

*Інформаційна технологія паралельно-ієрархічного
перетворення цифрової інформації на основі актор-моделі
обчислень*

*Польгуль Т. Д., ст. гр. 1КН-14мн,
науковий керівник – д. т. н., професор Яровий А. А.*

ВІННИЦЯ - 2015

Актуальність

З ростом розмірності та кількості цифрової інформації постає потреба в паралельних алгоритмах обробки цифрової інформації, які працюють значено ефективніше ніж послідовні. Розвиток технологій побудови обчислювальних засобів дає змогу досягти високої апаратної паралелізації.

- ▶ 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.
- ▶ Найбільш актуальною дана проблема виявляється в галузі кодування зображень, де доцільним є застосування методів паралельного кодування. 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.

- ▶ **Мета досліджень:** підвищення швидкодії обчислювальних процесів обробки цифрової інформації на основі актор-моделі обчислень.
- ▶ **Об'єкт досліджень:** процес обробки зображень профілю лазерного променя. процес паралельного перетворення цифрової інформації.
- ▶ **Предмет досліджень:** програмні засоби паралельно-ієрархічного перетворення цифрової інформації на основі актор-моделі обчислень.

Наукова новизна

- ▶ Дістали подальший розвиток математичні моделі паралельно-ієрархічного перетворення цифрової інформації за рахунок реорганізації їх з використанням актор-моделі обчислень, що забезпечило підвищення швидкодії.
- ▶ Розроблено моделі організації обчислювального процесу оброблення цифрової інформації на основі актор-моделі обчислень, що забезпечило підвищення швидкодії обробки великих масивів цифрової інформації у 6 раз у порівнянні з комп'ютерним моделюванням та у 1.4 рази у порівнянні з реалізацією без використання актор-моделі обчислень.
- ▶ Розроблено високопродуктивні комп'ютерні засоби в межах інформаційної технології паралельно-ієрархічного оброблення цифрової інформації, що забезпечують обробку великих масивів цифрової інформації в реальному часі.

СВІТОВІ анаЛОГИ

- ▶ В якості аналогу обрано нейронні мережі з затримкою по часу.
- ▶ Популярною мережею, яка для часової обробки використовує звичайні затримки, являється так звана нейронна мережа з затримкою по часу (time delay neural network – TDNN).
- ▶ TDNN – це багатошарова мережа прямого поширення, приховані і вихідні нейрони якої реплікуються по часу (replicated across time).

Паралельно-ієрархічне перетворення

- ▶ Принцип паралельно-ієрархічного оброблення інформації припускає організацію багаторівневого ПІ обчислювального процесу, орієнтованого на досягнення максимально можливої алгоритмічної та схемотехнічної швидкодії при перетворенні інформації, і мінімально можливих параметрів ємності пам'яті і споживаної потужності для її збереження, з випереджаючим ростом функціональних можливостей технічних засобів у порівнянні з їхньою складністю.
- ▶ ПІ перетворення застосовується для виділення характерних ознак зображень, їх кодування і скорочення розмірності при виконанні обчислень. Добра збіжність ПІ перетворення використовується в структурах паралельної пам'яті, аналізу і розпізнавання зображень, при кодуванні і ущільненні даних, а також для обробки біомедичних сигналів. Особливо перспективною є ідея реалізації ПІ перетворення при побудові оптоелектронних елементів і пристроїв із динамічною багатофункціональністю.

