

УДК 004.932.4

ЕНЕРГЕТИЧНІ ФУНКЦІЇ В ЗАДАЧАХ МАСШТАБУВАННЯ З ВРАХУВАННЯМ ВМІСТУ РАСТРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Ю. Шийка, Р. Шувар

*Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Драгоманова, 50, 79005 Львів, Україна
shiyka@mail.lviv.ua*

Розглянуто особливості побудови і застосування енергетичних функцій у задачах обробки растрових зображень з урахуванням вмісту. Крім відомих з літератури енергетичних функцій, запропоновано використовувати високочастотний фільтр на основі швидкого перетворення Фур'є. За допомогою програмної реалізації методу непропорційного масштабування Seam Carving з урахуванням вмісту зображення досліджено різні енергетичні функції. Наведено особливості застосування, переваги і недоліки досліджених енергетичних функцій. Як критерій ефективності використання тої чи іншої енергетичної функції запропоновано застосувати графік залежності зростання середньої енергії зображення від зміни розміру зображення.

Ключові слова: енергетична функція, непропорційне масштабування з урахуванням вмісту зображення, метод Seam Carving.

У задачах обробки растрових зображень, які передбачають урахування вмісту зображення, зокрема непропорційне масштабування, важливе місце посідає визначення критеріїв важливості пікселів зображення. Суть таких методів полягає в тому, що різні частини зображення зазнають різних змін. Наприклад у методі непропорційного масштабування Seam Carving передусім змін зазнають малопомітні, неважливі, фонові частини зображення, а помітніші, важливіші частини зображення практично не змінюються. Одним з перших кроків у методах обробки зображень з врахуванням вмісту є побудова матриці важливості пікселів зображення. Цю матрицю називають матрицею енергії, або енергією зображення. Її отримують шляхом застосування до зображення так званої енергетичної функції. На підставі різних критеріїв важливості чи різних моделей інформативності будують різні енергетичні функції (алгоритми обчислення енергії) [1–3].

Зрозуміло, що результат обробки зображень залежить від вибору енергетичної функції. Енергетичні функції здебільшого будують так, щоб найважливіші, помітні для людини пікселі мали велику енергію, а малопомітні, фонові – малу енергію. Як енергетичні функції придатні методи виділення країв. Найпростіший приклад такої енергетичної функції – 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 обробки зображень можна вручну, присвоївши велике значення енергії пікселям тої частини зображення, яка є найважливішою, чи мале значення енергії пікселям, які є неважливими.

Аналіз результатів використання різних енергетичних функцій виконано на прикладі методу Seam Carving непропорційного масштабування растрових зображень. Результати досліджували за допомогою складеної програми реалізації методу Seam Carving мовою C++ в середовищі Borland C++ Builder. Програма дає змогу завантажувати і зберігати зображення у вигляді файлів у форматі BMP. Реалізована можливість використання низки відомих і нових енергетичних функцій, а також можливість застосування віконного фільтра як енергетичної функції.

За допомогою розробленої програмної реалізації досліджено результати масштабування з використанням таких енергетичних функцій і їхніх модифікацій: енергетичні функції на основі градієнта (по горизонтальних напрямках, по вертикальних напрямках та по обох напрямках), фільтр Собела, модифікація градієнтного фільтра з урахуванням інформативності частин зображення, модель помітності частин зображення для людини (Saliency), фільтр високих частот на засадах швидкого перетворення Фур'є.

Результати масштабування в разі використання різних енергетичних функцій оцінювали методом візуального порівняння та методом обчислення зростання середньої енергії пікселів залежно від зміни розмірів зображення.

