УДК 681.325

АЛГОРИТМ НЕЛОКАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ПРИ ОБРОБЦІ ЗОБРАЖЕНЬ ТА НАПРЯМКИ ЙОГО ПОКРАЩЕННЯ

І. Кіренко, В. Федак

Національний університет „Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013

Проведений аналіз алгоритмів зменшення спотворень у відтворених нерухомих та рухомих зображеннях та наведена класифікація їх спотворень. Запропоновано нову пришвидшену ієрархічно-пошукову схему для алгоритму нелокальних засобів, яка має більшу швидкодію.

Проведен анализ алгоритмов уменьшения искажений в воспроизведенных неподвижных и подвижных изображениях и приведена классификация их искажений. Предложена новая ускоренная иерархично-поисковая схема для алгоритма нелокальных средств, которая имеет большее быстродействие.

Analyzing of algorithms for reducing image and video artifacts has been done and artifacts classification was shown. New hierarchical-based scheme for Non Local Means algorithm has been proposed.

У випадку, коли візуальна інформація знімається, обробляється і передається до споживача, то відтворений сигнал може відрізнятися від оригінального. Артефакти представляють видимі відмінності, які є прямим результатом деякого технічного обмеження, що виникає внаслідок обробки. В залежності від походження і структури артефакти зображення і відео можуть бути класифіковані наступним чином.

Блочні спотворення – цей вид спотворень переважно з’являється в зображеннях, які компресуються за допомогою ДКП. Кодер одночасно обробляє блоки незалежно один від одного розміром 8*8 пікселів. Це приводить до того, що з’являються вертикальна і горизонтальна границі між окремими блоками. Блочний ефект є найбільш видимим ефектом серед усіх інших артефактів.

Кільцеві артефакти – це такі спотворення, які з’являються в результаті відсікання інформації в тих місцях зображення, де є значні перепади яскравості. Це відбувається внаслідок відкидання високочастотної складової зображення. Найчастіше дане спотворення з’являється при використанні вейвлет кодерів, проте часто виникає і в тих зображеннях, де сигнал був перетворений з просторової області в частотну і навпаки.

Розмивчасті спотворення виникають в результаті відсікання високочастотної складової, внаслідок чого може утворитись інший небажаний ефект – ефект розмивання. Ці спотворення розмивають інформацію на краях зображення, на текстурних блоках, де інтенсивно змінюється яскравість. Цей ефект досить сильно залежить від відстані між спостерігачем та екраном. Якщо на зображення чи відео дивитись з далекої відстані, то розмивчасті спотворення практично є непомітними.

Ефект мерехтіння з’являється лише у відеосигналах. Сучасні відеокодери кодують відеозображення як послідовність нерухомих зображень, одне з яких ключове (I), а інші як допоміжні кадри (P і B кадри). P і B кадри кодуються за допомогою методів компенсації руху – на основі різниці між попереднім і наступним кадром. В загальному якість I фреймів переважно вища, ніж у P і наступних B фреймах, тому і помилка оцінки руху між допоміжними і ключовими фреймами є більшою, ніж між допоміжними. Коли відбувається трансляція відео, кадри швидко змінюються і виникає так званий артефакт «мерехтіння».

З метою вирішення завдання усунення спотворень у зображеннях і відео можуть застосовуватись наступні методи:

- просторово-фільтруючі методи,
- частотні методи,
- методи на основі компенсації руху.

Алгоритми, які грунтуються на використанні просторово-фільтруючих методів, прямо модифікують окремі пікселі зображення. Такі алгоритми характерні тим, що вони вносять розмивчастий ефект у зображення – якщо фільтрування застосовується до всього

зображення і не використовується техніка для детектування країв зображення. Частотні методи грунтуються на тому, що модифікуються частотні коефіцієнти, а потім відтворюється оригінальне зображення чи відео.

Існує багато алгоритмів для зменшення різних типів спотворень: одні з них використовують просторово-фільтруючі алгоритми разом з алгоритмами для детектування країв зображень (алгоритми сегментації), інші модифікують частотні коефіцієнти. Також мають місце так звані гібридні алгоритми, які використовуються одночасно як просторово-фільтруючі, так і частотні методи.

Більшість методів, які видаляють вищевказані типи спотворень у нерухомих і рухомих зображеннях, працюють за схемою, наведеною на рис. 1.

Для усунення блочних спотворень Стівен і Чой [1] запропонували просторово-фільтруючий метод. В роботі [1] було встановлено, що різниця яскравості між пікселами сусідніх блоків більша, ніж різниця між пікселами в самих блоках. Алгоритм, який модифікував пікселі, що лежать на границях цих блоків, був запропонований в роботі [1]. Даний алгоритм зменшує блочність у зображеннях, проте вносить розмиття.

З метою усунення даного недоліку запропоновано використання просторово-фільтруючих методів лише на однорідних поверхнях. Так Рамамурі та інші запропонували фільтр для видалення блочного ефекту і шуму на однорідних поверхнях[2]. В їхній роботі було використано локальні статистики: середнє значення яскравості однорідних блоків та різницю яскравості між краями.

