Параллельное программирование

Литература:

- Методическое пособие А. С. Антонова «Введение в параллельные вычисления»
- Лекции по параллельным вычислениям: учеб. пособие / В.П. Гергель, В.А.Фурсов. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009.
- Антонов А.С. Параллельное программирование с использованием технологии OpenMP: Учебное пособие.-М.: Изд-во МГУ, 2009. - 77 с.
- А.В. Боресков, А.А. Харламов Основы работы с технологией CUDA 2010г

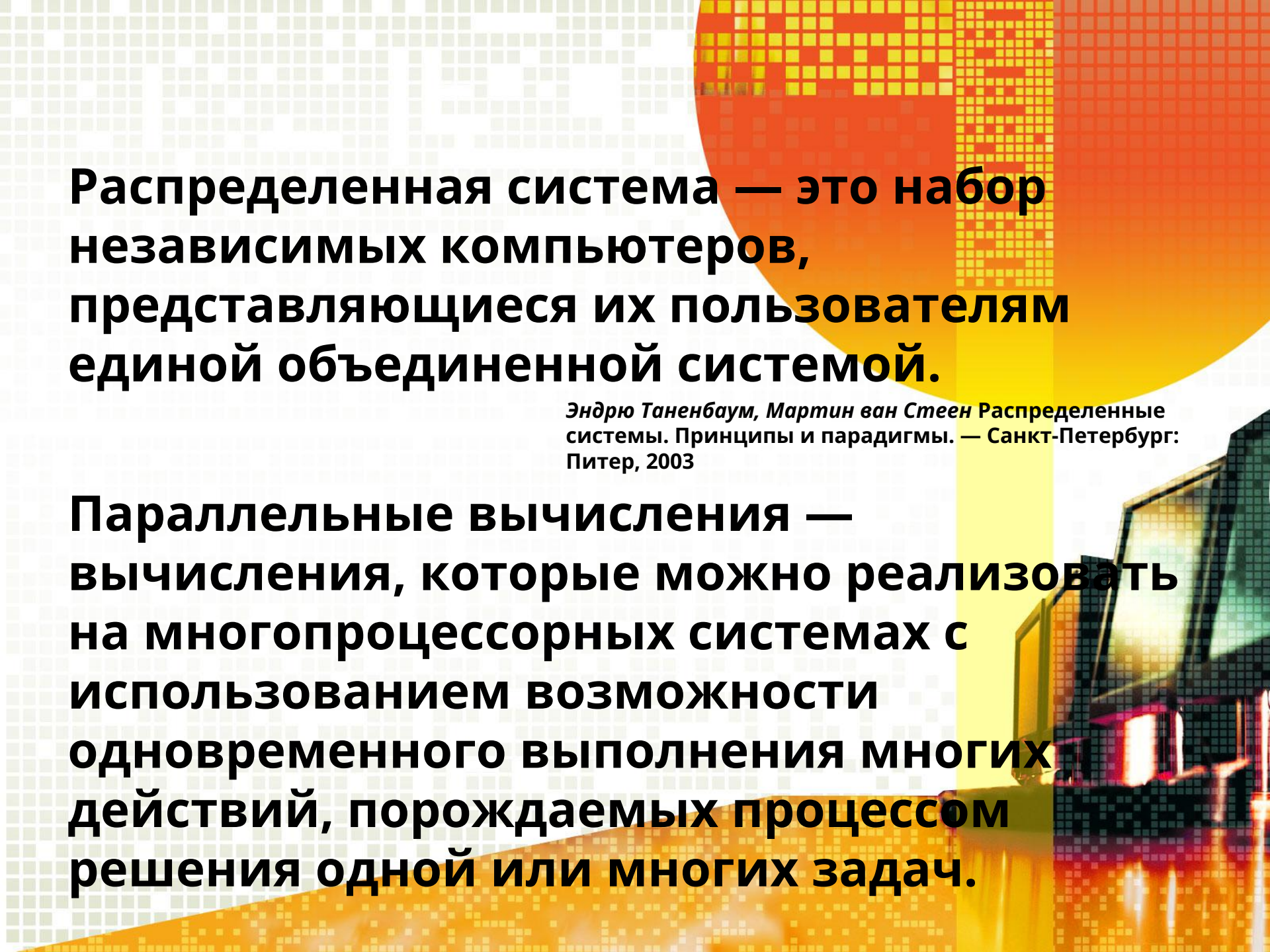
Информация в Интернет:

- http:// www.openmp.org
- http://parallel.ru

Распределенная система — это набор независимых компьютеров, представляющиеся их пользователям единой объединенной системой.