Математична модель прямого паралельно-ієрархічного перетворення

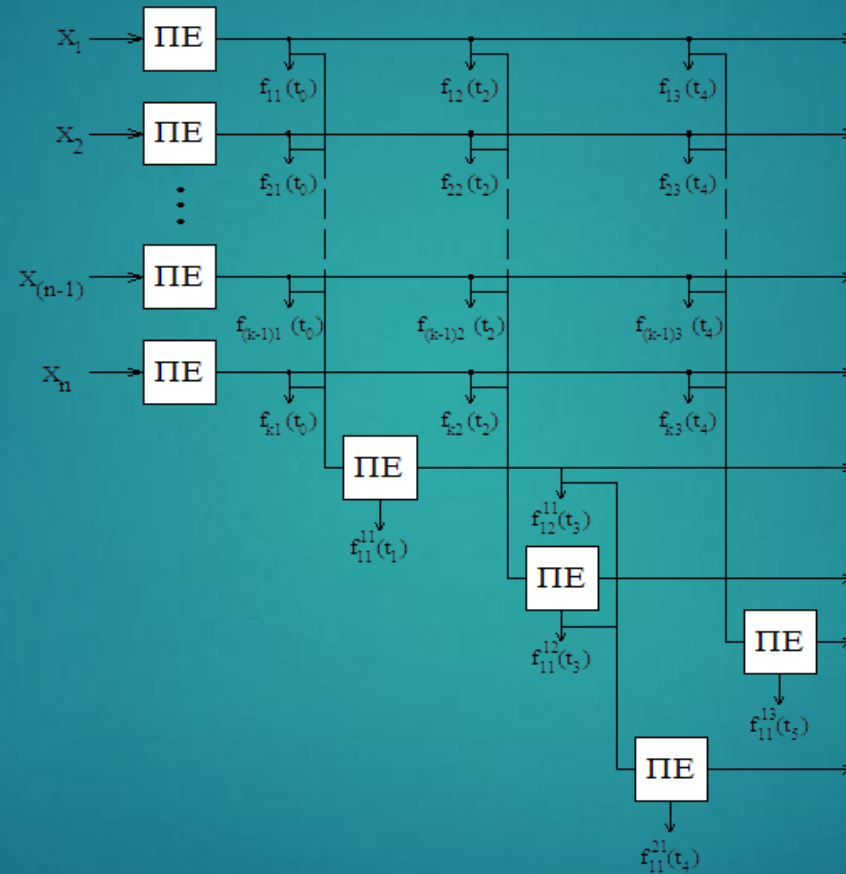
$$\Phi_{t=2}^k \left[T \left(G \left(\bigcup_{s=1}^S \left(\bigcup_{i=1}^n a_i \right) \right) \right) \right] = \bigcup_{t=2}^k a_{11}^t$$

Мережний метод прямого ПІ перетворення полягає в послідовному застосуванні до початкових множин $\bigcup_{s=1}^S \mu_s$ по одному разу операторів G -перетворення і транспонування T , а потім раз $(k-1)$ функціонала Φ .

Структурна організація паралельно-ієрархічної обчислювальної системи

- ▶ Кожний елемент паралельно-ієрархічної піраміди характеризується чотирма координатами (i, j, k_1, k_2) , де k_1 – рівень піраміди першого рівня, k_2 – рівень паралельно ієрархічної піраміди інших рівнів. Пірамідальна обчислювальна структура на основі ПІ перетворення утворить мережу у вигляді паралельно-ієрархічної піраміди.

