

ЕФЕКТИВНЕ ОБЧИСЛЕННЯ ЦІЛОЧИСЕЛЬНОГО ДКП-П ДЛЯ СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

Процько І. О. – канд. техн. наук, доцент кафедри інформаційних систем і технологій Національного університету «Львівська політехніка», Львів, Україна.

Кузьмінський Р. Д. – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри експлуатації та технічного сервісу машин Львівського національного аграрного університету, Дубляни, Україна.

Теслюк В. М. – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри інформаційних систем і технологій Національного університету «Львівська політехніка», Львів, Україна.

АНОТАЦІЯ

Актуальність. Забезпечення результативності та багатофункціональності сучасних засобів оброблення візуальної інформації вимагає розробки різноманітних методів ефективного виконання дискретних косинусних перетворень. Відповідно вимог сучасних відео стандартів, забезпечення високої чіткості стисненої візуальної інформації досягається на основі адаптивно блочно-розмірних перетворень, що потребує ефективних обчислювальних схем виконання дискретних косинусних перетворень змінних обсягів.

Мета роботи – створення узагальненої структурної схеми ефективного обчислення цілочисельного дискретного косинусного перетворення на основі циклічних згорток обсягів рівних цілій степені двійки, що забезпечує низьку обчислювальну складність і можливість застосування в системах стиснення візуальної інформації на основі адаптивно блочно-розмірних перетворень.

Метод. Запропоновано використання твірних масивів для ефективного синтезу алгоритмів та структурних схем обчислення цілочисельного дискретного косинусного перетворення на основі циклічних згорток.

Результати. Підсумком дослідження є розроблення узагальненої структурної схеми виконання цілочисельного дискретного косинусного перетворення обсягів рівних цілій степені двійки для систем стиснення візуальної інформації на основі адаптивно блочно-розмірних перетворень.

Висновки. У проведеному дослідженні застосовано підхід приведення базису цілочисельного дискретного косинусного перетворення до набору циклічних зліва підматриць, що дозволяє обчислювати перетворення на основі циклічних згорток. Основна ідея застосування належного математичного апарату полягає у використанні твірних масивів, що містять стислий опис блочно-циклічної структури базису перетворення. На основі одержаного набору циклічних підматриць ядра перетворення розроблено узагальнену структурну схему ефективного виконання цілочисельного дискретного косинусного перетворення коротких обсягів рівних цілій степені двійки. Обчислення відповідного набору циклічних згорток та об'єднання їх результатів за структурною схемою забезпечує виконання адаптивно блочно-розмірних перетворень для систем стиснення візуальної інформації.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: цілочисельне дискретне косинусне перетворення, циклічна згортка, твірний масив, стиснення зображень, адаптивне блочно-розмірне перетворення.

АБРЕВІАТУРИ

AVC – Advanced Video Coding;

AVS – Audio Video Standard;

HEVC – High Efficiency Video Coding;

MPEG – Moving Picture Experts Group;

VC – Video Coding;

АБП – адаптивне блочно-розмірне перетворення;

НВІС – надвелика інтегральна схема;

ПЕ – процесорний елемент;

ПЛІС – програмована логічна інтегральна схема;

ЦДКП – цілочисельне дискретне косинусне перетворення.

НОМЕНКЛАТУРА

a – кількість операцій додавання для обчислення циклічних згорток;

d_N – матриця коефіцієнтів нормування;

$H(n)$ – твірний масив;

$H_i(n_i)$ – твірний підмасив;

$IC_{N \times N}$ – матриця цілочисельного ядра дискретного косинусного перетворення;

m – кількість операцій множення для обчислення циклічних згорток.

N – обсяг дискретного косинусного перетворення;

$x(n)$ – вхідна послідовність дискретного косинусного перетворення;

$X_N^{e2}(k)$ – вихідна послідовність дискретного косинусного перетворення.

ВСТУП

Широке використання статичних та динамічних даних візуальної інформації потребує значних об'ємів інформації та часу для їх зберігання та опрацювання. Так в аграрній промисловості проводяться детальні фотографування великих територій сільськогосподарських угідь в різні проміжки часу для аналізу ходу сільськогосподарських робіт, стану росту урожаю, проведення оранки та інше [1]. Ці значні об'єми відеоданих документуються, обробляються, захищаються, що потребує відповідних засобів для об'єктних і бортових систем сільськогосподарської техніки.

