

Технології розподілених систем та паралельних  
обчислень

## **Лекція №2**

# **ПАРАЛЕЛЬНІ ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ**

Технології розподілених систем та паралельних  
обчислень

# ПАРАЛЕЛЬНІ ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ

## Способи обробки даних в обчислювальних системах

### Послідовна обробка даних

Припустимо, що потрібно знайти суму  $s$  двох векторів  $a$  та  $b$ , кожний з яких має 100 дійсних координат, з використанням обчислювального пристрою (або комп'ютера), який виконує додавання пари чисел за 5 тактів роботи і у процесі обчислень комп'ютер не може виконувати ніяких інших корисних дій. У таких умовах сума векторів може бути знайдена за 500 тактів. Розвиток процесу обчислень схематично наведено на рис. 1.

Тепер припустимо, що є два така самі пристрої, які можуть працювати одночасно і незалежно один від іншого, і при цьому відсутні додаткові витрати ресурсів по отриманню пристроями вхідних даних та збереженням результатів. В такому випадку можна отримати шукану суму векторів вже за 250 тактів (рис. 2) — тобто маємо подвійне прискорення.

У випадку використання 10 однакових пристроїв результат отримується за 50 тактів, а у загальному випадку система із  $N$  пристроїв витратить на обчислення суми приблизно  $500 / N$  тактів.

