УДК 004.421.2:517.443

І. Процько, Р. Рикмас
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра систем автоматизованого проектування

АНАЛІЗ ЦИКЛІЧНИХ ПІДМАТРИЦЬ У СТРУКТУРІ БАЗИСУ ДИСКРЕТНИХ ГАРМОНІЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ

Розглянуто стратегію пошуку і визначення однотипових підматриць у базисній матриці дискретного гармонічного перетворення. Однотиповість визначають окремо за вертикального і горизонтального двовимірного положення підматриць. Базисна матриця задається твірним масивом, параметри якого спрощують пошук однотипних циклічних підматриць.

Ключові слова: дискретні гармонічні перетворення, твірний масив базису, алгоритм пошуку, циклічні підматриці.

The strategy of searching and defining identical submatrices in basis matrix of discrete harmonic transforms is considered in the paper. The defining identity of submatrices performs separately for horizontal and vertical two-dimensional direction. The basis matrix specify of hashing array. Parameters of hashing array simplify searching of identical cyclic submatrices.

Keywords: discrete harmonic transforms, hashing array of basis, search algorithm, cyclic submatrices.

Вступ

У комп’ютерних системах математики, в системах схемотехнічого проектування важливу роль відіграє підсистема аналізу, яка виконує частотний аналіз, аналіз шуму, графічний аналіз перехідних процесів та інші [1]. Підсистема виконує ці функції на основі виконання дискретних гармонічних перетворень (перетворень класу Фур’є):

$$X = W^* x, \tag{1}$$

де W – базисна квадратна матриця W(kxn) дискретних гармонічних перетворень може набувати виду:

$W(k,n)=\exp(-j2\pi kn/NT)$, дискретного перетворення Фур’є (ДПФ);

$W(k,n)=\mathrm{cas}(2\pi kr/NT)=(\cos(2\pi kn/NT)+\sin(2\pi kn/NT))$, дискретне перетворення Хартлі (ДПХ);

$W(k,n)=c(n)x(n)\cos[\pi(2k+1)n/2NT]$, дискретного косинусного перетворення (ДКП),

$W(k,n)= c(n)x(n)\sin[\pi(2k+1)n/2NT]$, синусне перетворення (ДСП),

$$c(n) = \begin{cases} 2^{-1/2}, & \text{якщо } n=0\ ; \\ 1, & \text{в інших випадках;} \end{cases}$$

де n,k=0,(1),...,N-1; x(N) та X(N) – матриці стовпці вхідних та вихідних даних, T – інтервал дискретизації, N – обсяг перетворення.

Актуальність дослідження і розвитку гнучких та універсальних підходів ефективного обчислення дискретних гармонічних перетворень зобумовлена підвищенням вимог об’єктів наукових досліджень та складності технічних систем.

Аналіз останніх досліджень

Одним з підходів ефективного виконання дискретних гармонічних перетворень довільного обсягу є застосування в обчисленні циклічних згорток [2]. Для цього дискретний базис перетворення на основі декомпозиції приводиться до циклічних підматриць аргументів і знаків [3,4]. Дані підматриці визначають ефективне обчислення через виконання швидких циклічних згорток [5].

Постановка проблеми

Проведення аналізу дійсного базису дискретного гармонічного перетворення для змінного обсягу даних, відображеного через набір циклічних підматриць, робить схему обчислювального алгоритму перетворень ефективнішою. Подальший відбір однотипних циклічних підматриць аргументів і знаків по горизонталі та по вертикалі дає змогу скоротити кількість виконання циклічних згорток, тим самим зменшивши обчислювальну складність дискретного гармонічного перетворення.

