УДК 519.6, 004.932, 004.627

Л.О. ГНАТІВ
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ, Україна,
e-mail: *levhnativ@gmail.com.*

В.К. ЛУЦ
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ, Україна,
e-mail: *vkluts@gmail.com*.

ШВИДКІ ЦІЛОЧИСЛОВІ СИНУС-КОСИНУСНЕ ТА КОСИНУСНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПОРЯДКУ 16 НИЗЬКОЇ СКЛАДНОСТІ ДЛЯ ВІДЕОКОДУВАННЯ

Анотація. Запропоновано матричний метод побудови дискретного синус-косинусного перетворення типу II порядку N, на основі якого побудовано цілочислове синус-косинусне перетворення порядку 16. Розроблено швидкий алгоритм обчислення цілочислового синус-косинусного перетворення порядку 16 низької мультиплікативної обчислювальної складності, яка у 2.44 раза менша порівняно із відомим алгоритмом синусного перетворення типу VII зі стандарту VVC і потребує на 41.52 % менше операцій додавання. Запропоновано цілочислові косинусні перетворення типу II порядків 8 і 16 та розроблено їхні швидкі алгоритми низької обчислювальної складності. Розроблено швидкі алгоритми обчислення 2D 16-точкових цілочислових косинусного і синус-косинусного роздільних адаптивних перетворень низької складності для intra-прогнозування з блоками зображення 16×16, які забезпечують високі результати ефективності кодування за точністю і коефіцієнтом стиснення. Запропонована схема вимагає в 2.32 раза менше множень та на 38.7 % менше операцій додавання та зсуву, забезпечуючи при цьому майже ідентичну ефективність кодування та якість зображення: експериментально показано, що середнє зменшення PSNR не перевищує 0.03 дБ за однакових коефіцієнтах стиснення в нормальному діапазоні квантування.

Ключові слова: дискретне косинусне перетворення, дискретне синусне перетворення, дискретне синус-косинусне перетворення, цілочислове косинусне перетворення, цілочислове синус-косинусне перетворення, факторизація, відеокодування, H.265, VVC (Versatile Video Coding), роздільне адаптивне перетворення, MTS (multiple ttransform selection).

DOI 10.34229/KCA2522-9664.26.6.16

ВСТУП

Дискретні косинусні та синусні перетворення різних типів добре вивчені, мають розроблені алгоритми для їхнього швидкого обчислення [1–6] і є ефективним інструментом для декореляції даних [7], усунення надлишковості в зображеннях [8–11] і відеосигналах [12, 13]. Кларк у [14] першим показав, що оптимальним перетворенням Карунена–Лоева (ПКЛ) для марковського процесу першого порядку з несепарабельною кореляційною моделлю є дискретне косинусне перетворення (ДКП), коли коефіцієнт кореляції ρ між елементами прямує до одиниці, а коли ρ прямує до нуля, відповідним оптимальним перетворенням є дискретне синусне перетворення (ДСП) [15], яке в [1] названо як «парне» (even) ДСП-1. Аналогічний результат аналітично отримано в [13] для гауссівсько–марковського процесу першого порядку, де показано, що ПКЛ для цього процесу є ДСП типу VII для коефіцієнта кореляції ρ, що прямує до нуля, і вперше опубліковано модозалежне ДКП / ДСП. Саксена і Фернандес у [16] показали, що перетворення ДКП / ДСП порівняно із перетворенням ДКП-II можуть краще представляти пред'явлені сигнали шляхом intra-прогнозування зображень у відеокодуванні. У [2] ДСП-VII названо «непарним» (odd) ДСП типу III (ДСП-III). Для покращення intra-прогнозування різниць (лишків) у [17] було вперше введено модозалежне направлене перетворення (mode-dependent directional transform, MDDT). У пропозиціях до стандарту HEVC [18, 19] наведено дві різні однонормові цілочислові апроксимації матричного обчислення ДСП типу VII (ЦСП-VII) порядку 8 і 16. Наразі немає публікацій, де було би описано алгоритми

© Л.О. Гнатів, В.К. Луц, 2026