УДК 681.3:004.272

А.А. ЯРОВИЙ

АНАЛІЗ НОВИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПАРАЛЕЛЬНО-ІЄРАРХІЧНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СЕРЕДОВИЩ ТА ЇХ КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Вінницький національний технічний університет
95, Хмельницьке шосе, Вінниця, 21021, Україна
Тел.: +380 (432) 580019, e-mail: axa@vinnitsa.com

Анотація. В проведених дослідженнях здійснено аналіз існуючих та виявлення нових обчислювальних властивостей паралельно-ієрархічного перетворення інформаційних середовищ. На основі проведених досліджень розроблено програмне середовище, призначене для моделювання процесу кодування інформаційних масивів методом прямого паралельно-ієрархічного перетворення без масок.

Аннотация. В проведенных исследованиях осуществлен анализ существующих и определение новые вычислительные свойств параллельно-иерархического преобразования информационных сред. На базе проведенных исследований разработана программная среда, предназначенная для моделирования процесса кодирования информационных массивов методом прямого параллельно-иерархического преобразования без масок.

Abstract. The analysis of current and identification of new computing features of parallel-hierarchical transformation of information environments is carry out in researches. The software environment intended for modeling of coding process of information collections by the method of direct parallel-hierarchical transformation without masks is developed on the base of scientific researches.

Ключові слова: паралельні обчислення, паралельно-ієрархічне перетворення, моделювання, системи штучного інтелекту, обробка зображень.

ВСТУП

Вирішення проблеми швидкого перетворення надвеликих масивів інформації для ефективного забезпечення її запису, збереження, обробки і зчитування пов'язано зі створенням швидкодіючих пристроїв кодування і декодування. Швидкодія процесу кодування-декодування масиву цифрових даних залежить насамперед від втіленого в пристрої алгоритму числової обробки [1-3].

Сучасний рівень розвитку схемотехніки багатоканальних цифрових пристроїв кодування-декодування великих масивів інформації й досі частково забезпечується послідовними алгоритмами числової обробки, що в задачах динамічної обробки надвеликих масивів інформації призводить до невиправданих часових затрат, що витрачаються на послідовний у часі процес кодування-декодування [4,5].

Найбільш актуальною дана проблема виявляється в галузі кодування зображень, де доцільним є застосування методів паралельного кодування. На відміну від широко поширених типів кодування відеоінформації, наприклад різницевої [4], кодово-імпульсної [6, 7], дельта-модуляції [4], в основу яких покладено принцип послідовного кодування різницевої інформації, в даній роботі пропонується використовувати паралельно-пірамідальний принцип розподілених в просторово-часовій області результатів кодування масиву даних [1, 2]. У процесі пірамідальної обробки інформації початковий масив даних опрацьовується за допомогою застосування операцій вибору за F^*-критерієм і наступної операції Q^*-перетворення. В результаті такого перетворення формується така структура, як паралельно-ієрархічна обчислювальна система (ПІОС). Процес перетворень в ній продовжується до тих пір, поки всі елементи масиву приймуть нульові значення. Такий підхід приводить до істотного підвищення алгоритмічної швидкодії, достатньо високому показнику ущільнення, а також природній формі переопису цифрових сигналів [1-3,8,9].

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є розвиток теоретичних основ паралельно-ієрархічного перетворення інформаційних середовищ шляхом експериментальних досліджень і аналізу математичних моделей та визначення нових обчислювальних властивостей паралельно-ієрархічного перетворення інформації для підвищення його продуктивності в задачах динамічного оброблення зображень.

АНАЛІЗ БАГАТОЕТАПНОГО ПРОЦЕСУ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ВЗАЄМОДІЙ У ПАРАЛЕЛЬНО-ІЄРАРХІЧНИХ СТРУКТУРАХ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

Для з'ясовування загальних закономірностей організації ПІОС, застосувавши добре розроблений апарат кінцевих різниць [1,10], розглянемо її динамічну модель на структурно-функціональному рівні [1, 2, 8].

Концепція формування ПІОС припускає багатоетапний процес послідовного перетворення корельованих і утворення декоррельованних у часі елементів фізичного середовища при його переході з одного стійкого стану в інший [1-3, 8].

Нехай фізичне середовище описується цифровою інформацією, яка задана у виді множин:

$$M^0_{1,1},\ldots,M^0_{1,k},\ldots,M^0_{1,N^0_1}, \quad \text{де} \quad M^0_{1,k}=\left\{a^{k_1}_{i_1}\right\},$$

$$i_1=\overline{1;n^0_{k_1}}; \qquad k_1=\overline{1;N^0_1}; \quad a^{k_1}_{i_1}\in R; \qquad a^{k_1}_{i_1}\neq 0.$$

Наведена вище інформація перетворюється, і формується наступна динамічна модель ПІОС [1, 2, 8].

