

Въведение в паралелните пресмятания

Гергана Бенчева

ИИКТ – БАН

gery@parallel.bas.bg

Съдържание

Мотивация

Паралелни компютърни архитектури

Моделни за паралелно програмиране

Конструиране

Средства за реализация

Ефективност

Източници на информация

- Мотивация и терминология
- Паралелни компютърни архитектури
- Моделни за паралелно програмиране
- Подход за конструиране на ПА
- Средства за реализация
- Оценка на ефективността
- Източници на информация

Мотивация

- Паралелизъм
- Паралелни пресмятания
- Необходимост

Паралелни компютърни архитектури

Модели за паралелно програмиране

Конструиране

Средства за реализация

Ефективност

Източници на информация

Мотивация и терминология

Пример за паралелизъм

Мотивация

● Паралелизъм

● Паралелни пресмятания

● Необходимост

Паралелни компютърни архитектури

Модели за паралелно програмиране

Конструиране

Средства за реализация

Ефективност

Източници на информация

Паралелна обработка на информация – извършване на нещата едновременно с цел по-бързо и по-ефективно получаване на резултат.

Един пример: Ако 1 човек измива 1 кола за 1 час, дали

- 2 души ще измият 2 коли за 1 час?
- 2 души ще измият 1 кола за 1/2 час?
- 10 души ще измият 10 коли за 1 час?
- 10 души ще измият 1 кола за 1/10 час?

Отговор: зависи от това как си разделят работата, могат ли да работят едновременно, има ли достатъчно място и/или мръсни коли, за да са заети всички.

Извод: Не винаги ако удвоим броя на ”работниците” ще удвоим ефективността.

Видове паралелна обработка:

- ”в дълбочина”
- ”на ширина”
- ”реална”
- ”симулирана”

Паралелни пресмятания

Мотивация

- Паралелизъм
- Паралелни пресмятания
- Необходимост

Паралелни компютърни архитектури

Модели за паралелно програмиране

Конструиране

Средства за реализация

Ефективност

Източници на информация

Паралелно пресмятане (parallel computing) е едновременно използване на множество компютърни ресурси за решаване на определена изчислителна задача:

Компютърните ресурси могат да бъдат:

- един компютър с множество процесори;
- произволен брой компютри свързани в мрежа;
- комбинация от двете.

Изчислителната задача обикновено дава възможност:

- за разделяне на дискретни части, всяка от които представлява серия от инструкции;
- инструкциите от всяка част да се изпълняват едновременно от различни процесори;
- за изпълнение на многократни програмни инструкции в произволен момент от време;
- да бъде решена за по-малко време с множество компютърни ресурси, отколкото с един изчислителен ресурс (един процесор).

Използване на паралелни изчисления

Мотивация

- Паралелизъм
- Паралелни пресмятания
- **Необходимост**

Паралелни компютърни архитектури

Модели за паралелно програмиране

Конструиране

Средства за реализация

Ефективност

Източници на информация

■ Защо?

- ◆ Пестят време и/или пари
- ◆ Решават се по-големи задачи
- ◆ Осигуряват едновременно изпълнение (concurrency)
- ◆ Възможност за използване на отдалечени ресурси
- ◆ Ограничения в бързодействието на последователните компютри

■ От кого и за какво?

- ◆ top500.org предлага статистика за потребителите на паралелни изчислителни системи
- ◆ Повече от 5 групи потребители, повече от 30 вида приложения

■ Бъдещето

- ◆ по-бързите мрежи, разпределените системи и мулти-процесорните компютърни архитектури показват, че паралелизмът е бъдещето на компютърните приложения

Мотивация

Паралелни
компютърни
архитектури

- Класификация
- Терминология
- Обща памет
- Разпределена памет
- Хибридни

Модели за
паралелно
програмиране

Конструиране

Средства за
реализация

Ефективност

Източници на
информация

Паралелни компютърни архитектури

Класификация

■ Класификация на Флин / инструкции-данни

	Single Instruction	Multiple Instruction
Single Data	SISD	MISD
Multiple Data	SIMD	MIMD

- Класификация според нивото на паралелизъм на хардуера
 - ◆ Многоядрени пресмятания (Multicore computing)
 - ◆ Симетрични мултипроцесорни изчисления (Symmetric multiprocessing)
 - ◆ Разпределени изчисления (Distributed computing)
 - Клъстерни изчисления (Cluster computing)
 - Масивно паралелни изчисления (Massive parallel processing)
 - Грид изчисления (Grid computing)
 - ◆ Специализирани паралелни компютри
 - Векторни процесори (Vector processor)
 - Изчисления върху GPU (General-purpose computing on Graphics Processing Units)