Загальний аналіз і визначення однакових квадратних циркулянтів у базисній матриці

Немай у квадратній матриці V міститься набір квадратних підматриць різного обсягу. Ці підматриці містять цілі числа і є латинськими квадратами. Крім цього, кожна квадратна підматриця містить однакові елементи, що розміщені паралельно бічній діагоналі v[i,j]=v[k,l], при i+j=k+l, де i,j,k,l $\in \{1,2,..., n\}$, v[i,j] $\in$ Vp або однакові попарно всі елементи, симетрично розміщені відносно головної діагоналі. Такі квадратні підматриці називають ганкелевими (Hankel), що повністю визначаються своїм першим рядком або першим стовпцем, або такі матриці ще називають ліво-циркулянтними або циклічними зліва.

$$\begin{pmatrix} v_1\ v_2\ v_3 \ldots v_t \\ v_2\ v_3 \ldots v_t\ v_1 \\ \ldots \\ v_t\ v_1\ v_2 \ldots v_{t-1} \end{pmatrix}$$

Рис. 1. Квадратна під матриця, циклічна зліва

Загальна постановка задачі полягає в визначенні одинакових циклічних підматриць та аналіз їх розміщення по горизонталі та по вертикалі у структурі матриці.

$$2 = \begin{matrix} 3 & 6 & 12 & 24 \\ 6 & 12 & 24 & 3 \\ 12 & 24 & 3 & 6 \\ 24 & 3 & 6 & 12, \end{matrix} \quad \text{`}2 = \begin{matrix} 24 & 3 & 6 & 12 \\ 3 & 6 & 12 & 24 \\ 6 & 12 & 24 & 3 \\ 12 & 24 & 3 & 6, \end{matrix} \quad \text{“}2 = \begin{matrix} 6 & 12 & 24 & 3 \\ 12 & 24 & 3 & 6 \\ 24 & 3 & 6 & 12 \\ 3 & 6 & 12 & 24, \end{matrix}$$

$$4 = \begin{matrix} 9 & 18 & 15 & 21 \\ 18 & 15 & 21 & 9 \\ 15 & 21 & 9 & 18 \\ 21 & 9 & 18 & 15, \end{matrix} \quad \text{`}4 = \begin{matrix} 15 & 21 & 9 & 18 \\ 21 & 9 & 18 & 15 \\ 9 & 18 & 15 & 21 \\ 18 & 15 & 21 & 9, \end{matrix} \quad \text{“}4 = \begin{matrix} 21 & 9 & 18 & 15 \\ 9 & 18 & 15 & 21 \\ 18 & 15 & 21 & 9 \\ 15 & 21 & 9 & 18, \end{matrix}$$

$$1 = \begin{matrix} 1 & 2 & 4 & 8 & 16 & 19 & 13 & 25 \\ 2 & 4 & 8 & 16 & 19 & 13 & 25 & 1 \\ 4 & 8 & 16 & 19 & 13 & 25 & 1 & 2 \\ 8 & 16 & 19 & 13 & 25 & 1 & 2 & 4 \\ 16 & 19 & 13 & 25 & 1 & 2 & 4 & 8 \\ 19 & 13 & 25 & 1 & 2 & 4 & 8 & 16 \\ 13 & 25 & 1 & 2 & 4 & 8 & 16 & 19 \\ 25 & 1 & 2 & 4 & 8 & 16 & 19 & 13, \end{matrix} \quad \text{`}1 = \begin{matrix} 25 & 1 & 2 & 4 & 8 & 16 & 19 & 13 \\ 1 & 2 & 4 & 8 & 16 & 19 & 13 & 25 \\ 2 & 4 & 8 & 16 & 19 & 13 & 25 & 1 \\ 4 & 8 & 16 & 19 & 13 & 25 & 1 & 2 \\ 8 & 16 & 19 & 13 & 25 & 1 & 2 & 4 \\ 16 & 19 & 13 & 25 & 1 & 2 & 4 & 8 \\ 19 & 13 & 25 & 1 & 2 & 4 & 8 & 16 \\ 13 & 25 & 1 & 2 & 4 & 8 & 16 & 19 \end{matrix}$$