# Технології розподілених систем та паралельних

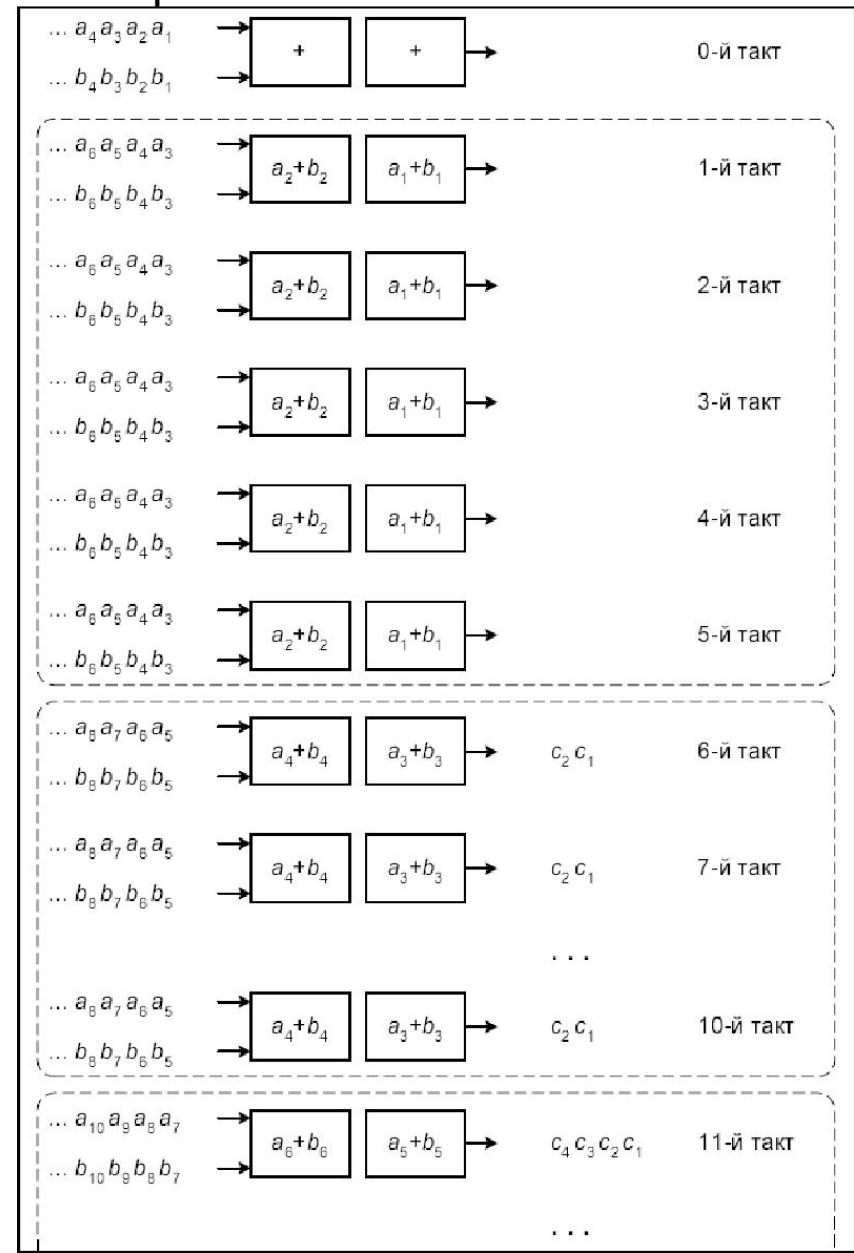
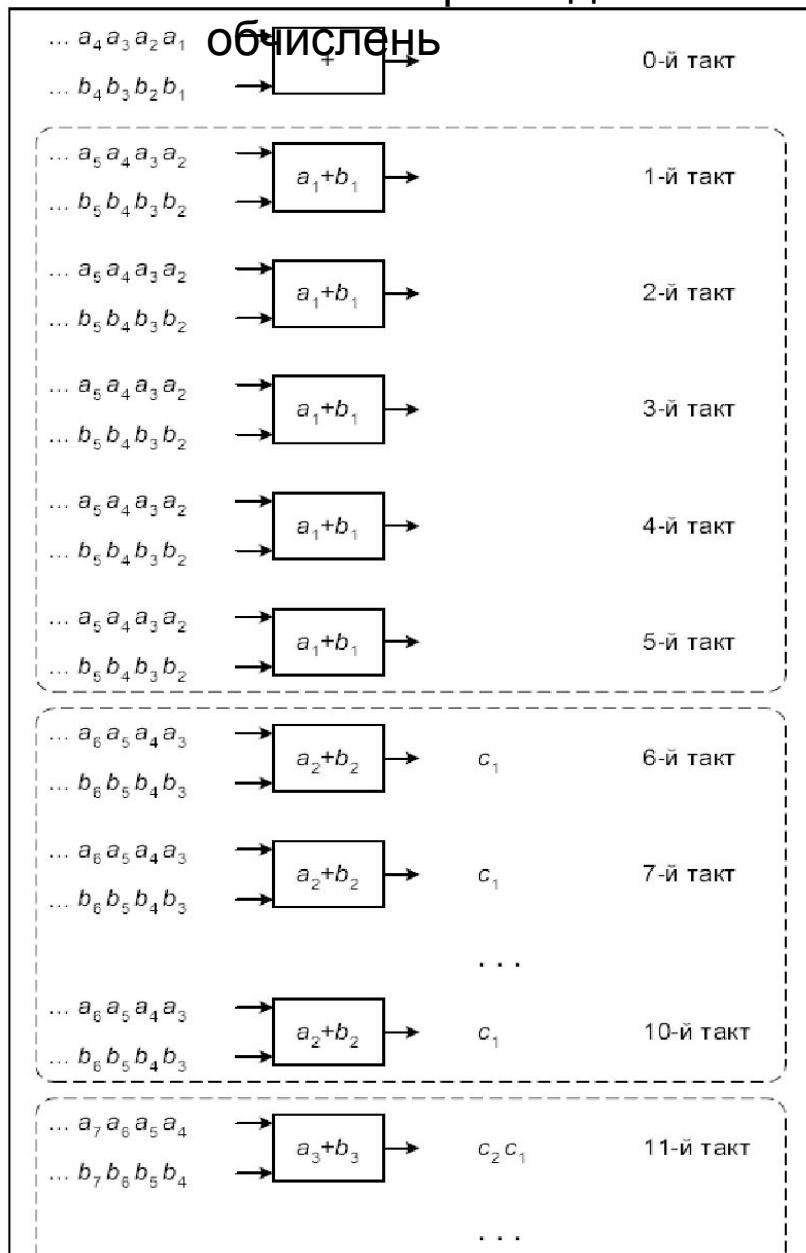


Рис. 1. Додавання векторів на послідовному пристрої з 5-тактовою операцією додавання

Рис. 2. Паралельне додавання векторів на двох однакових пристроях

## **Конвеєрна обробка даних**

Розглянемо шляхи покращення ефективності роботи системи із попереднього параграфу. Для цього можна використати форму запису дійсних чисел в пам'яті комп'ютера. Додавання чисел пов'язане виконанням таких мікрооперацій як порівняння та вирівнювання порядків, додавання мантис, нормалізація та т. п. Суттєвим є те, що у процесі обробки кожна мікрооперація задіяна тільки один раз і завжди у тій самій послідовності одна за іншою. Це означає, що якщо перша мікрооперація виконала свою роботу і передала результат другій, то для обробки поточної пари дійсних чисел вона більше не знадобиться, і отже, цілком може бути використання для обробки наступної пари аргументів.

Технології розподілених систем та паралельних

Виходячи з попередніх міркувань, можна сконструювати пристрій наступним чином. Кожну мікрооперацію виділимо у окрему частину пристрою і розташуємо їх у порядку виконання. Після виконання першої мікрооперації перша частина передає свій результат другій частині, а сама отримує для обробки нову пару. Коли вхідні аргументи пройдуть через усі етапи обробки, на виході пристрою з'явиться результат виконання операції.

