Паралелно Програмиране

Теоретични аспекти на паралелните алгоритми.
Анализ на паралелни алгоритми.
Зависимости на данните, структурата и контрола.

доц. д-р Александър Пенев

PRAM Модел

PRAM модел

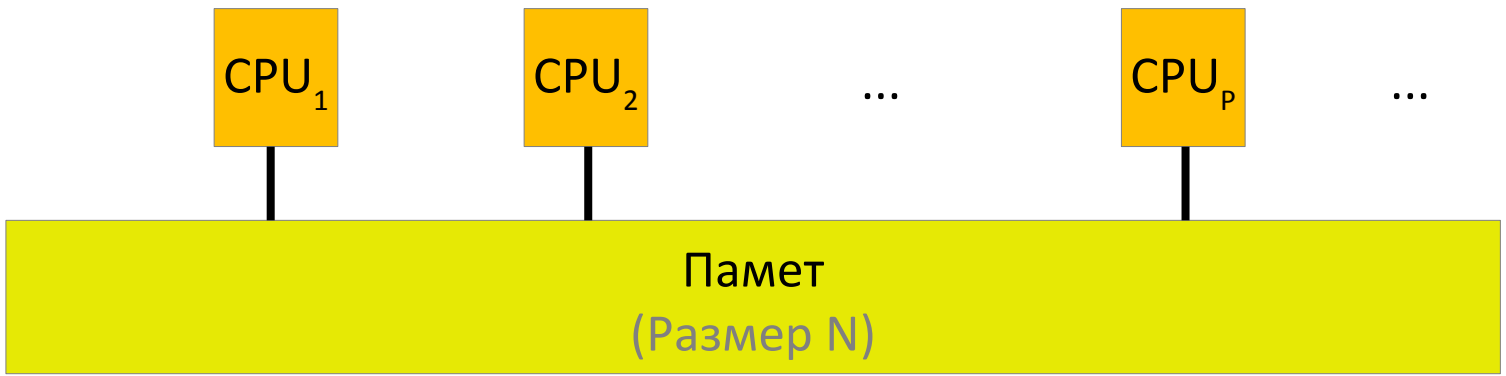
- Parallel Random-Access Machine (PRAM) е абстрактна машина със Споделена памет (Shared memory);
- Моделът пренебрегва практически проблеми като синхронизация и комуникация (по същия начин както RAM модела пренебрегва разликите във времената за достъп до кеша и основната памет);
- Моделът “осигурява” необходимия за решаване на проблема брой (всеки брой) процесори;
- Например, “цената” на алгоритъма се изчислява, като се използват два параметъра O(време) и O(време × брой процесори).

PRAM модел – допускания

Този модел е опростен, защото са направени следните допускания:

- Няма ограничение на броя процесори в машината;
- Всяки адрес в паметта е равноправно достъпен за всеки процесор;
- Няма ограничение за обема на споделената памет в системата;
- Няма спорове за ресурси;
- Програмите написани за този тип машини са най-общо с SIMD инструкции.

PRAM



Конфликти при Четене/Запис

Конфликтите при едновременно четене/запис от един и същ адрес на споделената памет се разрешават по една от следните стратегии:

- Exclusive Rread Exclusive Write (EREW) – всяка клетка от паметта може да бъде четена или записвана само от един процесор в даден момент;
- Concurrent Read Exclusive Write (CREW) – много процесори могат да четат от клетката, но само един може да пише в даден момент;
- Exclusive Read Concurrent Write (ERCW) – не се използва;
- Concurrent Read Concurrent Write (CRCW) – много процесори могат да четат и пишат едновременно;

Конфликти при Четене/Запис

Четенията не водят до проблеми, докато конкурентните записи могат да създадат проблеми и се класифицират като:

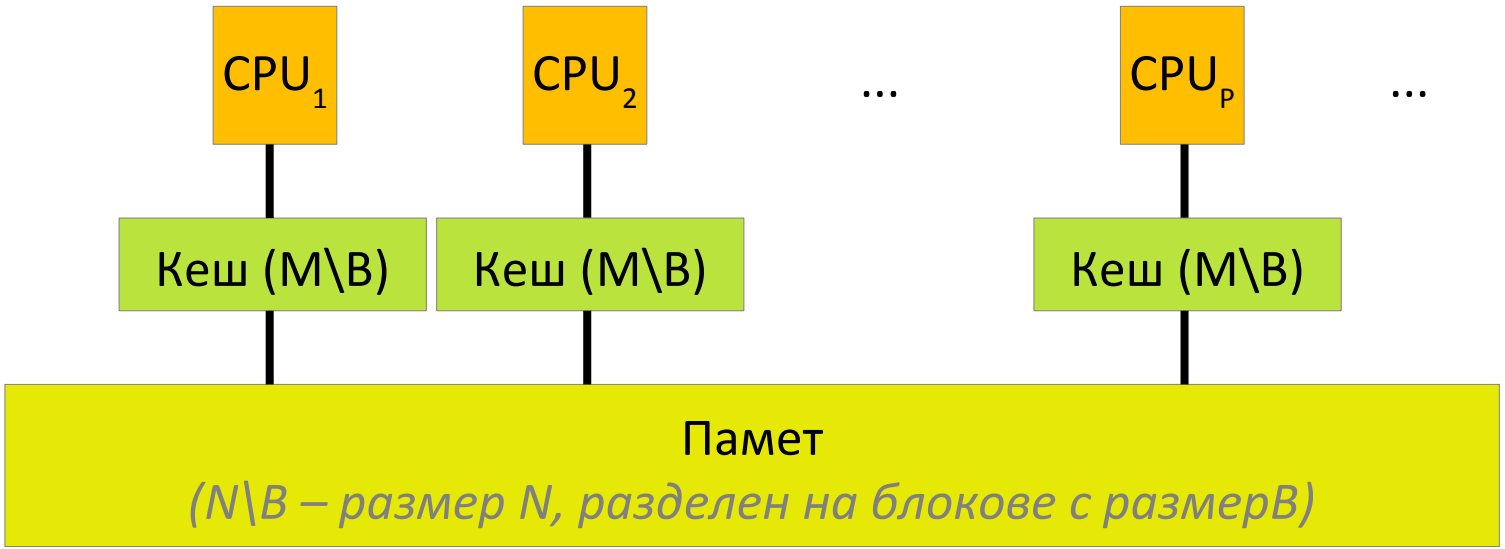
- Общи (Common) – всички процесори записват една и съща стойност; (ако не е така е недопустимо/проблем)
- Произволни (Arbitrary) – само един произволен опит е успешен, а останалите се отхвърлят;
- Приоритетен (Priority) – ранга на процесора показва кой ще запише;
- Друг вид – например при различните видове редукции на масиви може да се използват операции като SUM, AND, MAX, ...

PEM Модел

PEM модел

- Parallel external memory (PEM) model е абстрактна машина с външна памет, базирана на кеш;
- Това е паралелно-изчислителна аналогия с модела на еднопроцесорна машина с външна памет (EM);
- По подобен начин е аналогията с кеша-базирана паралелна машина с произволен достъп (PRAM);
- Моделът PEM се състои от редица процесори, заедно със съответните им частни кеш и споделена основна памет.

PEM модел

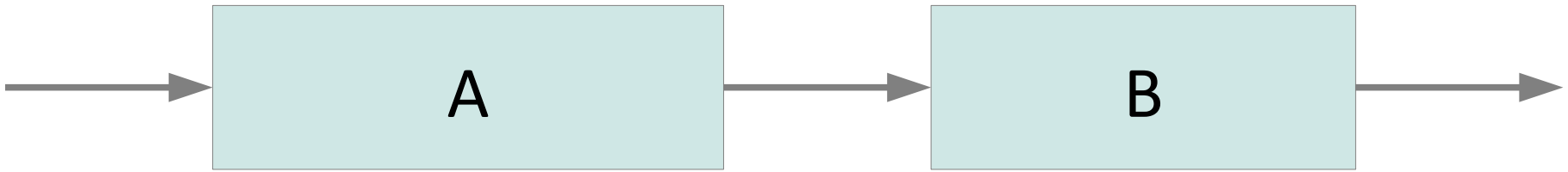

CPU1
CPU2
...
CPUP
...
Кеш (M\B)
Кеш (M\B)
Кеш (M\B)
Памет
(N\B – размер N, разделен на блокове с размерB)

