

ники и оптики: Стаття, обзор, 2003. 3. Технология OPC. OPC-сервер и OPC-клиент [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.novosoft.by/Ency/opc.htm> 4. Применение стандарта OPC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pikprogress.ru/opc.php>. 5. Денисенко В.В. Построение автоматизированных испытательных стендов с помощью системы RealLab и MS Excel // Компоненты и технологии, 2001. – №6. – С. 96–98 6. Григорьев А.Б. Взаимодействие с OPC-сервером через Internet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://asutp.ru/?p=600450> 7. Технология OPC. Основные принципы и преимущества (Руководство пользователя ИСБ Интеллект, 2007. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.itv.ru/download/documentation/intellect/html/index.html?int_scada.htm 8. OPC programmers' connection [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://opcconnect.com/tooltech.php#embedded>.

УДК 004.932.4

Ю. Шийка, Р. Шувар

Львівський національний університет
імені Івана Франка

НЕПРОПОРЦІЙНЕ МАСШТАБУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ МЕТОДОМ SEAM CARVING І ВИБІР ЕНЕРГЕТИЧНИХ ФУНКЦІЙ ДЛЯ НЬОГО

© Шийка Ю., Шувар Р., 2010

Розглянуто методи масштабування растрових зображень зі зміною співвідношення сторін. Досліджено метод Seam Carving непропорційного масштабування. Запропоновано методи побудови енергетичних функцій для нього, порівняно результати їх використання.

Methods of raster image resizing with change of the aspect ratio are described. Seam Carving method of content aware image resizing is researched. Different methods of calculation of energy functions for Seam Carving are offered, comparison of results of resizing using different energy functions is made.

Постановка проблеми

Одна з найчастіших задач обробки растрових зображень – масштабування. Це зумовлено тим, що в сучасних умовах різноманітності цифрових пристроїв з різними типами дисплеїв різних розмірів і з різними співвідношеннями сторін постають задачі представлення графічних даних зі зміною співвідношення сторін.

Багато стандартів, як, наприклад HTML, підтримують метод динамічного представлення інформації: розміщення таблиць, тексту тощо. Однак щодо зображень, то вони далеко не такі гнучкі і в кращому випадку можуть набувати певних наперед визначених розмірів або змінюватись тільки пропорційно. За необхідності відобразити зображення на дисплеї, чи надрукувати його на папері певного розміру і в ряді інших задач часто виникає необхідність масштабування зображення зі зміною співвідношення сторін. Ця необхідність визначає актуальність дослідження методів непропорційного масштабування.

Аналіз існуючих методів

Стандартні методи зміни співвідношення сторін зображення полягають у непропорційному масштабуванні (scaling) або кадрванні (crop) – вирізанні потрібної частини зображення. Методи масштабування використовують передискретизацію зображення для уникнення втрати дрібних

деталей. При передискретизації для обчислення значення кольору в пікселях, що не входили в піксельну сітку оригінального зображення, використовуються методи інтерполяції [1–3]. Найчастіше використовують такі:

1. Найближчий сусід (nearest neighbor). Значення кольору пікселя, що не входить в піксельну сітку оригінального зображення, копіюється з найближчого до нього пікселя оригінального зображення.
2. Білінійна інтерполяція (bilinear interpolation). Проводиться лінійна інтерполяція за двома координатами за значеннями чотирьох найближчих сусідів в оригінальному зображенні.
3. Бікубічна (bicubic interpolation) – кубічна інтерполяція за двома координатами. Результуюче значення кольору знаходиться у вигляді:

$$I(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} (x - x_1)^i (y - y_1)^j \quad (1)$$

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

При масштабуванні зображень за умови використання інтерполяції при передискретизації, зрозуміло, зникає негативний ефект втрати дрібних деталей зображення. Однак, при непропорційному масштабуванні об'єкти зображення змінюють свою форму, змінюють пропорції так, як і все зображення незалежно від використання методів передискретизації.

Інший метод, що дає змогу змінити співвідношення сторін – кадрування (crop) – вирізання потрібної частини зображення з потрібним співвідношенням сторін. При використанні цього методу об'єкти зображення не змінюються, але втрачається периферійна частина зображення.