Структурна організація паралельно-ієрархічної обчислювальної системи



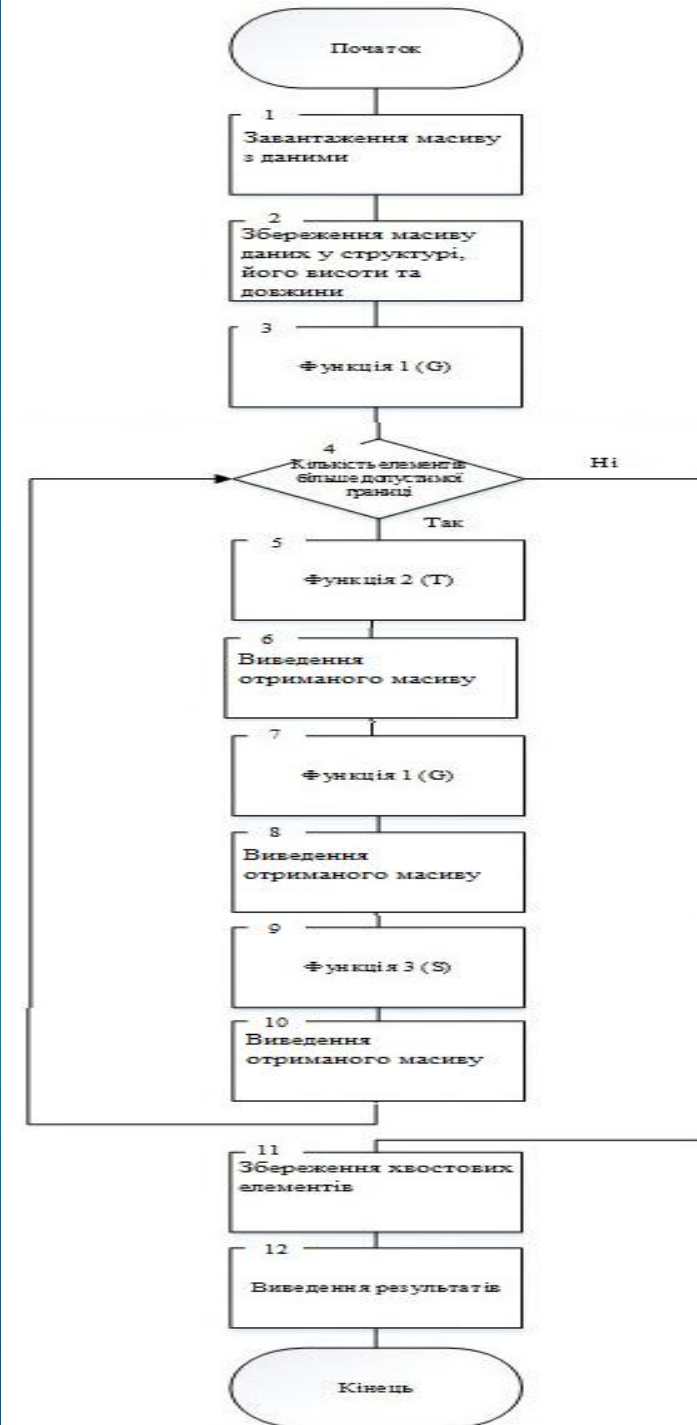
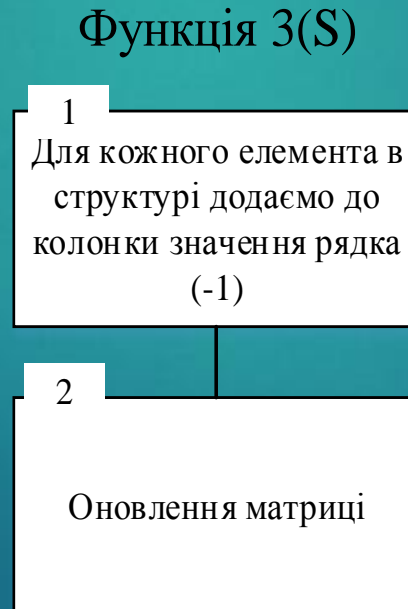
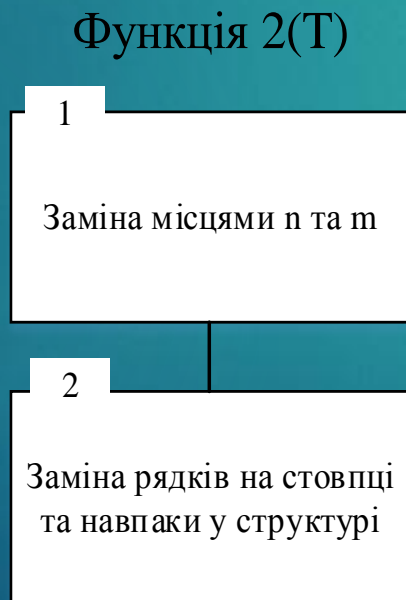
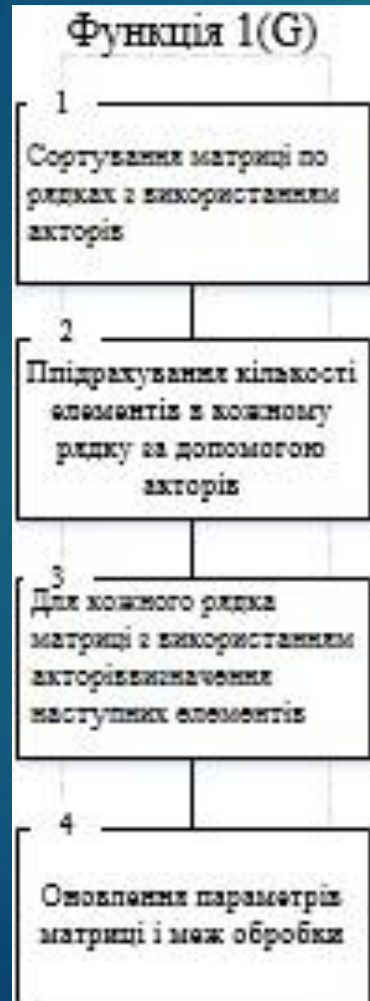
Структурна схема взаємодії інформаційних потоків у паралельно-ієрархічній обчислювальній структурі

Алгоритм роботи паралельно-ієрархічної мережі

Починаючи з другої ітерації, над матрицею M_2 виконуємо такі дії:

- ▶ 1. Транспонування (T)
- ▶ 2. G-перетворення (G)
- ▶ 3. Зсув (S)
- ▶ 4. Запам'ятовування хвостового елемента.