Енергетичні функції на основі градієнта. Градієнт – це векторна величина, яка в кожній точці простору визначає напрям і швидкість зміни функції, залежної від координат. У нашому випадку функцією, залежною від координат, є дискретна функція зображення – залежність кольору пікселя від його координат. Для обчислення горизонтального і вертикального градієнтів похідну визначали тільки за однією координатою з формули $\frac{\partial U}{\partial x}(x_i) = \frac{U(x_{i+1}) - U(x_{i-1})}{x_{i+1} - x_{i-1}}$. Отже, горизонтальний і вертикальний

градієнтні фільтри застосовували до зображення з такими ядрами фільтрів, відповідно:

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

Для випадку градієнтного фільтра по обох напрямках використовували числове диференціювання по обох координатах за двома сусідніми вузлами.

Сумарне ядро фільтра має вигляд

$$E_{\text{Grad}} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & -3 & 1 \\ 0 & 0 & -3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Зображення, до якого застосовували енергетичні функції, показано на рис. 1, а результати застосування енергетичних функцій на основі градієнта – на рис. 2.



Рис. 1. Оригінальне зображення, до якого застосовували енергетичні функції

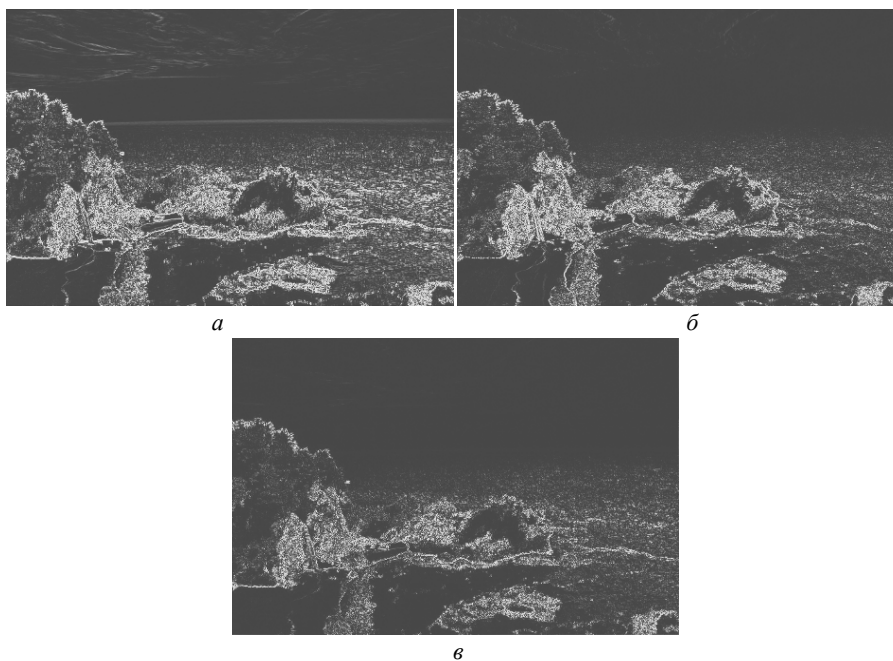


Рис. 2. Енергетичні функції на основі градієнта: *a* – по горизонтальних напрямках; *б* – по вертикальних напрямках; *в* – по обох напрямках

Перевага таких енергетичних функцій – висока швидкість обчислення і хороші результати непропорційного масштабування в більшості випадків. Зазначимо, що горизонтальний градієнтний фільтр ліпше застосовувати тоді, коли потрібно виконати масштабування по вертикалі, оскільки в разі такого масштабування відбувається пошук горизонтальних піксельних шляхів. І навпаки, у випадку масштабування по горизонталі, коли відбувається пошук вертикальних шляхів, ліпше застосовувати вертикальний градієнтний фільтр.

Енергетична функція на основі фільтра Собела. Фільтр Собела – поширений фільтр виділення країв, який визначають як

$$E_{\text{Sobel}} = \sqrt{\left(\begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix} \otimes I \right)^2 + \left(\begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \otimes I \right)^2} . \quad (3)$$

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 цей метод дає дещо ліпші результати порівняно з градієнтом. Також він потребує приблизно вдвічі більше часу для обчислення, що особливо помітно в разі масштабування в режимі перерахунку енергії.

Результати застосування енергетичної функції на основі фільтра Собела показано на рис. 3.