Эндрю Таненбаум, Мартин ван Стеен **Распределенные системы. Принципы и парадигмы. — Санкт-Петербург: Питер, 2003**

Параллельные вычисления — вычисления, которые можно реализовать на многопроцессорных системах с использованием возможности одновременного выполнения многих действий, порождаемых процессом решения одной или многих задач.



Закон Амдала

$$S_p = \frac{1}{\alpha + \frac{1-\alpha}{p}}$$

α - доля общего объёма вычислений может быть получена только последовательными расчётами

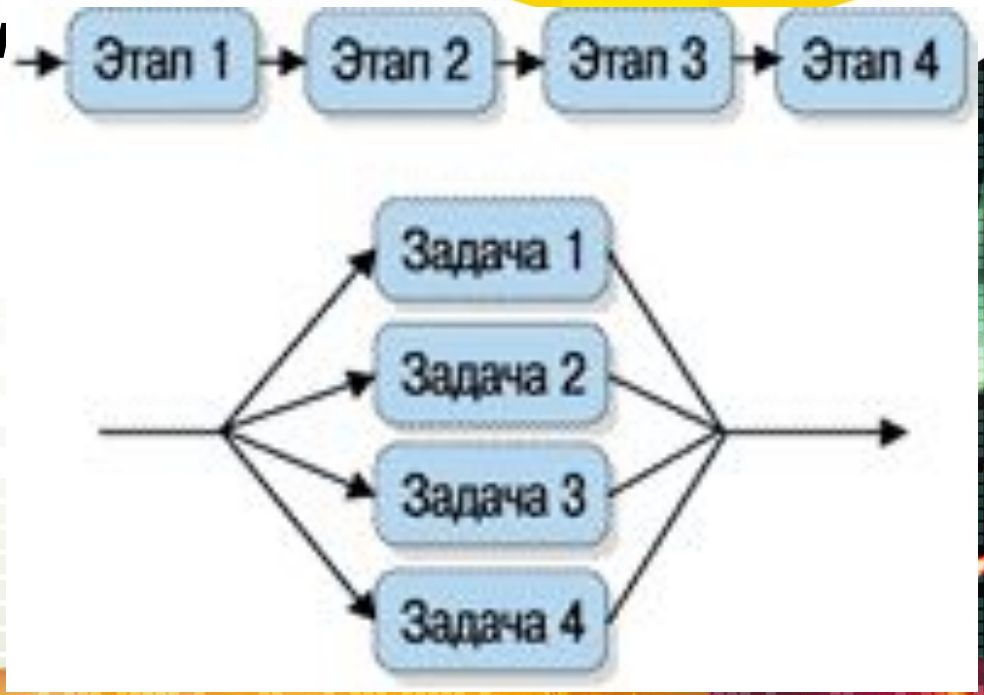
p - число задействованных процессоров

$\alpha \backslash p$	10	100	1000
0	10	100	1000
10%	5.263	9.174	9.910
25%	3.077	3.883	3.988
40%	2.174	2.463	2.496

Параллельная обработка данных

Параллельная обработка данных, воплощая идею одновременного выполнения нескольких действий, имеет *две разновидности*:

- **конвейерность,**
- **параллельность.**



Классификация М. Флинна

Поток данных	Поток команд: одиночный	Поток команд: множественный
Одиночный	**SISD** - Single Instruction stream / Single Data stream (Одиночный поток Команд и Одиночный поток Данных - ОКОД)	**MISD** - Multiple Instruction stream / Single Data stream (Множественный поток Команд и Одиночный поток Данных - МКОД)
Множественный	**SIMD** - Single Instruction stream / Multiple Data stream (Одиночный поток Команд и Множественный поток Данных - ОКМД)	**MIMD** - Multiple Instruction stream / Multiple Data stream (Множественный поток Команд и Множественный поток Данных - МКМД)

Некоторые примеры
II-вычислительных систем

1. Суперкомпьютеры
2. Кластеры
3. Grid-системы

Суперкомпьютеры

Суперкомпьютер – вычислительная машина, значительно превосходящая по своим техническим параметрам большинство существующих компьютеров.