Для автоматизації знаходження найважливішої частини зображення використовують метод Smart Crop. Він полягає у пошуку частини зображення з потрібним співвідношенням сторін так, щоб при вирізанні такої частини втрати важливих частин зображення були мінімальними. Критерієм важливості пікселів зображення є їхні вагові коефіцієнти, які обчислюються шляхом застосування до зображення енергетичних функцій, які описані нижче.

Недоліками зазначених методів є незалежність процесу масштабування від вмісту зображення, спотворення форми об'єктів, втрата частини зображення.

Метод Seam Carving

Аналіз недоліків розглянутих вище методів масштабування доводить, що ефективний метод непропорційного масштабування повинен враховувати вміст зображення і не повинен спотворювати основний вміст зображення.

Таким вимогам відповідає метод Seam Carving, який передбачає можливість непропорційного масштабування зображень без спотворення форми об'єктів зображення. Це досягається за рахунок видалення з зображення насамперед неважливих малопомітних пікселів, які переважно належать фонові і збереженні пікселів основних об'єктів зображення практично без змін. Критерієм важливості пікселів є вагові коефіцієнти, отримані шляхом застосування до зображення енергетичної функції. Вагові коефіцієнти («енергія») повинні набувати великих значень у важливих місцях зображення і малих значень у малопомітних частинах зображення.

Для людини помітними є краї об'єктів (контури). Їх можна ідентифікувати за різкою зміною кольору. Фонові частини зображення переважно містять плавні переходи кольорів, які є набагато менш помітними для людини.

Найпростішим методом масштабування зображення, який повинен видаляти пікселі з малою «енергією», є метод пошуку і видалення горизонтальних рядків чи вертикальних стовпців з мінімальною сумою енергій пікселів, що в них входять.

Однак, при видаленні із зображення вертикальних колонок чи горизонтальних рядків з мінімальною енергією виникатимуть спотворення у вигляді зигзагів на краях об'єктів.

Ще один підхід полягає у послідовному видаленні поодиноких пікселів з якомога меншою енергією. Однак, в такому випадку зображення може втратити прямокутну форму, що є

неприпустимо. Це відбувається в зв'язку з тим, що з кожного рядка чи стовпця може бути видалена різна кількість пікселів.

Отже, для збереження прямокутності зображення з кожного рядка чи стовпця в процесі масштабування необхідно видалити однакову кількість пікселів, а щоби уникнути спотворень, видалені пікселі не повинні бути горизонтальними рядками чи вертикальними стовпцями.

Для виконання цих умов метод Seam Carving передбачає побудову і видалення піксельних шляхів. Шляхи починаються з верхнього чи лівого краю зображення і будуються так, щоб в кожному рядку зображення (при побудові вертикального шляху) чи кожному стовпці зображення (при побудові горизонтального шляху) був присутній один і тільки один піксель, що належить шляху. Тобто кожен наступний піксель шляху вибирається з трьох сусідів пікселя, що вже належить шляхові (рис. 1). При використанні цього методу з зображення видаляються чи додаються переважно фонові пікселі, а основний вміст зображення практично не змінюється [4, 5].



Рис. 1. Побудова піксельних шляхів

Метод Seam Carving можна також застосовувати для збільшення зображень і підсилення вмісту зображення. У випадку збільшення зображення замість видалення шляхів відбувається пошук шляху з мінімальною енергією і вставка шляху такої ж форми методом усереднення за лівими і правими сусідами (верхніми і нижніми для випадку збільшення по вертикалі). Для уникнення вставки одних і тих же шляхів повторно, на кожному етапі здійснюється пошук шляху не просто з мінімальною енергією, а з мінімальною енергією серед тих шляхів, що ще не використовувалися.

Для підсилення вмісту зображення потрібно спочатку збільшити зображення звичайним пропорційним масштабуванням, а потім зменшити його до початкового розміру. При цьому частина зображення з великою енергією залишиться збільшеною, інша частина буде зменшеною.

Основними недоліками методу непропорційного масштабування Seam Carving 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 виникати при нерівномірній освітленості зображення. Крім того, при пошуку шляхів потрібно застосовувати рекурсивний перебір пікселів з мінімальною енергією, що для зображень значного розміру займає багато часу.

