УДК 681.325

АЛГОРИТМ ПРОСТОРОВОГО РОЗШИРЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ СПОТВОРЕНЬ У РУХОМИХ ТА НЕРУХОМИХ ЗОБРАЖЕННЯХ

А.Й. Наконечний, В.І. Федак, З.Є. Верес

Національний університет "Львівська політехніка", вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, тел. (097) 306-44-24

Проведений аналіз основних алгоритмів та запропоновано покращену структурну схему для просторового розширення зображення. Додатково проведено аналіз алгоритмів оцінки руху та алгоритму розосередженого фільтрування, визначено основні вимоги та підходи злиття зображень.
Ключові слова: рухоме зображення, нерухоме зображення, фільтрування, злиття зображення, спотворення, піксельна решітка.

Проведен анализ основных алгоритмов и предложено улучшенную структурную схему для пространственного расширения изображения. Дополнительно проведен анализ алгоритмов оценки движения и алгоритма рассредоточенного фильтрования, определены основные требования и подходы слияния изображений.
Ключевые слова: подвижное изображение, неподвижное изображение, фильтрование, слияние изображения, искажения, пиксельная решетка.

Basic image spatial resolution algorithms were investigated. New improved structural schema for image super resolution was proposed. Analysis of the motion estimation algorithms and non-local means algorithm was performed. Main requirements and image fusion solutions are determined.
Keywords: mobile image, immobile image, filtration, confluence of image, distortions, pixel grate.

На сучасному етапі розвитку техніки оброблення сигналів багато зусиль та коштів витрачається на вдосконалення способів відображення даних на екрані комп'ютера. Зображення і відео переважно знаходяться у закодованому форматі, оскільки канали передачі мають малу пропускну здатність, а носії інформації – обмежений об'єм. Для забезпечення високої якості відтвореного зображення чи відеопослідовності сигнал піддається додатковій постобробці. За допомогою техніки просторового розширення зображень можна значно покращити якість рухомого чи нерухомого зображення на етапі постобробки. Причому зображення з високою роздільною здатністю формується за допомогою набору зображень малої роздільної здатності. В роботі наведено основні принципи просторового розширення зображень та запропоновано покращенну структурну схему для формування рухомого чи нерухомого зображення з високою роздільною здатністю.

Техніка просторового надрозширення (super resolution) передбачає отримання одного високоякісного зображення X з декількох зображень нижчої якості $\{y_t\}^T_{t=1}$. На даний час розроблено велику кількість алгоритмів для просторового розширення зображень [1], більшість з них грунтуються на тому, що зображення $\{y_t\}^T_{t=1}$ утворюється із зображення X, на яке накладаються наступні операції [2]: I – геометричні перетворення F_t, II – лінійні просторово-незалежні розмиття H, III – етап проріджения представлений D, IV – шум. З вищевказаних міркувань можна зробити висновок, що спотворене зображення y_t можна подавати наступним виразом:

$$y_t = DHF_tX + n_t \text{, для } t = 1,2,\ldots,T. \qquad (1)$$

Відтворення зображення X із зображення $\{y_t\}^T_{t=1}$ є зворотньою операцією, що включає в себе знешумлення, зменшення розмитості та різноманітні масштабуючі операції.

В основному алгоритму просторового розширення зображень працюють наступним чином (рис. 1).

У випадку відеосигналу набором зображень низької якості виступають кадри самої відеопослідовності. Для того, щоб використати рухомі кадри з метою просторового розширення, спочатку застосовується алгоритм

компенсації руху а потім проводиться етап злиття [3-6].

Вирівнювання пікселів у послідовності зображень низької якості здійснюється таким чином. Процес здійснюється за допомогою алгоритмів компенсації руху з визначенням якості вектора руху. В тих місцях, де вектори руху є нечіткими, застосовується алгоритм розосередженого фільтрування.

Серед методів оцінки руху можна виділити декілька груп основних методів: методи оптичного потоку [7], методи фазової кореляції та методи співставлення блоків (рис. 2).

Найбільш широко на практиці застосовуються методи співставлення блоків завдяки простоті апаратної реалізації та високій обчислювальній ефективності. Загальна схема роботи цих методів наступна:

1) поточний кадр розбивається на блоки, що не перетинаються;

2) для кожного блоку поточного кадра здійснюється пошук найбільш підходящого блоку (реперного блоку) в попередньому або наступному кадрі (рис. 2).

