

УДК 681.325

КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ПРОСТОРОВОГО РОЗШИРЕННЯ ЗОБРАЖЕННЯ

З. Є. Верес, А. Й. Наконечний

Національний університет "Львівська політехніка", вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013,
тел. (8-097) 306-44-24

Приведено класифікацію методів просторового розширення зображень. Розглянуто основні реалізації просторового розширення зображень та проведено порівняння результатів роботи різних методів.

Приведена классификация методов пространственного расширения изображений. Рассмотрены основные реализации пространственного расширения изображений и проведено сравнение результатов работы разных методов.

Classification of interpolation methods was performed. Main algorithms realization is described and results of their work are compared.

Перетворення формату відеозображення є комплексним питанням і пояснюється особливостями людської зорової системи. Повне перетворення сигналу стандартного розширення в формат сигналу високого розширення вимагає проведення деінтерлейсінгу та перетворення частоти кадрів. Огляд методів для деінтерлейсінгу детальніше наведено в [1 ÷ 3].

В останній час рядом авторів розроблено набір методів та алгоритмів для просторового розширення зображень, які відносяться до нелінійного типу та демонструють кращі результати у порівнянні з методами відезображень на основі лінійної теорії. Деякі з цих методів були розроблені для досягнення кращих показників при оцінюванні з допомогою об'єктивних метрик. Як правило, в ролі такої метрики виступає найменша середня квадратична помилка – НСК. Інші методи орієнтовані на покращення результатів відносно суб'єктивних оцінювань.

На рис. 1. наведено класифікацію методів просторового розширення зображень.

До лінійних методів інтерполяції належать такі методи: метод найближчого сусіднього значення, білінійної, біквадратичної, бікубічної інтерполяції, В-сплайн інтерполяції.

Узагальнена блок-схема просторової інтерполяції лінійним методом наведена на рис. 2.

Значення в точці з координатами (x, y) обчислюється на основі блоку 4×4 сусідніх точок. Обчислення проводяться в два етапи. На першому етапі на основі значень в точках $A1, B1, C1$ та $D1$ обчислюється проміжне значення в

точці 1 (інтерполяція по осі x). Аналогічна операція проводиться над точками $A2-D2, A3-D3$ та $A4-D4$. На другому етапі на основі отриманих проміжних результатів в точках 1-4, вираховується інтерпольоване значення в точці (x, y) . Даний етап називається інтерполяцією по осі y .

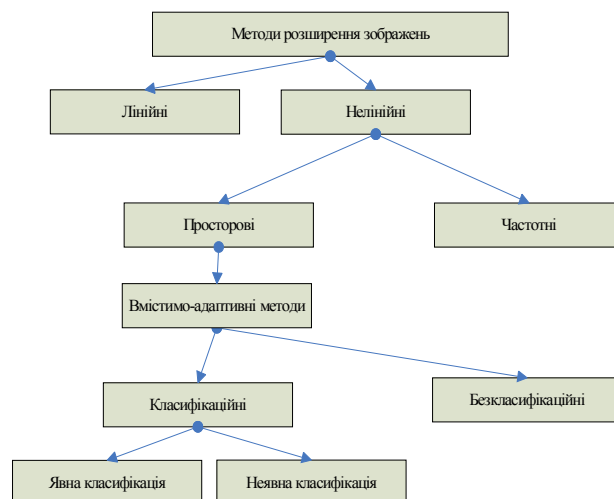


Рисунок 1 – Класифікація методів інтерполяції зображень

Лінійні методи характеризуються високою швидкістю, невеликою кількістю обчислень, необхідних для інтерполювання зображення та простотою у реалізації. Проте результуюче зображення може містити небажані візуальні ефекти в масштабованих зображеннях: (розмитість контурних ліній, ступінчастий

ефект в похилих контурах, дублювання контурів тощо).

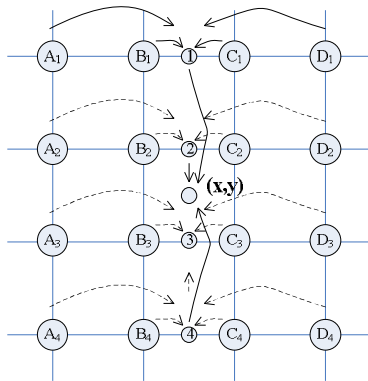


Рисунок 2 – Інтерполяція точки (x, y) на основі блоку 4×4 сусідніх значень

До нелінійних методів відносяться частотні та просторові методи.