Покращання швидкодії методу шляхом уникнення рекурсії

На кожному етапі процес пошуку шляху з мінімальною енергією потребує рекурсивного перебору пікселів. Шлях може починатися з будь-якого пікселя верхнього рядка (для вертикального шляху) чи будь-якого пікселя лівого стовпця (для горизонтального шляху). На кожному кроці рекурсивного перебору наступний піксель шляху може бути одним із трьох сусідів знизу (для вертикального шляху) чи одним із трьох сусідів справа (для горизонтального шляху). Отже, кількість варіантів для перебору під час пошуку піксельного шляху з мінімальною енергією

дорівнюватиме $W \cdot 3^H$ при пошуку вертикального шляху і $H \cdot 3^W$ при пошуку горизонтального шляху, де W – ширина зображення, H – його висота.

Для уникнення рекурсивного перебору, який потребує багато ресурсів і часу на виконання, використовують метод динамічного програмування.

У цьому випадку слід побудувати матриці горизонтального і вертикального відображень енергії для пошуку горизонтальних і вертикальних піксельних шляхів відповідно.

Розглянемо побудову вертикального відображення енергії. Проводиться прохід по матриці енергій згори донизу з присвоєнням кожному елементу рядка суми його власного значення енергії і мінімального значення енергії серед трьох сусідів згори. Перший рядок не має сусідів згори, тому в матриці енергій і в матриці відображення енергії перші рядки ідентичні.

Горизонтальне відображення енергії будується аналогічно з тією різницею, що прохід по матриці енергій відбувається в горизонтальному напрямку зліва направо.

Зміст таких відображень полягає в тому, що кожен елемент матриці відображення енергії містить значення суми енергії, з яким можна досягти відповідного йому пікселя по оптимальному шляху. Останній рядок чи стовпець містить значення мінімальних сум енергій шляхів, які закінчуються у відповідних його елементам пікселях. Отже, для пошуку піксельних шляхів, маючи відображення енергії, не потрібна рекурсія і перебір великої кількості варіантів. Потрібно знайти мінімальне значення в останньому рядку чи стовпці відображення (це буде значення суми енергії шляху, який потрібно видалити на цьому кроці) і здійснити прохід по матриці відображення в зворотному напрямку (справа наліво чи знизу догори), на кожному кроці шукаючи найменше значення серед трьох сусідів зліва чи зверху і запам'ятовуючи шлях.

Тобто, реалізований метод складається з таких етапів:

- 1) присвоєння пікселям зображення вагових коефіцієнтів важливості шляхом застосування енергетичної функції;
- 2) побудова горизонтального і вертикального відображень для пришвидшення пошуку шляхів;
- 3) пошук і видалення шляхів з мінімальною енергією доти, доки не буде досягнуто потрібного розміру.

Енергетичні функції

Зрозуміло, що результат масштабування методом Seam Carving залежить від вибору енергетичної функції. Енергетичні функції будуються так, щоб найважливіші, помітні для людини пікселі мали велику енергію, а малопомітні, фонові – малу енергію. Як енергетичні функції добре підходять методи виділення країв. Найпростіший приклад – градієнт, його значення велике там, де зображення різко змінюється (краї об'єктів, місця різкої зміни кольорів) і практично нульове у фонових частинах зображення. Крім того, вплинути на результати непропорційного масштабування можна, присвоївши велике значення енергії пікселям тієї частини зображення, яка є найважливішою, чи мале значення енергії пікселям, які потрібно видалити в першу чергу.

Для дослідження результатів масштабування з використанням різних енергетичних функцій було складено програму реалізацію методу Seam Carving мовою C++ за допомогою середовища Borland C++ Builder. Програма дає можливість завантажувати і зберігати зображення у вигляді файлів в форматі BMP. Реалізована можливість використання ряду відомих і новозапропонованих енергетичних функцій, а також можливість використання як енергетичної функції віконного фільтра.

За допомогою розробленої програмної реалізації досліджено результати масштабування при використанні таких енергетичних функцій і їх модифікацій:

- 1) енергетичні функції на основі градієнта:
 - a. Градієнт за горизонтальними напрямками;
 - b. Градієнт за вертикальними напрямками;
 - c. Градієнт за обома напрямками.
- 2) фільтр Собела;
- 3) модифікація градієнтного фільтра з врахуванням інформативності частин зображення;

- 4) модель помітності частин зображення для людини (Saliency);
- 5) фільтр високих частот на основі швидкого перетворення Фур'є.
- 6) згортка зображення з шаблоном для підвищення енергії частин зображення, які містять важливі об'єкти.

