

ПОРІВНЯННЯ АЛГОРИТМІВ МАСШТАБУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ В МЕТОДАХ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ МАТЕРІАЛІВ

Проводиться огляд основних методів масштабування зображень, розглядається реалізація та аналіз алгоритмів масштабування напівтонових зображень в задачах неруйнівного контролю матеріалів.

1. Вступ

З розвитком цифрової техніки набула особливого розвитку обробка зображень і зараз широко застосовується в найрізноманітніших сферах діяльності. В широкому значенні обробка зображень – це будь-яка форма обробки інформації, для якої вхідними даними є графічні дані.

До стандартних задач обробки зображень відносяться:

- масштабування;
- поворот;
- сегментація;
- фільтрація (лінійна і нелінійна);
- корекція кольорів, яскравості, зміна глибини кольорів.

Одна з найпоширеніших задач обробки зображень – масштабування. В сучасних умовах різноманітності цифрових пристроїв для показу зображень і відео все частіше використовують пристрої з заданим розрешенням, наприклад, плазмові панелі або LCD-дисплеї, постають задачі представлення графічних даних зі зміною співвідношення сторін. Якість зображення на таких пристроях залежить від якості застосованих алгоритмів масштабування. На дисплеях (LCD), де базова ґратка пікселів фіксована, доводиться використовувати апаратне масштабування. Як правило, воно проводиться алгоритмом білінійної інтерполяції, при цьому стає практично неможливо працювати, наприклад, на ноутбуках з розрешенням відмінним від базового. Такі ж проблеми виникають в проекторах і при показі зображення в PAL/NTSC на телевізорах високої чіткості (HDTV), наприклад, на плазмових панелях. При необхідності відобразити зображення на дисплеї певного розміру чи надрукувати його на папері заданого розміру і в ряді інших задач виникає необхідність масштабування зображення, часто зі зміною співвідношення сторін.

У зв'язку з цим виникає необхідність розробки нових методів масштабування, які передбачають можливість масштабування зображень без спотворення основного змісту і позбавленого від артефактів, які виникають при застосуванні існуючих методів. Мета даної роботи – реалізація та аналіз алгоритмів масштабування в задачах неруйнівного контролю матеріалів.

2. Типи алгоритмів масштабування

Сучасні методи масштабування використовують передискретизацію зображення для уникнення втрати дрібних деталей. При цьому найчастіше використовують такі методи інтерполяції [1]:

1. Nearest neighbor (найближчий сусід). Значення кольору пікселя, що не входить в піксельну сітку оригінального зображення, копіюється з найближчого до нього пікселя оригінального зображення.

2. Bilinear (білінійна). Проводиться лінійна інтерполяція по двох координатах за значеннями чотирьох найближчих сусідів в оригінальному зображенні.

3. Bicubic (бікубічна) – кубічна інтерполяція по двох координатах.

4. Precise bilinear (точна білінійна) - проводиться лінійна інтерполяція в двох напрямках, але замість матриці 2x2 використовується повна білінійна матриця.

5. Precise bicubic (точна бікубічна) - проводиться кубічна інтерполяція в двох напрямках по повному бікубічному ядру.

6. Lanczos3 – використовується матриця 6x6, тобто кожний піксель обчислюється по 36 сусідніх.

Іншим методом, що дозволяє змінити співвідношення сторін, є метод вирізання (crop) потрібної частини зображення з потрібним співвідношенням сторін. Для автоматизації знаходження найбільш важливої частини зображення використовують метод Smart Crop.

Існуючі методи масштабування передбачають видалення чи вставку колонок чи рядків пікселів з усередненням різними способами по сусідніх. При застосуванні такого методу для непропорційного масштабування об'єкти зображення спотворюються, змінюючи свої пропорції так само, як і ціле зображення. Все це в цілому призводить до зменшення ефективності обробки і розпізнавання зображень та до виникнення похибок [2].