Частотні методи проводять інтерполяцію, вносячи фазо-узгоджені високочастотні гармоніки у зображення. Фазо-узгоджені вищі гармоніки екстаполуються з високочастотних компонент оригінального зображення за допомогою нелінійного процесу.

Просторові методи відносяться до вмістимо-адаптивних методів. Вони поділяються на класифікаційні та безкласифікаційні.

Просторово-класифікаційні методи протягом інтерполяції враховують вміст локального блоку зображення. Класифікація може проводитись явно (алгоритм на основі адаптивного кодування з динамічними границями, алгоритм на основі методу максимального очікування) та неявно (при використанні нейронних мереж для інтерполювання зображення). Дані методи вимагають проведення етапу навчання для знаходження інтерполяційних параметрів.

У випадку використання просторово-безкласифікаційних методів проводиться інтерполювання в режимі "реального часу" та не вимагається додаткових етапів навчання (новий граниченаяпрямлений алгоритм інтерполяції).

Одним з найбільш відомих інтерполяційних фільтрів є фільтр, побудований на основі адаптивного кодування з динамічними границями [4], вихідний сигнал якого залежить від вхідних даних. Моментні коефіцієнти фільтра протягом інтерполяції залежать від вмісту локального блоку зображення.

На рис. 3 наведено узагальнену блок-схему даного алгоритму. На основі отриманої

маски з пошукової таблиці вибираються коефіцієнти інтерполяційного фільтра і обчислюється результуюче значення (блок 9×9 пікселів *HD* формату).

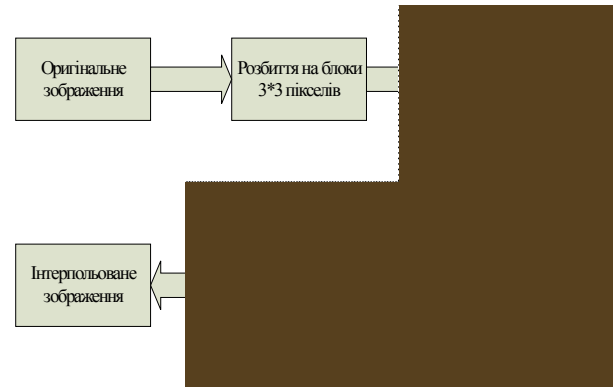


Рисунок 3 – Блок-схема роботи алгоритму на основі адаптивного кодування з динамічними границями

Для отримання коефіцієнтів фільтра є необхідним проведення процесу навчання. Як видно з рис. 4, відео в форматах *HD* та *SD* використовуються в ролі навчального матеріалу.

Сигнал формату *SD* отримується в результаті прорідження *HD* сигналу. З навчального матеріалу вибираються набори даних і за допомогою адаптивного кодування з динамічними границями проводиться класифікація зразків. Оптимальні коефіцієнти знаходяться шляхом обчислення НСК; отримані дані зберігаються в пошуковій таблиці. Використання критерію НСК є доволі складним, оскільки значним є число класів. Однак навчання проводиться тільки один раз.

При адаптивному кодуванні з динамічними границями (англ. Adaptive Dynamic Range Coding – ADRC) [4] кожний піксел кодується одним бітом. Основною перевагою ADRC є проста реалізація. На рис. 5 показано принцип адаптивного кодування. Кодування відбувається над вікном 3×3 пікселі. Визначається середнє значення блоку, яке виступає в ролі порогового. Пікселі, значення яких є більшими від порогового значення, кодуються 1, інші – 0. Таким чином отримується бітова послідовність, яка є маскою блоку. Дана процедура називається класифікуванням блоку.

В алгоритмі, який реалізується на основі методу максимального очікування [5] (англ. Expectation Maximization – EM), інтерполюване зображення обчислюється як зважена сума виходів ряду лінійних класифікаційних фільтрів, як це показано на рис. 6.