Додатково було реалізовано можливість завантаження і збереження енергетичних функцій у вигляді файлів зображень, що дає можливість ручного редагування енергії. Результати масштабування оцінювались методом візуального порівняння при використанні різних енергетичних функцій.

Енергетичні функції на основі градієнта

Градієнт – це векторна величина, яка в кожній точці простору визначає напрямок і швидкість зміни функції, залежної від координат. У нашому випадку функцією, залежною від координат, є дискретна функція зображення – залежність кольору пікселя від його координат. В загальному випадку градієнт визначається формулою: $\nabla U = \sum_i \frac{\partial U}{\partial x_i} \mathbf{e}_i$, де $U(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots)$ – функція, залежна від координат. У нашому випадку для обчислення похідних дискретної функції (матриці зображення) необхідно користуватися числовими методами диференціювання.

Для обчислення горизонтального і вертикального градієнтів похідна обчислювалась тільки за однією координатою за формулою $\frac{\partial U}{\partial x}(x_i) = \frac{U(x_{i+1}) - U(x_{i-1}))}{x_{i+1} - x_{i-1}}$. Тобто горизонтальний і вертикальний градієнтні фільтри застосовувались до зображення з такими ядрами фільтрів відповідно:

$$E_{Hor} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad E_{Ver} = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Для випадку градієнтного фільтра в обох напрямках використовувалось числове диференціювання за обома координатами за двома сусідніми вузлами.

Результуюче ядро фільтра має вигляд:

$$E_{Grad} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & -3 & 1 \\ 0 & 0 & -3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Перевага таких енергетичних функцій – висока швидкість обчислення і добрі результати непропорційного масштабування у більшості випадків. Варто також зазначити, що горизонтальний градієнтний фільтр краще застосовувати тоді, коли потрібно провести масштабування по вертикалі, оскільки при такому масштабуванні здійснюється пошук горизонтальних піксельних шляхів. І навпаки, при масштабуванні по горизонталі, коли здійснюється пошук вертикальних шляхів, краще застосовувати вертикальний градієнтний фільтр. Результати масштабування з використанням енергетичних функцій на основі градієнтних фільтрів представлено на рис. 2.

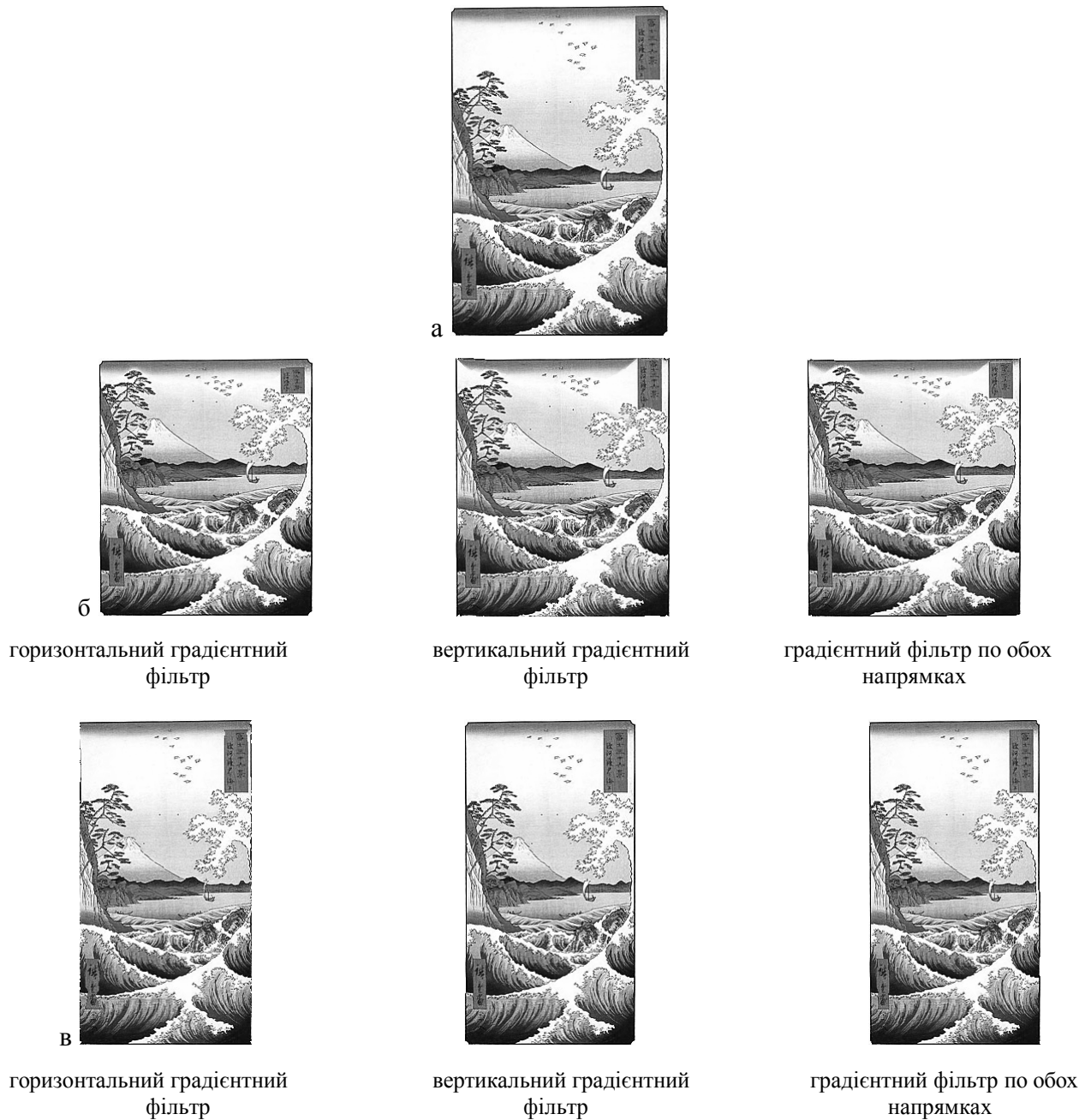
Енергетична функція на основі фільтра Собела