У сучасних алгоритмах співставлення блоків для пришвидшення пошуку вектора руху, який характеризує різницю між позиціями поточного і реперного блоків, використовується схожість між векторами руху у просторі і часі. Пришвидшення досягається за рахунок перебору лише декількох векторів руху замість перевірки всіх можливих. Пошук вектора руху для кожного блоку в таких алгоритмах здійснюється наступним чином:

1) формується множина векторів кандидатів;

2) в цій множині здійснюється пошук найкращого вектора кандидата;

3) здійснюється уточнення вектора кандидата.

Пошук найкращого вектора кандидата здійснюється на основі мінімального значення абсолюних різниць:

$$SAD(t,B,\overrightarrow{d^B}) = \sum_{(x,y)\in B} \left| \begin{matrix} I(t,x,y) - \\ - I(t-1, x+d_x{}^B, y+d_y{}^B) \end{matrix} \right|, \quad (2)$$

де $\overrightarrow{d^B}$ – вектор руху блоку; $I(t,x,y)$ – яскравість точки (x,y) кадра з номером t.

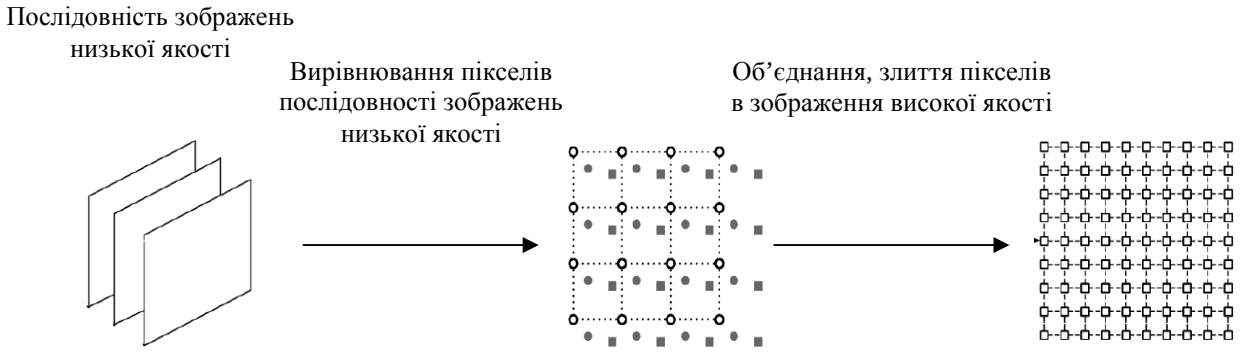


Рисунок 1 – Схема алгоритмів просторового розширення зображень



Попередній кадр *Поточний кадр*

Рисунок 2 – Оцінка руху методом співставлення блоків

На етапі вирівнювання пропонується наступний підхід для оцінки достовірності вектора руху. Достовірність вектора руху для блока в позиції (*x, y*) визначається, виходячи з трьох характеристик [8]:

- error(*x, y*) – помилка наближення (сума абсолютних різниць пікселів блоку в позиції (*x, y*) і співставленному йому блоку з попереднього кадра);
- disp(*x, y*) – дисперсія блоку в позиції (*x, y*);
- dev(*x, y*) – середнє квадратичне відхилення вектора від чотироьох сусідніх векторів.

Для визначення якості вектора руху пропонується використовувати наступний вираз [9]:

$$coef(x,y) = (a\,\mathrm{error}(x,y) + \frac{b}{\mathrm{disp}(x,y)} + c\,\mathrm{dev}(x,y))^{-1}. \quad (3)$$

Встановлено, що найкращий результат досягається при наступних значеннях параметрів: *a* = 0,25; *в* = 32; *c* = 1.

Вектор руху буде тим кращий, чим більший в нього буде якісний показник. Основним завданням визначення якості векторів руху є мінімізація похибки, пов'язаної з недоліками векторів руху, саме тому надалі потрібно використовувати тільки вектори, для яких якісний показник руху більший порогового значення.