Суперкомпьютер МГУ «Ломоносов»

Отличительные признаки суперкомпьютеров:

1. Высокая производительность.
2. Объединение вычислительных узлов по специальной высокоскоростной шине.
3. Идентичность вычислительных узлов.
4. Специализированное системное программное обеспечение.

Достоинства:
Высокая производительность

Недостатки:
Высокая стоимость внедрения и эксплуатации
Специальное оборудование и программное обеспечения

Кластеры

Кластер – группа компьютеров, объединенных в локальную вычислительную сеть (ЛВС) и способных работать в качестве единого вычислительного ресурса.

Кластер «TEdge-Mini»

Отличительные признаки кластера:

1. Объединение вычислительных узлов по стандартной технологии Ethernet.
2. Идентичность вычислительных узлов.
3. Объединение в единую вычислительную систему на уровне операционной системы.
4. Стандартное программное обеспечение

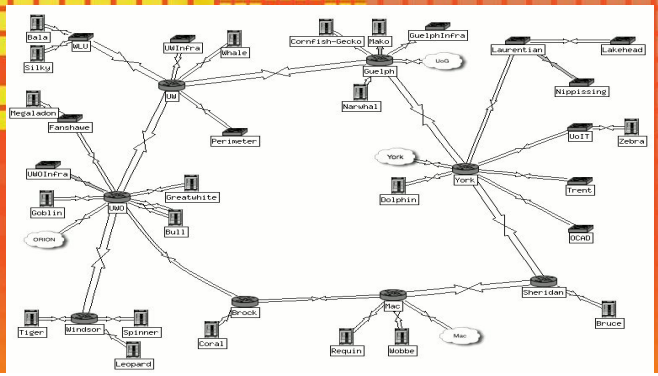
Достоинства:

1. Низкая стоимость (по сравнению с суперкомпьютерами)
2. Возможность использования различных версий ОС (Windows HPC, Linux)

Недостатки:

1. Производительность ниже, чем у суперкомпьютеров

Grid-системы



Grid-система – группа слабосвязанных компьютеров, объединенных с помощью локальной вычислительной сети и способных выполнять вычисления одной задачи, передавая результаты центральному (командному) узлу.

Отличительные признаки Grid-системы:

1. Клиент-серверная технология взаимодействия между вычислительным и командным узлом.
2. Различность вычислительных узлов.
3. Стандартное системное программное обеспечение.
4. Наличие клиентской программы на вычислительном узле.

Достоинства:

1. Широкая масштабируемость.
2. Работоспособность клиентской части на различном оборудовании и под управлением различных операционных систем.
3. Географическая удалённость узлов сети.

Недостатки:

1. Сложность обновления клиентской части программного обеспечения.
2. Непредсказуемость окончания расчетов.

Проблемы координации

Для координации задач, выполняемых параллельно, требуется обеспечить связь между ними и синхронизацию их работы. Возможны четыре типа проблем:

- **«Гонка» данных,**
- **Бесконечная отсрочка,**
- **Взаимоблокировка,**
- **Трудности организации связи.**