Коли постає задача масштабування з врахуванням вмісту інформативної частини зображення, то слід використовувати технологію масштабування Liquid Resize, яка передбачає можливість непропорційного масштабування без спотворення форми об'єктів зображення. Метод передбачає побудову і видалення піксельних шляхів. Це досягається за рахунок видалення з зображення в першу чергу малопомітних пікселів, які переважно належать фонові, і залишення пікселів основних об'єктів зображення практично без змін.

3. Реалізація алгоритмів масштабування

Щоб зрозуміти, як працює кожний з перелічених методів, реалізуємо алгоритми їхньої роботи на практиці.

Nearest neighbor - це найбільш базовий зі всіх алгоритмів інтерполяції, який вимагає найменшого часу обробки, оскільки враховує тільки один піксель - найближчий до точки інтерполяції. Значення кольору пікселя, що не входить в піксельну сітку оригінального зображення, копіюється з найближчого до нього пікселя оригінального зображення. В результаті кожний піксель просто стає більшим [3].

Bilinear - проводиться лінійна інтерполяція по двох координатах за значеннями чотирьох найближчих сусідів в оригінальному зображенні (рис. 1).

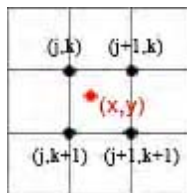


Рис. 1. Обчислення значення кольору в точці (x,y) за значеннями кольорів оригінального зображення (Bilinear)

Розглядається масив 2x2 навколишніх пікселів – 4. Результуюче значення кольору обчислюється за формулами:

$$F(x, y) = \frac{F_b - F_a}{y_2 - y_1} \cdot (y - y_1) + F_a,$$

$$F_a = \frac{F(x_2, y_1) - F(x_1, y_1)}{x_2 - x_1} \cdot (x - x_1) + F(x_1, y_1),$$

$$F_b = \frac{F(x_2, y_2) - F(x_1, y_2)}{x_2 - x_1} \cdot (x - x_1) + F(x_1, y_2).$$
(1)

При масштабуванні зображень недоліком алгоритму є той факт, що при збільшенні в N разів зображення розміром W на H пікселів в результаті буде отримано зображення розміром не NW на NH пікселів, а (N(W-1)+ 1) на (N(H-1)+ 1) пікселів.

Bicubic – кубічна інтерполяція по двох координатах [4]. Розглядається масив з 4x4 навколишніх пікселів – всього 16 (рис. 2).

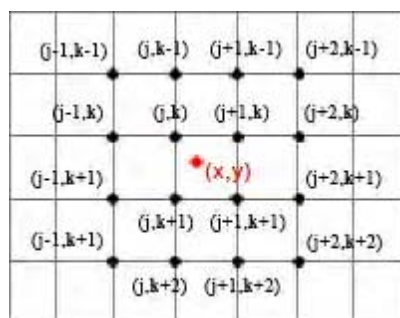


Рис. 2. Обчислення значення кольору в точці (x,y) за значеннями кольорів оригінального зображення (Bicubic)

Оскільки вони знаходяться на різних відстанях від невідомого пікселя, найближчі пікселі отримують при розрахунку більшу вагу. Результуюче значення кольору обчислюється за виразом

$$F(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} (x - x_1)^i (y - y_1)^j. \quad (2)$$

Коефіцієнти a_{ij} шукаються з умов рівності значень і похідних кольору в чотирьох вузлових точках.

Lanczos – застосування алгоритму дає змогу добитися високої якості при масштабуванні. Спочатку шукаємо найближчу точку з цілими координатами і позначаємо її j,k , тоді перебираємо всі точки з координатами від $j-a$ до $j+a$ і від $k-a$ до $k+a$, для кожної шукаємо відстань до x,y (рис. 3).

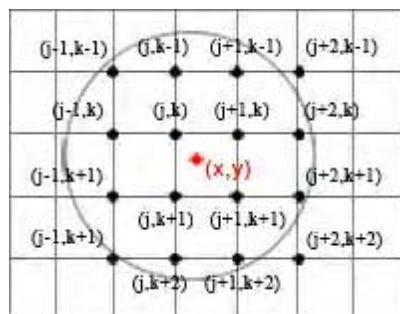


Рис. 3. Обчислення значення кольору в точці (x,y) за значеннями кольорів оригінального зображення (Lanczos)

Обчислюється значення кольору пікселя за формулою:

$$F(x) = \begin{cases} \sin c(x) \sin c\left(\frac{x}{a}\right), & -a < x < a; \\ 0, & x = 0, \end{cases} \quad (3)$$

де a – радіус дії алгоритму або ширина вікна. Якщо x виходить за межі вікна, то результат приймається за 0. При $x = 0$ – результат одиниця.