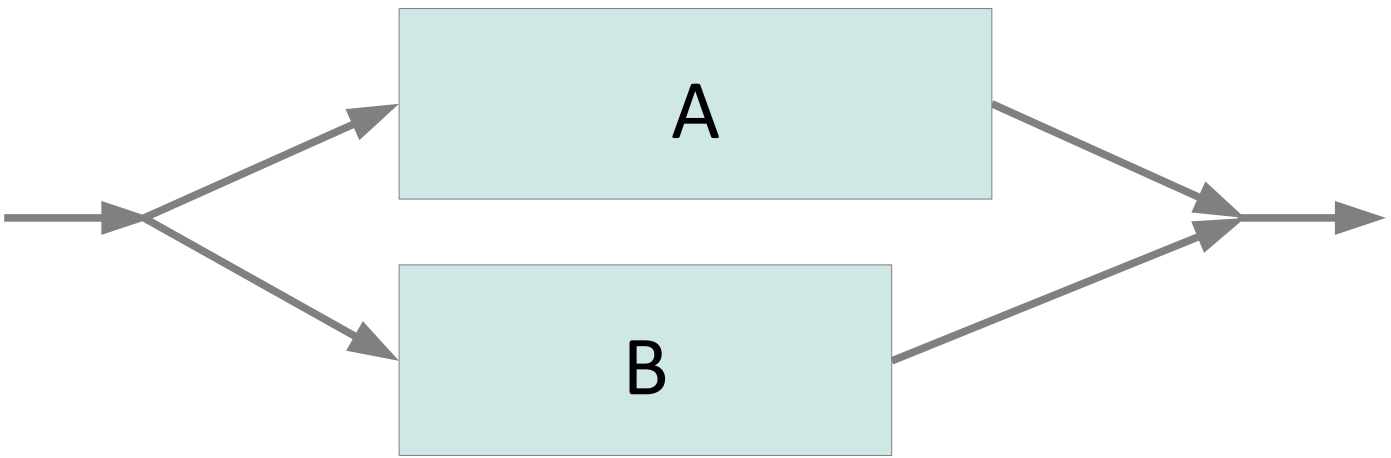
Разпаралеляване

Какво е разпаралеляване (паралелезация)?

- Паралелизация (parallelization) е процес на преобразуване на програма изпълняваща стъпките на алгоритмите си последователно в програма изпълняваща ги (там където е възможно) паралелно/едновременно;
- Паралелното изпълнение може да е с използването на SIMD инструкции (векторизация), много нишки, много процеси, много компютри;
- Обикновено се използва повече от едно ядро/процесор.

Какво е разпаралеляване (паралелезация)?