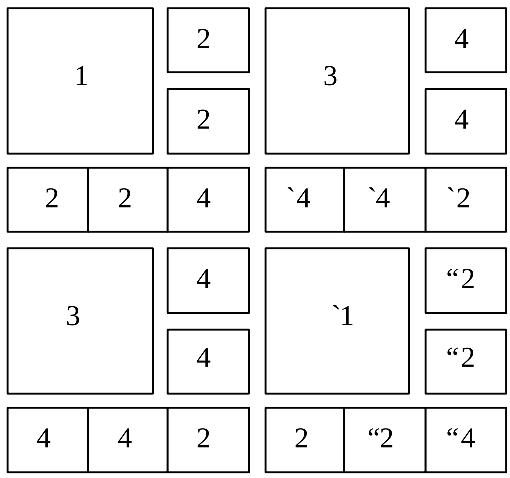

Рис. 2. Структура матриці косинусної частини ДПФ обсягу N=51

Наприклад, (рис. 2), структура матриці містить такі одинакові підматриці, розміщені по

– горизонталі: 2 і 2, `4 і `4, 4 і 4, 2 і 2;

– вертикалі: 2 і 2, 4 і 4 і 4, 4 і 4, “2 і “2 .

Значення елементів матриці можуть бути задані попередньо, однак великі обсяги потребують значних обсягів пам’яті для їх збереження. Ефективніший шлях – можливість визначення елементів матриці в процесі аналіу структури їх розміщення. Тобто обчислюють значення певних елементів матриці і порівнюють між собою, і чим менше необхідно обчислень, тим ефективнішим буде визначення однотипових підматриць.

Враховуючи особливості підматриць (квадратні, циклічні зліва), в загальній структурі матриць можна виділити такі алгоритми аналізу в загальному.

Пошук і аналіз перебором елементів, починаючи з верхнього рядка або першого стовпця, перевірка на циклічність (одинакові значення елементів) зі зміщеним наступним рядком або стовпцем. При невиконанні циклічності робимо висновок про завершення обсягу підматриці, тобто можна визначити її розмірність. Далі зміщуємось (по горизонталі/по вертикалі) на цей визначений обсяг і продовжуєм аналіз перебором елементів перших рядків або стовпців і, визначаючи нову підматрицю, порівнюємо її з попередньо виявленими, визначаючи одинакові.

Пошук і аналіз перебором елементів за бічною діагоналлю починаєм з першого елемента, перевірка на циклічність (одинакові значення елементів паралельних бічній діагоналі) При невиконанні циклічності або визначення максимального значенням елементів у бічній діагоналі робимо висновок про завершення обсягу підматриці і визначаєм її розмірність за координатою максимального значення кількості елементів. Далі зміщуємось (по горизонталі/по вертикалі) на цей визначений обсяг і продовжуєм аналіз і продовжуєм аналіз перебором елементів бічній діагоналі при визначенні нової під матриці; порівнюєм її з попередньо виявленими, визначаючи однакові окремо за одинаковими вертикальними і за одинаковими горизонтальними координатами (координатами стовпця, рядка).

Мішаний пошук за рядком/стовпцем і за бічною діагоналлю дає змогу, поєднуючи ці дві стратегії з особливістю розміщення відповідних обсягів підматриць, ефективніше визначити одинакові циклічні підматриці.

Приклад загальної структури матриці V(n), що містить квадратні та циклічні зліва підматриці з цілими значеннями елементів.