Мотивация

Паралелни
компютърни
архитектури

● Класификация

- Терминология
- Обща памет
- Разпределена памет
- Хибридни

Модели за
паралелно
програмиране

Конструиране

Средства за
реализация

Ефективност

Източници на
информация

Терминология

Мотивация

Паралелни
компютърни
архитектури

- Класификация
- Терминология
- Обща памет
- Разпределена памет
- Хибридни

Модели за
паралелно
програмиране

Конструиране

Средства за
реализация

Ефективност

Източници на
информация

- Раздробеност (Granularity) – качествена мярка за отношението на изчисления към комуникации
 - ◆ Едро/грубо (coarse) – извършват се относително големи количества изчисления между комуникационни събития
 - ◆ Fino/дребно (fine) – извършват се относително малки количества изчисления между комуникационни събития
 - ◆ Независими задания (embarrassingly parallel) – едновременно решаване на множество подобни, но независими задачи; малка до никаква необходимост от координиране между заданията.
- Паралелни ”забавяния” (Parallel overhead) – времето необходимо за координиране на паралелни задания като противоположност на полезната работа. Включва фактори като:
 - ◆ Време за стартиране и прекратяване на задание
 - ◆ Синхронизации
 - ◆ Комуникации на данни
 - ◆ Софтуерни ”забавяния” породени от паралелни компилатори, библиотеки, операционни системи и др.

Терминология – прод.

Мотивация

Паралелни
компютърни
архитектури

- Класификация
- Терминология
- Обща памет
- Разпределена памет
- Хибридни

Модел за
паралелно
програмиране

Конструиране

Средства за
реализация

Ефективност

Източници на
информация

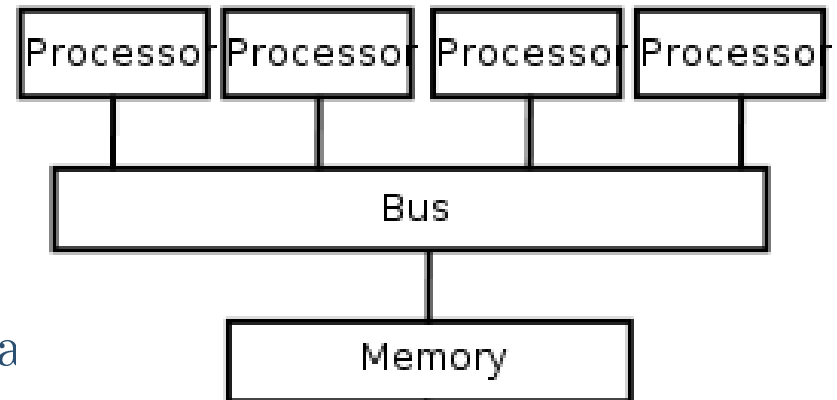
- Скалируемост – отнася се до възможността на паралелната система (софтуер и/или хардуер) да демонстрира пропорционално увеличаване на паралелното ускорение с добавяне на повече процесори. Фактори, които влияят на скалируемостта:
 - ◆ Хардуер – в частност ширината на лентата за комуникации между памет и процесор и тези по мрежа;
 - ◆ Прилагания алгоритъм
 - ◆ Паралелните забавяния
 - ◆ Характеристиките на вашите специфични приложение и програма
- Топология на свързване – физическата връзка между процесорите: звезда, пръстен, мрежа, хиперкуб ...

Обща памет

■ Общи характеристики

- ◆ Всички процесори имат достъп до цялата памет като глобално адресно пространство.
- ◆ Няколко процесора могат да работят независимо един от друг, като споделят едни и същи ресурси памет.
- ◆ Промяна на стойност в паметта, направена от един процесор, е видима за всички други процесори.
- ◆ Машините с обща памет се делят на два основни класа според времената за достъп до паметта на различните процесори – UMA (Uniform Memory Access) и NUMA (Non-Uniform Memory Access).

- UMA – SMP, идентични процесори, равноправен достъп и време за достъп до паметта;
- NUMA – няколко физически свързани SMP, не всички процесори имат равно време за достъп до всяка от паметите.



Обща памет – прод.

■ Предимства

- ◆ Глобалното адресно пространство предоставя удобни за потребителя средства за работа с паметта в програмни реализации.
- ◆ Времето за споделяне на данни между отделни паралелни задания е бързо и равномерно, благодарение на физическата близост на паметта и процесорите.

■ Недостатъци

- ◆ Основен недостатък е липсата на скалируемост за отношението на обем памет и брой използвани процесори. Добавянето на повече процесори може да доведе до забавяне, породено от геометрично увеличение на трафика по пътя между паметта и процесорите, а при системи със съгласуваност на кеша, увеличение на трафика асоцииран с управлението на връзките между кеша и паметта
- ◆ Програмистът има отговорността така да синхронизира изпълнението на заданията, че да гарантира "коректни" резултати при заявки към паметта.
- ◆ Цена: все по-трудно и скъпо е да се проектират и произвеждат машини с обща памет с все по-голям брой процесори.