Застосування комплексу ефективних алгоритмів обробки стиснення, кодування та шифрування вхід-

них потоків даних забезпечує підвищення швидкодії формування та передавання інформаційно-комунікаційними системами компактних, захищених пакетів достовірної і точної інформації. Завдяки ефективним алгоритмам, зі значним зменшенням обчислювальних затрат, досягається зменшення інформаційного об'єму представлення візуальної даних [2]. Методи стиснення зображень базуються на модифікації й усіченні результатів дискретного перетворення. Найкращим засобом стиснення реальних зображень, при наближенні коефіцієнта кореляції до одиниці, є дискретне косинусне перетворення. Стандартом ISO ІЕС затверджено вісім типів ДКП I-VIII. Використання ДКП в алгоритмах стиснення зображень мінімізує блочні спотворення, забезпечує лінійність фази та інше. В сучасних відеостандартах H.264/MPEG-4 AVC, VC-1, AVS [3], H.265(HEVC) [4] перевагу віддають застосуванню швидких алгоритмів ДКП-II другого типу [5].

Об'єктом дослідження є процес розробки узагальної структурної схеми ефективного обчислення цілочисельного дискретного косинусного перетворення на основі циклічних згорток для коротких обсягів рівних цілій степені двійки.

Предметом дослідження є структури з набором циклічних підматриць цілочисельного ядра дискретного косинусного перетворення обсягів рівних цілій степені двійки.

Метою роботи є ефективне використання блоків виконання циклічних згорток в структурній схемі виконання адаптивно блочно-розмірних перетворень для систем стиснення зображень.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Нехай задано стислий опис $IC_{N \times N}$ матриці цілочисельного ядра ДКП-II у виді твірних масиву $H(n)$ для значення обсягу перетворення N у вигляді [6]

$$H(n) = H_1(n_1) H_2(n_2) \dots H_k(n_k), \quad (1)$$

де k – число твірних підмасивів, n – обсяг масиву, який рівний $n=2N-1$.

Задача побудови узагальної структурної схеми виконання цілочисельного дискретного косинусного перетворення обсягів рівних цілій степені двійки для систем виконання адаптивно блочно-розмірних перетворень високоякісного стиснення візуальної інформації полягає у визначенні та аналізі складу твірних підмасивів $H_i(n_i)$.

Для узагальнення одержаних результатів складу твірних підмасивів $H_i(n_i)$ може бути використана побудова цілочисельних матричних структур ЦДКП-II коротких обсягів рівних цілій степені двійки, що в результаті визначить розподіл циклічних підматриць в базисній матриці ЦДКП-II.

2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Сучасною домінуючою технологією багатьох стандартів є використання швидких алгоритмів ЦДКП перетворень візуальної інформації для її стиснення,

адже воно вимагає цілочисельних операцій [7]. Для ефективного обчислення ЦДКП-II застосовуються різні форми запису серед них матричне множення з частковою факторизацією (partial butterfly) [8], повною факторизацією (full factorization form) [9] та інші.

В роботі [10] проведено аналіз та розглянуто матричні методи побудови швидких ЦДКП для обсягів 8, 16. Шляхом перестановки рядків цілочисельного ядра перетворення на основі обернених досконалих перестановок, а далі двійковими реверсивними перестановками і перестановками по коду Грея обчислення ЦДКП для обсягу 16 приводиться до використання швидких алгоритмів 8-ми і 4-х точкових ЦДКП. Цілочисельна апроксимація ДКП з швидкими алгоритмами низької обчислювальної складності для обсягів 16, 32 описана в роботі [11].

Однак, реалізація даних швидких алгоритмів потребує подальшого розроблення методів синтезу алгоритмів та гнучких структурних схем виконання цілочисельного дискретного косинусного перетворення змінних обсягів рівних цілій степені двійки в системах стиснення візуальної інформації на основі адаптивно блочно-розмірних перетворень.

3 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Для зменшення надлишковості даних зображень або відеокадрів широко використовують дискретне косинусне перетворення другого типу виду ДКП-II

$$X_N^{c2}(k) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{n=0}^{N-1} \alpha(n) x(n) \cos\left[\frac{k(2n+1)\pi}{2N}\right], k=0,1,\dots,N-1, \quad (2)$$

де $x(n)$ – вхідна послідовність перетворення, $n=0,1,\dots,N-1$; $\alpha(n)=1/\sqrt{2}$, якщо $n=0$, інакше $\alpha(n)=1$.

ДКП-II відображає основний енергетичний спектр сигналу в низькочастотній області, що дозволяє при стисненні не враховувати високочастотні складові. В результаті більша частина енергії трансформованих даних концентрується в малому числі коефіцієнтів перетворення.

Цілочисельне дискретне косинусне перетворення (ЦДКП-II) в матричній формі описується через у виді

$$X_N = IC_{N \times N} x_N d_N, \quad (3)$$

де $IC_{N \times N}$ – матриця цілочисельного ядра, x_N – вхідна послідовність перетворення, d_N – матриця коефіцієнтів нормування.