$$V(n)=\begin{pmatrix}
1 & 3 & 9 & 13 & 11 & 5 & 8 & 10 & 2 & 6 & 4 & 12 & 7\\
3 & 9 & 13 & 11 & 5 & 1 & 10 & 2 & 6 & 4 & 12 & 8 & 7\\
9 & 13 & 11 & 5 & 1 & 3 & 2 & 6 & 4 & 12 & 8 & 10 & 7\\
13 & 11 & 5 & 1 & 3 & 9 & 6 & 4 & 12 & 8 & 10 & 2 & 7\\
11 & 5 & 1 & 3 & 9 & 13 & 4 & 12 & 8 & 10 & 2 & 6 & 7\\
5 & 1 & 3 & 9 & 13 & 11 & 12 & 8 & 10 & 2 & 6 & 4 & 7\\
8 & 10 & 2 & 6 & 4 & 12 & 8 & 10 & 2 & 6 & 4 & 12 & 0\\
10 & 2 & 6 & 4 & 12 & 8 & 10 & 2 & 6 & 4 & 12 & 8 & 0\\
2 & 6 & 4 & 12 & 8 & 10 & 2 & 6 & 4 & 12 & 8 & 10 & 0\\
6 & 4 & 12 & 8 & 10 & 2 & 6 & 4 & 12 & 8 & 10 & 2 & 0\\
4 & 12 & 8 & 10 & 2 & 6 & 4 & 12 & 8 & 10 & 2 & 6 & 0\\
12 & 8 & 10 & 2 & 6 & 4 & 12 & 8 & 10 & 2 & 6 & 4 & 0
\end{pmatrix}$$

Опис базису гармонічного перетворення через твірний масив

Значення елементів квадратної матриці пов’язані з базисною функцією дискретного гармонічного перетворення обсягу N, що належить довільному значенню з множини натуральних чисел. Обсяг N перетворення визначає особливість структури базисної матриці перетворення, приведеної до циклічних підматриць [3]. Тому розподілено приналежність N до підмножин Si (i=1,2,3,4,5), де S1=p – прості, S2=p_i*…*p_j – непарні складені, S3=2p, S4=4p, S5=8p – парні, S6=2^n – парні, кратні двом, обсяги перетворень.

Для парної розмірності обсягу множин Si (i=3,4,5) структури базисної матриці для парних рядків містять симетричні підматриці. Тобто, базисна матриця містить у нижній частині дві підматриці Ve, а у верхній частині, що відповідає непарним рядкам, містяться підматриці Vo та Ve

$$\text{Vp} = \begin{pmatrix} \text{Vo} & \text{Ve} \\ \text{Ve} & \text{Ve} \end{pmatrix}. \qquad (2)$$

Тобто, визначати однотипові підматриці достатньо на одній половині нижньої частини в базисної матриці (Ve), що скорочує аналіз і визначення однотипових підматриць.

Враховуючи, що значення елементів квадратної матриці пов'язані з базисною функцією дискретного гармонічного перетворення, можна стисло описати структуру отриманої базисної матриці за допомогою твірного масиву, що містить цілі значення аргументів базисної функції

$$P(n)=P(n_1)\,P(n_2)\,\ldots\,P(n_k), \tag{3}$$

де k – число твірних підматриць, n – обсяг масиву, що дорівнює $n=\{N/2\}-1$ для косинусної частини ДПФ; n=N-1 для ДПХ; n=2N-1 для ДКП, де {}– ціла частина з округленням залежно від приналежності N до Si. Значення елементів твірного масиву P(n) не перевищують n на основі властивості періодичності базисної функції.

Твірний массив, враховуючи особливості симетричності базисної функції, можна задати за допомогою спрощеного твірного масиву індексів P'(n) та доповненого масивом знаків Z(n):

$$P'(n)=P'(n_1)P'(n_2)\ldots P'(n_k), \tag{4}$$

$$Z(n)=Z(n_1)Z(n_2)\ldots Z(n_k), \tag{5}$$

Значення параметрів спрощеного твірного масиву $P'(n)=P'(n_1)P'(n_2)\ldots P'(n_k)$ для цього обсягу N і виду перетворення визначаються:

– k – кількістю підмасивів у твірному масиві $P'(n)=P'(n_1)P'(n_2)\ldots P'(n_k)$;

– числом елементів кожного твірного підмасиву $(L_1,L_2,...,L_k)$.