Фільтр Собела – поширений фільтр виділення країв, який визначається як

$$E_{Sobel} = \sqrt{\left(\begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix} \otimes I \right)^2 + \left(\begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \otimes I \right)^2}, \quad (4)$$

де I – зображення, на яке діє фільтр.

Подібно до градієнта, ця енергетична функція набуває великих значень на краях об'єктів. Для зображень з великою кількістю об'єктів застосування фільтра Собела дає дещо кращі результати порівняно з градієнтом. Недолік цього фільтра – приблизно вдвічі більший час для обчислень, що особливо помітно при масштабуванні в режимі перерахунку енергії.



*Рис. 2. Результати масштабування з використанням енергетичних функцій на основі градієнтних фільтрів:
а – оригінальне зображення;
б – масштабування по вертикалі;
в – масштабування по горизонталі*

Результати масштабування зображення з використанням як енергетичної функції фільтра Собела наведено на рис. 3.



Рис. 3. Масштабування з використанням фільтра Собела: а – оригінальне зображення; б – масштабування по горизонталі; в – масштабування по вертикалі

Модифікація градієнтного фільтра з врахуванням інформативності частин зображення

У цій модифікації енергетичної функції інформативність частини зображення визначається за розподілом пікселів частини зображення за яскравістю. Вважається, що частина зображення є важливішою, коли в ній присутня велика кількість пікселів, що відрізняються за яскравістю. Коли ж всі пікселі частини зображення мають однакову яскравість, частина зображення вважається малоінформативною. Справді, у місцях, де є багато переходів кольорів (країв зображення), які є найпомітнішими і важливими для людини, буде присутня велика кількість пікселів з різними яскравостями.

Для обчислення важливості частини зображення навколо кожного пікселя у вікні певного розміру (в роботі було використано вікно 16x16) будується гистограма пікселів за 256 градаціями яскравості. Потім за цією гистограмою (яка визначає кількість пікселів з кожною градацією яскравості) обчислюється інформативність частини зображення за формулою:

$$V = - \sum_{i=1}^{256} P_i \cdot \log_2 P_i, \quad (5)$$

де $P_i = \frac{n_i}{16 \cdot 16}$ – імовірність того, що довільний піксель, вибраний в межах вікна 16x16, матиме яскравість i -ї градації; n_i – кількість пікселів у вікні з яскравістю i -ї градації (з гистограми).

Отримане значення важливості додається до значення енергії пікселя, обчисленої за допомогою градієнта.