Схема алгоритму обробки цифрової інформації на основі паралельно-ієрархічних мереж на основі актор-моделі обчислень



Приклад комп'ютерного моделювання

```
Command Window
i New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.

>> A

A =

     2     5     8
    21    55    13
    89     3     1

>> Main(A)

ans =

     1     1     1     2     3     5    13    13

>> Timer(A)
Elapsed time is 0.001664 seconds.
fx >> |
```

Результуючий масив хвостових елементів, отриманий після моделювання у Matlab із виведенням загального часу виконання

```
Command Window
i New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.

>> A

A =

     2     5     8
    21    55    13
    89     3     1

>> Main(A)
Elapsed time is 0.000203 seconds.
Elapsed time is 0.000153 seconds.
Elapsed time is 0.000170 seconds.
Elapsed time is 0.000269 seconds.
Elapsed time is 0.000477 seconds.
Elapsed time is 0.000474 seconds.
Elapsed time is 0.000778 seconds.
Elapsed time is 0.002456 seconds.
Elapsed time is 0.004014 seconds.

ans =

     1     1     1     2     3     5    13    13

>> Timer(A)
Elapsed time is 0.419859 seconds.
fx >> |
```

Результуючий масив хвостових елементів, отриманий після моделювання у Matlab із виведенням загального та проміжного часу виконання

Приклад роботи інформаційної технології з використанням актор-моделі обчислень

The screenshot shows the 'PITransformation' application window. It has two tabs: 'Вхідні дані' (Input data) and 'Детальний перегляд ПІП' (Detailed view of the transformation). The 'Вхідні дані' tab is active, displaying a table with three columns: c0, c1, and c2. The data is as follows:

	c0	c1	c2
	2	5	8
	21	55	13
	89	3	1

Below the table, there are several controls:

- 'Робота з файлами' (File operations) section with 'Завантажити' (Load) and 'Зберегти' (Save) buttons.
- 'Згенерувати набір чисел' (Generate a set of numbers) section with 'Будь-які' (Any) and 'Лише Фібоначчі' (Only Fibonacci) buttons.
- Input fields for 'від' (from) with value 0 and 'до' (to) with value 100.
- A large blue 'Провести кодування' (Perform coding) button.
- A text field showing 'Результуючий масив:' (Resulting array) with the value '1 1 2 3 5 13 13'.

At the bottom left, there is a timer 'ЧАС ВИКОНАННЯ' (Execution time) showing '00.0080004'. At the bottom right, the version 'Polgul Tanya version 2.0' is displayed.

Результуючий масив хвостових елементів, отриманий після моделювання на мові C#

The screenshot shows the 'PITransformation' application window in the 'Детальний перегляд ПІП' (Detailed view of the transformation) tab. It displays the progress of the transformation through three stages:

- 'Перша ітерація' (First iteration)
- 'Попередня ітерація' (Previous iteration)
- 'Ітерація 1 of {9}' (Iteration 1 of {9})
- 'Наступна ітерація' (Next iteration)
- 'Остання ітерація' (Last iteration)

The current stage is 'Ітерація 1 of {9}'. Below this, there are three panels showing the state of the variables c0, c1, and c2:

- G Interpretation:** c0=2, c1=3, c2=3
- Зсув (G Move):** c0=2, c1=3, c2=3
- G перетворення:** c0=1, c1=2, c2=13

Each panel contains a table with the current values of c0, c1, and c2. The 'G перетворення' panel shows the next state of the variables.

At the bottom left, there is a timer 'ЧАС ВИКОНАННЯ' (Execution time) showing '00.0080004'. At the bottom right, the version 'Polgul Tanya version 2.0' is displayed.

Екранна форма з першою ітерацією ПІ перетворення

Приклад роботи інформаційної технології з використанням актор-моделі обчислень

The screenshot shows the PITransformation software interface at iteration 2 of 9. The interface is divided into three main sections: G Interpretation, Зсув (G Move), and G перетворення. The G Interpretation table shows the initial state with values 1, 1, 11 in the first row. The Зсув (G Move) table shows the state after a move, with values 1, 1, 11, 0, 0 in the first row. The G перетворення table shows the state after transformation, with values 1, 2 in the first row. The bottom of the interface displays the execution time as 00.0080004 and the version as Polgul Tanya version 2.0.