Разпределена памет

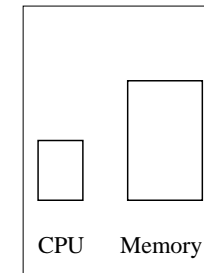
■ Общи характеристики

- ◆ За осъществяване на връзка между процесорите и паметта е необходима комуникационна мрежа.
- ◆ Процесорите имат собствена локална памет. Адресните пространства за различни процесори не съвпадат и не съществува понятие за общо адресно пространство за всички процесори.
- ◆ Тъй като всички процесори имат собствена памет, те работят независимо. Промени в локалната памет на един процесор не се отразяват в паметта на другите. Поради тази причина понятието за съгласуваност на кеша не е приложимо.
- ◆ При необходимост от достъп на един процесор до данните в паметта на друг, програмистът явно трябва да дефинира как и кога да се разменят тези данни, както и да синхронизира работата на съответните паралелни задания.
- ◆ Средствата за осигуряване на трансфера на данни са много разнообразни, като могат да се използват дори обикновени етернет мрежи.

Разпределена памет – прод.

■ Предимства

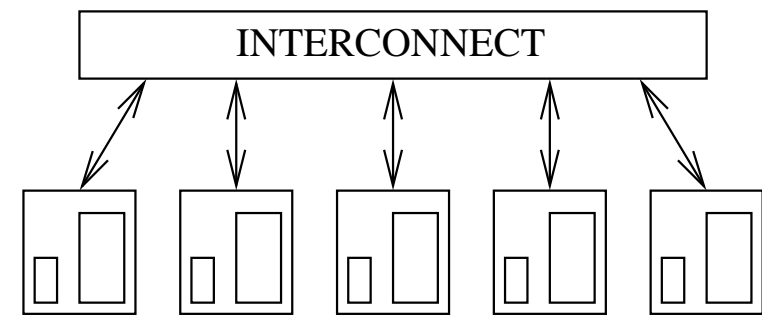
- ◆ Паметта е скалируема по отношение на броя процесори. При увеличаване на този брой, обема на паметта се увеличава пропорционално.
- ◆ Всеки процесор осъществява бърз и непрекъснат достъп до локалната си памет, без забавяне поради необходимост от съгласуване на кеша.
- ◆ Ценова ефективност: могат да се използват широко достъпни процесори и мрежи.



Фон Нойман

■ Недостатъци

- ◆ Програмистът е отговорен за много от детайлите при осъществяване на комуникацията между процесорите.
- ◆ Може да се окаже трудно директното изобразяване на съществуващи структури от данни, проектирани за глобална памет, в програми използващи разпределена памет.
- ◆ Неравномерни времена за достъп до паметта.



Разпределена памет

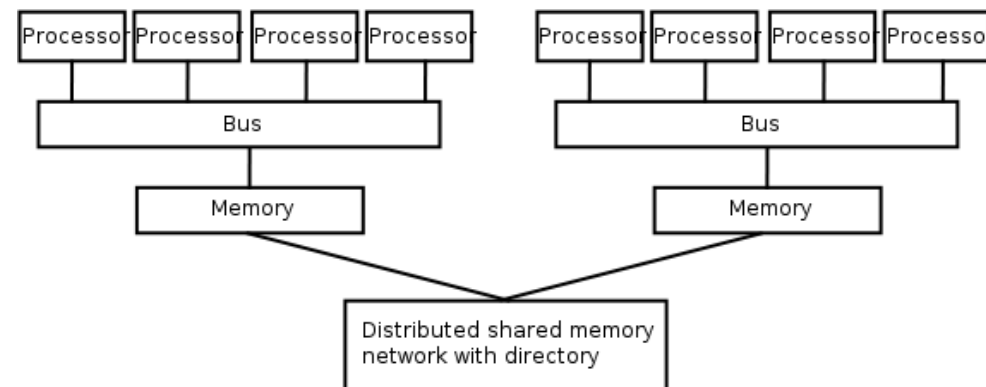
Хибридни архитектури с обща и разпределена памет

■ Общи характеристики

- ◆ Най-големите и бързи компютри в света в днешно време съчетават архитектури с обща и разпределена памет.
- ◆ Компонентът с обща памет най-често е SMP машина със съгласуван кеш. Процесорите в една SMP третираат паметта на машината като глобална.
- ◆ Компонентът с разпределена памет се реализира чрез свързване в мрежа на няколко SMP машини. Отделните SMP виждат само своята памет, не и паметта на другите машини в мрежата. За прехвърляне на данни между тях се използват комуникации през мрежата.
- ◆ Настоящите тенденции предполагат, че в близко бъдеще хибридните архитектури ще продължават да преобладават и да увеличават списъка на най-бързите и мощни компютърни системи.

■ Предимства и недостатъци

- ◆ общите за архитектури с обща и разпределена памет.