А у місцях, де вектор руху є нечіткий, пропонується використовувати алгоритм розосередженого фільтрування, який запропонований Буадесом [9]. Даний алгоритм є своєрідною надбудовою над іншим алгоритмом просторового двонаправленого фільтрування [10], при якому береться до уваги як геометричне розташування піксела зображення, так і його фотометрична схожість. Двонаправлений фільтр може бути представлений наступним чином:

$$I(x) = k_b^{-1}(x) \int_{-\infty}^{\infty} I(y)c(y,x)s(I(y),I(x))dy, \quad (4)$$

де *c* (*y, x*) – визначає геометричну точність, близкість між пікселом *x* і сусіднім *y*; *s(I(y), I(x))* – визначає фотометричну залежність між відповідними пікселами.

Для визначення *c(y, x)* і *s(I(y), I(x))* можна для найбільш загального випадку згадані параметри підставити в функцію Гауса, тобто

$$c(x,y) = \exp(-\frac{\|x-y\|^2}{2\sigma_d^{\,2}}),$$

$$s(I(x),I(y)) = \exp(-\frac{\|I(x)-I(y)\|^2}{2\sigma_r^{\,2}}),$$

де σ_r і σ_d – параметри фільтру.

Алгоритм розосередженого фільтрування використовує всі можливості алгоритму двонаправленого фільтрування, проте для кращого збереження всіх структурних елементів зображення порівнює не лише окремі пікселі, а частини самого зображення.

Алгоритм розосередженого фільтрування визначається математичною моделлю (5):

$$NL_h\{\underline{x}\} = \frac{1}{C(\underline{x})} \cdot \sum_{\underline{y}\in Q(\underline{x})} z(\underline{x}) \cdot e^{-\frac{\|\underline{N}(\underline{x})-\underline{N}(\underline{y})\|_2^2}{h^2}}, \quad (5)$$

де $C(\underline{x}) = \sum_{\underline{y}\in Q(\underline{x})} e^{-\frac{\|\underline{N}(\underline{x})-\underline{N}(\underline{y})\|_2^2}{h^2}}$ – нормалізована кон-станта; *N*(*x*) - вектор, що включає пікселі з вікна, що оточує піксель *x*; *Q(x)* – пошукове вікно вздовж *x*.

Вікно *N(x)* включає S_xS_y пікселів, вікно *Q(x)* включає $A_x \cdot A_y$ пікселів. З виразу (2) можна стверджувати, що *NLh*(*x*) є середнім зваженим значенням всіх пікселів пошукового вікна *Q*(*x*) (значення *x* без шуму). При $S_x = S_y = 1$ алгоритм розосередженого фільтрування працює як алгоритм двонаправленого фільтрування. В алгоритмі розосередженого фільтрування всі значення пікселів *Q(x)* використовуються для розрахунку піксела *x*.

Знаходження значень пікселів вихідного кадра високого розширення включає в себе декілька етапів:

1) проектування піксельної решітки кадрів зображення низького розширення на піксельну решітку високого розширення;

2) накладання піксельних решіток отриманих кадрів високого розширення на піксельну решітку базового кадра;

3) обчислення значень пікселів результуючого зображення;

4) усунення розмивання зображення результуючого кадра.

На 1-му етапі пікселі з кадрів низького розширення проектуються на нову піксельну сітку високого розширення [11]. Пікселі базового кадра низького розширення проектуються на решітку високого розширення без додакових обчислень. Суміжні кадри, що використовуються для обчислення нового кадра

високого розширення, проектуються з врахуванням вектора руху, визначеного на попередньому кроці. Кожний кадр зображення з низьким розширенням трансформується в один кадр з високим розширенням. Отримані кадри використовуються на етапі злиття. На рис.3 наведено піксельні решітки базового (рис. 3,*а*) та двох послідовних кадрів (рис. 3,*б*), які використовуються для обчислення значень пікселів результуючого кадра.

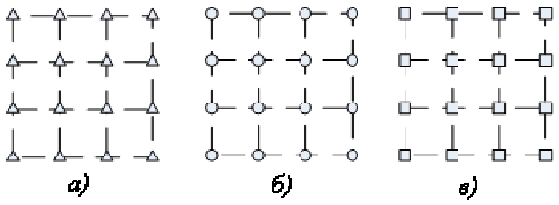


Рисунок 3 – Пікселі вхідних кадрів зображення низького розширення (*б*, *в*), які зміщені відносно базового кадра (*а*)

Послідовні кадри містять споріднену інформацію з базовим кадром, але їх пікселі містять зсув відносно піксельної решітки базового кадра.