Якщо проводити фільтрування, незважаючи на локальні характеристики зображення, це приводить до втрат високочастотної складової зображень. Як приклад може бути застосування просторово-фільтруючих алгоритмів разом з алгоритмами сегментації. Для сегментації досить часто застосовується алгоритм Кенні і Собела.

Кім у своїй роботі [3] запропонував алгоритм з використанням бінарної крайової карти. В даній роботі запропоновано використання піксел-класифікований підхід для видалення блочного та ступінчатого ефекту. За допомогою алгоритмів сегментації кожен піксел розрізняється до якої частини зображення він належить, а вже після цього накладається адаптивний фільтр для видалення блочних ефектів на однорідних частинах зображення. Проводиться фільтрування зі збереженням деталей зображення та видалення ступінчатого шуму.

Адаптивний алгоритм зменшення блочних спотворень для сильностиснених зображень з допомогою ДКП був запропонований Вангом [4]. Видалення блочного ефекту відбувається в чотири етапи:

- поділ зображення на однорідні та текстурні блоки (використовується алгоритм Собела для детектування країв зображення),
- фільтрування однорідних частин зображення (проводиться згладжування однорідних частин зображення просторово-фільтруючим алгоритмом),
- проводиться фільтрування крайових частин зображення (використовується фільтрування з використанням ДКП, що запропоноване Тао [5],
- перетворення зображення у вихідний формат (процес квантування).

Необхідно відзначити неітеративний алгоритм усунення кільцевих і блочних спотворень, який запропонований Лью [6]. В цьому алгоритмі застосовується двоелементне малохвильове перетворення, яке реалізоване за допомогою двох одноелементних цифрових фільтрів. Основним елементом роботи даного алгоритму є аналіз неперервності. Цей аналіз проводиться у частотній області і обчислюється як різниця між пікселами сусідніх блоків. Наступним кроком даного алгоритму є побудова карти неперервності для зображення (рис. 2). Відносно цієї карти й визначаються передумови для наступного фільтрування.

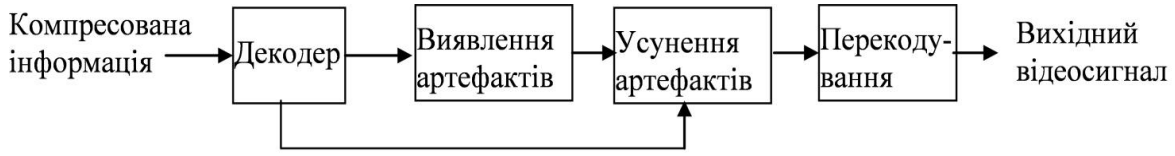

Рисунок 1 – Структура послідовності виконання операції алгоритмів обробки зображень

Методи для покращення зображень, які грунтуються на фільтруванні просторової або частотної складової самого зображення, розмивають існуюче зображення та його частини. Функціональні частини зображення сприймаються як звичайний шум, а отже й піддаються фільтруванню. Метою алгоритму нелокальних засобів є видалення лише шумів без пошкодження деталей самого зображення.

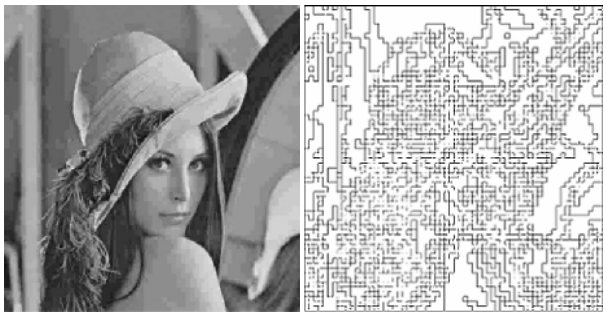

Рисунок 2 – Побудова карти неперервності для зображення Лєна (512x512)

Для цього вказаний алгоритм використовує надлишковість самого зображення, оскільки найбільша кількість деталей кожного зображення з'являється в декількох місцях одночасно. Кожна група виділених деталей зображення відповідає набору дуже подібних елементів самого зображення (рис. 3). Тільки недавні розробки почали враховувати цю властивість зображень для їх відтворення. Знешумлення може здійснюватись шляхом вираховування середнього значення яскравості цих подібних частин зображення.

Рисунок 3 – Знаходження однорідних частин зображення у методі нелокальних значень

Алгоритм нелокальних значень є своєрідною надбудовою над алгоритмом просторового двонаправленого фільтрування [7]. Алгоритм просторового двонаправленого фільтрування – це техніка фільтування зображень із збереженням всіх його деталей, при фільтруванні береться до уваги як геометричне розташування піксела зображення, так і його фотометричну схожість. Двонапревлений фільтр може бути виражений наступним чином:

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

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 $c(y, x)$, $s(I(y), I(x))$ можна для найбільш загального випадку підставити $c(x, y)$ в функцію Гауса, тобто

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

і відповідно $s(I(x), I(y))$ буде мати наступний вигляд:

$$s(I(x),I(y)) = \exp(-\frac{\|I(x)-I(y)\|^2}{2\sigma_r^{\,2}})\,, \quad (3)$$

де σ_r, σ_d – параметри фільтра.