– першим елементом кожного твірного підмасиву підмасиву n_{i1}, i=1(1)k,

$$P(n_1)=(n_{11}, n_{12}, n_{13}, \ldots, n_{1L1}),$$
$$P(n_2)=(n_{21}, n_{22}, n_{23}, \ldots, n_{2L2}), \tag{6}$$
$$\ldots, P(n_k)=(n_{k1}, n_{k2}, \ldots, n_{kLk}),$$

де позначено n_{ij} – елемент підмасиву, Li – кількість елементів у підмасиві $P(n_i)$.

Наприклад, базисна матриця косинуснї частини ДПФ обсягу N=28 описується твірним масивом

$$P(n) = (1\ 3\ 9)\ (13\ 11\ 5)\ (7)\ (2\ 6\ 10)\ (12\ 8\ 4)\ (14)$$

або спрощеним твірним масивом індексів P'(n) та масивом знаків Z(n):

$$P'(n) = (1\ 3\ 5)\ (1\ 3\ 5)\ (7)\ (2\ 6\ 4)\ (2\ 6\ 4)\ (0),$$
$$Z(n) = (+\ +\ -)(-\ -\ +)\ (0)\ (+\ +\ -)\ (-\ -\ +)\ (-);$$

базисна матриця ДПХ обсягу N=14 описується твірним масивом

$$P(n) = (1\ 3\ 9\ 13\ 11\ 5)\ (8\ 10\ 2\ 6\ 4\ 12)\ (7),$$

або спрощеним твірним масивом

$$P'(n) = (1\ 3\ 2\ 6\ 4\ 5)\ (1\ 3\ 2\ 6\ 4\ 5)(7),$$
$$Z(n) = (+\ +\ -\ +\ -\ +)(-\ -\ +\ -\ +\ -)\ (-).$$

Під визначенням однотипових циклічних підматриць розуміють знаходження однакових та квазіоднакових підматриць (мають одинакові індекси, але протилежні значення знаків) на основі аналізу спрощеного твірного масиву індексів P'(n) та масиву знаків Z(n). Індекси в P'(n) можуть набувати повторюваних значень, менших за n, але при цьому необхідно порівнювати ще значення відповідних знаків Z(n). Особливо актуально використання спрощеного твірного масиву для парних і кратних двом обсягів перетворення.

Квазіоднакові підматриці мають однакові індекси, але протилежні значення знаків.

Пошук і визначення однотипних підматриць у базисній матриці

Базисну матрицю дискретного гармонічного перетворення, що містить циклічні підматриці, визначає твірний масив P(n) з відповідними параметрами. Тому для пошуку і визначення однотипних підматриць у базисній матриці доцільно застосувати алгоритм на основі параметрів і значень твірного масиву.

Розглянемо на основі узагальненої схеми визначення однотипних підматриць у структурі масиву. Для заданого обсягу і виду дискретного гармонічного перетворення формуємо відповідний твірний масив і визначаємо його параметри.

Аналіз підматриць в алгоритмі пошуку виконують за координатами (i, j), що відповідають першим елементам підматриці в матричній структурі, і визначають цей елемент ($v_{i,j}$). Далі порівнюється $v_{i,j}$ з відповідними значеннями (p_{11}), (p_{21}),…(p_{m1}) перших або інших елементів твірного масиву P(n) і визначається розмірність підматриці. Відбір однотипових горизонтально/вертикально розміщених підматриць в алгоритмі пошуку виконується за координатою стовпця/рядка при зміщеннях на розмірність підматриць і рівності їх перших елементів.

Розглянем приклад обчислення косинусної частини ДПФ обсягу N=51. Обсяг N належить до множини $S2=p_i x p_j$ =3x17; n ={N/2}-1=26-1= 25. Для подальшого виконання згорток для цього непарного обсягу необхідно виконати симетричне об'єднання вхідних даних x(i)+x(N-i), i=(1,2(1),..,25);

Значення твірного масиву P(25) формують за підстановкою, де елементами твірного масиву можуть бути значення n_{ij} = (1,..,25):

(1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25)
(2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 25 23 21 19 17 15 13 11 9 7 5 3 1)