«Гонка» данных

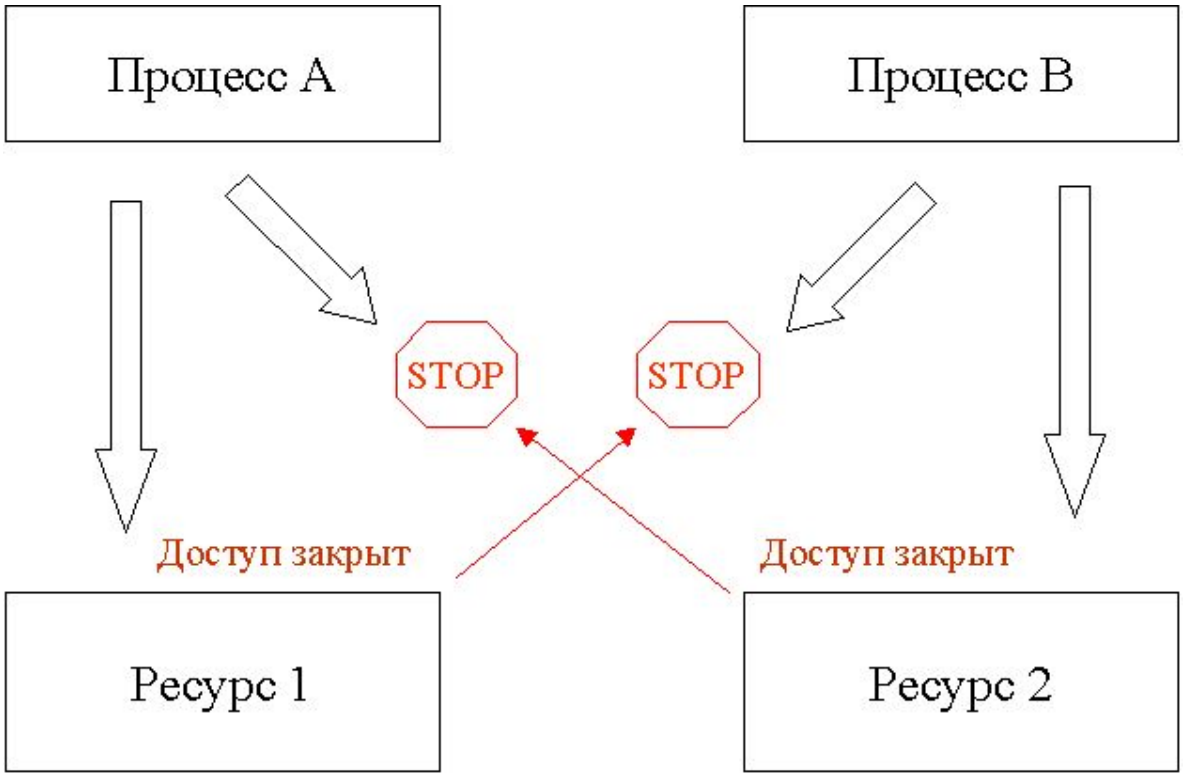
Если несколько задач одновременно попытаются изменить некоторую общую область данных, а конечное значение данных при этом будет зависеть от того, какая задача обратится к этой области первой, возникнет ситуация, которую называют *состоянием «гонок»* (race condition). В случае, когда несколько задач попытаются обновить один и тот же ресурс данных, такое состояние «гонок» называют *«гонкой» данных* (data race). Какая задача в нашей программе поддержки электронного банка первой получит доступ к остатку на счете, определяется результатом работы планировщика задач операционной системы, состоянием процессоров, временем ожидания и случайными причинами.

Бесконечная отсрочка

Если одна или несколько задач ожидают сеанса связи до своего выполнения, то в случае, если ожидаемый сеанс связи не состоится, состоится слишком поздно или не полностью, эти задачи могут так никогда и не выполниться. И точно так же, если ожидаемое событие или условие, которое должно произойти (или наступить), но в действительности не происходит (или не наступает), то приостановленные нами задачи будут вечно находиться в состоянии ожидания. Если приостановить одну или несколько задач до наступления события (или условия), которое никогда не произойдет, возникнет ситуация, называемая бесконечной отсрочкой (indefinite postponement).

Взаимоблокировка

Взаимная блокировка (*deadlock*) — ситуация, при которой несколько процессов находятся в состоянии бесконечного ожидания ресурсов, занятых самими этими процессами.



Трудности организации связи

Многие распространенные параллельные среды (например, кластеры) зачастую состоят из гетерогенных компьютерных сетей. *Гетерогенные компьютерные сети*— это системы, которые состоят из компьютеров различных типов, работающих в общем случае под управлением различных операционных систем и использующих различные сетевые протоколы. Их процессоры могут иметь различную архитектуру, обрабатывать слова различной длины и использовать различные машинные языки. Системы могут различаться параметрами передачи данных. Это делает обработку ошибок и исключительных ситуаций (исключений) особенно сложной.