На етапі злиття зображень відбувається формування вихідного зображення на основі послідовності вхідних зображень.

Узагальнена схема злтиття зображень наведена на рис. 4, де I_1, I_2, ... ,I_n — набір вхідних кадрів зображення, F – результуюче зображення.

При злитті кадрів відбувається накладання пікселів послідовних кадрів на піксельну решітку базового кадра. При цьому відбувається перекривання пікселів на деяких позиціях. У тих місцях піксельної решітки нового кадра, де відсутні накладання пікселів, необхідно проводити додаткову інтерполяцію для обчислення значення відсутніх пікселів. Для обчислення значень таких пікселів застосовується білінійна інтерполяція.

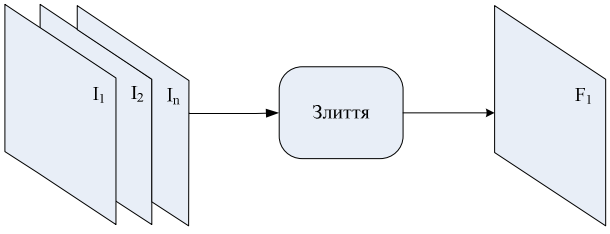


Рисунок 4 – Злиття послідовності вхідних кадрів

В результаті проведення злиття кадрів отримується новий кадр високого розширення. Операція просторового розширення зображення є протилежною до операції просторвого зменшення зображення. Більшість алгоритмів просторового зменшення зображення використовують низькосмуговий фільтр для зменшення спотворення контурів. Це зумовлює потребу усунути розмивання контурів зображення при просторовому розширенні зображень.

Пропонований алгоритм просторового розширення зображення на основі техніки надрозширення (Super Resolution) має низку припущень, які накладаються на вхідне зображення низького розширення. До основних припущень слід віднести наступні:

1) вхідне зображення містить декілька кадрів, що описують одну сцену;

2) кожен кадр містить зсув пікселів, що визначається за допомогою вектору руху.

Блок-схема пропонованого алгоритму просторовго розширення зображення наведена на рис. 5. При обчисленні значень пікселів результуючого зображення пропонується проводити аналіз якості векторів руху. В залежності від точності вектора руху визначається, яким способом буде здійснюватись проектування кадрів низького розширення на піксельну решітку високого розширення. Якщо алгоритм оцінки руху не може достовірно визначити вектора руху, то застосовується алгоритм розосередженого фільтрування, що дає змогу не вносити додаткових спотворень в зображення з високою роздільною здатностю.

Після етапу проектування піксельних решіток кадрів низького розширення здійснюється операція злиття, що дає змогу отримати вихідне зображення високого розширення. Над результуючим зображенням проводиться додатковве знешумлення з метою усунення спотворень.

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз основних алгоритмів та запропоновано покращену структурну схему для просторового розширення зображення. Покращення здійснюється за рахунок того, що на етапі оцінки руху проводиться аналіз якості векторів руху.

В залежності від точності вектора руху визначається, яким способом буде здійснюватись проектування кадрів низького розширення на піксельну решітку високого розширення. Якщо алгоритм оцінки руху не може достовірно визначити вектора руху, то застосовується алгоритм розосередженого фільтрування, що дає змогу не вносити

додаткових спотворень в зображення з високою роздільною здатностю.