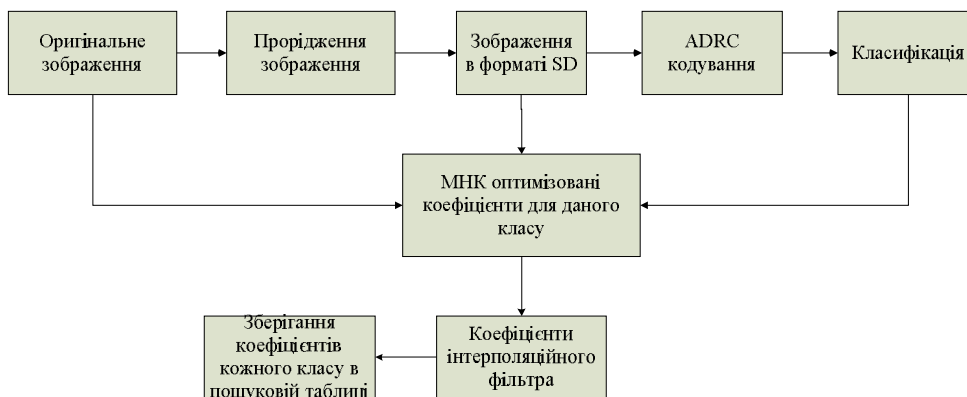


Рисунок 4 – Навчальний процес отримання коефіцієнтів фільтра

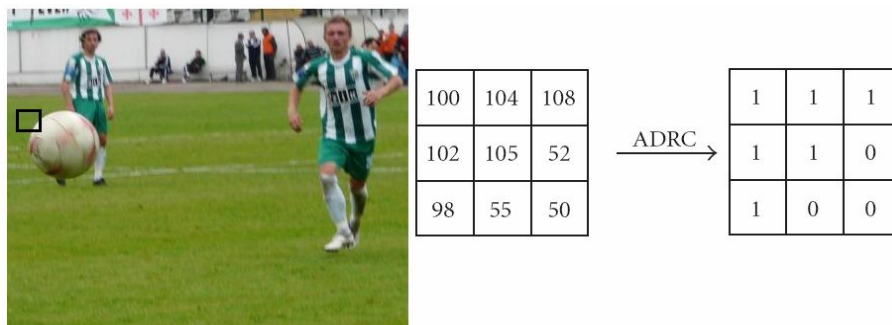


Рисунок 5 – Адаптивне кодування з динамічними границями

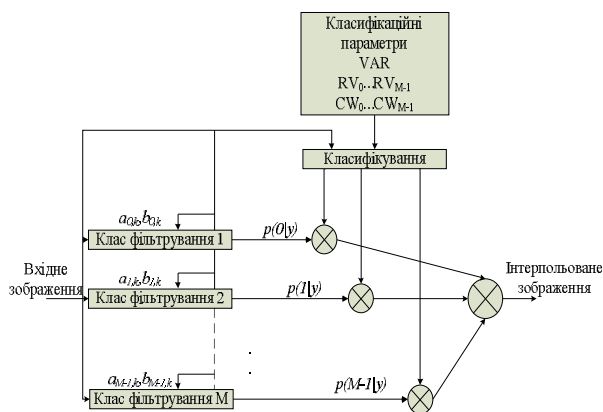


Рисунок 6 – Інтерполювання зображення алгоритмом на основі методу максимального очікування

На протигагу методу Кондо, який для визначення індексу класу використовує ADRC кодування, даний алгоритм використовує метод максимального очікування [6, 7].

Нелійнійний алгоритм на основі змінного покращення яскравості (англ. Luminance Transient Improvement — LTI) [8] використовує лінійні методи для збільшення зображення

формату SD вдвічі. Для покращення якості отриманого зображення виконується високочастотна корекція над текстурними областями та LTI алгоритм над границями зображення. Проте LTI алгоритм був розроблений для одновимірних сигналів. Для розширення цього алгоритму використовуються різні підходи. Найпростішим варіантом є застосування його у горизонтальному та вертикальному напрямках (рис. 7). Використання даного алгоритму перпендикулярно до границь зображення призводить до покращення результуючого зображення [9]. При цьому проводиться оцінювання локальних границь та “поворот” лінії, відносно якої ведеться обчислення, перпендикулярно до границі зображення. Це дозволяє отримати кращі результати для двовимірних границь.

Для зменшення обчислювальних затрат запропоновано альтернативний LTI метод, який залежить від орієнтації границь [9]. В новій реалізації обчислення по горизонталі та вертикалі проводяться паралельно. Отримані результати сумуються з використанням зважених коефіцієнтів. Коефіцієнти залежать від орієнтації границь.