	c0	c1	c2
▶	1	1	11
	2	1	5
	3	31	52

	c0	c1	c2	c3	c4
▶	1	1	11	0	0
	0	2	1	5	0
	0	0	3	31	52

	c0	c1	c2
▶	1	2	
	1	3	11
	5	31	
	52		

ЧАС ВИКОНАННЯ 00.0080004 Polgul Tanya version 2.0

Екранна форма з другою ітерацією ПІ перетворення

The screenshot shows the PITransformation software interface at iteration 3 of 9. The interface is divided into three main sections: G Interpretation, Зсув (G Move), and G перетворення. The G Interpretation table shows the state after the second iteration, with values 1, 1, 8 in the first row. The Зсув (G Move) table shows the state after a move, with values 1, 1, 0, 0 in the first row. The G перетворення table shows the state after transformation, with values 1, 1 in the first row. The bottom of the interface displays the execution time as 00.0080004 and the version as Polgul Tanya version 2.0.

	c0	c1	c2
▶	1	1	
	1	2	8
	5	26	
	52		

	c0	c1	c2	c3
▶	1	1	0	0
	0	1	2	8
	0	0	5	26
	0	0	0	52

	c0	c1	c2
▶	1	1	
	2	5	
	8	26	52

ЧАС ВИКОНАННЯ 00.0080004 Polgul Tanya version 2.0

Екранна форма з третьою ітерацією ПІ перетворення

Приклад роботи інформаційної технології з використанням актор-моделі обчислень

Вхідні дані | Детальний перегляд ПІП

Перша ітерація | Попередня ітерація | **Ітерація 4** | of {9} | Наступна ітерація | Остання ітерація

G Interpretation

	c0	c1	c2
▶ 1			
2	3		
8	18	26	

Зсув (G Move)

	c0	c1	c2	c3	c4
▶ 1	0	0	0	0	0
0	2	3	0	0	
0	0	8	18	26	

G перетворення

	c0	c1
▶ 2		
3	8	
18		
26		

ЧАС ВИКОНАННЯ 00.0080004 Polgul Tanya version 2.0

Екранна форма з четвертою ітерацією ПІ перетворення

Вхідні дані | Детальний перегляд ПІП

Перша ітерація | Попередня ітерація | **Ітерація 5** | of {9} | Наступна ітерація | Остання ітерація

G Interpretation

	c0	c1
▶ 2		
3	5	
18		
26		

Зсув (G Move)