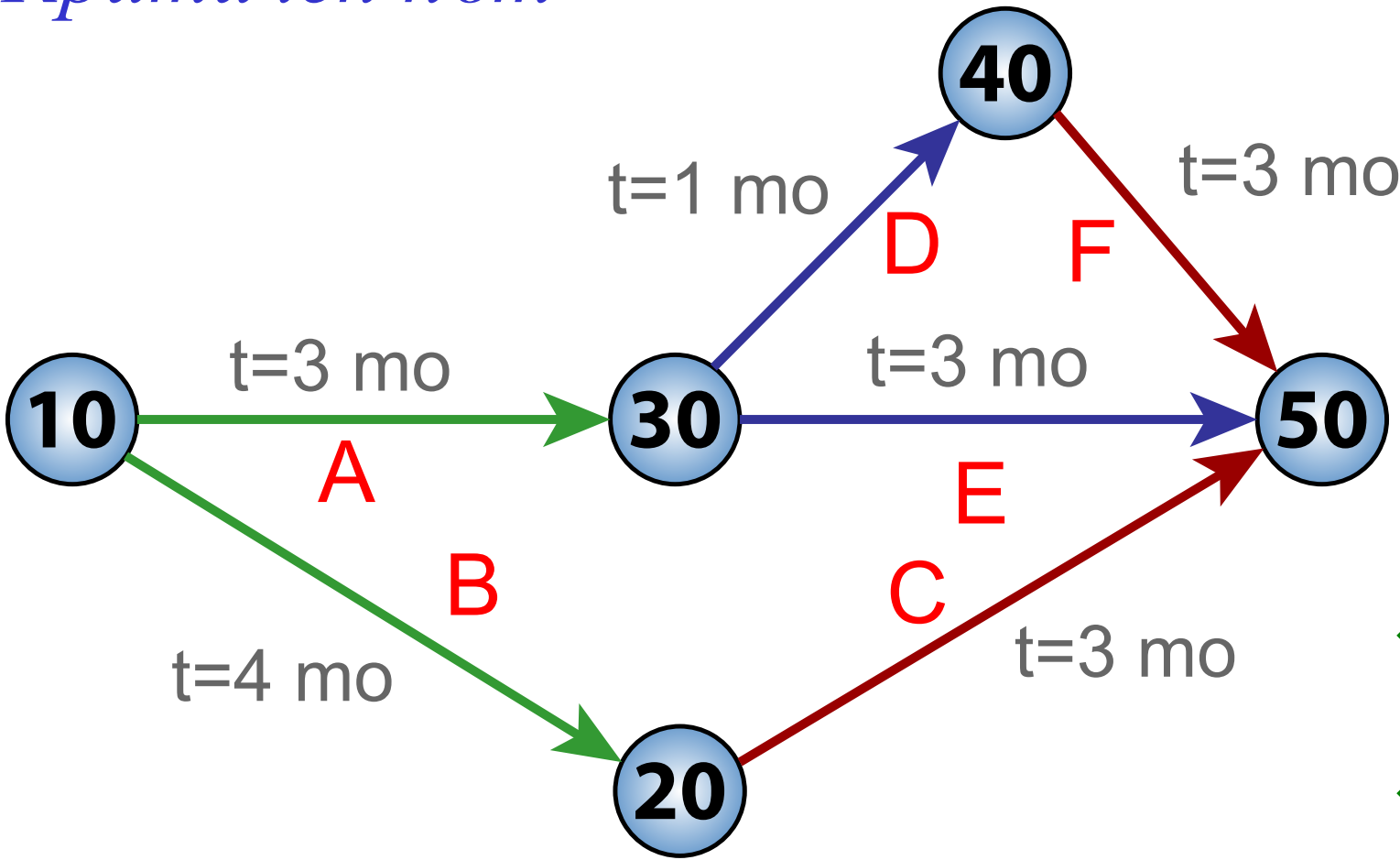


Как се реализира?

- PThreads;
- Threading Building Blocks (TBB)
- Cilk++
- OpenMP
- MPI, MPI-2
- OpenCL, CUDA
- ...

Критичен Път

Критичен път



- “Най-тежкия” път;
- Тук имаме два: ADF и BC;

Анализ на Паралелни Алгоритми

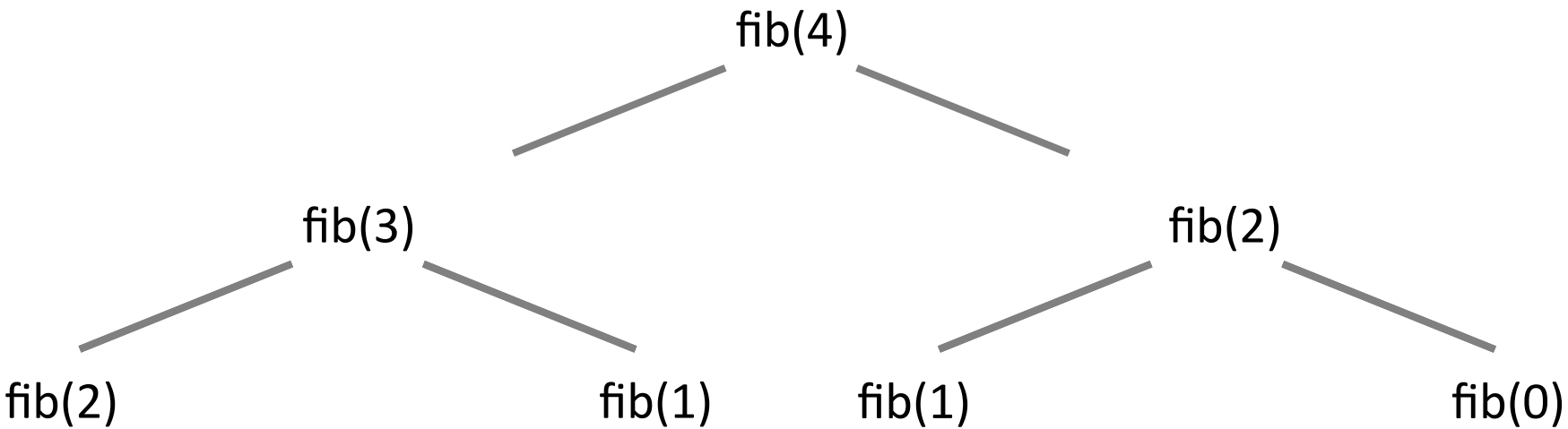
Пример 1

```
int fib(int n) {
  if (n < 2) return n;

  int n1, n2;

  #pragma omp task shared(n1)
  n1 = fib(n - 1);
  #pragma omp task shared(n2)
  n2 = fib(n - 2);

  #pragma omp taskwait

  return n1 + n2;
}
```

Указание за компилатора за автоматично разпаралеляване на следващия statement;

Ако компилатора не поддържа автоматична паралелизация (OpenMP), то програмата се компилира както до сега

Анализ на алгоритъм пресмятащ числата на Фибоначи (рекурсивен вариант)



Важни характеристики

- T_P – Времето за изпълнение на P процесора

  Времето за изпълнение на алгоритъма на повече от един процесор може да съвпада с това за изпълнението на повече процесори, ако алгоритъма не е паралелизиран

- T_∞ – Време за изпълнение на т.н. критичен път

  Може да смятаме че критичния път е възможно най-бавния възможен път за изпълнение на алгоритъма. Това време се нарича още период (span или depth)

- T_1 – Време за изпълнение на 1 процесор

  Без паралелни изпълнения, независимо дали програмата е паралелизирана или не. Това време се нарича още работа (work)