З кожної множини $M^0_{1,k}$ в момент часу t_1 вибирається за F^* критерієм довільний елемент, позначимо його $\bigcup_{i_1=1}^{n^1_{k_1}}\left(a^{k_1}_{i_1}\right)^{t_1}$. Кратність цього елемента позначимо $\left(r_{k_1}\right)^{t_1}$. Причому, із множини $M^0_{1,k}$ вибір елемента за F^*-критерієм відбувається лише в тому випадку, якщо складові елементи даної множини в часі коррелюють між собою.

Надалі при описі ПІОС скрізь передбачається, що при виборі на кожному етапі довільного елемента з відповідної множини складові його елементи також коррелюють у часі.

У момент часу t_2 з кожного елемента $a^{k_1}_{i_1}$ множини M^0_{1,k_1} віднімається обраний елемент $a^{k_1}_{i_1}-\bigcup_{i_1=1}^{n^1_{k_1}}\left(a^{k_1}_{i_1}\right)^{t_1}=\Delta\left(a^{k_1}_{i_1}\right)^{t_1}$. У результаті Q^*-перетворення в момент часу t_2 утворяться нові множини M^2_{1,k_1}, $k_1=\overline{1;N^2_1}$, з елементами $\Delta\left(a^{k_1}_{i_k}\right)^{t_1}$. Кількість елементів множини M^2_{1,k_1} дорівнює $n^2_{k_1}=n^0_{k_1}-\left(r_{k_1}\right)^{t_1}$. У момент часу t_3 в кожній з отриманих множин обирається за F^*-критерієм довільний елемент, позначимо його $\bigcup_{i_1=1}^{n^2_{k_1}}\Delta\left(a^{k_1}_{i_1}\right)^{t_3}$, кратність якого дорівнює $\left(r_{k_1}\right)^{t_3}$. У момент часу t_4 утворяться нові множини M^4_{1,k_1}, $k_1=\overline{1;N^4_1}$, елементами яких є різниці $\Delta\left(a^{k_1}_{i_1}\right)^{t_1}-\bigcup_{i_1=1}^{n^2_{k_1}}\left(\Delta\left(a^{k_1}_{i_1}\right)^{t_1}\right)^{t_3}=\Delta\left(\Delta\left(a^{k_1}_{i_1}\right)^{t_1}\right)^{t_3}=\Delta^2\left(a^{k_1}_{i_1}\right)^{t_1t_3}$.

Кількість елементів множини M^4_{1,k_1} дорівнює: $n^4_{k_1}=n^2_{k_1}-\left(r_{k_1}\right)^{t_3}=n^0_{k_1}-\left[\left(r_{k_1}\right)^{t_1}+\left(r_{k_1}\right)^{t_3}\right]$, і так далі. У результаті Q^*-перетворення в момент часу t_{2m} утворяться нові множини M^{2m}_{1,k_1}, $k_1=\overline{1;N^{2m}_1}$, елементами яких є різниці:

$$\Delta\left(\Delta\ldots\left(\Delta\left(a^{k_1}_{i_1}\right)^{t_1}\right)^{t_3}\ldots\right)^{t_{2m-3}}-\bigcup_{i_1=1}^{n^m_{k_1}}\left(\Delta\ldots\left(\Delta\left(a^{k_1}_{i_1}\right)^{t_1}\right)^{t_3}\ldots\right)^{t_{2m-1}}=\Delta\left(\Delta\left(\Delta\ldots\left(\Delta\left(a^{k_1}_{i_1}\right)^{t_1}\right)^{t_3}\ldots\right)^{t_{2m-3}}\right)^{t_{2m-1}}=\Delta^m\left(a^{k_1}_{i_1}\right)^{t_1t_3\ldots t_{2m-1}}.$$

Кількість елементів множини M^{2m}_{1,k_1} дорівнює: $n^{2m}_{k_1}=n^0_{k_1}-\left[\left(r_{k_1}\right)^{t_1}+\left(r_{k_1}\right)^{t_3}+\ldots+\left(r_{k_1}\right)^{t_{2m-1}}\right]$.

Описаний процес являє собою перший етап формування мережевої структури ПІОС (тобто, її перший рівень). І так далі [1, 2, 8].

Таким чином, описаний процес дозволяє перетворити вихідну цифрову інформацію, задану у виді N_1^0 множин, і в строго фіксовані моменти часу представити у вигляді мережевої структури ПІОС. Починаючи з другого рівня запам'ятовуються ті добутки, що декорельованні в часі з іншими проміжними результатами. Останні, як очевидно з розглянутого процесу визначаються кореляцією взаємодіючих елементів. Зазначимо, які елементи ПІ мережі декоррельованні в часі [1, 2, 8]: $\left(r_{k_2=1}\right)^{t_2}\bigcup_{i_2=1}^{n^1_{k_2=1}}\left(a^1_{i_2}\right)^{t_2}$ - на другому рівні; $\left(r_{k_3=1}\right)^{t_5}\bigcup_{i_3=1}^{n^1_{k_3=1}}\left(a^1_{i_3}\right)^{t_5}$ - на третьому рівні; і так далі $\left(r_{k_{j+1}=1}\right)^{t_{3j-1}}\bigcup_{i_{j+1}=1}^{n^1_{k_{j+1}=1}}\left(a^1_{i_{j+1}}\right)^{t_{3j-1}}$ на $(j+1)$-му рівні.