Застосувавши кожний з алгоритмів інтерполяції, збільшуючи на 500% елемент оригінального зображення, отримали результати для зображення з пітінгами, які представлені на рис. 4.

При масштабуванні зображень з використанням алгоритмів інтерполяції зникає негативний ефект втрати дрібних деталей зображення. Проте при непропорційному масштабуванні об'єкти зображення змінюють свою форму та пропорції. Для уникнення спотворень при непропорційному масштабуванні застосовують технологію масштабування Liquid Resize, яка передбачає можливість масштабування зображень без спотворення основного вмісту зображення [5].

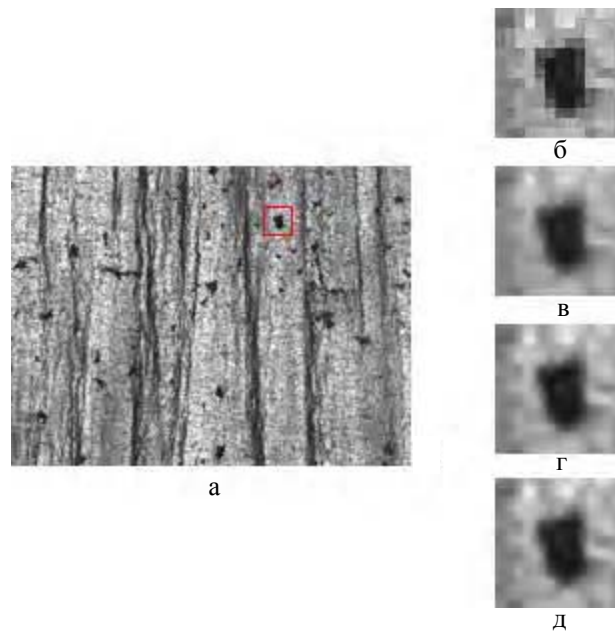


Рис 4. Елемент оригінального зображення з пітінгами (а), Nearest neighbor (б), Bilinear (в), Bicubic (г), Lanczos (д)

Розглянемо алгоритм непропорційного масштабування на основі методу Seam Carving, який полягає в побудові і видаленні піксельних шляхів. Реалізований алгоритм складається з таких етапів:

1. Присвоєння важливості пікселям. Критерієм важливості пікселів виступають вагові коефіцієнти, отримані шляхом застосування до зображення енергетичної функції. Найпростіший приклад такої функції – градієнт $F(I)$ (4), його значення велике там, де зображення різко міняється (краї об'єктів, місця різкої зміни кольорів), і практично нульове у фонових частинах зображення. Вагові коефіцієнти повинні приймати великі значення у важливих місцях зображення, і малі значення – в малопомітних частинах зображення:

$$F(I) = \left(\frac{\partial}{\partial x} I\right) + \left(\frac{\partial}{\partial y} I\right). \quad (4)$$

З формули (4) видно, що енергетична функція пікселя рівна зміні кольору сусідніх пікселів у порівнянні з даним пікселем. І чим більша різниця в кольорі між даним пікселем і сусіднім, тим більше значення вагового коефіцієнта.

2. Побудова горизонтальних, вертикальних піксельних шляхів.

3. Шляхи починаються з верхнього чи лівого краю зображення і будуються так, щоб в кожному стовпці зображення (при побудові горизонтального шляху) чи кожному рядку зображення (при побудові вертикального шляху) був присутній один і тільки один піксель, що належить шляху (рис. 5).