- $P \cdot T_P$ – Пълното време загубено от всички процесори

  Това е времето за изпълнение и изчакване, загубено от всички процесори. Това време се нарича още разход (cost)

Важни характеристики

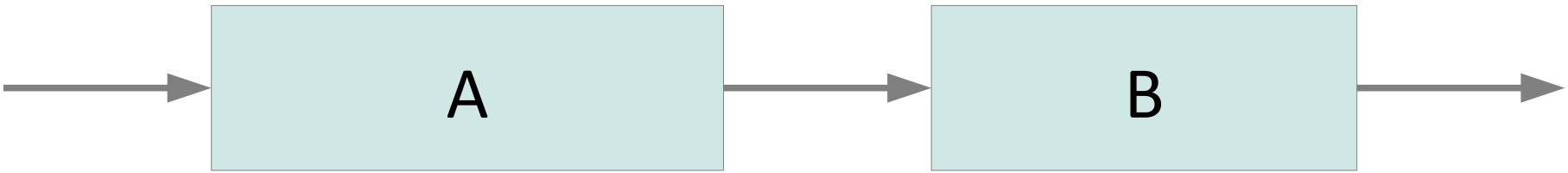
- Закон за Работата (work law):

  $T_P \geq T_1/P$ или $P \cdot T_P \geq T_1$

- Закон за Периода (span law):

  $T_P \geq T_\infty$

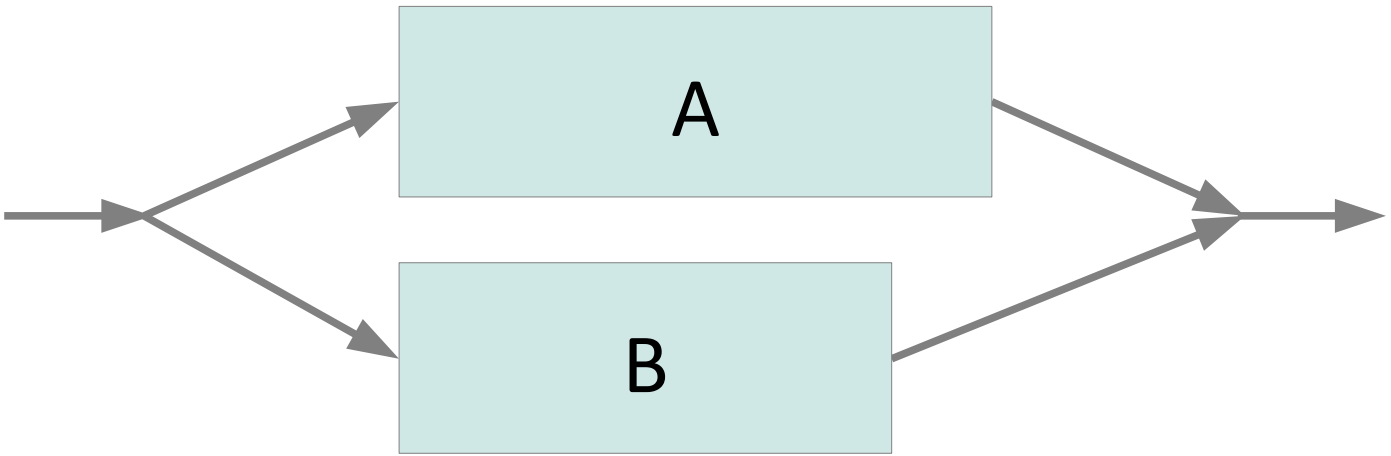
Времена на паралелен алгоритъм



$T_1(A \cup B) = T_1(A) + T_1(B)$

$T_\infty(A \cup B) = T_\infty(A) + T_\infty(B)$

Времена на паралелен алгоритъм



$T_1(A \cup B) = T_1(A) + T_1(B)$

$T_\infty(A \cup B) = \max(T_\infty(A), T_\infty(B))$

Ускорение и Забавяне

Фактор на ускорение (Speedup)

Фактор на ускорение на P процесора се нарича

$$S_P = T_1 / T_P$$

- Линейно при $T_1/T_P = k*P$
- Перфектно линейно при $T_1/T_P = P$
- Супер линейно при $T_1/T_P > P$

Невъзможно? На практика е възможно поради наличие на Кеш паметта и други фактори...