У результаті, в загальному вигляді, структурно-функціональна модель кореляційних взаємодій елементів ПІОС набуває такого вигляду: $\sum_{j=1}^{n}\left(r_{k_{j+1}=1}\right)^{t_{3j-1}}\bigcup_{i_{j+1}=1}^{n^1_{k_{j+1}=1}}\left(a^1_{i_{j+1}}\right)^{t_{3j-1}}=\sum_{k_1=1}^{N_1^0}\sum_{i_1=1}^{n^0_{k_1}}a^{k_1}_{i_1}$, де k – кількість рівнів паралельно-ієрархічного (ПІ) перетворення.

Вищеописана закономірність кореляційних взаємодій використовується при навчанні мережевої моделі ПІОС, якщо робити навчання безпосередньо топології самої мережі [1, 2, 8].

АНАЛІЗ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПАРАЛЕЛЬНО-ІЄРАРХІЧНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СЕРЕДОВИЩ

В ході експериментальних досліджень було виявлено наступні нові математичні властивості прямого ПІ-перетворення [11]:

1 Для прямокутних матриць, які містять будь-які числа розмірністю m×n (де m – висота, надалі "high", n – ширина, надалі "width"), при чому m<n (в тому числі для матриць, які містять невідсортовані числа Фібоначчі, що при відсортуванні утворюють ряд), максимальна розмірність матриці в процесі ПІ перетворення буде [2(n-1)]×m, при чому [2(n-1)] – high, m – width. Тобто вже на першій ітерації можна присвоїти значення висоти ширині і ширини – висоті. Таким чином ми обираємо більше значення, тобто якщо high<width, то значення max h та max w міняємо місцями.

2 Для прямокутних матриць, які містять будь-які числа розмірністю m×n, при чому m>n (тобто high>width), максимальна розмірність матриці в процесі ПІ перетворення буде [2(m-1)]× n.

3 Для квадратних матриць n×n, які містять будь-які числа (в тому числі невідсортовані числа Фібоначчі, що при відсортуванні дають ряд):

а) максимальна висота матриці в процесі ПІ перетворення не буде перевищувати значення (2n-1), тобто high ≤ (2n-1);

б) ширина в процесі ПІ перетворення не буде перевищувати початкову ширину n, тобто width ≤ n.

4 Ширина матриці n×n в процесі ПІ перетворення ніколи не буде перевищувати її початкову ширину.

В ході екпериментальних досліджень було доведено наступну **теорему**: "Для квадратної матриці розмірністю n×n, що містить відсортовані числа Фібоначчі, її розмірність не буде перевищувати: hight ≤ 2(n-1), width ≤ n."

Доведення.

Розглянемо матрицю n×n:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & \cdots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & \cdots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & a_{n4} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Матриця (1) заповнена відсортованими числами Фібоначчі. Оскільки це ряд Фібоначчі, то кожен наступний елемент буде більший за попередній. Отже, матриця (1) матиме вигляд (2). Під час доведення теореми будемо спиратися на властивість (2).

$$\begin{bmatrix} a_{11} & < & a_{12} & < & a_{13} & < & a_{14} & < & \cdots & < & a_{1n} \\ a_{21} & < & a_{22} & < & a_{23} & < & a_{24} & < & \cdots & < & a_{2n} \\ a_{31} & < & a_{32} & < & a_{33} & < & a_{34} & < & \cdots & < & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & < & a_{n2} & < & a_{n3} & < & a_{n4} & < & \cdots & < & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Далі будемо виконувати над матрицею (1) ПІ перетворення.

Перша ітерація прямого ПІ перетворення.

Виконуємо G–перетворення (виконується порядково). Розглянемо перший рядок. Обираємо мінімальний елемент в ньому. Керуючись властивістю (2), отримаємо що a_{11} – мінімальний елемент, а отже запишемо його на першу позицію. Далі виконуємо G–перетворення, шукаємо наступний мінімальний елемент. Відповідно до (2) – це a_{12}. Отже можна записати наступний елемент який буде різницею між мінімальними елементами (a_{12}-a_{11}). Аналогічно далі заповнюємо рядки та формуємо матрицю (3).