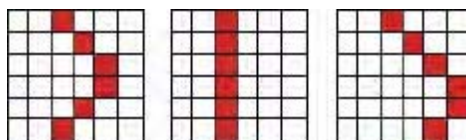


Рис. 5. Побудова піксельних шляхів

4. Пошук і видалення піксельних шляхів з мінімальною енергією до тих пір, поки не буде досягнуто потрібного розміру при збільшенні чи зменшенні зображення.

Результати алгоритму масштабування Seam Carving по горизонталі представлено на рис. 6.

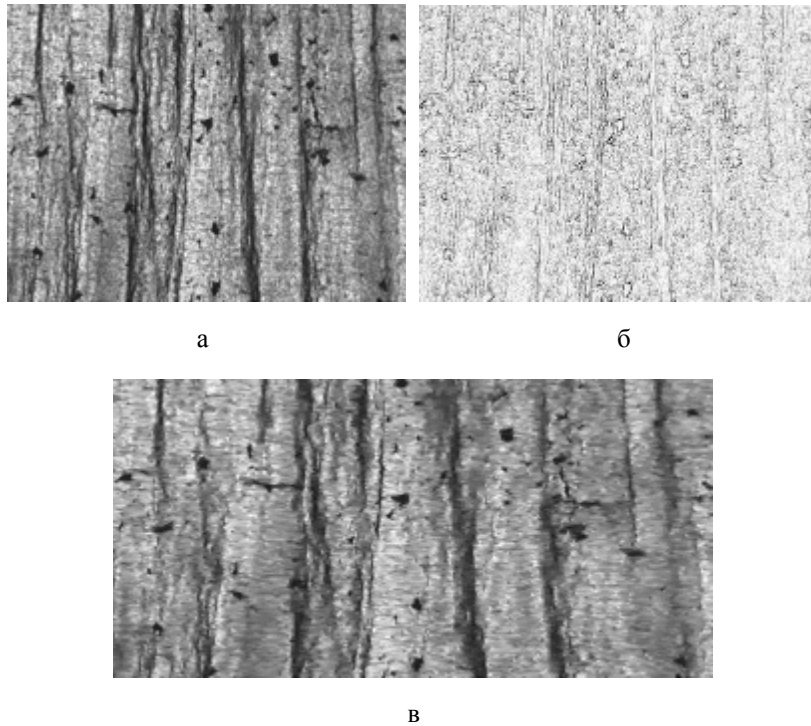


Рис. 6. Результати масштабування з використанням технології Liquid Resize: а – вхідне зображення; б – енергетична карта зображення; в – масштабування по горизонталі

4. Аналіз алгоритмів масштабування зображення

При використанні описаних вище методів значення кольорів пікселів зазвичай обчислюються шляхом інтерполяції чотирьох сусідніх, зображення на виході виходить розмитим (див. рис 4.). Крім того, застосування інтерполяції веде до зниження контрастності (різкості на межах), і тому дані методи дають погані результати на зображеннях з індексованою палітрою. Nearest neighbor – найшвидший, але разом з тим малоефективний метод, оскільки використовується значення найближчих пікселів оригінального зображення. Таким чином, частина пікселів відкидається (при зменшенні) або дублюється (при збільшенні). Bilinear – другий по швидкості метод, дає непогані результати. Проте при великих збільшеннях починає проявлятися блочна структура. Bicubic – значно повільніший від попередніх методів, а при збільшенні зображення дає значно кращий результат. Оскільки деталі промальовуються чіткіше, але посилюються і шуми, то зображення з шумами потрібно збільшувати дуже обережно. Ослаблення впливу шумів досягається з допомогою фільтрації. Lanczos – при застосуванні спостерігається найбільш точна передача контрастних границь зображення. Для зображень із високою деталізацією проявляється ефект Гіббса (ореоли навколо контурів об'єктів).

Основними недоліками методу непропорційного масштабування з використанням технології Liquid Resize є зміна взаємного розташування об'єктів, можливе виникнення невеликих спотворень на краях об'єктів при видаленні шляхів, що через них проходять, а також виникнення перепадів яскравості, які можуть проявлятися при нерівномірній освітленості зображення.