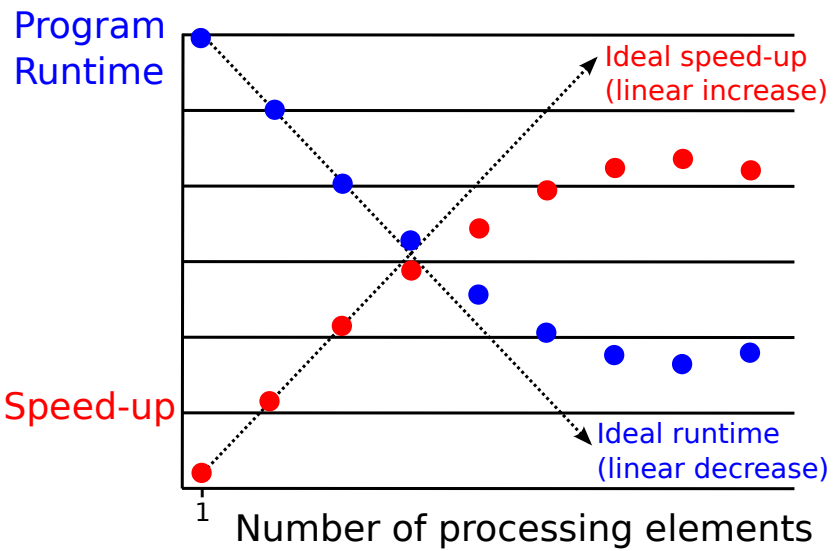
Скалируемост (Scalability)

Алгоритми, които има линеен фактор на ускорение се наричат **скалируеми**.

Забавяне (Parallel slowdown)

Паралелното забавяне е феномен в паралелните изчисления, при което паралелизирането на алгоритъм над определена точка кара програмата да работи по-бавно (отнема повече време, за да се изпълни до завършване).

Това обикновено се дължи на тесни места или проблеми в комуникацията.



Коефициент на Ефективност

Ефективност (Efficiency)

Коефициент на ефективност се нарича

S_P / P

Коефициент на Паралелизъм

Паралелизъм (Parallelism)

Коефициент на паралелизъм се нарича

$$T_1 / T_\infty$$

- Ако $T_1 / T_\infty < P$, то $T_1 / T_P < T_1 / T_\infty < P$

Паралелизъм

- За fib(4) имаме Паралелизъм ≈ 17/8 = 2.125
  Използването на повече от 2 процесора няма да даде съществено подобрение
- За умножение на матрици 1000x1000 имаме Паралелизъм ≈ 10^6
  В зависимост от реализацията паралелизма може да достигне и 10^7
- За един нормален RayTracer (при сцена 1000x1000 пиксела) имаме Паралелизъм ≈ 10^6
  Много груба оценка и то за не рекурсивен RayTracer. На практика може да е и много по-голяма

Коефициент на Отпуснатост

Отпуснатост (Slackness)