Такий спосіб організації обчислень має назву *конвеєрної обробки*. Кожна частина пристрою називається *стадією конвеєра*, а загальна кількість стадій — *довжиною конвеєра*.

Припустимо, що для виконання операції додавання дійсних чисел спроектовано конвеєрний пристрій, який складається із п'яти стадій, які спрацьовують за один такт. Час виконання операції на конвеєрному пристрої рівний сумі часів спрацьовування усіх стадій конвеєра. Це означає, що одна операція додавання двох чисел триває п'ять тактів, тобто так само довго, як і на послідовному пристрої у попередньому прикладі.

Тепер розглянемо процес додавання двох векторів (рис. 3). Як і раніше, через п'ять тактів отримано суму елементів першої пари. Проте слід зазначити, що поряд із першою парою пройшли часткову обробку (на різній кількості стадій) і інші пари аргументів. Кожний наступний такт на виході конвеєрного пристрою буде з'являтися сума чергової пари координат вектора  $s$ . На виконання усієї операції знадобиться 104 такти, замість 500 тактів при використанні послідовних пристроїв — виграш у часі приблизно у п'ять разів.

Приблизно така сама ситуація буде і у загальному випадку. Якщо конвеєрний пристрій є  $l$ -стадійним і обробка даних на кожній стадії триває один такт, то для виконання  $n$  послідовних операцій на цьому пристрої потрібно витратити тактів. Якщо ж цей пристрій використовувати у послідовному режимі, то кількість тактів буде рівна . Отже, для великих  $n$  отримуємо "прискорення" майже у  $l$  разів за рахунок використання конвеєрної обробки даних.

# Технології розподілених систем та паралельних обчислень

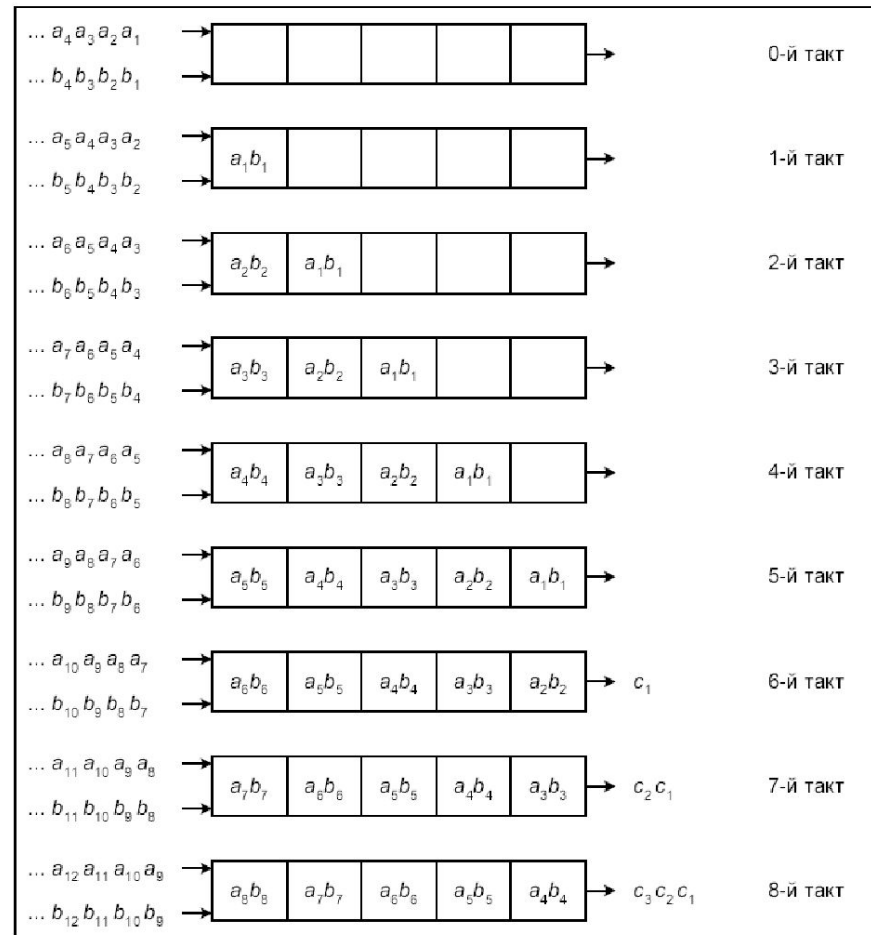


Рис. 3. Знаходження суми  $c = a + b$  за допомогою 5-стадійного конвеєрного пристрою

При використанні векторних команд у формулі для тривалості обробки даних на конвеєрному пристрої додається ще один доданок  $\sigma$  — це час (у тактах), необхідний для ініціалізації векторної команди.