$$\begin{bmatrix} a_{11} & (a_{12}-a_{11}) & (a_{13}-a_{12}) & (a_{14}-a_{13}) & \cdots & (a_{1n}-a_{1(n-1)}) \\ a_{21} & (a_{22}-a_{21}) & (a_{23}-a_{22}) & (a_{24}-a_{23}) & \cdots & (a_{2n}-a_{2(n-1)}) \\ a_{31} & (a_{32}-a_{31}) & (a_{33}-a_{32}) & (a_{34}-a_{33}) & \cdots & (a_{3n}-a_{3(n-1)}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & (a_{n2}-a_{n1}) & (a_{n3}-a_{n2}) & (a_{n4}-a_{n3}) & \cdots & (a_{nn}-a_{n(n-1)}) \end{bmatrix} \qquad (3)$$

Далі виконуємо зсув. Перший рядок залишаємо без змін, а кожен наступний рядок будемо зсувати на одну позицію вправо.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & (a_{12}-a_{11}) & (a_{13}-a_{12}) & (a_{14}-a_{13}) & \cdots & (a_{1n}-a_{1(n-1)}) & 0 & \cdots & \cdots & \cdots\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & a_{21} & (a_{22}-a_{21}) & (a_{23}-a_{22}) & (a_{24}-a_{23}) & \cdots & (a_{2n}-a_{2(n-1)}) & 0 & \cdots & \cdots\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & a_{31} & (a_{32}-a_{31}) & (a_{33}-a_{32}) & (a_{34}-a_{33}) & \cdots & (a_{3n}-a_{3(n-1)}) & \cdots & \cdots\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & \cdots\ a_{n1} & (a_{n2}-a_{n1}) & (a_{n3}-a_{n2}) & \cdots & (a_{nn}-a_{n(n-1)}) \end{bmatrix}$$

На етапі зсуву можна визначити розмірність перетвореної матриці, що буде по завершенню першої ітерації. Ширина матриці на етапі зсуву 2n-2. Оскільки a11 – хвостовий елемент, його не враховуємо. В першому рядку залишається (n-1) елементів, тому що вхідна матриця мала розмірність n×n і відповідно нульових елементів (нулів) буде (n-1), тому значення ширини матриці буде (2n-2). Висота матриці буде n.

Оскільки наступний етап транспонування матриці (4), то отримаємо що, (2n-2) – висота, та n – ширина. Транспонування:

$$\begin{bmatrix} (a_{12}-a_{11}) & a_{21} & & & \\ (a_{13}-a_{12}) & (a_{22}-a_{21}) & a_{31} & & \\ (a_{14}-a_{13}) & (a_{23}-a_{22}) & (a_{32}-a_{31}) & a_{41} & \\ \vdots & & & & \\ (a_{1n}-a_{1(n-1)}) & (a_{2(n-1)}-a_{2(n-2)}) & (a_{3(n-2)}-a_{3(n-3)}) & \cdots & a_{n1} \\ (a_{2n}-a_{2(n-1)}) & \cdots & & & \\ (a_{3n}-a_{3(n-1)}) & \cdots & & & \\ \vdots & \cdots & & & \\ (a_{nn}-a_{n(n-1)}) & \cdots & & & \end{bmatrix} \qquad (4)$$

Як видно із формули (4) максимальна ширина матриці залишається на цій ітерації "n", а висота матриці зменшиться до "2n-2", оскільки після зсуву ми вивели елемент a_{11} як хвостовий. Отже розмірність матриці буде [2n-2 × n].

Виконуємо наступну ітерацію. **Друга ітерація** прямого ПІ перетворення.

Знову як і з матрицею (1) такі ж операції виконуємо і з матрицею (5). Після перетворень отримуємо матрицю вигляду (5).

$$\begin{bmatrix}
(a_{12}-a_{11}) & (a_{21}-(a_{12}-a_{11})) & & \\
(a_{13}-a_{12}) & ((a_{22}-a_{21})-(a_{13}-a_{12})) & (a_{31}-(a_{22}-a_{21})) & \\
(a_{14}-a_{13}) & ((a_{23}-a_{22})-(a_{14}-a_{13})) & ((a_{32}-a_{31})-(a_{23}-a_{22})) & (a_{41}-(a_{32}-a_{31})) \\
\vdots & & & \\
(a_{1n}-a_{1(n-1)}) & ((a_{2(n-1)}-a_{2(n-2)})-(a_{1n}-a_{1(n-1)})) & ((a_{3(n-2)}-a_{3(n-3)})-(a_{2(n-1)}-a_{2(n-2)})) & \cdots \\
(a_{2n}-a_{2(n-1)}) & \cdots & & \\
(a_{3n}-a_{3(n-1)}) & \cdots & & \\
\vdots & \cdots & & \\
(a_{nn}-a_{n(n-1)}) & \cdots & &
\end{bmatrix} \quad (5)$$