Мотивация

Паралелни
компютърни
архитектури

**Модели за
паралелно
програмиране**

- Нишки
- Предаване на съобщения

Конструирание

Средства за
реализация

Ефективност

Източници на
информация

Модели за паралелно програмиране

Модели за паралелно програмиране

Мотивация

Паралелни
компютърни
архитектури

Модели за
паралелно
програмиране

- Нишки
- Предаване на съобщения

Конструиране

Средства за
реализация

Ефективност

Източници на
информация

- Съществуват като абстракция над хардуера и организацията на паметта;
- НЕ са специфични за определен тип машина или архитектура, а теоретично всяка от тях може да се приложи върху произволен хардуер (виртуална обща памет, предаване на съобщения за система с обща памет)
- Разпространени са няколко модела:
 - ◆ Обща памет – заданията споделят общо адресно пространство; асинхронно четене и писане; контрол на достъпа чрез механизми като заключване и семафори; + няма собственост върху данните и нужда от определяне на комуникации; - става трудно да се разбере и управлява локалността на данните;
 - ◆ Нишки – POSIX Threads, Open MP
 - ◆ Предаване на съобщения – MPI
 - ◆ Паралелни данни – извършване на операции върху набор от данни (масив или куб); всяко задание работи върху различна част от тях; F90, F95, HPF
 - ◆ Хибрид – комбинация от вече споменатите.

Нишки

■ Принципи

- ◆ ОС стартира главната програма `a.out` и зарежда необходимите ресурси
- ◆ `a.out` изпълнява последователна работа, след което генерира няколко задания (нишки), които могат да се стартират от ОС едновременно
- ◆ Всяка нишка има своя локална памет, но споделя и общите ресурси на `a.out` и печели от достъпа до общата памет, осигурен от `a.out`.
- ◆ Произволна нишка може да изпълни произволна подпрограма по едно и също време с останалите нишки.
- ◆ Нишките комуникират помежду си чрез глобалната памет. Изисква синхронизация, за да се гарантира, че не повече от една нишка променя даден адрес в глобалната памет в произволен момент.
- ◆ Нишките могат да идват и да си отиват, но `a.out` остава, за да осигури необходимите споделени ресурси до завършване на приложението.

■ Реализация:

- ◆ Обикновено включват библиотеки от подпрограми извиквани в рамките на паралелния код и/или набор от директиви на компилатора вградени в последователния или в паралелния код. Програмистът определя паралелизма.
- ◆ Стандартизация – POSIX Threads (Pthreads) и Open MP.

Предаване на съобщения

■ Принципи

- ◆ Множество от няколко задания, които имат тяхна локална памет.
- ◆ Заданията могат да се намират върху една и съща физическа машина или върху произволен брой машини.
- ◆ Ако една променлива е декларирана във всяко задание на програма с p задания, тогава има p различни променливи с едно и също име, но с евентуално различни стойности.
- ◆ Ако изпълнението на функция от дадено задание изисква данни от друго задание, данните се изпращат чрез оператор за предаване на съобщения и в двете (изпращащо и получаващо) задания.
- ◆ Върху почти всички архитектури, предаването на съобщения е много по-бавно от аритметиката с плаваща запетая.

■ Реализация

- ◆ Включват библиотеки от подпрограми извиквани в рамките на паралелния код. Програмистът определя паралелизма.
- ◆ Стандартизация – Message Passing Interface (MPI) в две части.
- ◆ За архитектури с обща памет, реализациите на MPI обикновено не използват мрежа за комуникациите между заданията. Вместо това се използва общата памет за по-добра производителност.

Мотивация

Паралелни
компютърни
архитектури

Модели за
паралелно
програмиране

Конструиране

- Основни етапи
- Разделяне
- Комуникации
- Агломерация
- Изобразяване

Средства за
реализация

Ефективност

Източници на
информация

Подход за конструиране на ПА?