Коефициент на отпуснатост се нарича

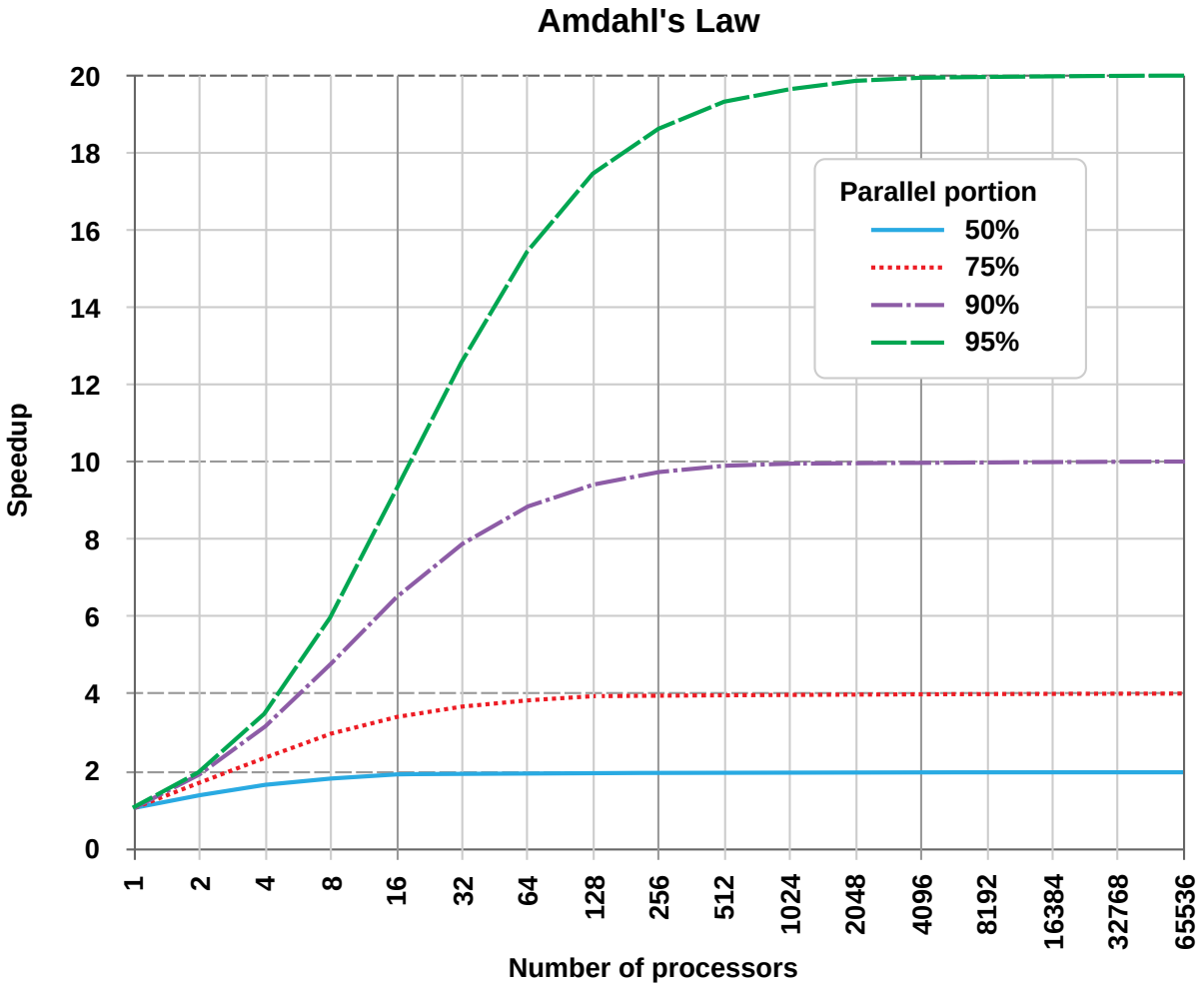
$$T_1 / (P \cdot T_\infty)$$

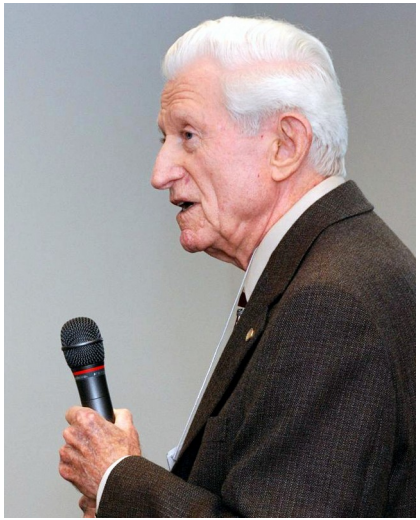
- Ако този коефициент е по-малък от 1, то перфектното линейно ускорение е невъзможно.

Закон на Амдала

Amdahl

Закон на Амдала /Amdahl/ (1967)





$$S_{latency}(s) = \frac{1}{(1-p) + \frac{p}{s}}$$

$S_{latency}$ е теоретичното ускорение;

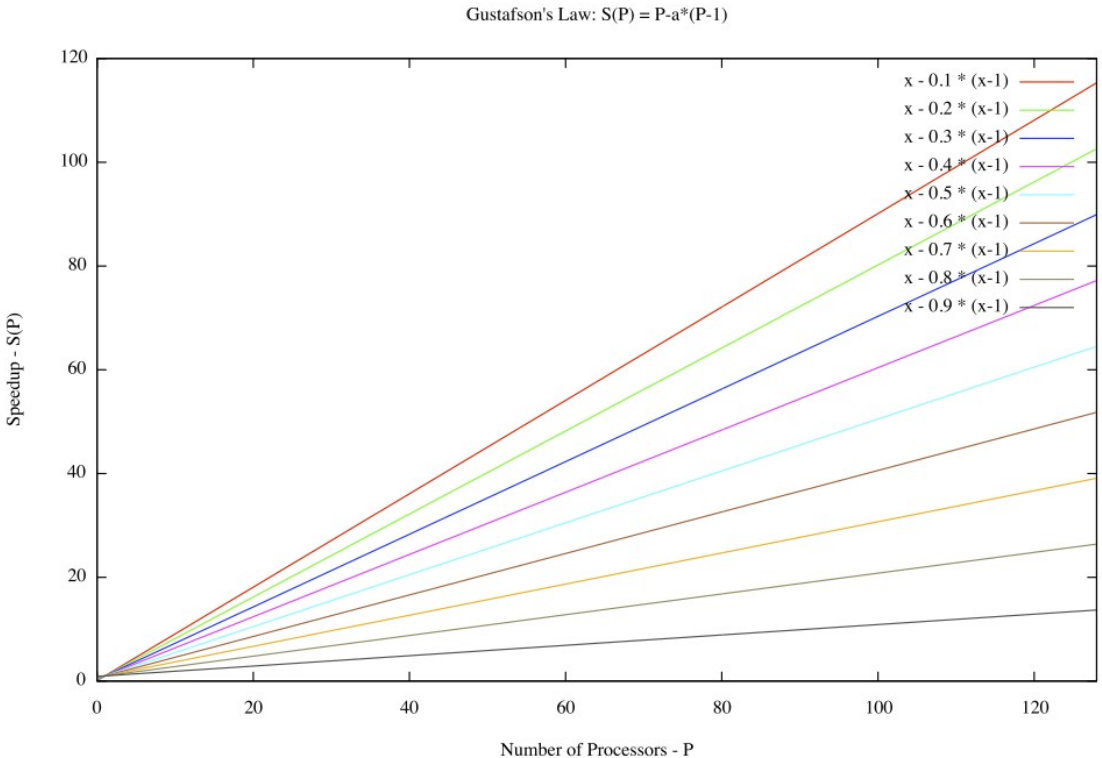
S е ускорението на частта от задачата, която се възползва от тези паралелни ресурси;