Аналогічно першій ітерації виконуємо зсув і отримаємо матрицю вигляду (6):

$$\begin{bmatrix}
(a_{12}-a_{11}) & (a_{21}-(a_{12}-a_{11})) & & & & & \\
0 & (a_{13}-a_{12}) & ((a_{22}-a_{21})-(a_{13}-a_{12})) & (a_{31}-(a_{22}-a_{21})) & & & \\
0 & 0 & (a_{14}-a_{13}) & ((a_{23}-a_{22})-(a_{14}-a_{13})) & ((a_{32}-a_{31})-(a_{23}-a_{22})) & (a_{41}-(a_{32}-a_{31})) & \\
\vdots & 0 & 0 & \cdots & & & \vdots \\
0 & 0 & ((a_{3(n-2)}-a_{3(n-3)})-(a_{2(n-1)}-a_{2(n-2)})) & \cdots & & & \\
0 & \cdots & & & & & \\
0 & \cdots & & & & & \\
\vdots & \cdots & & & & & \\
0 & \cdots & & & & &
\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}
\vdots & (a_{1n}-a_{1(n-1)}) & ((a_{2(n-1)}-a_{2(n-2)})-(a_{1n}-a_{1(n-1)})) & ((a_{3(n-2)}-a_{3(n-3)})-(a_{2(n-1)}-a_{2(n-2)})) & \cdots & \\
 & & & & & (a_{nn}-a_{n(n-1)})
\end{bmatrix} \quad (6)$$

Застосовуючи аналогічні міркування, що й на першій ітерації, можемо порахувати розмірність матриці, яка буде по завершенню другої ітерації.

Знову ж таки, оскільки (a_{12}-a_{11}) – хвостовий елемент, його не враховуємо.

Значення висоти матриці буде 2n-2, – це випливає з попередньої ітерації. Ширина буде n-3+n=2n-3.

Оскільки ми нульові елементи (нулі) не враховуємо, тому від висоти віднімемо кількість нулів в n-му стовпчику: (2n-2)-(n-2)=n.

Отже розмірність матриці після транспонування буде 2n-3 × n.

Матриця буде мати вигляд (7). Транспонування:

$$\begin{bmatrix}
(a_{21}-(a_{12}-a_{11})) & (a_{13}-a_{12}) & \\
((a_{22}-a_{21})-(a_{13}-a_{12})) & (a_{14}-a_{13}) & \\
(a_{31}-(a_{22}-a_{21})) & \cdots & \cdots \\
((a_{32}-a_{31})-(a_{23}-a_{22})) & \cdots & \\
(a_{41}-(a_{32}-a_{31})) & \cdots & \\
\vdots & \cdots & \\
(a_{nn}-a_{n(n-1)}) & \cdots &
\end{bmatrix} \quad (7)$$

Аналогічно першій ітерації, виконали другу і отримали, що розмірність матриці буде [2n-3 × n].

Під час наступних ітерацій розмірність матриць при прямому ПІ перетворенні буде лише спадати, тому немає сенсу наводити далі загальний вигляд прямого ПІ перетворення для квадратних матриць.

Порівняємо отримані результати: [2n-2 × n]> [2n-3 × n].

Застосовуючи аналогічні міркування до кожної наступної ітерації отримаємо, що максимальна розмірність матриці не буде перевищувати 2n-2 × n. Отже, теорему доведено.

З усього вищенаведеного, можна зробити висновок, що [2n-2 × n] буде максимальною розмірністю матриці даного типу та даного наповнення. Тобто при ПІ перетворенні розмірність буде такою або ж наближатися до неї, але ніколи не буде перевищувати значення у визначеному виразі, що і треба було довести.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КОДУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ МАСИВІВ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ПАРАЛЕЛЬНО-ІЄРАРХІЧНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ БЕЗ МАСОК

При експериментальному дослідженні було досліджено різні набори масивів даних. Серед них найскладнішим випадком ПІ перетворення виявилися матриці, заповнені числами Фібоначчі [11].

В якості прикладу, в даній роботі для експерименту були взяті невідсортовані числа Фібоначчі, які при відсортуванні утворюють ряд Фібоначчі за основою n=2. Ними заповнювалися матриці як прямокутні так і квадратні, що дало змогу краще дослідити властивості прямого ПІ перетворення.

Виявлену нову обчислювальну властивість №1, що була наведена раніше, можна спостерігати на розглянутому нижче прикладі. Приклад: дано матрицю A, розмірністю 4×5 (див. вираз 8).

$$A = \begin{vmatrix} 3 & 55 & 987 & 1 & 13 \\ 4181 & 144 & 34 & 8 & 10946 \\ 2 & 2584 & 610 & 5 & 21 \\ 1597 & 233 & 377 & 6765 & 89 \end{vmatrix} \quad (8)$$

Виконаємо над нею пряме ПІ перетворення.