Рис. 3. Енергетична функція на основі фільтра Собела

Модифікація градієнтного фільтра з урахуванням інформативності частин зображення. У цій модифікації енергетичної функції інформативність частини зображення визначають на підставі розподілу пікселів частини зображення за яскравістю. Вважають, що частина зображення є важливішою, якщо в ній наявна велика кількість пікселів, що відрізняються за яскравістю. Коли ж усі пікселі частини зображення мають однакову яскравість, то частину зображення вважають малоінформативною.

Для обчислення важливості частини зображення навколо кожного пікселя у вікні певного розміру (ми використали вікно 16×16) будують гістограму пікселів за 256 градаціями яскравості. Далі за цією гістограмою (яка визначає кількість пікселів з кожною градацією яскравості) обчислюють інформативність:

$$V = - \sum_{i=1}^{256} P_i \cdot \log_2 P_i , \quad (4)$$

де $P_i = \frac{n_i}{16 \cdot 16}$ – імовірність того, що довільний піксель, вибраний у межах вікна 16×16 ,

матиме яскравість i -ї градації; n_i – кількість пікселів у вікні з яскравістю i -ї градації (з гістограми).

Отримане значення важливості додають до значення енергії пікселя, обчисленої з допомогою градієнта.

Отже, у місцях, де межі об'єктів визначені за допомогою градієнта, розміщені густо,

інформативність буде більшою і збільшить значення енергії значніше, ніж у місцях з меншою кількістю меж.

Ця модифікація енергетичної функції дає ліпші результати для зображень з великою кількістю об'єктів, у яких фонових частин практично нема, оскільки дає додатковий критерій важливості кожного пікселя, що міститься на краю зображеного об'єкта.

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

Енергетична функція на основі модифікації градієнта з урахуванням інформативності частин зображення показана на рис. 4.

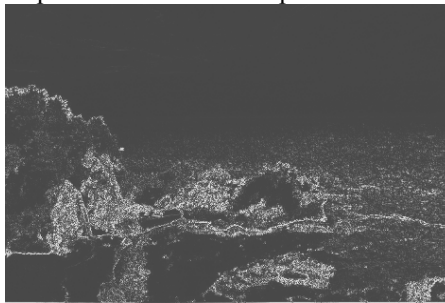


Рис. 4. Енергетична функція на основі модифікації градієнта з урахуванням інформативності частин зображення

Енергетична функція на основі моделі помітності частин зображення для людини (Saliency). Ця енергетична функція побудована за моделлю людського сприйняття зображень. Принцип побудови такої енергетичної функції полягає в порівнянні частин зображення за кольором і яскравістю [4, 5].

Згідно з цією моделлю, важливість пікселя пропорційна до різниці кольору в логарифмічних координатах і експоненційно зменшується з відстанню між порівнюваними пікселями. Формула, за якою обчислюють енергію кожного пікселя, має такий вигляд:

$$E_{\text{Saliency}}(x, y) = \sum_i \sum_j \ln \frac{I(x, y)}{I(i, j)} \cdot \exp\left(-\frac{(x-i)^2 + (y-j)^2}{2\sigma^2}\right). \quad (5)$$

Масштабування методом Seam Carving з використанням цієї енергетичної функції дає найліпші результати, коли об'єкти на зображенні мають невеликий розмір.

Вигляд такої енергетичної функції показано на рис. 5.

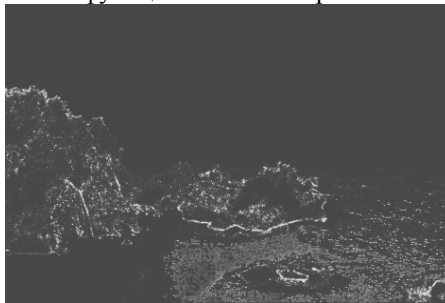


Рис. 5. Енергетична функція на основі моделі помітності частин зображення для людини (Saliency)

Енергетична функція на основі фільтра високих частот на засадах швидкого перетворення Фур'є. Перетворення Фур'є дає змогу перейти від просторових до частотних характеристик зображення, використавши двовимірне швидке перетворення Фур'є, яке реалізують як застосування одновимірних перетворень Фур'є до стовпців після одновимірних перетворень Фур'є до рядків. Так можна отримати спектральні характеристики зображення. Сумарна матриця Фур'є образів містить інформацію про амплітуду відповідних просторових частот зображення.