Модели параллельных вычислений

- **POSIX Threads - стандарт для нитей. Стандарт определяет API для создания и манипуляции нитями.**

  POSIX (*Portable Operating System Interface for Unix — Переносимый интерфейс операционных систем Unix*) – набор стандартов, описывающих интерфейсы между операционной системой и прикладной программой
- **PVM (Parallel Virtual Machine) – свободная реализация платформы для параллельных вычислений в гетерогенных сетях.**
- **MPI (Message Passing Interface] – языко-независимый протокол, используемый для программирования параллельных процессов.**
- **OpenMP – открытый API, поддерживающий программирование мультипроцессорных ЭВМ с разделенной моделью памяти.**
- **CUDA (*Compute Unified Device Architecture*) — программно-аппаратная архитектура параллельных вычислений с использованием графических**

POSIX Threads

POSIX определяет основной набор функций и структур данных, чтобы многопоточный код можно было легко передавать из одной операционной системы в другую.

Pthreads представляет собой прикладной программный интерфейс для выполнения большинства действий, необходимых для потоков. Сюда входит создание и прерывание потоков, ожидание завершения потоков и управление взаимодействием между ними, имеется несколько способов блокировки, которые не дают двум потокам одновременно изменять одни и те же значения данных.

Pthreads обеспечивает расширенное управление многопоточными операциями и является низкоуровневым, что приводит к выполнению простых задач разбиения на потоки в несколько этапов. Например, использование многопоточного цикла для последовательной обработки большого блока данных требует объявления многопоточных структур, создания каждого потока по отдельности, вычисления и назначения границ циклов для каждого потока, и, наконец, обработки прерывания потоков — все эти функции

PVM (Parallel Virtual Machine)

PVM представляет собой набор программных средств и библиотек, которые эмулируют общецелевые, гибкие гетерогенные вычислительные структуры для параллелизма во взаимосвязанных компьютерах с различными архитектурами. Главной целью системы PVM является обеспечение возможности совместного использования группы компьютеров совместно для взаимосвязанных или параллельных вычислений.

Конфигурируемый пользователем пул хостов: вычислительные задачи приложения выполняются с привлечением набора машин, которые выбираются пользователем для данной программы PVM. Вычисления, производимые с помощью процессов: единицей параллелизма в PVM является задача - независимый последовательный поток управления, который может быть либо коммуникационным, либо вычислительным.

Система PVM состоит из двух частей. Первая часть - это «демон»' под названием pvmd3, - который помещается на все компьютеры, создающие виртуальную машину.

Вторая часть системы - это библиотека подпрограмм

MPI (Message Passing Interface)

Базовым механизмом связи между MPI процессами является передача и приём сообщений. Сообщение несёт в себе передаваемые данные и информацию, позволяющую принимающей стороне осуществлять их выборочный приём.

Операции приёма и передачи могут быть блокирующимися и неблокирующимися. Для неблокирующихся операций определены функции проверки готовности и ожидания выполнения операции.

Другим способом связи является удалённый доступ к памяти, позволяющий читать и изменять область памяти удалённого процесса.

Локальный процесс может переносить область памяти удалённого процесса в свою память и обратно, а также комбинировать данные, передаваемые в удалённый процесс с имеющимися в его памяти данными.

Все операции удалённого доступа к памяти не блокирующиеся, однако, до и после их выполнения необходимо вызывать блокирующиеся функции синхронизации.

OpenMP

OpenMP предполагается SPMD-модель (Single Program Multiple Data) параллельного программирования, в рамках которой для всех параллельных нитей используется один и тот же код.

Программа начинается с последовательной области – сначала работает один процесс (нить), при входе в параллельную область порождается ещё некоторое число процессов, между которыми в дальнейшем распределяются части кода. По завершении параллельной области все нити, кроме одной, завершаются, и начинается последовательная область.

CUDA (*Compute Unified Device Architecture*)

Технология CUDA вводит ряд дополнительных расширений для языка C, которые необходимы для написания кода для GPU:

- **Спецификаторы функций, которые показывают, как и откуда буду выполняться функции.**
- **Спецификаторы переменных, которые служат для указания типа используемой памяти GPU.**
- **Спецификаторы запуска ядра GPU.**
- **Встроенные переменные для идентификации нитей, блоков и др. параметров при исполнении кода в ядре GPU .**
- **Дополнительные типы переменных.**

Основой для эффективного использования GPU в научных и иных неграфических расчётах является распараллеливание алгоритмов на сотни исполнительных блоков.