Отже, у місцях, де границі об'єктів, визначені за допомогою градієнта, розміщені густо, інформативність V буде більшою і збільшить значення енергії сильніше, ніж у місцях з меншою кількістю границь.

Ця модифікація енергетичної функції дає кращі результати для зображень з великою кількістю об'єктів, в яких фонові частини практично відсутні, оскільки дає додатковий критерій важливості кожного пікселя, що знаходиться на краю зображеного об'єкта.

Недолік цієї енергетичної функції – найбільший серед усіх розглянутих час на обчислення.

Результати масштабування з використанням як енергетичної функції модифікації градієнта з врахуванням інформативності показані на рис. 4.

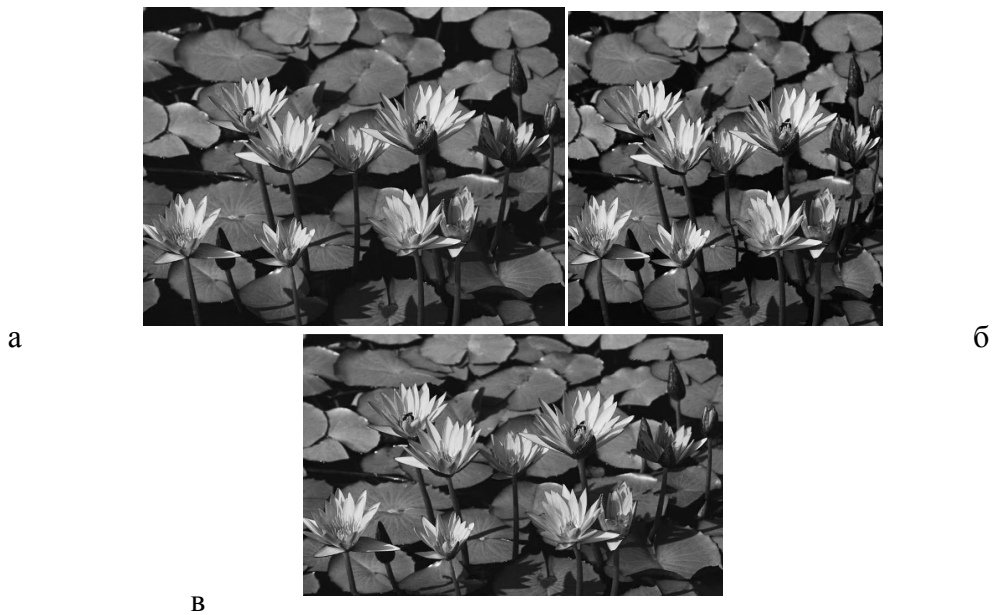


Рис. 4. Результати масштабування з використанням як енергетичної функції модифікації градієнта з врахуванням інформативності: а – оригінальне зображення; б – масштабування по горизонталі; в – масштабування по вертикалі

Енергетична функція на основі моделі помітності частин зображення для людини (Saliency)

Ця енергетична функція побудована за моделлю людського сприйняття зображень. Принцип побудови цієї енергетичної функції полягає в порівнянні частин зображення за кольором і яскравістю [6, 7].

Згідно з цією моделлю важливість пікселя пропорційна різниці кольору в логарифмічних координатах і експоненційно зменшується з відстанню порівнюваних пікселів. Формула, за якою обчислюється енергія кожного пікселя, має такий вигляд:

$$E_{Saliency}(x, y) = \sum_i \sum_j \ln \frac{I(x, y)}{I(i, j)} \cdot \exp\left(-\frac{(x-i)^2 + (y-j)^2}{2s^2}\right) \quad (6)$$

Масштабування методом Seam Carving з використанням цієї енергетичної функції дає найкращі результати, коли об'єкти на зображенні мають невеликий розмір. Результати масштабування цим методом наведені на рис. 5.