Найбільший внесок в амплітуду високих просторових частот роблять пікселі, в околі яких відбуваються різкі зміни кольору. Після застосування фільтра високих частот (який відсікає низькі частоти) пікселі, біля яких відбуваються різкі зміни зображення, будуть мати великі значення яскравості. Фільтр високих частот реалізують шляхом прямого швидкого перетворення Фур'є, занулення відліків, що відповідають низьким просторовим частотам і проведення зворотного швидкого перетворення Фур'є. Експериментально з'ясовують, що хороші результати досягають у разі занулення відліків з просторовими частотами, меншими від половини максимальної просторової частоти Фур'є-образу.

Застосування фільтра на основі перетворення Фур'є допомагає вирішити проблему повільного обчислення фільтрів великого розміру і дає хороші результати за меншого часу для обчислення енергетичної функції. Енергетична функція на основі швидкого перетворення Фур'є зображена на рис. 6.



Рис. 6. Енергетична функція на основі фільтра високих частот на основі швидкого перетворення Фур'є

Зростання середньої енергії пікселів зображення. Оскільки метод Seam Carving у разі непропорційного масштабування зі зменшенням розмірів зображення передбачає видалення з зображення передусім пікселів з малою енергією, то середня енергія пікселів зображення зростає. Оцінка зростання середньої енергії пікселів залежно від зміни розмірів зображення частково відображає ефективність використання тої чи іншої енергетичної функції.

Графіки середньої енергії пікселів порівняно з початковим значенням середньої енергії пікселів залежно від зміни розмірів зображення в пікселях показано на рис. 7.

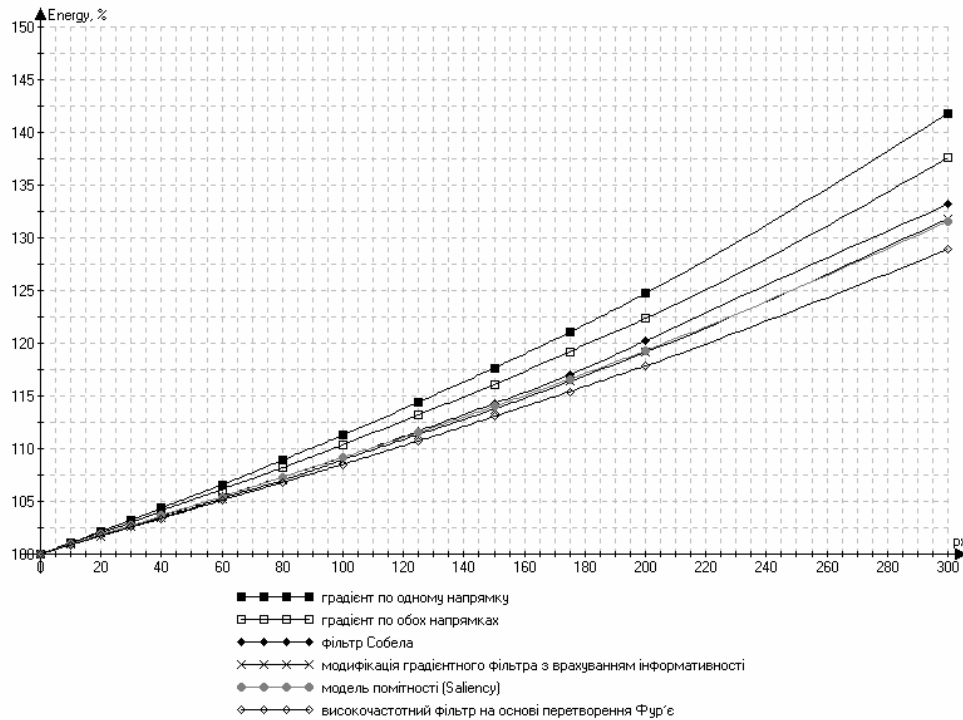


Рис. 7. Графіки залежності зростання середньої енергії зображення залежно від зміни розміру зображення