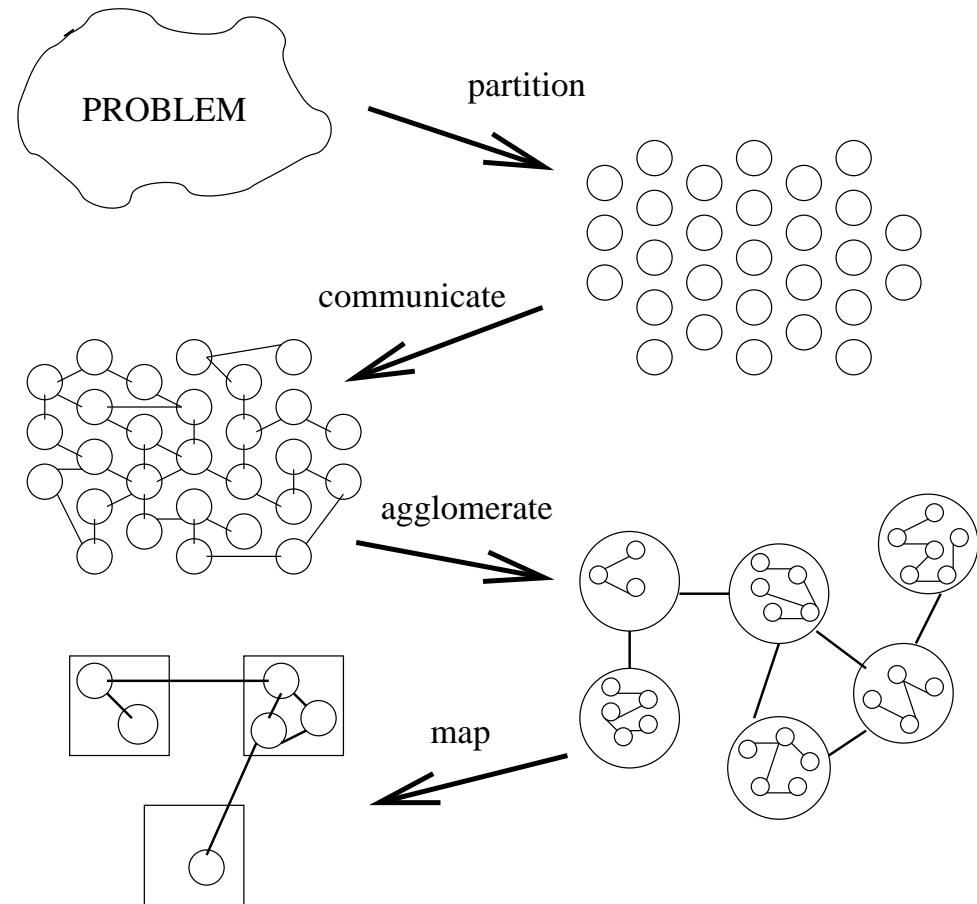
Основни етапи

Преди да започнем: може ли задачата да се реши паралелно?

1. Разделяне
2. Комуникации
3. Агломерация
4. Изобразяване

1 и 2 – не зависят от машината

3 и 4 – конкретна паралелна архитектура и производителност



I. Foster, *Designing and building parallel programs*, Addison-Wessley, 1995.

Мотивация

Паралелни
компютърни
архитектури

Модели за
паралелно
програмиране

Конструиране

- Основни етапи
- Разделяне
- Комуникации
- Агломерация
- Изобразяване

Средства за
реализация

Ефективност

Източници на
информация

Разделяне

Мотивация

Паралелни
компютърни
архитектури

Модели за
паралелно
програмиране

Конструирание

- Основни етапи
- **Разделяне**
- Комуникации
- Агломерация
- Изобразяване

Средства за
реализация

Ефективност

Източници на
информация

Изчисленията, които трябва да се извършат и данните, с които се оперира се разделят на малки задания (по възможност – непресичащи се). Практически въпроси, като брой процесори в достъпния компютър се игнорират и вниманието се насочва върху откриване на възможности за паралелно изпълнение.

а) **разделяне на областта** (domain decomposition) – първо се определя подходящо разделяне на данните на задачата и след това се свързват изчисленията с данните.

б) **функционално разделяне** (functional decomposition) – първо се разделят изчисленията и след това се разглеждат данните.

Списък за проверка

1. Дефинирани ли са поне с порядък повече задания отколкото са процесорите на достъпния компютър?
Ако не – имате по-малка гъвкавост в следващите етапи на схемата.
2. Избягват ли се излишни пресмятания и място за съхранение на данни?
Ако не – крайният алгоритъм може да не е достатъчно ефективен за големи задачи.
3. Задчите със сравнима големина ли са?
Ако не – може да е трудно да се осигури равно количество работа за всички процесори.
4. Зависи ли броят на подзаданията от размерността на задачата? В идеалния случай увеличаването на размерността на задачата води до увеличаване на броя на заданията, а не на тяхната размерност.
Ако не – ПА няма да може да решава по-големи задачи, когато са достъпни повече процесори.
5. Определени ли са няколко различни разделяния? Дават възможност за увеличаване на гъвкавостта на следващите етапи.

Комуникации

Мотивация

Паралелни
компютърни
архитектури

Модели за
паралелно
програмиране

Конструирание

- Основни етапи
- Разделяне
- Комуникации
- Агломерация
- Изобразяване

Средства за
реализация

Ефективност

Източници на
информация

Определят се необходимите комуникации за съгласуване на изпълнението на заданията и се дефинират подходящи комуникационни структури. Целта е да се разпределят операциите за комуникация (без да се въвеждат ненужни такива) върху много задания и да се организират по начин, който позволява едновременно изпълнение.

- **локални/глобални** – всяко задание комуникира с малко/голямо множество други задания;
- **структурирани/неструктурирани** – задание и неговите съседи образуват регулярна структура (напр. дърво или мрежа)/произволен граф;
- **статични/динамични** – вида на комуникационните структури не се променя с времето или се определя според изчислените данни на отделни етапи от изпълнението на алгоритъма;
- **синхронни/асинхронни** – производителят и потребителят на данните си съдействат/не си съдействат в операциите за обмен.

Списък за проверка

1. Дали всички задания изпълняват приблизително равен брой комуникации?
Ако не – неефективна конструкция. Преразгледайте възможността за по-равномерно разпределение на операциите за комуникация. Напр., ако структура от данни, до която често има достъп се намира в едно задание, разгледайте възможността за нейното разделяне или дублиране.
2. Дали всяко задание комуникира с малък брой съседни?
Ако не – оценете възможността тази глобална комуникация да се преформулира в термините на локална комуникационна структура.
3. Възможно ли е операциите за комуникация да се извършват едновременно?
Ако не – вашият алгоритъм изглежда е неефективен и без ускорение. Използвайте подхода ”разделяй и владей” (”divide-and-conquer”)
4. Възможно ли е изчисленията свързани с различни задания да се извършват едновременно?
Ако не – вашият алгоритъм изглежда е неефективен и без ускорение. Възможно ли е пренареждане на операциите за комуникации и изчисления?