	c0	c1	c2	c3
▶ 2	0	0	0	0
0	3	5	0	
0	0	18	0	
0	0	0	26	

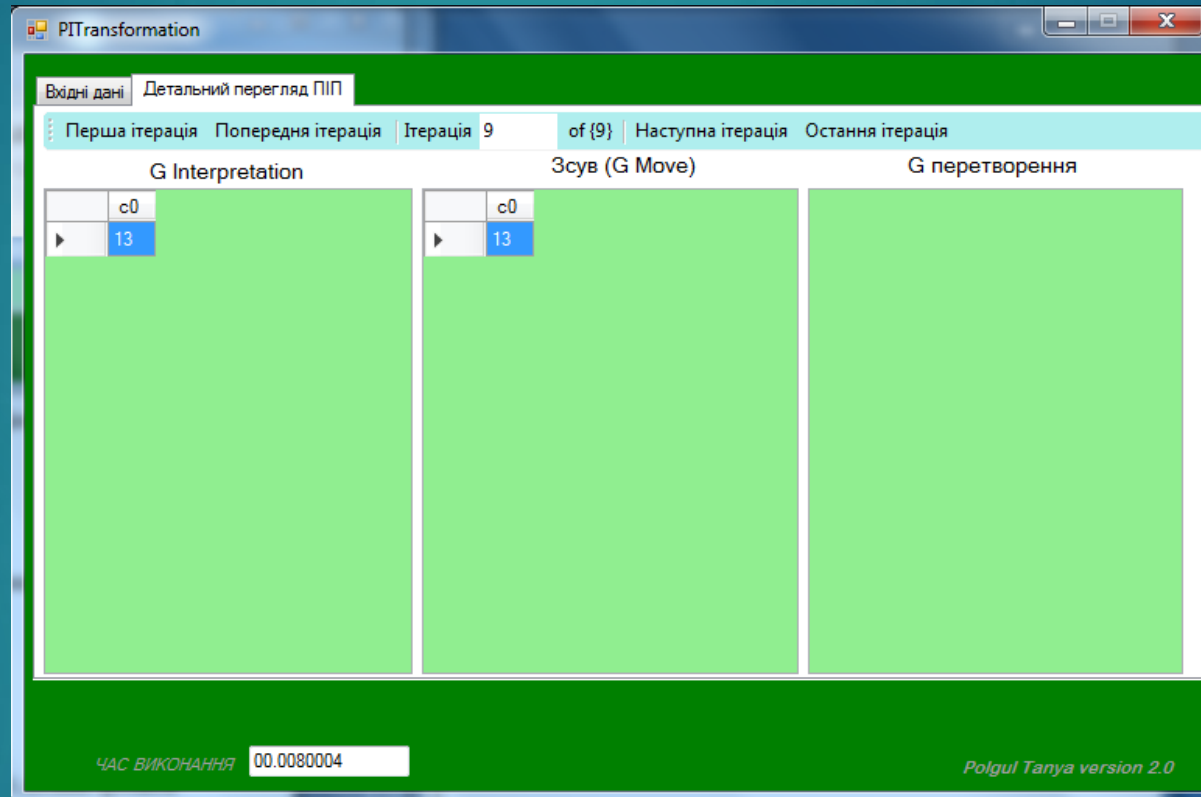
G перетворення

	c0	c1
▶ 3		
5	18	
26		

ЧАС ВИКОНАННЯ 00.0080004 Polgul Tanya version 2.0

Екранна форма з п'ятою ітерацією ПІ перетворення

Приклад роботи інформаційної технології з використанням актор-моделі обчислень



Екранна форма з останньою ітерацією ПІ перетворення

Порівняння часу роботи комп'ютерного моделювання у Matlab з програмною реалізацією з використанням актор-моделі обчислень та без її використання

Залежність розмірності зображення від часу його обчислення на базі Matlab без виведення проміжних результатів

Розмірність	Час роботи, с
3×3	0.001664
8×8	0.003303
16×16	0.010227
32×32	0.032643
64×64	0.192480
128×128	1.280035

Залежність розмірності зображення від часу його обчислення на базі C# на основі актор-моделі обчислень з виведенням проміжних результатів

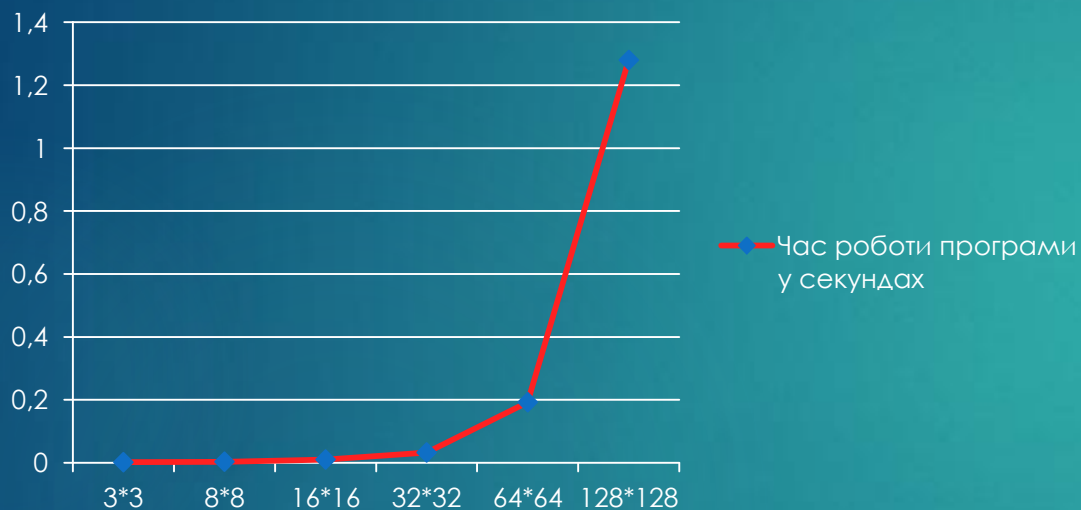
Розмірність	Час роботи, с
128*128	0.022012
256*256	0.035007
512*512	0.036012
1024*1024	0.036102

Залежність розмірності зображення від часу його обчислення на базі C# без використання актор-моделі обчислень

Розмірність	Час, с
128*128	0,0380
256*256	0,0414
512*512	0,0457
1024*1024	0,0510

Порівняння часу роботи комп'ютерного моделювання у Matlab з програмною реалізацією з використанням актор-моделі обчислень та без її використання

Час роботи програми



Залежність розмірності матриці від часу обрахунку її перетворення при моделюванні у Matlab