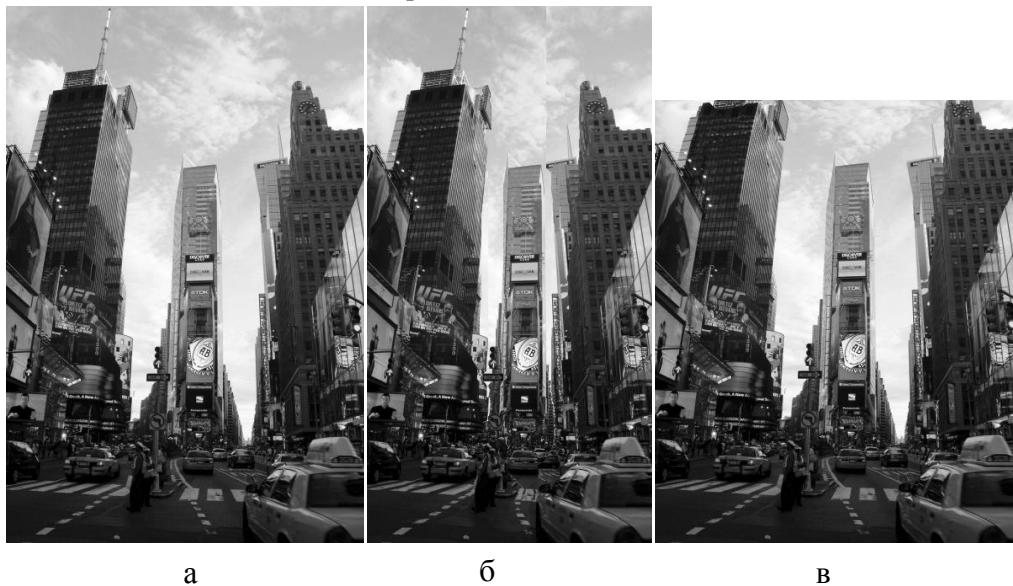


Рис. 5. Результати масштабування з використанням енергетичної функції на основі моделі помітності для людини (Saliency): а – оригінальне зображення; б – масштабування по горизонталі; в – масштабування по вертикалі

Енергетична функція на основі фільтра високих частот на основі швидкого перетворення Фур'є

Крім описаних в літературі, було запропоновано використати як метод пошуку країв об'єктів високочастотний фільтр на основі швидкого перетворення Фур'є.

Можна перейти від просторових до частотних характеристик зображення, застосувавши двомірне перетворення Фур'є, яке реалізується як застосування одномірних перетворень Фур'є до стовпців після застосування одномірних перетворень Фур'є до рядків. Так можна отримати спектральні характеристики зображення. Результируюча матриця Фур'є образів містить інформацію про амплітуди відповідних просторових частот зображення.

Найбільший внесок в амплітуду високих просторових частот дають пікселі, в околі яких відбуваються різкі зміни кольору. Тому реалізувавши фільтр високих частот (який відсікає низькі частоти), пікселі, біля яких відбуваються різкі зміни зображення, матимуть великі значення яскравості. Фільтр високих частот реалізується за рахунок проведення прямого швидкого перетворення Фур'є, занулення відліків, що відповідають низьким просторовим частотам і проведення зворотного швидкого перетворення Фур'є. Експериментально встановлено, що добрих результатів досягають при зануленні відліків з просторовими частотами, меншими за половину максимальної просторової частоти Фур'є образу.

Застосування фільтра на основі перетворення Фур'є дає змогу вирішити проблему повільного обчислення фільтрів великого розміру і дає добрі результати при меншому часі на обчислення енергетичної функції. Результати масштабування з використанням цієї енергетичної функції представлено на рис. 6.



Рис. 6. Результати масштабування з використанням енергетичної функції на основі високочастотного фільтра з використанням швидкого перетворення Фур'є: а – оригінальне зображення; б – масштабування по горизонталі; в – масштабування по вертикалі

Згортка зображення з шаблоном для підвищення енергії частин зображення, які містять важливі об'єкти

Якщо зображення містить велику кількість об'єктів, які мають велику важливість (наприклад, періодичні структури кристалічних ґраток, зображення бактерій і вірусів), підвищити їхню енергію можна за рахунок обчислення згортки з шаблоном важливого об'єкта і додати значення згортки до енергії обчисленої будь-якою енергетичною функцією, описаною вище.

Згортка обчислюється за формулою:

$$R_{ij} = \sum_{u,j} H_{u,j} F_{i+u, j+J}, \quad (7)$$

де H – матриця шаблонного зображення; F – основне зображення; R – результат згортки.

Згортка набуває великого значення у місцях, де в зображенні присутній шаблон. Додавання згортки до енергетичної функції підвищує енергію там, де на зображенні присутні об'єкти шаблону і не впливає на енергію в інших місцях.