Агломерация

Заданията и комуникационните структури от първите два етапа се оценяват по отношение на конкретната производителност и реализацията. Целта е да се получи ефективен алгоритъм за определен клас паралелни компютри. Ако е необходимо, заданията се групират в по-големи и се дублират данни и/или изчисления, за да се подобри производителността или за да се намали цената за разработване.

Списък за проверка

1. Дали агломерацията намалява цената на комуникациите, чрез увеличаване на локалността?
2. Дали ползата от евентуално дублиране на изчисления е по-голяма от цената му за множество различни размерности на задачата и брой процесори?
3. Дали евентуалното дублиране на данни не излага на риск ефективността чрез намаляване на диапазона на размерностите на задачите или броя на процесорите?
4. Агломерацията доведе ли до задания с приблизително равностойни цени на изчисленията и комуникациите?
5. Дали броя на заданията все още зависи от размерността на задачата?

Мотивация

Паралелни
компютърни
архитектури

Модели за
паралелно
програмиране

Конструирание

- Основни етапи
- Разделяне
- Комуникации
- Агломерация
- Изобразяване

Средства за
реализация

Ефективност

Източници на
информация

Всяко задание се свързва с процесор по такъв начин, че да се удовлетворят конкуриращите се условия за максимално използване на процесорите и минимизиране на комуникациите. Изобразяването може да бъде зададено статично или да се определя по време на изпълнението чрез алгоритми за балансиране на натоварването. (Върху системи с обща памет това се прави автоматично.)

Баланс между две стратегии:

1. Увеличаване на паралелизма – задания, които могат да се изпълняват едновременно се разполагат върху различни процесори.
2. Увеличаване на локалността – задания, които си комуникират често се разполагат в един и същ процесор.

Мотивация

Паралелни
компютърни
архитектури

Модели за
паралелно
програмиране

Конструирање

**Средства за
реализация**

- Open MP
- MPI
- Основни
функции
- Типове данни
- Глобални
комуникации

Ефективност

Източници на
информация

Средства за реализация

Средства за реализация – Open MP

Мотивация

Паралелни компютърни архитектури

Модели за паралелно програмиране

Конструиране

Средства за реализация

- Open MP
- MPI
- Основни функции
- Типове данни
- Глобални комуникации

Ефективност

Източници на информация

Open MP е преносима реализация на модела за паралелно програмиране чрез нишки.

- Включва три основни компоненти:
 - ◆ Директиви на компилатора
 - ◆ Библиотечни функции по време на изпълнение
 - ◆ Променливи на средата
- Реализации на Fortran77 и C/C++
- Може да се използва върху множество платформи, включително UNIX и Windows

Open MP не е:

- замислен за паралелни системи с разпределена памет
- задължително реализиран по еднакъв начин от всички производители
- гарантирано, че използва максимално ефективно обща памет
- не гарантира синхронизиран вход или изход от един и същи файл – това трябва да се осигури от програмиста

Standard: <http://www.openmp.org>

Средства за реализация – MPI

Мотивация

Паралелни компютърни архитектури

Модели за паралелно програмиране

Конструиране

Средства за реализация

- Open MP
- **MPI**
- Основни функции
- Типове данни
- Глобални комуникации

Ефективност

Източници на информация

MPI (Message Passing Interface) преносим стандарт за предаване на съобщения.

- включва реализации на Fortran77 и C/C++
- достъпен върху UNIX, Linux, Windows и др.
- скрива разликите в компютърните архитектури
- може да се използва и върху системи с обща памет, както и върху хибридни архитектури.

MPI дефинира

ком. м/у 2 процесора

групови комуникации

групи от процеси

комуник. области

MPI не дефинира

явни операции с обща памет

средства за констр. на програми

средства за откриване на грешки

входно/изходни функции (верс. 1.x)

Standard: <http://www.mpi-forum.org>

MPICH: www.mcs.anl.gov/research/projects/mpi/mpich2

Основни функции

- Включване на библиотеката `#include "mpi.h"`

- Управление на средата

Всички MPI функции връщат `MPI_SUCCESS` ако операцията е успешна

<code>MPI_Init(&argc, &argv)</code>	Започва MPI изчисление
<code>MPI_Comm_size(comm, &size)</code>	Определя броя на процесите
<code>MPI_Comm_rank(comm, &rank)</code>	Определя идентификатор на викащия процес
<code>MPI_COMM_WORLD</code>	Комуникатор (всички процеси)
<code>MPI_Finalize()</code>	Прекратява изчисление
<code>MPI_Wtime()</code>	Измерва на времето в секунди от фиксиран момент в миналото