В сучасних стандартах відеокодування MPEG-4, AVC/H.264, HEVC/H.265, VC-1 та AVS, застосовують ЦДКП обсягів 4, 8, 16, 32. Розробка ЦДКП повинна відповідати наступним вимогам:

- цілочисельні базисні функції рядків ЦДКП повинні бути максимально наближені по формі до базисних функцій ДКП;
- базисні вектори ядра ЦДКП містять тільки цілі значення і являються ненормованими, тому, крім виконання перетворення, виникає необхідність в процесах масштабування.

Наприклад, ЦДКП-II для обсягу $N = 4$ може бути задано набором цілочисельних коефіцієнтів $[a=2, b=1, c=1]$ тому вираз (2) матиме вид

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & -1 & -2 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -2 & 2 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ 0,5B \\ A \\ 0,5B \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де відповідно умови ортогональності базисних векторів $B = \sqrt{1,6A^2}$. Стиснення відеоданих на основі блоків з використанням ЦДКП-II є домінуючою технологією багатьох стандартів, адже воно вимагає цілочисельних операцій.

Реалізація швидких алгоритмів в системах стиснення візуальної інформації потребує наявності швидких ЦДКП менших обсягів рівних цілій степені два, що мають конкретні алгоритми свого виконання.

Особливий підхід ефективного обчислення ДКП – це представлення базисної матриці у виді набору циклічних підматриць [6]. Основа методики базується визначенні твірного масиву $H(n)$ для значення обсягу перетворення N . Твірний масив $H(n)$, можна одержати з використанням підстановки за першим та відповідно вибраним непарним рядком цілочисельної матриці аргументів базисної функції ДКП-II.

Розглянемо даний підхід для ЦДКП-II розмірності $N = 8$ [12]. Врахувавши умови ортогональності цілочисельних коефіцієнтів a, b, c, d, e, f [13], що формують цілочисельне ядро перетворення, матриця $IC_{8 \times 8}$ може бути подана у виді

$$IC_{8 \times 8} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ a & b & c & d & -d & -c & -b & -a \\ e & f & -f & -e & -e & -f & f & e \\ b & -d & -a & -c & c & a & d & -b \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ c & -a & d & b & -b & -d & a & -c \\ f & -e & e & -f & -f & e & -e & f \\ d & -c & b & -a & a & -b & c & -d \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Набори цілочисельних елементів повторюються в рядках матриці (5) на основі властивості симетричності базису перетворення, де косинусна функція симетрична відносно аргумента π та асиметрична відносно аргумента $\pi/2$. Оптимальні набори цілочисельних коефіцієнтів a, b, c, d, e, f , що забезпечують високу якість стиснення зображень, підбираються шляхом перебору наборів різних варіантів. Наприклад, для ЦДКП-II для обсягу $N=8$ ядро може бути задано набором цілочисельних коефіцієнтів (89, 75, 50, 18, 83, 36, 64).

4 ЕКСПЕРИМЕНТИ

Відповідно розробленої методології [6], для обчислення ЦДКП-II розмірності $N = 8$ застосуємо твірний масив виду

$$H(2N-1) = (1, 3, 9, 5, 15, 13, 7, 11) \\ (2, 6, 14, 10)(4, 12)(8). \quad (6)$$

В результаті формування за твірним масивом (6) тримаємо вид структури ядра, що містить набір циклічних підматриць

$$IC_{8 \times 8} = \begin{bmatrix} a & b & -d & c & -a & -b & d & -c \\ b & -d & c & -a & -b & d & -c & a \\ -d & c & -a & -b & d & -c & a & b \\ c & -a & -b & d & -c & a & b & -d \\ -a & -b & d & -c & a & b & -d & c \\ -b & d & -c & a & b & -d & c & -a \\ d & -c & a & b & -d & c & -a & -b \\ -c & a & b & -d & c & -a & -b & d \\ e & f & -e & -f & e & f & -e & -f \\ f & -e & -f & e & f & -e & -f & e \\ -e & -f & e & f & -e & -f & e & f \\ -f & e & f & -e & -f & e & f & -e \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Тобто, ЦДКП-II обсягу $N = 8$ зводиться до ефективного обчислення 8, 4, 2-точкових циклічних згорток. Ефективне виконання циклічних згорток над послідовностями цілочисельних елементів $(a, b, -d, c, -a, -b, d, -c)$ та $(e, f, -e, -f)$ та відповідними вхідними значеннями перетворення $x(n)$ визначає вихідні значення $X [1], X [3], X [5], X [7], X [2], X [6]$ перетворення. Вихідні значення $X [0], X [4]$ перетворення, що відповідають верхнім двом рядкам цілочисельного ядра $IC_{8 \times 14}$ перетворення (7) обчислюються через об'єднання вхідних значень $x(n)$ послідовності перетворення.