Использование моделей ПВ :

- **При необходимости решения задач распределенных вычислений на базе SMP-систем (*Symmetric Multiprocessing*), в качестве базы целесообразно выбирать OpenMP;**
- **При необходимости решения задач распределенных вычислений на базе гетерогенных систем лучше использовать PVM — он проще, чем MPI и потому способен дать в среднем более производительное решение;**
- **MPI следует использовать только в случае наличия в команде специалиста, имеющего опыт работы с этим API — будучи архитектурно достаточно сложным комплексом, в неумелых руках он способен дать меньшее ускорение, чем PVM.**

Основные понятия

- Компиляция программы
- Модель параллельной программы
- Директивы и функции
- Выполнение программы
- Замер времени

OpenMP

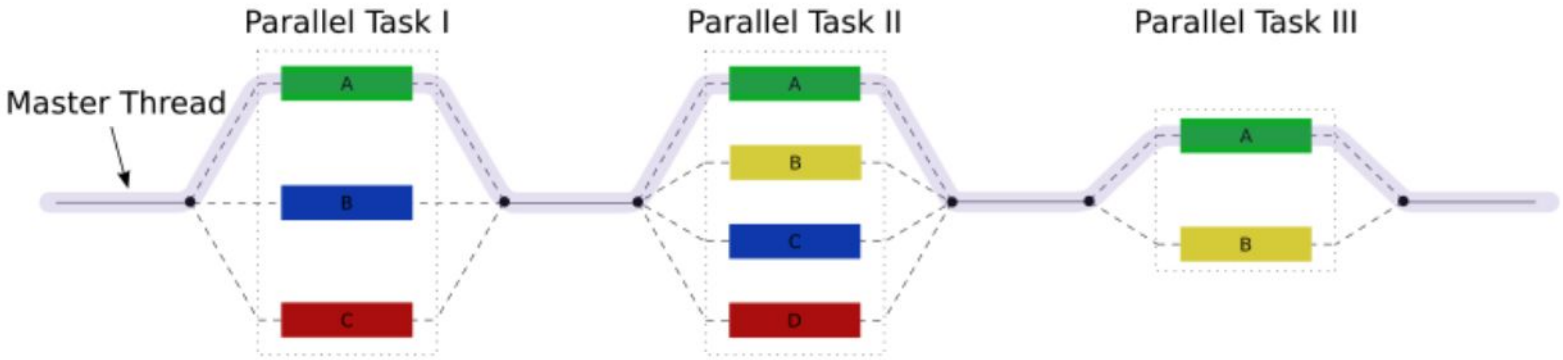
OpenMP (Open Multi-Processing) — открытый стандарт для ***распараллеливания программ*** на языках ***Си, Си++ и Фортран***. Описывает совокупность директив компилятора, библиотечных процедур и переменных окружения, которые предназначены для программирования ***многопоточных приложений*** на ***многопроцессорных системах с общей памятью***.

Преимущества OpenMP

- 1. Разработчик не создает новую параллельную программу, а просто последовательно добавляет в текст последовательной программы OpenMP-директивы.
- 2. OpenMP - достаточно гибкий механизм.
- 3. Нет необходимости поддерживать последовательную и параллельную версии. Директивы OpenMP просто игнорируются последовательным компилятором.
- 4. Директивы синхронизации и распределения работы могут не входить непосредственно в текст