- Комуникации между два процесора

<code>MPI_Send(buffer, count, type, dest, tag, comm)</code>	Блок. изпращане
<code>MPI_Isend(buffer, count, type, dest, tag, comm, request)</code>	Неблок. изпращане
<code>MPI_Recv(buffer, count, type, source, tag, comm, status)</code>	Блок. получаване
<code>MPI_Irecv(buffer, count, type, source, tag, comm, request)</code>	Неблок. получаване

Основни типове в MPI и съответните им в C

Мотивация

Паралелни
компютърни
архитектури

Модели за
паралелно
програмиране

Конструиране

Средства за
реализация

- Open MP
- MPI
- Основни функции
- Типове данни
- Глобални комуникации

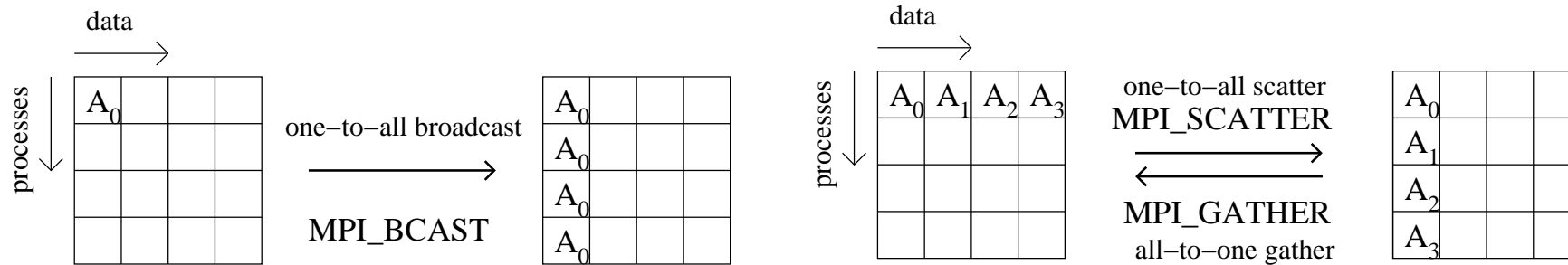
Ефективност

Източници на
информация

MPI_CHAR	signed char
MPI_SHORT	signed short int
MPI_INT	signed int
MPI_LONG	signed long int
MPI_UNSIGNED_CHAR	unsigned char
MPI_UNSIGNED_SHORT	unsigned short int
MPI_UNSIGNED	unsigned int
MPI_UNSIGNED_LONG	unsigned long int
MPI_FLOAT	float
MPI_DOUBLE	double
MPI_LONG_DOUBLE	long double
MPI_BYTE	8 binary digits
MPI_PACKED	data packed or unpacked with MPI_Pack()/ MPI_Unpack

Има възможност за дефиниране на допълнителни типове.

Глобални комуникации



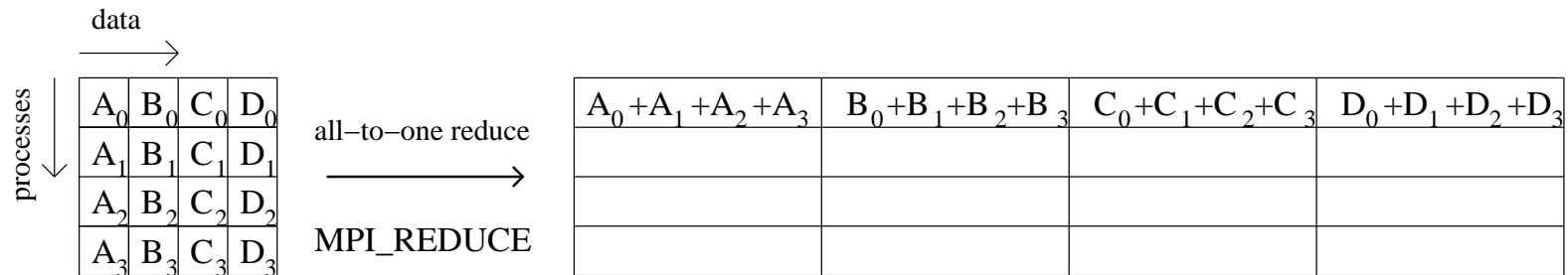
- Предаване на M числа от един процесор до всички останали за време $b(P, M)$ (one_to_all broadcast);
- Един от процесорите изпраща до всеки от останалите по един пакет с данни, съдържащ M числа, за време $s(P, M)$ (one_to_all scatter). В общия случай данните в пакетите за отделните процесори са различни. Дуалната операция (all_to_one gather) – събиране на P такива пакета от всички останали в един процесор изисква същото време $s(P, M)$;

`MPI_Bcast(&buffer, count, datatype, root, comm)`

`MPI_Scatter(&sendbuf, sendcnt, sendtype, &recvbuf, recvcnt, recvtype, root, comm)`

`MPI_Gather(&sendbuf, sendcnt, sendtype, &recvbuf, recvcount, recvtype, root, comm)`

Глобални комуникации (II)