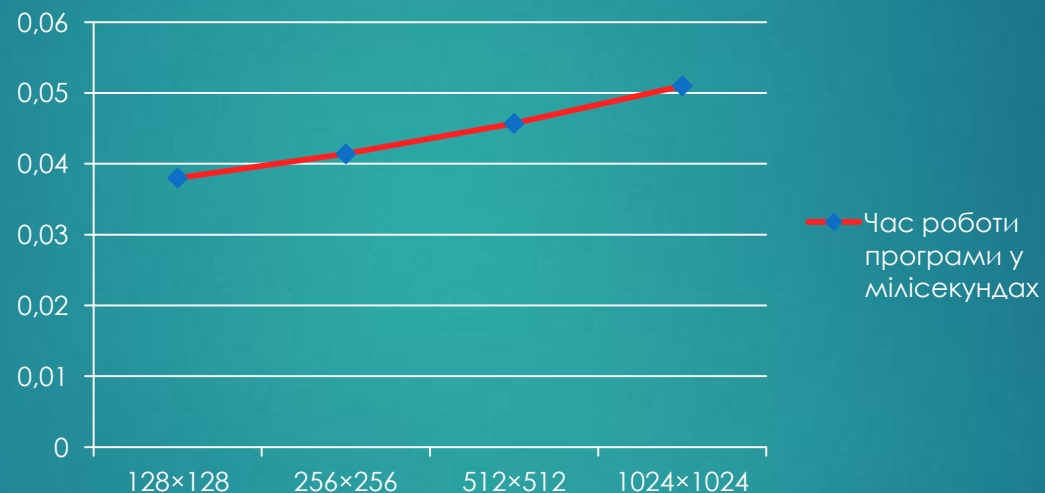
Час роботи програми



Залежність розмірності матриці від часу обрахунку її перетворення при моделюванні на C# з використанням актор-моделі обчислень

Порівняння часу роботи комп'ютерного моделювання у Matlab з програмною реалізацією з використанням актор-моделі обчислень та без її використання

Час роботи програми



Залежність розмірності матриці від часу обчислень її перетворення при моделюванні на C# без використання актор-моделі обчислень

ВИСНОВКИ

- ▶ У ході виконання магістерської кваліфікаційної роботи реалізовано інформаційну систему паралельно-ієрархічного перетворення цифрової інформації на основі актор-моделі обчислень.
- ▶ В роботі проаналізовано предметну область паралельних обчислень, зокрема виділено перспективні аспекти паралельних обчислень та відзначено, що головним стимулом паралельних обчислень було й залишається підвищення ефективності процесів вирішення великих та надвеликих задач, що повністю підходить для реалізації поставленої мети.
- ▶ Проаналізовано об'єкт проектування, де наведено постановку задачі паралельно-ієрархічного перетворення цифрової інформації, вказано основні вимоги до функціональних характеристик та до апаратного і програмного забезпечення. Представлено характеристику та аналіз аналогів. У якості аналогу обрано нейронну мережу з затримкою у часі TDNN (time delay neural network). Описано прикладне значення та застосування паралельно-ієрархічного перетворення цифрової інформації, де доведено доцільність розробки інформаційної технології.

ВИСНОВКИ

- ▶ Наведено класифікацію паралельних обчислювальних систем, зокрема виділено такі класи: SISD, SIMD, MISD, MIMD. Проаналізовано технології багатопотокової обробки інформації при організації паралельних обчислень, найбільш перспективними виділено такі: актор-модель обчислень та GPGPU. Порівняно використання актор-моделі обчислень з обчисленням з використанням багатопоточності та GPGPU та доведено доцільність використання актор-моделі обчислень. Вказано особливості паралельно-ієрархічного перетворення як методу організації паралельних обчислень та порівняно їх з пірамідальним перетворенням цифрової інформації. Проаналізовано існуючі методи перетворень цифрової інформації, зокрема виділено основні типи перетворень інформаційних полів, схем, серед яких: пряме представлення, представлення на основі ортогональних перетворень, структурне представлення, представлення на основі нейроподібних методів перетворення. Наведено математичну модель прямого паралельно-ієрархічного перетворення, а також відзначено характерні їй властивості.