Зображені графіки засвідчують, що середня енергія пікселів найшвидше зростає щодо початкового значення в разі використання як енергетичної функції методів пошуку країв об'єктів – градієнтні фільтри, фільтр Собела. У випадку застосування інших розглянутих енергетичних функцій зростання середньої енергії відбувається повільніше, а це означає, що оцінка важливості пікселів відбувається з більшою кількістю градацій і сума енергій пікселів піксельних шляхів, що видаляються, зростає плавніше. Треба звернути увагу на два можливі крайні випадки:

1) близьке до квадратичного зростання середньої енергії свідчить про видалення піксельних шляхів зі сталою нульовою (або близькою до нульової) енергією. Відбувається за умови наявності неінформативних частин зображення (наприклад, рамка сталого кольору або внутрішня частина зображення сталого кольору порівняно великого розміру);

2) відсутність зростання або дуже повільне зростання середньої енергії (середня енергія є сталою) свідчить про видалення шляхів з максимальною або близькою до максимальної сумою енергії. Відбувається за дуже великих змін розмірів, коли втрат і спотворень зображення практично неможливо уникнути.

1. Pratt W. Digital image processing: 4 ed. Wiley, 2007.
2. Графика и обработка изображений. <http://algotlist.manual.ru/graphics/index.php>.

3. Avidan S., Shamir A. Seam carving for content-aware image resizing //ACM Trans. Graph., 2007. Vol. 26. N 3.
4. 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.
5. Harel J., Koch C., Perona P. Graph-Based Visual Saliency //PAMI, 1999. N 20. P. 1254–1259.

ENERGY FUNCTIONS IN CONTENT-AWARE IMAGE RESIZING

Yu. Shyika and R. Shuwar

*Ivan Franko National University of Lviv,
50 Dragomanov St., UA-79005 Lviv, Ukraine
shyika@mail.lviv.ua*

Different aspects of construction and application of energy functions for the problems of content-aware image processing are considered. In addition to the functions known from the literature, we suggest to apply high-pass filter based on fast Fourier transform as the energy function. Using the program implementation of the Seam Carving method, different energy functions are studied. The peculiarities of utilization, as well as advantages and shortcomings of the energy functions under test are discussed. A dependence of the average energy of image upon the image dimension is suggested as a criterion for efficiency of different energy functions.

Key words: energy functions, content-aware image resizing, Seam Carving.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ В ЗАДАЧАХ МАСШТАБИРОВАНИЯ С УЧЕТОМ СОДЕРЖИМОГО ИЗОБРАЖЕНИЙ

Ю. Шийка, Р. Шувар

*Львовский национальный университет имени Ивана Франко,
ул. Драгоманова, 50, 79005, Львов, Украина
shyika@mail.lviv.ua*

В работе рассмотрены особенности построения и применения энергетических функций в задачах обработки растровых изображений с учетом их содержимого. Кроме известных из литературы энергетических функций, предложено использовать в качестве энергетической функции высокочастотный фильтр на основе быстрого преобразования Фурье. С помощью программной реализации метода Seam Carving непропорционального масштабирования с учетом содержимого изображения проведено исследование разных энергетических функций. Приведены особенности применения, преимущества и недостатки исследованных энергетических функций. В качестве критерия эффективности использования той или другой функции представлен график роста средней энергии изображения в зависимости от изменения размера изображения.

Ключевые слова: энергетические функции, масштабирование с учетом содержимого изображения, метод Seam Carving.

Стаття надійшла до редколегії 29.04.2009

Прийнята до друку 30.06.2009