- Всеки процесор има пакет от M числа (в общия случай различен от пакетите на останалите процесори). След приключване на операцията (за време $r(P, M)$) един от процесорите притежава пакет, който е сума, разлика, максимум или друга операция приложена поелементно върху изходните пакети (all_to_one reduce). Схемата за извършването ѝ е обратна на one_to_all broadcast и следователно е в сила $r(P, M) = b(P, M)$. Има вариант на тази операция, при който резултата е във всички процесори: $ar(P, M) = 2 * b(P, M)$ (all_to_all reduce).

```
MPI_Reduce(&sendbuf,&recvbuf,count,datatype,op,root,comm)
MPI_Allreduce(&sendbuf,&recvbuf,count,datatype,op,comm)
MPI_Barrier(comm)
```

Мотивация

Паралелни
компютърни
архитектури

Модели за
паралелно
програмиране

Конструиране

Средства за
реализация

- Open MP
- MPI
- Основни функции
- Типове данни
- Глобални комуникации

Ефективност

Източници на
информация

Мотивация

Паралелни
компютърни
архитектури

Модели за
паралелно
програмиране

Конструиране

Средства за
реализация

Ефективност

Източници на
информация

ЕФЕКТИВНОСТ

Оценка на ефективността

Мотивация

Паралелни
компютърни
архитектури

Модели за
паралелно
програмиране

Конструиране

Средства за
реализация

Ефективност

Източници на
информация

$$\text{Ускорение: } S_P = \frac{T_1}{T_P} \quad S_P \leq P$$

$$\text{Ефективност: } E_P = \frac{S_P}{P} = \frac{T_1}{P \cdot T_P} \quad E_P \leq 1$$

Наблюдавани ускорение и ефективност – T_1 и T_P са измерените (wall-clock) времена съответно за последователно и паралелно изпълнение на програмата.

Теоретична оценка на T_P при
MIMD с разпределена памет и P процесора

$$T_P = T_a + T_{com}, \quad T_a = M * t_a, \quad T_{com} = t_s + l M * t_w$$

t_a е усреднено време за извършване на 1 ар. оп. от 1 процесор

t_s е времето за стартиране на комуникация

t_w е времето за изпращане на едно число до съседен процесор

l е разстоянието между процесорите осъществяващи

one_to_one комуникация.

Оценка на ефективността (II)

Глобалните комуникации, както и тези между два несъседни процесора, зависят от паралелната архитектура и от общия брой процесори в нея.

Времена за базовите комуникации за три топологии на свързване.

	пръстен	квадратна мрежа	хиперкуб
$oo(P, M)$	$t_s + t_w \cdot M \cdot \lfloor P/2 \rfloor$	$t_s + 2t_w \cdot M \cdot \lfloor \sqrt{P}/2 \rfloor$	$t_s + t_w \cdot M \cdot \log P$
$b(P, M)$	$(t_s + t_w \cdot M) \lceil P/2 \rceil$	$2(t_s + t_w \cdot M) \lceil \sqrt{P}/2 \rceil$	$(t_s + t_w \cdot M) \log P$
$s(P, M)$	$(t_s + t_w \cdot M)(P - 1)$	$2t_s(\sqrt{P} - 1) +$ $t_w \cdot M \cdot (P - 1)$	$t_s \log P +$ $t_w \cdot M \cdot (P - 1)$

Времената за изчисление и комуникации за даден алгоритъм се представят най-общо с $T_a = \mathcal{N} * t_a$ и $T_{com} = c_1 * t_s + c_2 * t_w$. Тук \mathcal{N} е броят на операциите, c_1 характеризира броя на етапите, на които са необходими комуникации, а c_2 е количеството прехвърлени числа. Коефициентите c_1 и c_2 могат да бъдат константи или функции на броя на процесорите и/или размерността на задачата.

$$T_P^{Alg} = \mathcal{N}^{Alg} * t_a + c_1 * t_s + c_2 * t_w$$

Мотивация

Паралелни
компютърни
архитектури

Модели за
паралелно
програмиране

Конструиране

Средства за
реализация

Ефективност

**Източници на
информация**

Източници на информация

Източници на информация

■ Книги

I. Foster, Designing and building parallel programs, Addison-Wesley, 1995.

<http://www.mcs.anl.gov/~itf/dbpp/>

V. Kumar, A. Grama, A. Gupta, G. Karypis, Introduction to parallel computing: design and analysis of algorithms, Addison-Wesley, 1994.

<http://www-users.cs.umn.edu/~karypis/parbook/>

■ WWW – стандарти:

MPI: <http://www.mpi-forum.org>

MPICH: www.mcs.anl.gov/research/projects/mpi/mpich2

Open MP: <http://openmp.org/wp/>

■ WWW – обучение:

https://computing.llnl.gov/tutorials/parallel_comp/

<https://computing.llnl.gov/tutorials/mpi/>

<https://computing.llnl.gov/tutorials/openMP/>

http://mpi.deino.net/mpi_functions/index.htm

http://en.wikipedia.org/wiki/Parallel_computing

Търсене във WWW за "parallel programming" или "parallel computing" ще покаже голямо разнообразие от информация.