Оскільки ні  $\sigma$ , ні  $l$  не залежать від значення  $n$ , то із збільшенням довжини вхідних векторів ефективність конвеєрної обробки даних зростає. Якщо під ефективністю обробки розуміти реальну продуктивність конвеєрного пристрою, рівну відношенню числа виконаних операцій  $n$  до часу їх виконання, то залежність продуктивності від довжини вхідних векторів визначається наступним співвідношенням:

$$E(n) = \frac{n}{t(n)} = \frac{n}{(\sigma + l + n - 1)\tau} = \frac{1}{(1 + (\sigma + l - 1)/n)\tau},$$

де  $\tau$  — це тривалість такту роботи комп'ютера.



Технології розподілених систем та паралельних  
обчислень

На рис. 4 наведено приблизний вигляд графіка цієї  
залежності.

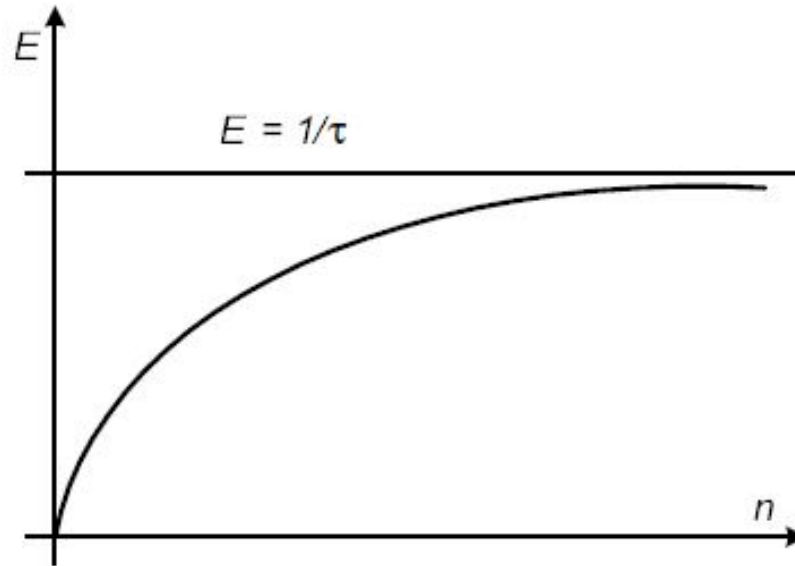


Рис. 4. Залежність продуктивності  
конвеєрного пристрою від довжини  
вхідного набору даних

Із зростанням довжини вхідних даних реальна продуктивність конвеєрного пристрою все більше наближається до його пікової продуктивності. Однак *пікова продуктивність ніколи недосяжна на практиці.*

Розглянемо більш реалістичну модель конвеєрного пристрою, яка передбачає різну тривалість стадій. Нехай  $t_1, t_2, \dots, t_l$  — тривалості відповідних стадій конвеєра. Тоді перша операція обробки буде тривати  $t_{\max}$  тактів, а кожна наступна операція буде завершуватися через  $t_{\max}$  тактів після попередньої, де  $t_{\max} = \max_{1 \leq i \leq l} t_i$ .

Тому загальна кількість тактів, необхідних для виконання  $n$  операцій, рівна  $t_1 + \dots + t_l + (n-1)t_{\max} + \sigma$ .

Тому прискорення при виконанні  $n$  операцій, яке досягається за рахунок використання конвеєрного способу обробки даних, визначається величиною

$$A(n) = \frac{n(t_1 + \dots + t_l)}{t_1 + \dots + t_l + (n-1)t_{\max} + \sigma}$$

З останньої формули можна зробити висновок, що граничне  $A(n)$  прискорення визначається за формулою

$$A = \frac{t_1 + \dots + t_l}{t_{\max}}$$

Залежність продуктивності від довжини вхідних векторів визначається наступним співвідношенням:

$$E(n) = \frac{n}{(t_1 + \dots + t_l + (n-1)t_{\max} + \sigma)\tau}$$

Тому пікова продуктивність  $E$  рівна

$$\frac{1}{t_{\max} \cdot \tau}$$

# Задача 1.

Обробка даних на конвеєрному пристрої складається із 5 стадій, тривалості яких рівні 3, 5, 2, 6 та 4 такти відповідно. Виконати наступні завдання, вважаючи, що ініціалізація конвеєра потребує 2 тактів та тривалість одного такту складає 5 нс:

1. Обчислити кількість тактів, необхідну для виконання 1000 операцій обробки даних за умови, що пристрій працює

- у конвеєрному режимі;
- у послідовному режимі;

2. Визначити найменшу кількість операцій, при виконанні яких у конвеєрному режимі досягається прискорення не менше за 90% від граничного прискорення.

Технології розподілених систем та паралельних  
обчислень

**Дякую за увагу!**