1) G-перетворення:

$$\begin{vmatrix} 1 & 2 & 10 & 42 & 932 \\ 8 & 26 & 110 & 4037 & 6765 \\ 2 & 3 & 16 & 589 & 1974 \\ 89 & 144 & 144 & 1220 & 5168 \end{vmatrix}$$

2) Зсув:

$$\begin{vmatrix} 1 & 2 & 10 & 42 & 932 & & & \\ & 8 & 26 & 110 & 4037 & 6765 & & \\ & & 2 & 3 & 16 & 589 & 1974 & \\ & & & 89 & 144 & 144 & 1220 & 5168 \end{vmatrix}$$

Хвостовий елемент: $a_1 = (1)$

3) Транспонування:

$$\begin{vmatrix} 2 & 8 & & \\ 10 & 26 & 2 & \\ 42 & 110 & 3 & 89 \\ 932 & 4037 & 16 & 144 \\ 6765 & 589 & 144 & \\ 1974 & 1220 & & \\ 5168 & & & \end{vmatrix}$$

4) G-перетворення:

$$\begin{vmatrix} 2 & 6 & & \\ 2 & 8 & 16 & \\ 3 & 39 & 47 & 21 \\ 16 & 128 & 788 & 3105 \\ 144 & 445 & 6176 & \\ 1220 & 754 & & \\ 5168 & & & \end{vmatrix}$$

5) Зсув:

$$\begin{vmatrix} 2 & 6 & & & & & \\ & 2 & 8 & 16 & & & \\ & & 3 & 39 & 47 & 21 & \\ & & & 16 & 128 & 788 & 3105 \\ & & & & 144 & 445 & 6176 \\ & & & & & 1220 & 754 \\ & & & & & & 5168 \end{vmatrix}$$

Хвостовий елемент: $a_2 = (2)$

6) Транспонування:

$$\begin{vmatrix} 6 & 2 & & \\ 8 & 3 & & \\ 16 & 39 & 16 & \\ 47 & 128 & 144 & \\ 21 & 788 & 445 & 1220 \\ 3105 & 6167 & 754 & 5168 \end{vmatrix}$$

7) G-перетворення:

$$\begin{vmatrix} 2 & 4 & & \\ 3 & 5 & & \\ 16 & 23 & & \\ 47 & 81 & 16 & \\ 21 & 424 & 343 & 432 \\ 754 & 2351 & 2063 & 1008 \end{vmatrix}$$

8) Зсув:

$$\begin{vmatrix} 2 & 4 & & & & & & & \\ & 3 & 5 & & & & & & \\ & & 16 & 23 & & & & & \\ & & & 47 & 81 & 16 & & & \\ & & & & 21 & 424 & 343 & 432 & \\ & & & & & 754 & 2351 & 2063 & 1008 \end{vmatrix}$$

Хвостовий елемент: $a_3 = (2)$

9) Транспонування:

$$\begin{vmatrix} 4 & 3 & \\ 5 & 16 & \\ 47 & 23 & \\ 81 & 21 & \\ 16 & 424 & 754 \\ 343 & 2351 & \\ 432 & 1631 & \\ 1008 & & \end{vmatrix}$$

І так далі. Після закінчення ітерацій ми отримаємо набір хвостових елементів:

$$a = (1,2,2,3,1,4,7,3,2,4,3,10,11,20,6,1,68,281).$$

Тепер для підтвердження адекватності математичних моделей та виведених нових властивостей промоделюємо даний приклад в програмному середовищі [11]. Розроблений програмний засіб призначений для моделювання процесу кодування інформаційних масивів методом прямого паралельно-ієрархічного перетворення без масок. Програмний засіб реалізує такі функції:

1) виконання процесу кодування інформаційних масивів методом прямого паралельно-ієрархічного перетворення без масок;
2) розрахунок кількості ітерацій, під час роботи в середовищі моделювання;
3) перегляд кожної ітерації процесу кодування інформаційних масивів методом прямого паралельно-ієрархічного перетворення без масок;
4) виведення хвостових елементів (результату).

Для роботи із програмним середовищем потрібно:

1) запустити на виконання файл "DirectPH_Modelling.exe";
2) завантажити інформаційний масив із файлу (у форматі "txt") або заповнити поля введення власноруч (також є рандомізованого заповнення полів для введення даних як звичайним натуральним рядом, так і рандомізованими числами Фібоначчі). Також реалізована можливість задання користувачем розмірності вхідного інформаційного масиву даних;
3) за необхідності, здійснити перегляд кожної ітерацій прямого паралельно-ієрархічного перетворення для аналізу роботи програми;
4) отримати виведені на екран результати роботи програми (набір хвостових елементів, тобто закодований інформаційний масив).

Програмний засіб можна використовувати для дослідження існуючих та виявлення нових обчислювальних властивостей паралельно-ієрархічного перетворення інформаційних масивів та подальшої оптимізації процесу їх кодування.

Мова реалізації програмного середовища – "C#". Функції програмного середовища коректно працюють з різними операційними системами. Для роботи програмного середовища необхідна наявність встановленої на комп’ютері операційної системи (рекомендовано 64-бітна MS Windows 7); наявність скомпільованої під відповідну платформу програми; тактова частота процесора не менше 1 GHz; наявність оперативної пам’яті обсягом від 1024 Mb.

На рис. 1 наведено приклад моделювання прорахованих експериментальних задач в розробленому програмному середовищі.