P е частта на времето за изпълнение, която се възползва от паралелните ресурси;

Закон на Густавсон

Gustafson

Закон на Густвсон /Gustafson/ (1988)



$$S_{latency}(s) = 1 - p + s \cdot p$$

$$S(sf) = N + (1 - N) \cdot sf$$

S е ускорението в латентността на изпълнението на частта от задачата, която се възползва от паралелните ресурси;

P е процентът на натовареността на изпълнението на цялата задача по отношение на частта, която се възползва от подобряването на ресурсите на системата преди подобрението.

Метрики на Karp–Flatt

Метрика на Karp–Flatt (1990)

Метриката на Karp-Flatt измерва пралелизацията на кода в паралелните много процесорни системи.

Нека е дадено паралелно изчисление показващо ускорение ψ на p процесора, където $p>1$, експериментално определената серийна фракция e е дефинирана от метриката на Karp-Flatt:

$$e = \frac{\frac{1}{\psi} - \frac{1}{p}}{1 - \frac{1}{p}}$$

*Колкото е по-малко **e**, толкова е по-добра паралелизацията*

Метрика на Karp–Flatt (1990)

Това може да се запише и като:

$$T(p) = T_s + \frac{T_p}{p}$$

където:

T(p) е времето за изпълнение на кода на ***p*** процесора;

T_s е времето отнето от серийната фракция (не паралелната част);

T_p е времето на паралелната част изпълнена на един процесор;

p е броя на процесорите;

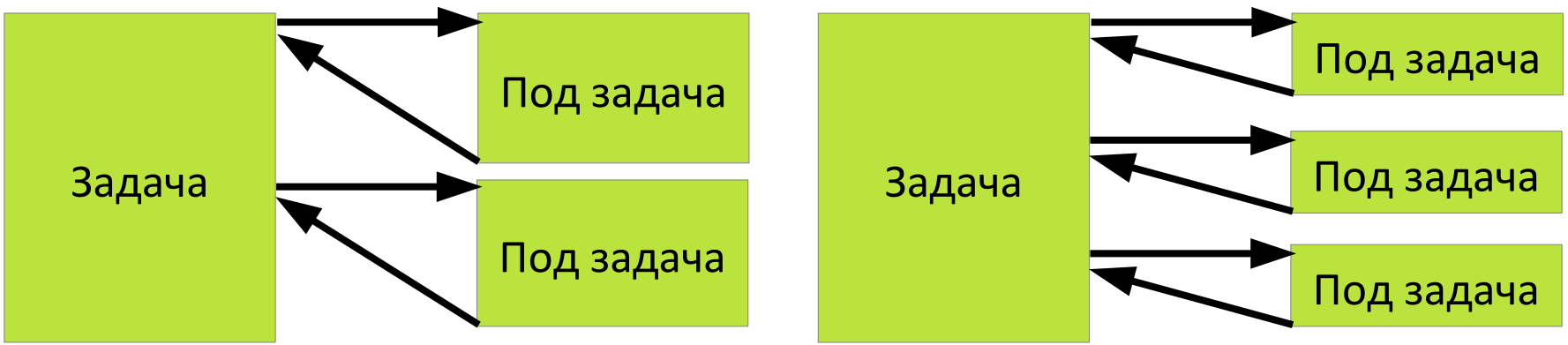
Детайлност/Прецизност

(Granularity)

Детайлност/Прецизност (Granularity)

При паралелното програмиране, **детайлност** е качествена мярка на съотношението на изчисление и комуникация. Детайлността бива:

- Груба (Coarse) – сравнително голям обем от изчислителна работа се извършва между комуникационните събития;
- Финна (Fine) – сравнително малко количество изчислителна работа се извършва между комуникационните събития;



Въпроси?

apenev@uni-plovdiv.bg