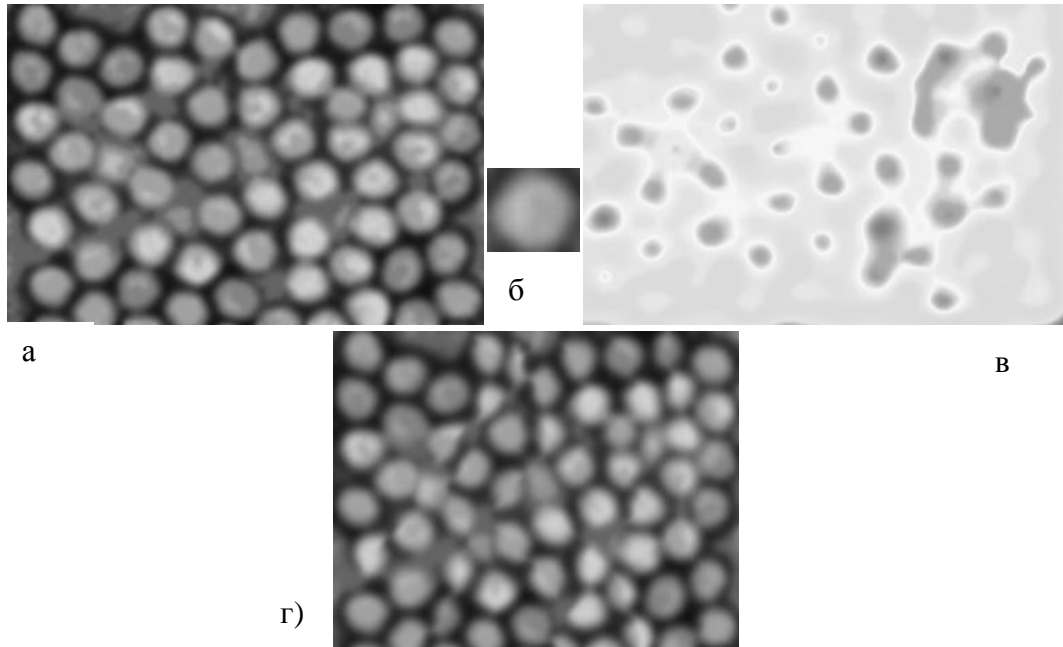


Рис. 7. Результати непропорційного масштабування з використанням згортки: а – оригінальне зображення; б – шаблон; в – результат згортки; г – результат масштабування з використанням енергетичної функції на основі моделі важливості для людини (Saliency) з додаванням значень згортки

Висновки

Описано алгоритм непропорційного масштабування з врахуванням вмісту зображень Seam Carving. Запропоновано метод покращання швидкодії програмної реалізації непропорційного масштабування. Розроблено програму на основі алгоритму Seam Carving з можливістю використання різних енергетичних функцій та їх модифікацій, а також завантаження їх з файлів. Крім описаних в літературі, реалізовано метод побудови енергетичної функції на основі високочастотного фільтра з використанням швидкого перетворення Фур'є, та метод модифікації енергетичних функцій за допомогою згортки зображення з шаблоном.

Використовуючи програмну реалізацію, досліджено вплив вибору енергетичних функцій і параметрів алгоритму на результати масштабування. Наведено властивості, переваги, недоліки і результати масштабування з використанням різних енергетичних функцій і їх модифікацій.

1. Pratt W. *Digital image processing, 4 ed.*, Wiley, 2007. 2. Цвет в компьютерной графике. Кодирование изображений. MegaLib.com/ПРОГРАММИРОВАНИЕ/Алгоритмы/. Режим доступа: http://megalib.com/items.php?gl_subject_id=38 – назва з інтернет сторінки. 3. Графика и обработка изображений. Режим доступа: <http://algotlist.manual.ru/graphics/index.php> - назва з інтернет сторінки. 4. Avidan S., Shamir A. Seam carving for content-aware image resizing // *ACM Trans. Graph.*, #26(3/2007), ACM 2007. 5. Обработка изображений и цифровая фильтрация / Ред. Т.С. Хуанга. – М.: Мир, 1979. – 228 с. 6. Itti L., Koch C., Niebur E. A model of saliency based visual attention for rapid scene analysis // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine*, 1998. 7. Harel J., Koch C., Perona P. Graph-Based Visual Saliency // *PAMI*, №20, 1999, с. 1254–1259.