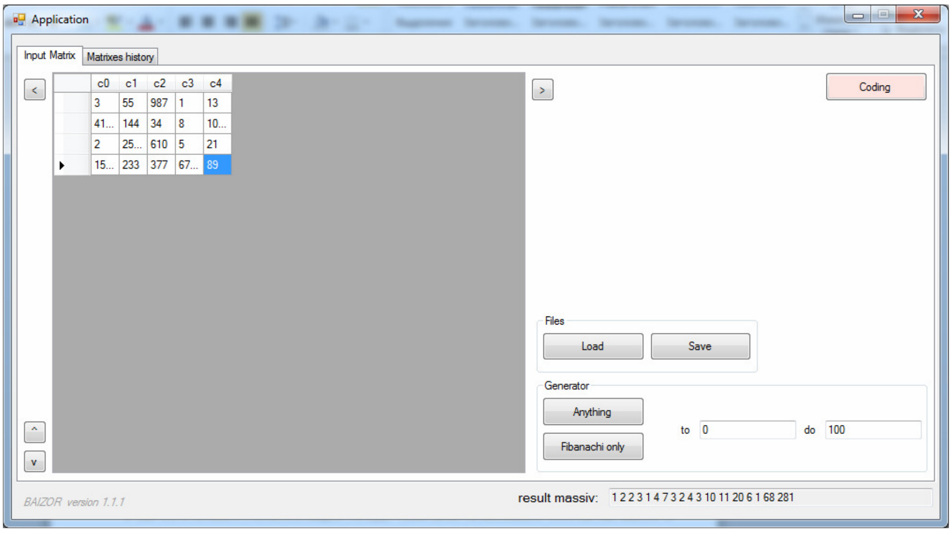

Рис. 1. Введення матриці А із наведеного прикладу (див. вираз 8) в середовище моделювання

Далі натискаємо кнопку «Coding» і отримаємо поітераційний процес кодування вхідної матриці А методом прямого ПІ перетворення.

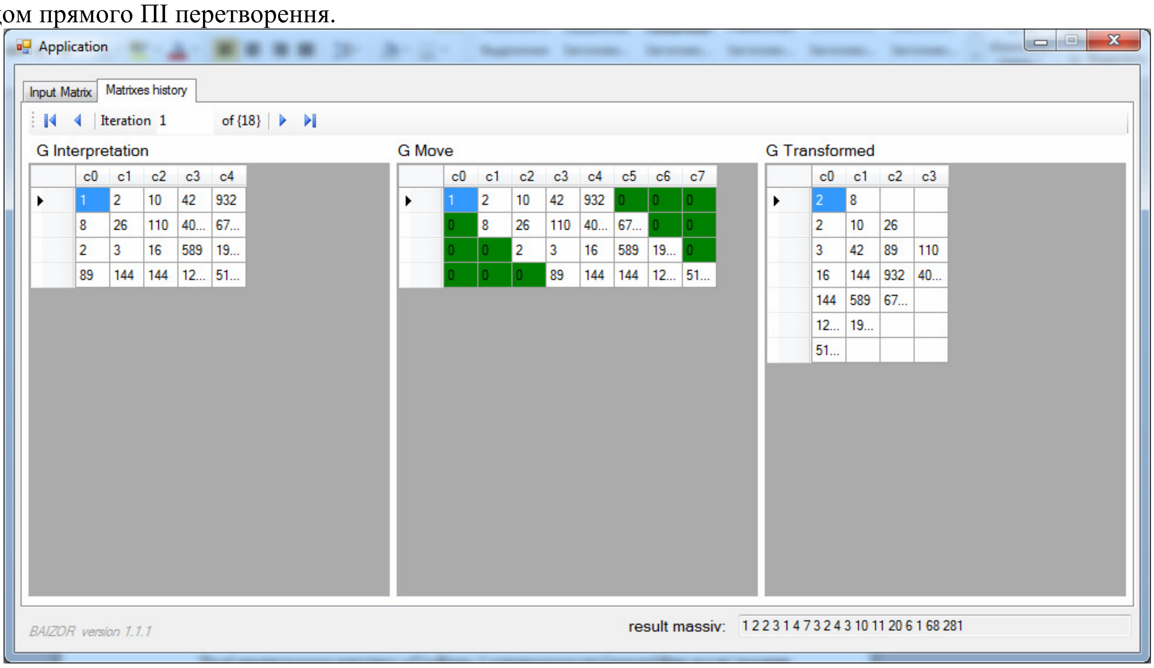

Рис. 2. Екранна форма з першою ітерацією прямого ПІ перетворення

На рис. 1 і 2 відображено загальний результат перетворення матриці у комірці «Result massiv». Якщо отримані в програмному середовищі дані порівняти із даними, які були отримані вручну при математичному моделюванні, то вони виявляються ідентичними, а це свідчить про адекватність та достовірність отриманих результатів.