ВИСНОВКИ

- ▶ Здійснено комп'ютерне моделювання паралельно-ієрархічного перетворення цифрової інформації у середовищі Matlab, що довело адекватність і коректність представленої математичної моделі і відзначило, що швидкодія в середовищі Matlab є недостатньою, що підтверджує перспективність реалізації програмного забезпечення паралельно-ієрархічного перетворення на основі актор-моделі обчислень. В якості вхідної матриці для доведення адекватності комп'ютерного моделювання обрано матрицю, рандомізовано заповнену числами Фібоначчі різної розрядності, оскільки при вхідних матрицях такого типу, складність виконання паралельно-ієрархічного перетворення вважається найвищою.

ВИСНОВКИ

- ▶ Проаналізовано способи організації обчислювального процесу при використанні акторів у Akka.Net Framework у паралельно-ієрархічному перетворенні та структурну організація системи паралельно-ієрархічного оброблення, зокрема вказано ряд переваг використання акторів: простий і високий рівні абстракції для багатопоточності і паралелізму, асинхронна, неблокуюча і високопродуктивна модель програмування подій, дуже легке керування процесами (кілька мільйонів акторів на 1 ГБ динамічної пам'яті). Також виділено, що при наявності надвеликих масивів цифрової інформації, актор-модель, яка впроваджена, зокрема, у Akka.Net Framework дозволяє розподілити процеси на величезну кількість акторів, що, завдяки абстрактності, дозволить значно підвищити швидкодію системи, навіть у порівнянні із реалізацією з використанням багатопоточності. Використання акторів також забезпечує відмовостійкість.

ВИСНОВКИ

- ▶ Наведено структурну організацію системи паралельно-ієрархічного перетворення цифрової інформації, зокрема, представлено деревовидну модель програмної реалізації з формуванням мережної обчислювальної структури. Удосконалено моделі організації обчислювального процесу обробки цифрової інформації та реалізовано комп'ютерні засоби перетворення цифрової інформації на основі актор-моделі обчислень.
- ▶ Для реалізації інформаційної технології задачі перетворення цифрової інформації було обрано програмне середовище Microsoft Visual Studio 2015 і технологія Akka.Net, обґрунтовано вибір мови програмування.

ВИСНОВКИ

- ▶ Наведено схему алгоритму обробки цифрової інформації на основі паралельно-ієрархічних мереж на основі актор-моделі обчислень, по якій проводилось комп'ютерне моделювання з використанням обраної мови програмування C#. Було здійснено тестування інформаційної технології перетворення цифрової інформації та аналіз результатів роботи програми. Здійснено порівняльний аналіз швидкодії роботи інформаційної технології з використанням актор-моделі обчислень та без її використання, також здійснено порівняльний аналіз швидкодії інформаційної технології на основі актор-моделі обчислень та комп'ютерного моделювання у Matlab. Прискорення в обчисленнях, у порівнянні з комп'ютерним моделюванням у Matlab збільшено у 6 раз, а у порівнянні з реалізацією без актор-моделі обчислень – у 1.4 рази.
- ▶ Здійснено оцінювання комерційного потенціалу розробки. Проведено технологічний аудит з залученням трьох експертів. Аналіз експертних даних показав, що рівень комерційного потенціалу розробки високий.

ВИСНОВКИ

- ▶ В результаті тестування програми встановлено, що алгоритм працює відповідно до поставлених вимог. Результати роботи модуля підтвердили ефективність використання GPU систем при виконанні складних обчислень, - прискорення обчислень складає більше 26%.
- ▶ Результати роботи апробовані на 5 наукових конференціях, зокрема на VII Міжнародній конференції з оптико-електронних інформаційних технологій «Фотоніка – ODS» 2015, м. Вінниця, ВНТУ, XI Міжнародній конференції «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2012)», м. Вінниця, ВНТУ, 2012, VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Інтернет-Освіта-Наука-2012 (ІОН-2012)», м. Вінниця, 2012р.; на XLII та XLIII регіональних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області, а також відображені в публікаціях.
- ▶ Практична цінність отриманих результатів досліджень підтверджується їх впровадженням на ТОВ "Джемікл", м. Вінниця.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

- ▶ Магістерська робота виконана відповідно до напрямку наукових досліджень кафедри комп'ютерних наук Вінницького національного технічного університету 22 К1 «Моделі, методи, технології та пристрої інтелектуальних інформаційних систем управління, економіки, навчання та комунікацій» та плану наукової та навчально-методичної роботи кафедри. Також магістерська робота виконана в межах НДР GP/F61/083 "Методологія побудови високопродуктивних інтелектуалізованих паралельно-ієрархічних систем на основі сучасних мережевих обчислювальних комплексів з гетерогенною архітектурою".

Дякую за увагу!