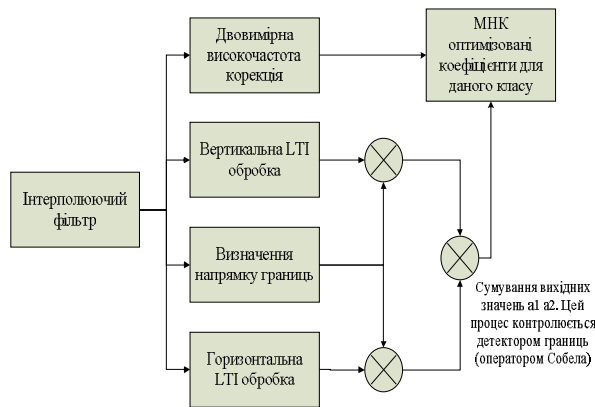


Рисунок 7 – Блок-схема алгоритму на основі змінного покращення яскравості

У вищенаведених алгоритмах оптимальні значення коефіцієнтів обчислюються на протязі автономного режиму навчання.

У алгоритмі нової границенапрявленої інтерполяції, який був запропонований Лі [10], коефіцієнти отримуються в режимі «реального часу».

На рис. 8 наведено принцип інтерполювання пікселів, де A – вікно з чотирма SD пікселами, які беруть участь в інтерполюванні; B – вікно, яке містить сусідні SD піксели навколо блоку, над яким проводиться інтерполювання; C – вікно, що містить усі діагональні сусідські SD піксели з вікна B . В даному випадку F_{kl} – умовне позначення піксела $F_{SD}(2(i + 2k - 4), 2(j + 2l - 4))$.

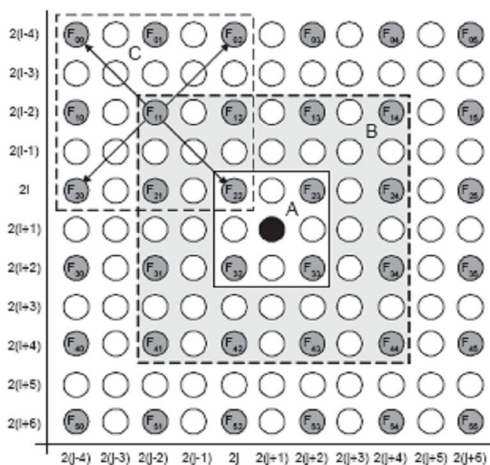


Рисунок 8 – Вигляд вікна, яке використовується у новій границенапрявленій інтерполяції

Спочатку обчислюються значення МНК фільтра для оптимальної інтерполяції SD

піксела F_{11} на основі чотирьох діагональних сусідніх пікселів $F_{00}, F_{02}, F_{20}, F_{22}$ (блок C). Дана операція проводиться для всіх сусідніх SD пікселів відносно блоку A . Отримані коефіцієнти МНК фільтра використовуються для знаходження значення HD піксела.

Для спрощення обчислень в даному методі припускається, що орієнтація границь не змінюється протягом інтерполяції. На першому етапі обчислюється значення половини HD пікселів. Друга половина пікселів обчислюється протягом другого етапу, під час якого решітка повернута на 45 градусів [10].

Для проведення об'єктивного оцінювання на основі метрики MSE необхідні «ідеальне» та масштабоване зображення одного зразка в HD форматі. Відеопослідовність HD формату зменшується вдвічі в кожному напрямку. Результуюче зображення подається на вхід тестового алгоритму. «Ідеальне» та інтерпольоване зображення використовуються для обчислення метрики MSE (рис. 9).

З метою порівняння ефективності розглянутих алгоритмів на рис. 10 наведені середні значення метрики MSE для інтерпольованих зображень.