Відповідно (7), циклічні підматриці містять послідовності з повтореннями набору цілочисельних коефіцієнтів $a, b, -d, c$ з протилежним знаком для 8-точкової згортки, та повтореннями набору цілочисельних коефіцієнтів e, f з протилежним знаком для 4-точкової згортки. Подвійне повторення послідовності цілочисельних коефіцієнтів в циклічних згортках парних обсягів приводить до зменшення кількості m -множень та a -додавань в швидких алгоритмах циклічних згорток Вінограда з мінімальним числом добутоків [14]. Відповідно, в таблиці 1 подано для порівняння кількість операцій m', a' для послідовності циклічної згортки з повторенням групи елементів та кількість операцій m, a для послідовності без повторень, а на рисунку 1 відповідна діаграма кількості операцій множення в швидких алгоритмах циклічних згорток Вінограда з мінімальним числом добутоків.

Таблиця 1 – Кількість операцій ЦЗ

Обсяг	16	10	8	6	4
m	33	30	12	8	5
m'	12	8	5	4	2
a	181	100	72	34	15
a'	80	67	19	14	6

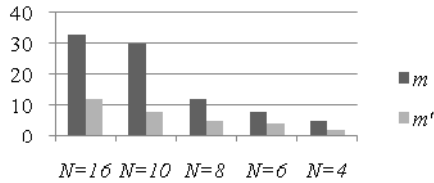


Рисунок 1 – Мінімальна кількість операцій множення m' , m для обчислення циклічних згорток з повторенням групи елементів та без повторень

Подвійне повторення послідовності цілочисельних коефіцієнтів однієї з послідовностей згортки приводить до виконання циклічних згорток вдвічі меншого обсягу. Розглянемо алгоритми ЦДКП-II для обсягу перетворень $N = 2^n$ ($n=2,3,\dots,k$). Збільшення вдвічі обсягу $2N$ цілочисельного ядра ІС перетворення закономірно формується через збільшенням вдвічі розмірності циклічних підматриць. Наприклад, в таблиці 2 обчислення ЦДКП-II обсягу $N=16$ включає $d = 8, 4, 2$ -точкові циклічні згортки.

Таблиця 2 – Циклічні згортки в структурі базису ЦДКП-II для обсягів $N = 2^n$

N	4	8	16	32	64	128	...	2^n
d	2	4	8	16	32	64	...	2^{n-1}
	1	2	4	8	16	32	...	2^{n-2}
		1	2	4	8	16
			1	2	2^2
				1	2	2	...	2
					1	1	...	1

В загальному випадку для ДКП-II обсягу $N = 2^n$ циклічні підматриці, що визначаються відповідними твірними підмасивами у твірному масиві $H(n)$ в базисній матриці аргументів, задають структуру відповідно таблиці 3. В результаті в табл. 3 відображено, що

Таблиця 3 – Розподіл підматриць в базисній матриці аргументів ЦДКП-II

а) $H_1(n_1) - 2^n$ -точкових згорток;															
б) $H_1(n_{11}), H_1(n_{12}) -$ дві 2^{n-1} -точкових згорток;															
в) $H_1(n_{111}), H_1(n_{112}), H_1(n_{121}), H_1(n_{122}) -$ чотири 2^{n-2} -точкових згорток;															
...															
а) $H_2(n_2) - 2^{n-1}$ -точкових згорток;								а) $H_2(n_2)$							
б) $H_2(n_{21}), H_2(n_{22}) -$ дві 2^{n-2} -точкові згортки;								б) $H_2(n_{21}), H_2(n_{22})$							
...															
а) $H_3(n_3) - 2^{n-2}$ згорток				$H_3(n_3)$				$H_3(n_3)$				$H_3(n_3)$			
...															
...															
$H(n)$				$H(n)$				$H(n)$				$H(n)$			

твірний масив $H(n)$ може складатись з підмасивів з кількістю варіантів а), б), в), ... в формі запису (4). Наприклад, твірний масив $H(n)$ варіанту а) для обсягу $N = 2^4 = 16$ містить чотири варіанти твірних масивів і відповідний розподіл циклічних підматриць в базисній матриці ЦДКП, обсяг і значення яких визначаються твірними підмасивами $H_i(n_i)$. В загальному (рис. 2) для варіанту а), матрична структура ЦДКП-II для обсягу $N=2^n$ складається з набору циклічних підматриць, що стисло описується твірним масивом $H(2N-1)$, що містить підмасиви $H_1(2^n), H_2(2^{n-1}), \dots, H_{(n-1)}(2^1), H_n(2^0)$, які і визначають цілочисельні значення сформованих циклічних підматриць.