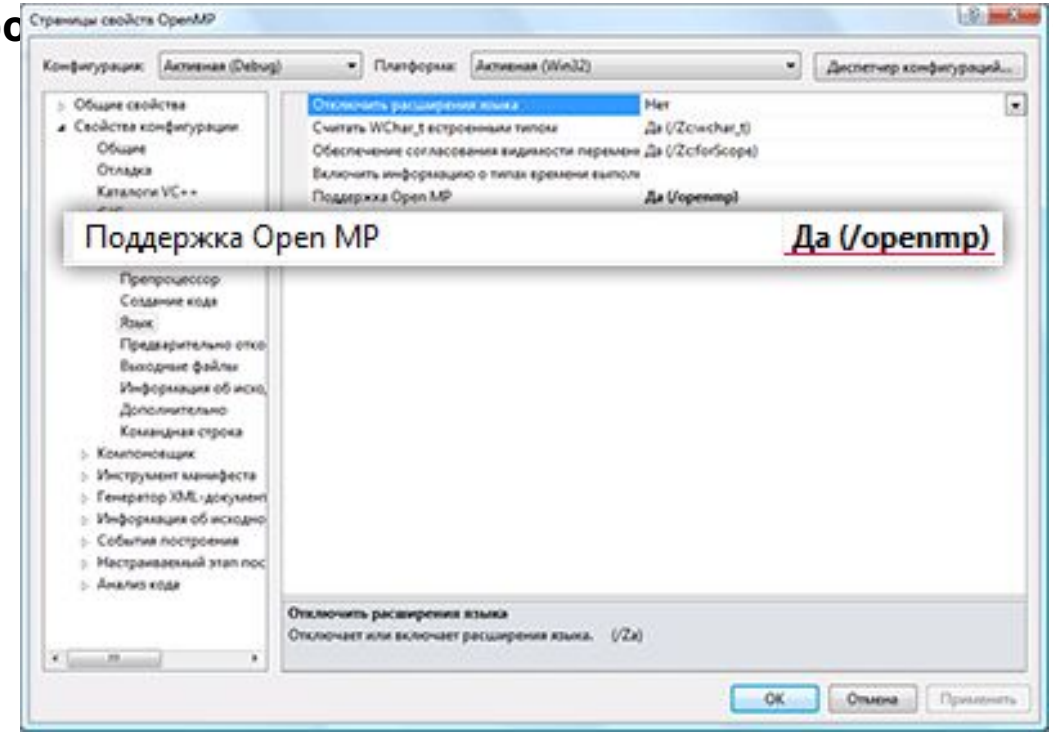
Модель параллельной программы

- OpenMP предполагается SPMD-модель (Single Program Multiple Data) параллельного программирования, в рамках которой для всех параллельных нитей используется один и тот же код.
- Программа начинается с последовательной области – сначала работает один процесс (нить), при входе в параллельную область порождается ещё некоторое число процессов, между которыми в дальнейшем распределяются части кода. По завершении параллельной области все нити, кроме одной (нити-мастера), завершаются, и начинается последовательная область.
- В программе может быть любое количество параллельных и последовательных областей.
- Необходимо синхронизировать доступ к общим данным. Само наличие данных, общих для нескольких нитей, приводит к конфликтам при одновременном несогласованном доступе.
- OpenMP не выполняет синхронизацию доступа различных нитей к одним и тем же файлам.



Компиляция программы

- **Для использования механизмов OpenMP нужно скомпилировать программу компилятором, поддерживающим OpenMP, с указанием соответствующего ключа (например, в Visual C++ - /openmp).**
- **В Microsoft Visual Studio для использования OpenMP в настройках проекта необходимо включить поддержку: Включение OpenMP**
  - **(Про Open MP)**