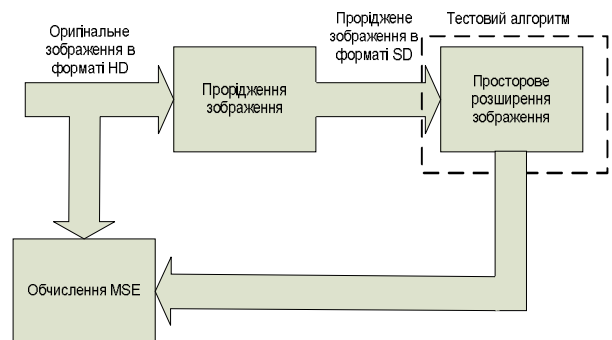


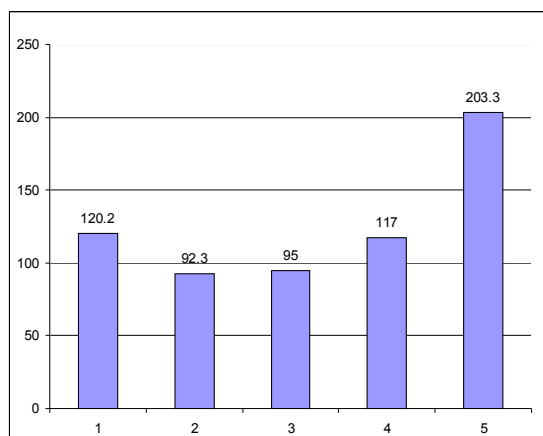
Рисунок 9 – Блок-схема об'єктивного оцінювання результатів роботи алгоритмів, що базуються на просторовому розширенні зображення

Зображення, отримані з використанням алгоритму на основі адаптивного кодування з динамічними границями, мають найнижче середнє значення MSE. Нелінійний алгоритм на основі змінного покращення яскравості продемонстрував найгірші показники, оскільки даний алгоритм не використовує MSE протягом інтерполяції і орієнтується на отримання максимальної суб'єктивної оцінки якості.

ВИСНОВКИ

Класифікаційні просторові методи вимагають проведення додаткового процесу

навчання, протягом якого обчислюються значення інтерполяційних фільтрів для різних блоків зображень.



1 – алгоритм білінійної інтерполяції; 2 – алгоритм на основі адаптивного кодування з динамічними границями; 3 – алгоритм на основі методу максимального очікування; 4 – алгоритм нової границенапрявленої інтерполяції; 5 – нелінійний алгоритм на основі змінного покращення яскравості

Рисунок 10 – Середнє значення метрики MSE для інтерпольованих зображень

Алгоритм на основі адаптивного кодування з динамічними границями не дозволяє розмежувати спотворення внаслідок стиснення та границі елементів зображення.

Нелінійний алгоритм змінного покращення яскравості та алгоритм нелінійної екстраполяції високочастотних складових зумовлюють значний розкид границь зображення.

Основною перевагою класифікаційних вмістимочувливих методів є мінімізація значення MSE.

Безкласифікаційні просторові методи проводять інтерполяцію в режимі "реального часу".

Більшість наведених нелінійних методів дають можливість отримати кращі результати з доброю виразністю та незначним розкидом границь, за винятком алгоритму, що базується на змінному покращенні яскравості.

Література

1. E. B. Bellers and G. de Haan, *De-interlacing: A key technology for scan rate conversion*, *Advances in Image communications*, Elsevier, Vol. 9, ISBN: 0-444-50594-6, 2000.

2. G. de Haan, *Video Processing for Multimedia Systems*, 2nd Edition, ISBN: 90-9014015-8, 2000.

3. G. de Haan and E. B. Bellers, "De-interlacing - an overview", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 86, Issue 9, pp. 1839-1857, Sep. 1998.

4. T. Kondo, T. Fujiwara, Y. Okumura, and Y. Node, "Picture conversion apparatus, picture conversion method, learning apparatus and learning method", *US-patent 6,323,905*, Nov. 2001.

5. C. B. Atkins et al., "Optimal image scaling using pixel classification", *2001 International Conference on Image Processing*, Vol. 3, pp. 864-867, 2001.

6. R. O. Duda, P. E. Hart and D. G. Stork, *Pattern classification*, 2nd Edition, Chichester: Wiley-Interscience, ISBN 0-471-05669-3, pp. 100-107, 2001.

7. T. K. Moon, "The Expectation-Maximization algorithm", *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 13, No. 6, pp. 47-60, Nov. 1996.

8. E. B. Bellers and J. Caussyn, "A high definition experience from standard definition video", *Proceedings of the SPIE, the International Society for Optical Engineering*, Vol. 5022, pp. 594-603, 2003.

9. J. Tegenbosch, P. Hofman and M. Bosma, "Improving nonlinear up-scaling by adapting to the local edge orientation", *Proceedings of the SPIE*, Vol. 5308, pp. 1181-1190, Jan. 2004.

10. X. Li and M. T. Orchard, "New edge-directed interpolation". *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 10, No 10, Oct. 2001, pp. 1521-1527.

Поступила в редакцію 13.04.2009р.

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