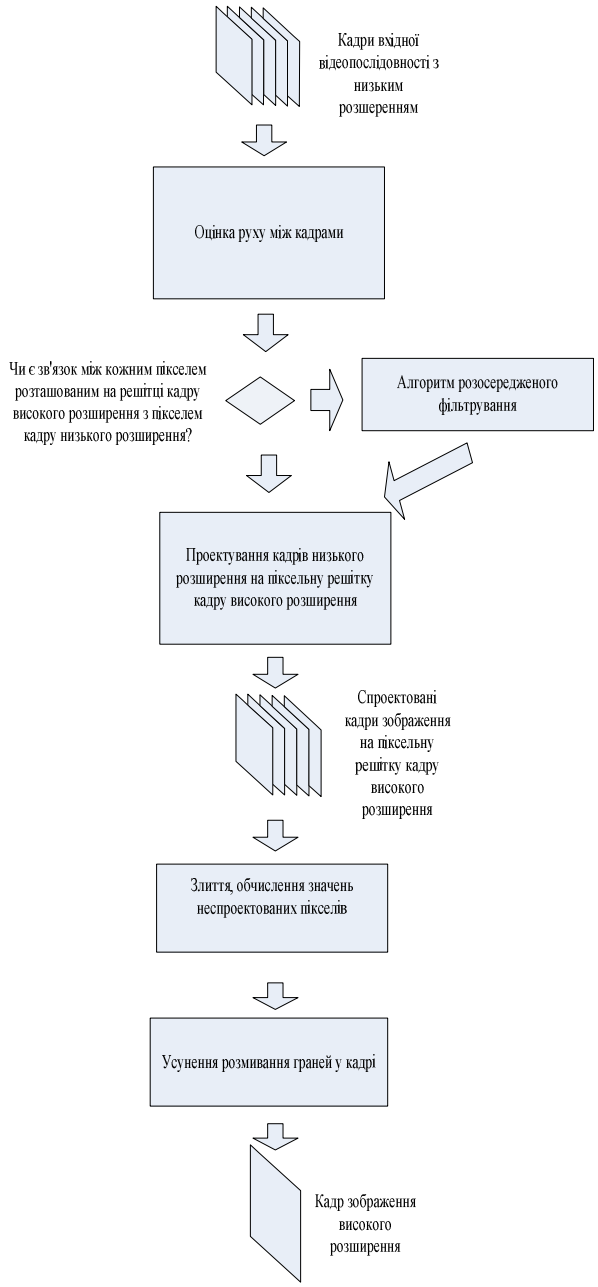


Рисунок 5 – Блок-схема запропонованого алгоритму просторовго розшення зображення

Додатково проведено аналіз алгоритмів оцінки руху та алгоритму розосередженого фільтрування, визначено основні вимоги та підходи злиття зображень.

1. Protter M., Elad M., Takeda H., and Milanfar P. Generalizing the nonlocal-means to super-resolution reconstruction,// IEEE Trans. ImageProcess. – V. 18. – N. 1. – P. 36–51. 2. Matan Protter and Michael Elad "Super ResolutionWith Probabilistic Motion Estimation" IEEE Trans. ImageProcess. –V. 18. – N. 8. – P.45 – 48. 3. Baker S. and Kanade T. Limits on super-resolution and how to break them // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. – V. 24. – N. – 9. – P. 1167–1183. 4. Farsiu S., Robinson D., Elad M., and Milanfar P. Fast and robust multiframe superresolution // IEEE Trans. Image Process. – V. 13. – N. 10. – P. 1327–1344. 5. Farsiu S., Robinson D., Elad M., and Milanfar P. Advances and challenges in superresolution // Int. J. Imag. Syst. Technol. – V. 14. – N. 8. – P. 47–57. 6. Schultz R. R. and Stevenson R. L. Extraction of high-resolution frames from video sequences // IEEE Trans. Image Process. – V. 5. – N. 6. – P. 996–101. 7. Memin E. and Perez P. Dense estimation and object-based segmentation of the optical flow with robust techniques // IEEE Trans Image Processing – 1998. V. 7 – N 5. 8. Antoni Buades. Image and film denoising bynon-local means//, Ph. D. Thesis. – 2005.9. Симонян К. А, Гришин С.В., Ватолин Д.С. Адаптивный метод оценки движения в видео // Сборник статей молодых ученых. – Вмик МГУ. – 2008.10. Efros A. and Leung T. Texture synthesis by non parametric sampling// In Proc.Int. Conf. Computer Vision. – V. 2. – P. 1038. – 1999. 11. Park S.C., Park M.K., and KANG M.G., Super-Resolution Image Reconstruction: A Technical Overview // IEEE Signal Processing Magazine. – 2003. V. 20. – P. 21-36.

Поступила в редакцію 13.11.2009р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук, проф. Яцук В.О.