Алгоритм нелокальних значень використовує всі можливості алгоритму двонаправленого фільтрування, проте для кращого збереження всіх структурних елементів зображення порівнює не лише окремі пікселі, а частини самого зображення. Кожне мале вікно в зображенні має багато подібних вікон в цьому ж зображенні. Так з визначення суміжних фільтрів можна зробити висновок, що якщо всі пікселі, які входять до вікна I та вікна J подібні, то вікно J може бути використане для знаходжень значень відповідних пікселів I [8]. Таким чином, усі сусідні пікселі J (пікселі, які входять у визначене вікно J) можуть бути використані для визначення самого значення яскравості піксела I. Це було вперше використано для структурного синтезу непараметричних послідовностей. Алгоритм нелокальних способів може бути описаний наступним виразом:

$$NL_h\{\underline{x}\} = \frac{1}{C(\underline{x})}\cdot\sum_{\underline{y}\in Q(\underline{x})} z(\underline{x})\cdot e^{-\frac{\|\underline{N}(\underline{x})-\underline{N}(\underline{y})\|_2^2}{h^2}}\,, \quad (4)$$

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

Вікно $\underline{N}(\underline{x})$ включає $Sx*Sy$ пікселі, вікно $Q(\underline{x})$ відповідно $Ax*Ay$ піклелі. З наведного виразу (4) можна стверджувати, що $NL_h(\underline{x})$ – це середнє зважене значення всіх пікселів пошукового вікна $Q(\underline{x})$ (значення x без шуму). При $Sx=Sy=1$ алгоритм нелокальних способів працює як алгоритм двонаправленого фільтрування. В алгоритмі нелокальних значень всі значення пікселів $Q(\underline{x})$ використовуються для розрахунку піксела x.

В результаті проведених досліджень встановленно, що після використання алгоритму нелокальних значень якість обробленого зображення є не гіршою, ніж при використанні частотних методів. Швидкодія даного алгоритму є на порядок вищою, ніж у частотних методах, але якщо порівнювати даний алгоритм з іншими просторово-фільтруючими алгоритмами, то можна зробити висновок, що швидкодія його невисока із-за перенавантаження обчисленнями пошуку співпадаючих вікон. Складність даного алгоритму K можна обчислити за наступним виразом:

$$K = N^2(2m+1)^2 * (2s+1)^2, \qquad (5)$$

де N – кількість пікселів зображення, m – розмір пошукового вікна, s – розмір співпадаючого вікна.

На підставі проведених дослідень встановленно, що найкраща якість отримується з наступними параметрами: m =3, s = 10.

Для збільшення швидкодії наведеного алгоритму та пошуку вікон співпадіння пропонується використовувати ієрархічний пошуковий алгоритм, який необхідно виконувати в такій послідовності:

1) необхідно зменшити вхідне зображення в 2 рази за допомогою білінійної інтерполяції;

2) на зменшеному вхідному зображення запустити алгоритм нелокальних способів для пошуку співпадаючих вікон;

3) знайшовши фрагменти зображення, які співпадають, застосовувати алгоритм нелокальних значень до оригінального зображення (з оригінальним розміром);

4) використати пірамідальну обробку для інших масштабів зменшення вхідного зображення.

ВИСНОВОК

Запропонований ієрархічний пошуковий алгоритм обробки зображень має більшу швидкодію при обробці як рухомих, так і нерухомих зображень в порівнянні із частотними методами і просторово-фільтруючим алгоритмами обробки.

Література

1. S.S. Steven, S.O. Choy, Y.H. Chan, W.C. Si. Reduction of block-transform image coding artifacts by using local statistics of transform coefficients // IEEE Signal Processing Letters. – Vol. 4. – No. 1. – P. 5–7. –1997.

2. B. Ramamurthi, A. Gersho. Nonlinear space-variant postprocessing of block coded images // IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing. – Vol. 34. – No. 5. – P. 1258-1268. – 1986.

3. T.Q. Vinh, Y.K. Block. Artifact Reduction Based on Pixel Classification Using Binary Edge. – 2008.

4. C. Wang et al. Adaptive Reduction of Blocking Artifacts in DCT Domain for Highly Compressed Images. – 2003.

5. C. Tao, H.R. Wu, Q. Bin. Adaptive postfiltering of transform coefficients for the reduction of blocking artifacts // IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol. – Vol. 11. – No. 5. – P. 594-602. – 2001.

6. W.C. Liew, H. Yan Blocking. Artifacts Suppression in Block-Coded Images Using Overcomplete Wavelet Representation // IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol. – Vol. 11. – No. 14, No. 4. – 2004.

7. A. Efros, T. Leung. Texture synthesis by non parametric sampling //In Proc. Int. Conf. Computer Vision. – Vol. 2. – P. 1038. – 1999.

8. C. Tomasi, R. Manduchi. Bilateral Filtering for Gray and Color Images // Computer Vision, 1998. Sixth International Conference on, Volume, Issue, 4-7. – 1998. – P. 839 – 846.

Поступила в редакцію 10.04.2009р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук, проф. Луцик Я.Т.