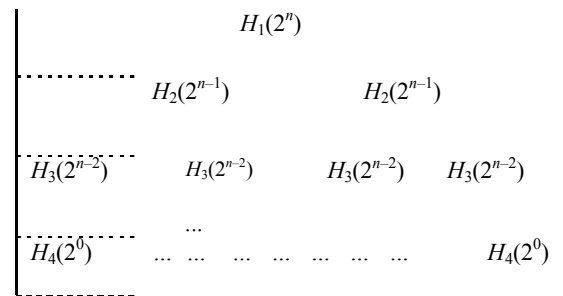


Рисунок 2 – Матрична структура ЦДКП-II варіанту а) для обсягу $N = 2^n$

6 ОБГОВОРЕННЯ

Таким чином, цілочисельне ядро ЦДКП-II можна сформулювати у виді набору циклічних підматриць, ефективне обчислення яких приводить до зменшення обчислювальних затрат.

На основі матричної структури (рис. 2) узагальнена структурна схема обчислювача ЦДКП-II включає набір конвольверів, що виконують циклічні згортки обсягів від $2^{n-1}, \dots, 2^3, 2^2$ над послідовностями вхідних даних $X[H_i(n_i)]$ та послідовностями цілочисельних косинусних коефіцієнтів $W[H_i(n_i)]$. Виконання повно-

го набору циклічних згорток в конвольверах з подальшим об'єднанням отриманих результатів згорток вимагає при їх апаратній реалізації значних затрат. Реалізація перетворення за узагальненою структурою (рис. 3) характеризується використанням систолічного масиву конвольвера найбільшого розміру для конвольверів менших розмірів при послідовно-паралельному об'єднанні результатів циклічних згорток у вихідному суматорі для визначення вихідних значень перетворення $X[k]$. Малий об'єм необхідної пам'яті, можливість реалізації в арифметиці з обмеженою точністю в ПЕ систолічних масивів (рис. 4) забезпечують при їх реалізації у виді НВІС ефективний показник площа затримка [15, 16].

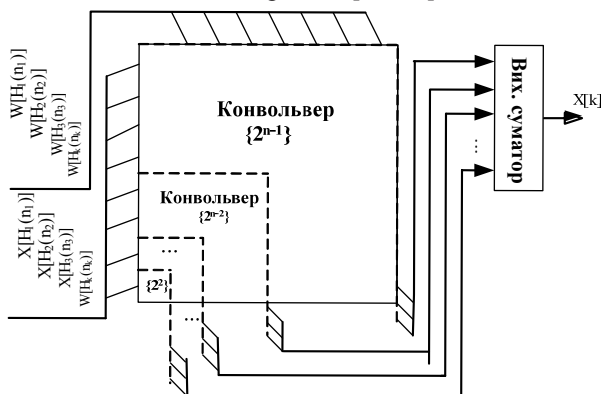


Рисунок 3 – Узагальнена структурна схема обчислювача ЦДКП-II для обсягу $N=2^n$

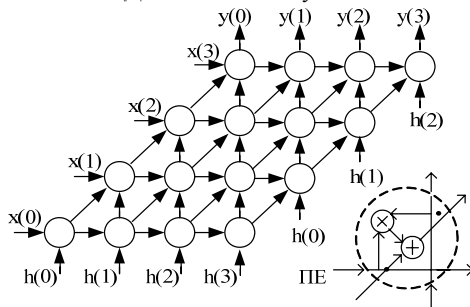


Рисунок 4 – Приклад систолічної структури з шістнадцятьма ПЕ для обчислення 4-х точкової циклічної згортки $y = x * h$

Дана узагальнена структурна схема ЦДКП-II може застосовуватись в системі АБП, що являється ефективним інструментом кодування зображень і відеокompresії. В стандарті відеокодування H.265 прийнято застосування АБП з обсягами перетворень $N = 4, 8, 16, 32$. Адже, для областей з найбільшою кореляцією (які, як відомо, найкраще стискаються перетвореннями) використовують перетворення розмірності 32, яке дає найбільше стиснення, а для областей з найменшою кореляцією – перетворення розмірності 4 або 8, які дають найвищу точність. Для знаходження компромісу між ефективністю стиснення і якістю зображення в схемі АБП вибираються блоки розмірності (4 x 4), (4 x 8), (8 x 4), (8 x 8), (8 x 16), (16 x 8), (16 x 16), (16 x 32), (32 x 16), (32 x 32). Використання узагальненої структурної схеми ЦДКП-II з обсягом перетворень $N=2^n$ для ефективного виконання адаптивного двовимірно-

© Процько І. О., Кузьмінський Р. Д., Теслюк В. М., 2019
DOI 10.15588/1607-3274-2019-2-16

го перетворення текучого кодованого блоку дозволить забезпечити відповідні ступені стиску зображень або відеокадрів сучасних стандартів кодування.

ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто задачу розподілу циклічних підматриць в базисній матриці ЦДКП-II з обсягом перетворень $N = 2^n$ та, відповідно, побудови загальної структурної схеми обчислювача для адаптивного блочно-розмірного перетворення зображень на основі циклічних згорток.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що запропоновано загальну структурну схему обчислювача, що виконує обчислення циклічних згорток менших обсягів $2^{n-2}, 2^{n-3}, \dots, 2^1$ на базі конвольвера за обсягом 2^{n-1} .

Практичне значення застосування загальної структурної схеми обчислювача для адаптивного блочно-розмірного перетворення зображень на основі циклічних згорток полягає в ефективному використанні процесорних елементів в систолічних масивах виконання циклічних згорток. При проектуванні НВІС відеокoderів з використанням загальної структурної схеми обчислювача ЦДКП-II досягається високий рівень показника площа/затримка.

Напрямок подальших досліджень полягатиме в розробці структурних схем обчислювачів цілочисельних дискретних косинусних перетворень типу I, II на основі циклічних згорток для коротких обсягів цілої ступені простого числа.

ПОДЯКИ

Робота виконана в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи ДБ/Енергоефективність «Інтелектуальні інформаційні технології багаторівневого управління енергоефективністю регіону» (номер держ. реєстрації № ДР 0117U004450) (2017–18р.) національного університету «Львівська політехніка».

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Digital Technologies in Agriculture: adoption, value added and overview [Electronic resource]. – Access mode: <https://medium.com/remote-sensing-in-agriculture/digital-technologies-in-agriculture-adoption-value-added-and-overview-d35a1564ff67>
2. Jayant N. S. Digital Coding of Waveforms: Principles and Applications to Speech and Video / N. S. Jayant, P. Noll. – Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall, 1984. – 216 p.
3. Video coding standards – AVS China, H.264/MPEG-4 PART 10, HEVC, VP6, DIRAC and VC-1 [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.springer.com/in/book/9789400767416>
4. H.265: High efficiency video coding – ITU 1 [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.265>
5. Reznik Y. A. Design of fast transforms for high-resolution image and video coding / Y. A. Reznik, R. K. Chivukula // Applications of Digital Image Processing – San Diego, California: SPIE 7443 Optical Engineering and Applications, 2009. – P. 1–18. DOI: 10.1117/12.847190
6. Prots'ko I. Algorithm of Efficient Computation of DCT I–IV Using Cyclic Convolutions / I. Prots'ko // International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing. – 2013. – Vol. 7, Issue 1. – P. 1–9.

7. Pei S.-C. The integer transforms analogous to discrete trigonometric transforms / S.-C. Pei, J.-J. Ding // IEEE Transactions on Signal Processing. – 2000. – Vol. 48, Issue 12. – P. 3345–3364. DOI: 10.1109/78.886998
8. Integer DCTs and fast algorithms / [Y. Zeng, L. Cheng, G. Bi, A. C. Kot] // IEEE Transactions on Signal Processing. – 2001. – Vol. 49. – P. 2774–2782. DOI: 10.1109/78.960425
9. New fast DCT algorithms based on Loeffler's factorization / [Y. M. Hong, Il-K. Kim, T. Lee et al.] // Samsung Electronics Co., Ltd. (Korea, Republic of) Woo-Jin Han Gachon Univ. (Korea, Republic of) Jeong-Hoon Park Samsung Electronics Co., Ltd. (Korea, Republic of) Applications of Digital Image Processing XXXV. – San Diego, Proceedings Volume 8499, 2012. <https://doi.org/10.1117/12.970324>
10. Hnativ L. O. Integer cosine transforms for high-efficiency image and video coding / L. O. Hnativ // Cybernetics and Systems Analysis. – 2016. – Vol. 52, No. 5. – P. 802–816. DOI: 10.1007/s10559-016-9881-7
11. Recursive factorization for 16 and 32-point transforms using 4 and 8-point HM 3.0 core transforms / [R. Joshi, Y. Reznik, J. Sole, M. Karczewicz] // MPEG/JCT-VC input document m21026, 97th MPEG meeting. – Torino, 2011. – P. 244–252.
12. Prots'ko I. The efficient computation of integer DCT based on cyclic convolutions / I. Prots'ko, R. Rikmas, V. Teslyuk // Computer Sciences and Information Technologies (CSIT'2018). – Lviv : Proceeding of the International Scientific and Technical Conference, 2018. – P. 245–248.
13. Siu W.-C. Transform Domain Processing for Recent Signal and Video Applications / W.-C. Siu // Trends in Digital Signal Processing / eds.: Y. C. Lim, H. K. Kwan, W.-C. Siu. – Taylor & Francis Group, LLC. 2016. – P. 201–261.
14. Blahut R. E. Fast algorithms for signal processing / R. E. Blahut. – Cambridge : University Press, 2010. – 469 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511760921.001>
15. Cheng C. Hardware Efficient Fast DCT Based on Novel Cyclic Convolution Structures / C. Cheng, K. K. Parhi // IEEE Transactions on signal processing. – 2006. – Vol. 54, No. 11. – P. 4419–4434. DOI: 10.1109/TSP.2006.881269
16. Meher P. K. Systolic designs for DCT using a low-complexity concurrent convolutional formulation / P. K. Meher // IEEE Transactions on Circuits & Systems for Video Technology. – 2006. – Vol. 16, No. 9. – P. 1041–1050. DOI: 10.1109/TCSVT.2006.880191

Стаття надійшла до редакції 13.12.2018.
Після доробки 11.02.2018.