Проаналізувавши сучасні методи масштабування зображень, наведені вище, виділимо основні артефакти, які виникають при масштабуванні, що ілюструється в таблиці.

1. Ringing – виникнення хвиль біля різкої межі на зображенні.
 2. Overshooting – виникнення 2 і 3 хвиль.
 3. Aliasing – нерівномірності зображення на різких діагональних границях зображення.
 4. Unsharpening – розмиття, недостатньо чітким є зображення після масштабування.
- Очевидно, що поліпшення чіткості, як правило, приводить до збільшення інших артефактів і навпаки – зменшення артефактів зменшує також і чіткість.

5. Sub-pixel shift – субпіксельне зміщення зображення, зв'язане, як правило, з особливостями реалізації алгоритму. Практично не впливає на візуальну якість.

Метод	Опис методу масштабування	Артефакти
Nearest neighbor	Вибирається найближчий піксель в початковому зображенні	Aliasing, Unsharpening, Overshooting, зниження контрастності (різкості на границях), утворюються сходинки на різких перепадах яскравості
Bilinear	Лінійна інтерполяція по двох координатах (використовується матриця 2x2, тобто 4 найближчі пікселі)	
Bicubic	Кубічна інтерполяція по двох координатах (по матриці 4x4, тобто використовуються 16 найближчих пікселів)	
Crop	Проводиться вирізання потрібної частини зображення з потрібним співвідношенням сторін	Ringing, втрачається периферійна частина зображення, виникнення спотворень на краях об'єктів
Smart crop	Пошук частини зображення з потрібним співвідношенням сторін так, щоб при вирізанні такої частини втрати важливих частин зображення були мінімальними	
Liquid Resize	Враховує вміст зображення, при масштабуванні не спотворює основний вміст зображення	Ringing, Sub-pixel shift

5. Висновок

Запропонований перелік наведених методів дає уявлення про основні тенденції розвитку алгоритмів масштабування зображень. При виборі алгоритмів важливо розуміти їх позитивні і негативні сторони; якщо вибрано алгоритм без врахування вмісту зображення, то варто зрозуміти його властивості і умови застосування. Порівняльний аналіз найбільш відомих методів масштабування (Nearest neighbor, Bilinear, Bicubic, Lanczos, Liquid Resize) показав необхідність створення алгоритму масштабування, що дає чітке зображення і по можливості позбавлене від артефактів інших методів (розмиття, субпіксельне зміщення), які спостерігаються при застосуванні в задачах неруйнівного контролю матеріалів.

Список літератури: 1. *Половко А.М., Бутусов П.Н.* Інтерполяція. Методи и компьютерные технологии их реализации. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 320 с. 2. *Яців В.Б., Русин Б.П.* Методи масштабування зображень в системах обробки та розпізнавання / Збірник праць. Науково-технічна конференція: Обчислювальні методи і системи перетворення інформації. Львів, 2010. С. 197-198. 3. *Яне Б.* Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2007. 581 с. 4. *Fritsh F. N., Carlson R.E.* Monotone Piecewise Cubic Interpolation / SIAM Journal on Numerical Analysis, 1980. С. 238-246. 5. *Avidan S., Shamir A.* Seam carving for content-aware image resizing // ACM Trans. Graph. #26(3/2007), ACM 2007 6. *Crochiere R.E., Rabiner L.R.* Multirate Digital Signal Processing. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Mar. 1983.

Надійшла до редколегії 25.05.2010

Яців Віталій Богданович, аспірант ФМІ НАН України ім. Г.В. Карпенка. Наукові інтереси: обробка зображень. Адреса: Україна, 79601, Львів, вул. Наукова, 5а, тел. 229-65-30, e-mail: vicja@list.ru.

Русин Богдан Павлович, д-р техн. наук, професор, зав. відділом “Методів та систем аналізу, обробки та ідентифікації зображень” ФМІ НАН України ім. Г.В. Карпенка. Наукові інтереси: аналіз, обробка та розпізнавання зображень. Адреса: Україна, 79601, Львів, вул. Наукова, 5а, тел. 229-61-09, e-mail: rusyn@ipm.lviv.ua.