$P(25)=P(n_1)P(n_2)P(n_3)P(n_4)P(n_5)$=(1,2,4,8,16,19,13,25)(3,6,12,24)(5,10,20,11,22,7,14,23)(9,18,15,21)(17). Твірний масив містить підмасиви $P(n_2)$,$P(n_4)$,$P(n_5)$, які містять елементи, кратні 3, у $P(n_2)$,$P(n_4)$ і 17 в $P(n_5)$. Параметрами твірного масиву є:

k =5 – кількість підмасивів у твірному масиві;

$m \geq k^2$=25 загальна кількість підматриць m=33;

t_1=8, t_2=4, t_3=8, t_4=4, t_5 =1; t_i – кількість елементів у підмасивах $P(n_i)$, що задають обсяг циклічних згорток і визначають розмірність підматриць у структурі базисної матриці.

Відповідність координат (i, j) по горизонталі та вертикалі базисної матриці елементам n_i, n_j твірного масиву P(n):

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25
(1,2,4,8,16,19,13,25) (3,6,12,24) (5,10,20,11,22,7,14,23) (9,18,15,21) (17).

Координати перших елементів підматриць $i+t_i,j+t_i$ подано в таблиці. Розмірність підматриці t_i вибирається за принадлежністю до твірного підмасиву $P(n_i)$ значення перших елементів підматриць в матричній структурі. Елементи обчислюються на основі вибору за відповідістю координат (i, j) базисної матриці елементам твірного масиву P(n) за виразом

$$v_{i,j} =(n_i \times n_j) \bmod N,$$

а у випадку одержання значення, більшого за {N/2}, спрощується за виразом

$$v_{i,j} =N-[(n_i \times n_j) \bmod N].$$

<table>
<tr><th colspan="7">($i+t_i$, $j+t_i$)- n_{ij} (координати рядок/стовпець) – значення першого елемента підмасиву</th></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">(1,1)– 1*1= 1;</td><td>(1,9)– 1*3=3;</td><td colspan="2" rowspan="2">(1,13)– 1*5=5;</td><td>(1, 21)- 1*9=9;</td><td rowspan="2">(1,25)-1*17= 17;</td></tr>
<tr><td>(5,9)– 16*3=3;</td><td>(5,21)– (16*9)=9;</td></tr>
<tr><td>(9,1) – 3;</td><td>(9,5)–3;</td><td>(9,9)– 3*3=9;</td><td>(9,13)– 3*5= 15;</td><td>(9,17)– (3*22)=15;</td><td>(9,21) – (3*9)=24;</td><td>(9,25)– (3*17)=0;</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">(13,1)– 5*1= 5;</td><td>(13,9)– 5*3=15;</td><td colspan="2" rowspan="2">(13,13)– 5*5=25;</td><td>(13,21) – (5*9)=6;</td><td rowspan="2">(13,25)– (5*17)=17;</td></tr>
<tr><td>(17,9)–(22*3)= 15;</td><td>(17,21) – (22*9)=6;</td></tr>
<tr><td>(21,1)– 9*1=9;</td><td>(21,5)- (9*16)=9;</td><td>(21,9)– (9*3)=24;</td><td>(21,13)– (9*5)=6;</td><td>(21,17)- (9*22)=6;</td><td>(21,21) – (9*9)=21;</td><td>(21,25)– (9*17)=0;</td></tr>
<tr><td colspan="2">(25,1)- 17;</td><td>(25,9) – 0;</td><td colspan="2">(25,13)-17;</td><td>(25,21) – 0;</td><td>(25,25) -17;</td></tr>
</table>

Відбір за координатами перших елементів однакових підматриць по горизонталі:

(9,1)- 3; (9,5)– 3; для $P(n_2)$=(3 6 12 24), [x(1),x(2),x(4),x(8)]+[x(16), x(19),x(13),x(25)];
(21,1)– 9; (21,5)- 9; для $P(n_4)$=(9 18 15 21), [x(1),x(2),x(4),x(8)]+[x(16), x(19),x(13),x(25)];
(9,13)– 15; (9,17)– 15; для $P(n_{4'})$=(15 21 9 18), [x(5),x(10),x(20),x(11)+x(22),x(7),x(14),x(23)];
(21,13)– 6; (21,17)- 6; для $P(n_{2''})$=(6 12 24 3), [x(5),x(10),x(20),x(11)+x(22),x(7),x(14),x(23)];
(25,9)- 0; (25,21)- 0; для $P(n_5)$=(0), [x(3)+x(6)+x(12)+x(24)+x(9)+x(18)+x(15)+x(21)];
(25,1)-17; (25,13)-17; (25,25)-17; для $P(n_5)$=(17), [x(1)+x(2)+x(4)+x(8)+x(16)+x(19)+x(13)+x(25)]+
+[x(5)+x(10)+x(20)+x(11)+x(22)+x(7)+x(14)+x(23)]+x(17).

Виконуються додавання відповідних вхідних значень для виконання однієї згорток.

Відбір за координатами перших елементів однакових підматриць по вертикалі :

(1,9) – 3; (5,9) – 3; для $P(n_2)$=(3 6 12 24), [x(3),x(6),x(12),x(24)];

(13,9) – 15; (17,9) – 15; для $P(n_{4'})$=(15 21 9 18), [x(3),x(6),x(12),x(24)];

(1, 21) – 9; (5, 21) – 9; для $P(n_4)$=(9 18 15 21), [x(9),x(18),x(15),x(21)];

(13,21) – 6; (17,21) – 6; для $P(n_{2''})$=(6 12 24 3), [x(9),x(18),x(15),x(21)];

(1,25)-17; (13,25) – 17; (25,25) -17; для $P(n_5)$=(17), x(17).

Виконання однієї згортки для відібраних однакових вертикальних підматриць.

Решта циклічних згорток виконуються за своїми параметрами на основі визначених координат і вони не мають одотипних підматриць.

На основі одержаної структури (таблиця) виконується об’єднання результатів згорток. Одержані вихідні значення перетворення відповідають порядку відповідно послідовності значень твірного масиву: X(1), X(2), X(4), X(8), X(16), X(19), X(13), X(25), X(3), X(6), X(12), X(24), X(5), X(10), X(20), X(11), X(22), X(7), X(14), X(23), X(9), X(18), X(15), X(21), X(17).

Для парної розмірності обсягу, що належать до множин Si (i=3,4,5), аналіз структури базисної матриці дискретного гармонічного перетворення визначається певними особливостями як виду перетворення, так і конкретного значення обсягу.

Висновки

Пошук і визначення однотипних циклічних підматриць у базисній матриці спрощується при використанні твірного масиву базисної матриці дискретого гармонічного перетворення. Для парних обсягів перетворення базисна матриця може задаватись спрощеним твірним масивом індексів, доповненим масивом знаків. Однотипність знаходять окремо за вертикальним і горизонтальним положеннями підматриць, визначаючи та порівнюючи значення перших елементів підматриць за сформованими координатами в структурі базисної матриці. Пошук однотипних підматриць дає змогу скоротити кількість виконання циклічних згорток, тим самим зменшивши обчислювальну складність дискретного гармонічного перетворення.

1. [Електронний ресурс]. – Режим доступу. labcenter.com. 2. Макклеллан Дж. Х., Рейдер Ч. М. Применение теории чисел в цифровой обработке сигналов: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1983. 3. Процько І.О., Ефективне обчислення дискретних косинусних перетворень // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" Комп'ютерні системи проектування. – 2007. – №591. – С.58–63. 4. Процько І.О., Підхід ефективного обчислення дискретних гармонічних перетворень через циклічні згортки // // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" Комп’ютерні системи проектування. Теорія і практика. – 2008. – №626, 5. Marvi Teixeira, Y. Iván Rodríguez, Parallel Cyclic Convolution Based on Recursive Formulations of Block Pseudocirculant Matrices. IEEE Trans. Signal Process., vol. 56, no. 7, 2008, 2755–2770.