УДК 681.391, 621.372

ЭФФЕКТИВНОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ ЦЕЛОЧИСЛЕННОГО ДКП-II ДЛЯ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Процько И. Е. – канд. техн. наук, доцент кафедры информационных систем и технологий Национального университета «Львівська політехніка», Львов, Украина.

Кузьминський Р. Д. – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации и технического сервиса машин Львовского национального аграрного университета, Дубляны, Украина.

Теслюк В. М. – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой информационных систем и технологий Национального университета «Львівська політехніка», Львов, Украина.

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Обеспечение результативности и многофункциональности современных средств обработки визуальной информации требует разработки различных методов эффективного выполнения дискретного косинусного преобразования. В соответствии с требованиями современных видеостандартов, обеспечение высокой четкости сжатой визуальной информации достигается на основе адаптивно блочно-размерных преобразований, что требует эффективных вычислительных схем выполнения дискретного косинусного преобразований переменных размерностей.

Цель работы – создание обобщенной структурной схемы эффективного вычисления целочисленного дискретного косинусного преобразования на основе циклических сверток размерностей равных целой степени двойки, что обеспечивает низкую вычислительную сложность и возможность применения в системах сжатия визуальной информации на основе адаптивно блочно-размерных преобразований.

Метод. Предложено использование образующих массивов для эффективного синтеза алгоритмов и структурных схем вычисления целочисленного дискретного косинусного преобразования на основе циклических сверток.

Результаты. Итогом исследования является разработка обобщенной структурной схемы вычисления целочисленного дискретного косинусного преобразования для размерностей равных целой степени двойки в системах сжатия визуальной информации на основе адаптивно блочно-размерных преобразований.

Выводы. В проведенном исследовании применен подход приведения базиса целочисленного дискретного косинусного преобразования к набору левоциклических подматриц, что позволяет вычислять преобразования на основе циклических сверток. Основная идея применения надлежащего математического аппарата заключается в использовании образующих массивов, содержащих краткое описание блочно-циклической структуры базиса преобразования. На основании полученного набора циклических подматриц ядра преобразования разработана обобщенная структурная схема эффективного выполнения целочисленного дискретного косинусного преобразования малых размерностей равных целой степени двойки. Вычисления соответствующего набора циклических сверток и объединения их результатов по структурной схеме обеспечивает выполнение адаптивно блочно-размерных преобразований для систем сжатия визуальной информации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: целочисленное дискретное косинусное преобразование, циклическая свертка, образующий массив, сжатие изображений, адаптивное блочно-размерное преобразование.

UDC 681.391, 621.372

EFFICIENT COMPUTATION OF THE INTEGER DCT-II FOR COMPRESSING IMAGES

Prots'ko I. O. – PhD., Associate Professor of Information Systems and Technologies Department, Lviv National Polytechnic University, Lviv, Ukraine

Kuzminskij R. D. – Dr.Sc, Professor, Head of Operation and Technical Service of the Mashines Department, Lviv National Agricultural University, Dubliany, Ukraine

© Процько І. О., Кузьмінський Р. Д., Теслюк В. М., 2019
DOI 10.15588/1607-3274-2019-2-16

Teslyuk V. M. – Dr.Sc, Professor, Head of Information Systems and Technologies Department, Lviv National Polytechnic University, Lviv, Ukraine

ABSTRACT

Actuality. Ensuring the efficiency and versatility of modern media for processing visual information requires the development of various methods for the effective implementation of the discrete cosine transform. In accordance with the requirements of modern video standards, providing high-definition compressed visual information is achieved on the basis of adaptively block-dimensional transforms, which requires efficient computational schemes for the implementation of discrete cosine transform of variable dimensions.

The purpose of the work is to create a generalized structural scheme for the efficient computation of an integer discrete cosine transform on the basis of cyclic convolutions of dimensions equal to the integer power of two, which provides low computational complexity and the possibility of using visual information compression systems on the basis of adaptively block-dimensional transforms.

Method. The use of hashing arrays for efficient synthesis of algorithms and structure schemes for computing an integer discrete cosine transform on the basis of cyclic convolutions is proposed.