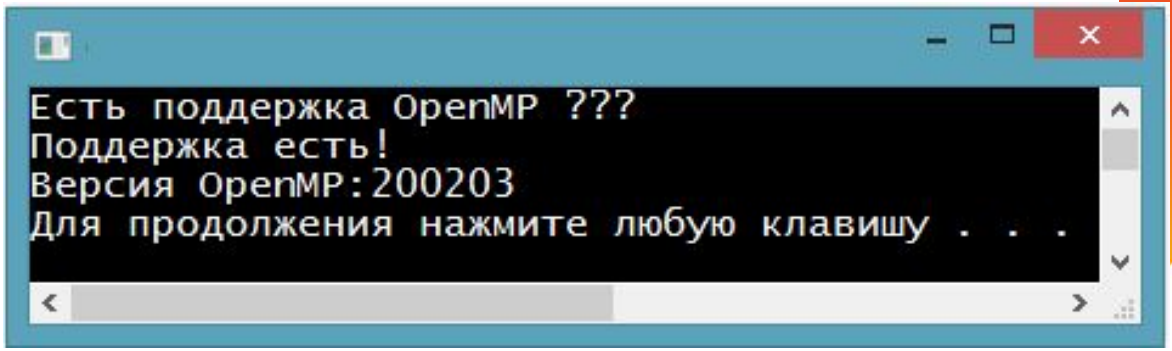


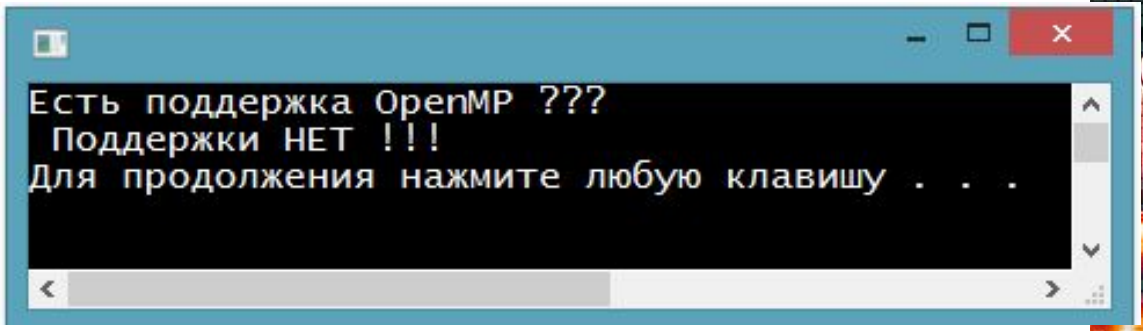
Использование OpenMP

- Заголовочный файл библиотеки называется omp.h:
  #include <omp.h>
- Директивы OpenMP для C/C++ в общем случае выглядят так:
  #pragma omp <директива> [<не обязательные пункты директивы>]
  Где директива определяет что нужно сделать, а пункты директивы управляют ее работой.
- макрос _OPENMP определён в формате yyyymm, где yyyy и mm – цифры года и месяца, когда был принят поддерживаемый стандарт OpenMP (стандарт OpenMP 3.0, определяет _OPENMP в 200805).

Пример 1

```
#include "stdafx.h"
#include <iostream>
#include "windows.h"
#include <omp.h>
using namespace std;
int main(){
SetConsoleCP(1251);
SetConsoleOutputCP(1251);
  cout<<"Есть поддержка OpenMP ??? \n";
#ifdef  _OPENMP
cout<<"Поддержка есть! \n";
cout<<"Версия OpenMP:" << _OPENMP << "\n";
#else
 cout<<" Поддержки НЕТ !!! \n
#endif
system("Pause");
}
```





Директивы и функции

- **Формат директивы на Си/Си++:**
  #pragma omp directive-name [опция[[,] опция]…]
- **Ассоциированные с директивы OpenMP :**
  - **определение параллельной области,**
  - **распределение работы,**
  - **синхронизация.**
- **Каждая директива может иметь несколько дополнительных атрибутов – опций (clause).**
- **Все функции, используемые в OpenMP, начинаются с префикса omp_ и записываются строчными буквами.**

Замер времени

Функции для работы с системным таймером:

- **omp_get_wtime() - возвращает в вызвавшей нити астрономическое время в секундах (вещественное число двойной точности), прошедшее с некоторого момента в прошлом. (double omp_get_wtime(void));**

Гарантируется, что момент времени, используемый в качестве точки отсчета, не будет изменён за время существования процесса. Таймеры разных нитей могут быть не синхронизированы и выдавать различные значения.

- **omp_get_wtick() возвращает в вызвавшей нити разрешение таймера в секундах(точность таймера). (double omp_get_wtick(void))**

Пример 2

```
#include "stdafx.h"
#include <iostream>
#include "windows.h"
#include <omp.h>
using namespace std;
int main(){
SetConsoleCP(1251);
SetConsoleOutputCP(1251);
 double start_time, end_time, tick;
 start_time = omp_get_wtime();
 end_time = omp_get_wtime();
 tick = omp_get_wtick();
 cout<< "Время на замер времени " << end_time << " -  "
<< start_time  << " =  "  << end_time-start_time <<"\n";
 cout << "Точность таймера  " <<   tick << "\n";
system("Pause");
}
```