ВИСНОВКИ

Досліджуваний спосіб паралельного перетворення надвеликих масивів інформації розглянуто за допомогою високопродуктивного мережного алгоритму ПІ перетворення, основними властивостями якого є паралелізм і ієрархія, синхронність і детермінованість [1-3,8].

В роботі було проведено аналіз математичних моделей паралельно-ієрархічного перетворення інформації, а також експериментальні дослідження з метою визначення математичних залежностей при обробці різнорідних інформаційних середовищ методом прямого ПІ перетворення без масок. За результатами проведених досліджень перевірено основні обчислювальні властивості прямого ПІ перетворення інформації, а також виявлено його нові обчислювальні властивості, окремі з яких доведено у вигляді теореми. Для доведення адекватності та достовірності отриманих результатів здійснено математичне та комп'ютерне моделювання на великій кількості різноманітних типів наборів даних. Отримані результати математичного та комп'ютерного моделювання співпали. Розроблено програмне середовище для моделювання процесу кодування інформаційних масивів методом прямого паралельно-ієрархічного перетворення без масок, яке можна використовувати для дослідження існуючих та виявлення нових обчислювальних властивостей ПІ перетворення інформаційних масивів та подальшої оптимізації процесу їх кодування. В подальших дослідженнях виявлені нові обчислювальні властивості ПІ перетворення інформаційних середовищ використано для підвищення його продуктивності при реалізації на базі новітньої технології GPGPU в задачах динамічного оброблення зображень [12].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Паралельно-ієрархічне перетворення як системна модель оптико-електронних засобів штучного інтелекту : [Монографія.] / В.П. Кожем'яко, Ю.Ф. Кутаєв, С.В. Свєчніков, Л.І. Тимченко, А.А. Яровий – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 324 с.
2. Кожем'яко В.П. Паралельно-ієрархічні мережі як структурно-функціональний базис для побудови спеціалізованих моделей образного комп'ютера : [Монографія] / В.П. Кожем'яко, Л.І. Тимченко, А.А. Яровий. – Вінниця: Універсум-Вінниця, 2005. – 161 с.
3. Theoretical Aspects of Parallel-Hierarchical Multi-Level Transformation of Digital Signals. / A. Yarovyy, L. Timchenko, N. Kokriatskaia – [Development and application systems : Proceedings of the 11th International Conference on DAS-2012], (Suceava, Romania, May 17-19, 2012) – Suceava, Universitatea Stefan cel Mare Suceava, 2012 – p. 1-9.
4. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. В 2-х книгах. / У. Прэтт – М.: Мир, 1982. - Т.1.-310 с., Т.2.-790 с.
5. Engelberg S. Digital Signal Processing. An Experimental Approach. 1st Edition / S. Engelberg – Springer, 2008, XVI – 212 p.
6. Применение цифровой обработки сигналов. / Под ред. Э. Оппенгейма. - М.: Мир, 1980. - 545с.
7. Мусман С.Г. Достижения в области кодирования зображений. / С. Мусман, П. Пирш, Х. Граллерт / ТИИЭР. - 1985. - т. 73, № 4. – С. 23-54.
8. Вступ в алгоритмічну теорію ієрархії і паралелізму нейроподібних обчислювальних середовищ та її застосування до перетворення зображень. Основи теорії пірамідально сітьового перетворення зображень. / Кожем'яко В.П., Тимченко Л.І., Кутаев Ю.Ф., Івасюк І.Д. – К: УМК ВО, 1994. – 272 с.
9. Методологічні особливості організації мережної моделі паралельно-ієрархічного перетворення інформаційних середовищ. / Яровий А.А., Сугак І.М., Трошина А.В. – [Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем : Тези доповідей IX Міжнародної науково-практичної конференції МПЗІС-2011], (Дніпропетровськ, 23-25 листопада 2011 р.) – Дніпропетровськ, ДНУ, 2011. – С. 299-300.
10. Словарь по кибернетике/ Под ред. В.С. Михалевича. – (2-е изд.) - К.: Гл. ред. УСЭ. 1989. – 751 с.
11. Математичне моделювання методів паралельно-ієрархічного перетворення та аналіз їх властивостей. / Яровий А.А., Трошина А.В. – [Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія : тези доповідей Третьої Міжнародної науково-технічної конференції (ІТКІ-2012)"], (Вінниця, 29-31 травня 2012 р.) – Вінниця, ВНТУ, 2012. – с. 56-57.
12. Особливості організації паралельних потоків при виконанні паралельно-ієрархічного перетворення на основі GPGPU. / Яровий А.А., Сугак І.М. – [Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія : тези доповідей Третьої Міжнародної науково-технічної конференції (ІТКІ-2012)"], (Вінниця, 29-31 травня 2012 р.) – Вінниця, ВНТУ, 2012. – с. 52-53.

Надійшла до редакції 31.05.2012 р.

ЯРОВИЙ А.А. – к.т.н., доцент, докторант кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.