD-Based Gray-Scale Image Quality Measure for Local and Global Assessment / A. Shnayderman, A. Gusev // IEEE Transactions on image proceedings. – Februar, 2006. – V. 15. – № 2.
2. Avcibas I. Statistical evaluating of image quality measures / I. Avcibas, B. Sankur, K. Sayood // Journal of Electronic Imaging. – April, 2002. – V.11. – № 2. – P. 206-223.
3. Welstead, Stephen T. Fractal and wavelet image compression techniques / Welstead, Stephen T. – SPIE Publication, 1999. – P. 155–156.
4. Быков Р.Е. Анализ и обработка цветных и объемных изображений / Р.Е. Быков, С.Б. Гуревич. – М.: Радио и связь, 1984. – 248 с.
5. Terrance E.B. Local Image Reconstruction and Subpixel Restoration Algorithms, Computer Vision, Graphics, and Image Processing / E.B. Terrance, G. Wolberg // Graphical Models and Image Processing. – 1993. – 55, N1. – P. 63-77.
6. Богданов К.Н. Оптико-структурный машинный анализ изображений / К.Н. Богданов. – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
7. Wang Z. Image quality assessment: From error visibility to structural similarity / Wang Z., Bovik A.C., Sheikh H.R. // IEEE transaction on Image Processing. – 2004. – V. 13, № 4. – P. 309-12.
8. Яців В.Б. Методи масштабування зображень в системах обробки та розпізнавання / В.Б. Яців, Б.П. Русин // Збірник праць Науково-технічна конференція: Обчислювальні методи і системи перетворення інформації. – Львів, 2010. - С. 197-198.
9. Avidan S. Seam carving for content-aware image resizing / S. Avidan, A. Shamir // ACM Trans. Graph., #26(3/2007), ACM – 2007.
10. Fritsh F.N. Monotone Piecewise Cubic Interpolation / F.N. Fritsh, R.E. Carlson // SIAM Journal on Numerical Analysis. – 1980. – С. 238-246.
11. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне. – М.: Техносфера, 2007. – 581 с.
12. Графика и обработка изображений. – <http://algotlist.manual.ru/graphics/index.php>

Надійшла до редакції 10.10.2011

В.Б. ЯЦИВ, Б.П. РУСИН

Физико-механический институт им. Г.В. Карпенко
НАН Украины

Определение оценок качества металлографических изображений при масштабировании дефектов

Рассматриваются методы оценки качества изображения в задаче масштабирования изображений на основе измерений PSNR, среднеквадратичного отклонения, нормы Минковского, значения меры резкости и структурного подобия изображений. Приведены количественные результаты оценок качества изображений при применении разных алгоритмов масштабирования изображений.

Оценки качества изображения, PSNR, среднеквадратичное отклонение, нормы Минковского, алгоритмы масштабирования

V. YACIV, B. RUSYN

G. V. Karpenko Physical-Mechanical Institute of
the National Academy of Sciences of Ukraine

Determination of image quality estimation in the task of metallographic defect scaling

The methods for image quality evaluating in images scaling problem based on measurements of PSNR, standard deviation, Minkowski norms, values the degree of sharpness and structural similarity of images are considered. A quantitative estimate of image quality for different image scaling algorithms is shown.

Evaluating image quality, PSNR, Minkowski norms, standard deviation, image scaling algorithms