Results. The result of the study is the development of a generalized structural scheme for the implementation of an integer discrete cosine transform of dimensions equal to the integer power of the two for the compression of visual information on the basis of adaptively block-dimensional transforms.

Conclusions. In the study, we apply the approach of bringing the basis of an integral discrete cosine transform to a set of left cyclic submatrices, which allows us to calculate transforms based on cyclic convolutions. The basic idea of using an appropriate mathematical apparatus is to use hashing arrays containing a brief description of the block-cyclic structure of the transform basis. On the basis of the received set of cyclic submatrices of the transform core, a generalized structural scheme for the effective implementation of an integer discrete cosine transform of small dimensions equal to an integer power of the two is developed. The computation of the corresponding set of cyclic convolutions and the combining of their results by the structural scheme ensures the implementation of adaptively block-dimensional transforms for compression of visual information.

KEYWORDS: integer discrete cosine transformation, cyclic convolution, hashing array, image compression, adaptive block-dimensional transform.

REFERENCES

1. Digital Technologies in Agriculture: adoption, value added and overview [Electronic resource]. Access mode: <https://medium.com/remote-sensing-in-agriculture/digital-technologies-in-agriculture-adoption-value-added-and-overview-d35a1564ff67>
2. Jayant N. S., Noll P. Digital Coding of Waveforms: Principles and Applications to Speech and Video. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1984, 216 p.
3. Video coding standards, AVS China, H.264/MPEG-4 PART 10, HEVC, VP6, DIRAC and VC-1 [Electronic resource]. Access mode: <https://www.springer.com/in/book/9789400767416>
4. H.265: High efficiency video coding. ITU 1 [Electronic resource]. Access mode: <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.265>
5. Reznik Y. A., Chivukula R. K. Design of fast transforms for high-resolution image and video coding, *Applications of Digital Image Processing*. San Diego, California, SPIE 7443 Optical Engineering and Applications, 2009, pp. 1–18. DOI: 10.1117/12.847190
6. Prots'ko I. Algorithm of Efficient Computation of DCT I–IV Using Cyclic Convolutions, *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 2013, Vol. 7, Issue 1, pp. 1–9.
7. Pei S.-C., Ding J.-J. The integer transforms analogous to discrete trigonometric transforms / S.-C. Pei, // *IEEE Transactions on Signal Processing*, 2000, Vol. 48, Issue 12, pp. 3345–3364. DOI: 10.1109/78.886998
8. Zeng Y., Cheng L., Bi G., Kot A. C. Integer DCTs and fast algorithms, *IEEE Transactions on Signal Processing*, 2001, Vol. 49, pp. 2774–2782. DOI: 10.1109/78.960425
9. [Hong Y.M., Kim Il-K., Lee T., Cheon M.-S., Alshina E., Han W.-J., Park J.-H. New fast DCT algorithms based on Loeffler's factorization, *Applications of Digital Image Processing XXXV*. San Diego, Proceedings Volume 8499, 2012. <https://doi.org/10.1117/12.970324>
10. Hnativ L.O. Integer cosine transforms for high-efficiency image and video coding, *Cybernetics and Systems Analysis*, 2016, Vol. 52, No. 5, pp. 802–816. DOI: 10.1007/s10559-016-9881-7
11. Joshi R., Reznik Y., Sole J., Karczewicz M. Recursive factorization for 16 and 32-point transforms using 4 and 8-point HM 3.0 core transforms, *MPEG/JCT-VC input document m21026, 97th MPEG meeting*. Torino, 2011, pp. 244–252.
12. Prots'ko I., Rikmas R., Teslyuk V. The efficient computation of integer DCT based on cyclic convolutions, *Computer Sciences and Information Technologies (CSIT'2018)*. Lviv, Proceeding of the International Scientific and Technical Conference, 2018, pp. 245–248.
13. Siu W.-C. eds.: Lim Y. C., Kwan H. K., Siu W.-C. Transform Domain Processing for Recent Signal and Video Applications, *Trends in Digital Signal Processing*. Taylor & Francis Group, LLC, 2016, pp. 201–261.
14. Blahut R. E. Fast algorithms for signal processing. Cambridge, University Press, 2010, 469 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511760921.001>
15. Cheng C., Parhi K. K. Hardware Efficient Fast DCT Based on Novel Cyclic Convolution Structures, *IEEE Transactions on signal processing*, 2006, Vol. 54, No. 11, pp. 4419–4434. DOI: 10.1109/TSP.2006.881269
16. Meher P. K. Systolic designs for DCT using a low-complexity concurrent convolutional formulation, *IEEE Transactions on Circuits & Systems for Video Technology*, 2006, Vol. 16, No. 9, pp. 1041–1050. DOI: 10.1109/TCSVT.2006.880191