

архитектуры суперкомпьютеров «Ломоносов» и Blue Gene/L.

Векторно-конвейерные компьютеры. Середина 70-х годов.

Особенности архитектуры: векторные функциональные устройства, зацепление функциональных устройств, векторные команды в системе команд, векторные регистры.

Программирование: векторизация самых внутренних циклов.

Суперкомпьютер Cray-1

Векторно-параллельные компьютеры. 80-е.

Особенности архитектуры: векторные функциональные устройства, зацепление функциональных устройств, векторные команды в системе команд, векторные регистры. Небольшое число процессоров объединяются над общей памятью.

Программирование: векторизация самых внутренних циклов и распараллеливание на внешнем уровне, единое адресное пространство, локальные и глобальные переменные.

Суперкомпьютер Cray X-MP

Массивно-параллельные компьютеры. Начало 90-х годов.

Особенности архитектуры: тысячи процессоров объединяются с помощью коммуникационной сети по некоторой топологии, распределенная память.

Программирование: обмен сообщениями, отсутствие единого адресного пространства, PVM, Message Passing Interface. Необходимость выделения массового параллелизма, явного распределения данных и согласования параллелизма с распределением.

Суперкомпьютер Cray T3D, Суперкомпьютер Intel Paragon XPS140

Параллельные компьютеры с общей памятью. Середина 90-х годов.

Особенности архитектуры: сотни процессоров объединяются над общей памятью.

Программирование: единое адресное пространство, локальные и глобальные переменные, Linda, OpenMP.

DEC AlphaServer, суперкомпьютер Sun StarFire

Кластеры из узлов с общей памятью. Середина 2000-х.

Особенности архитектуры: большое число многопроцессорных узлов объединяются вместе с помощью коммуникационной сети по некоторой топологии, распределенная память; в рамках каждого узла несколько (многоядерных) процессоров объединяются над общей памятью.

Программирование: неоднородная схема MPI+OpenMP; необходимость выделения массового параллелизма, явное распределение данных, обмен сообщениями на внешнем уровне; распараллеливание в едином адресном пространстве, локальные и глобальные переменные на уровне узла с общей памятью.

Суперкомпьютер МГУ «Чебышев», «К» суперкомпьютер

Кластеры из узлов с общей памятью с ускорителями. 2010-е.

Особенности архитектуры: большое число многопроцессорных узлов объединяются вместе с помощью коммуникационной сети по некоторой топологии, распределенная память; в рамках каждого узла несколько (многоядерных) процессоров объединяются над общей памятью; на каждом узле несколько ускорителей (GPU, Phi).

Программирование: MPI+OpenMP+OpenCL/CUDA.

Суперкомпьютер МГУ «Ломоносов», Суперкомпьютер Tianhe-2

Особенности современных микропроцессоров:

- один процессор, как правило, содержит несколько ядер
- используется многоуровневая система кеширования доступа к памяти (L1 кеш очень быстрый и для одного ядра; L2 кеш больше, но медленнее, но все еще для одного ядра; L3 кеш еще больше и для всего процессора). Кешируются как данные, так и инструкции
- процессор может переупорядочивать или смешивать инструкции и доступы к памяти
- появляются физические акселераторы для некоторых вычислительных задач (например, для криптографии или архивирования/кодирования)
- инструкции конвейеризируются, то есть разбиваются на мелкие части (вроде получения инструкции, декодирования инструкции, чтения операнда из памяти, вычисления выражения и записи результата, на самом деле у современных процессоров таких частей 16-32), что ускоряет работу инструкций
- появляются специализированные процессоры, например, GPU. Они имеют свои особенности: огромное число ядер (которые одновременно исполняют одну и ту же инструкцию), специальные правила доступа к памяти, большое количество регистров

Ломоносов состоит из гибридных вычислительных узлов на процессорах **Intel Xeon** (либо 2 процессора по 4 ядра, либо 2 процессора по 6 ядер и 12-48 гб памяти на узле) и GPU-процессоров **Nvidia**. Количество x86 узлов: 5104, графических узлов 1065, x86 процессоров/ядер 12 346 / 52 168, графических ядер 954 240, суммарная оперативная память 92 Тб. Узлы соединяются четырьмя сетями: Infiniband для вычислений, 2 x Gigabit Ethernet для сервисной и управляющей сети, и отдельная сеть для глобальных барьеров и прерываний. Есть общая ФС. Пиковая производительность **1.7 Пфлопс**.

BlueGene состоит из вычислительных узлов с двумя процессорами **PowerPC 440** 700MHz (в процессоре по 4 ядра) и 2GB памяти на узел. В одной стойке находится 1024 вычислительных узла, есть две стойки. Суммарное количество ядер — 16384, память 4 ТВ. Есть 5 коммуникативных сетей: тор для пересылок точка-точка, сеть для коллективных операций, сеть для глобальных барьеров и прерываний, функциональная и сервисная Ethernet-сети. Пиковая производительность **28 Тфлопс**.

Последовательная сложность алгоритма — число операций, которые нужно выполнить при его последовательном исполнении.

Параллельная сложность алгоритма — число шагов, за которое можно выполнить данный алгоритм в предположении доступности неограниченного числа необходимых процессоров (функциональных устройств, вычислительных узлов, ядер и т.п.).

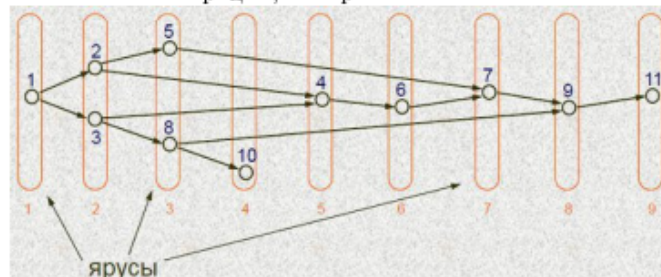
Граф алгоритма — это ориентированный ациклический мультиграф, вершины которого соответствуют операциям алгоритма, а дуги — передаче данных между ними. Вершины графа алгоритма могут соединяться несколькими дугами, в частности когда в качестве разных аргументов одной и той же операции используется одна и та же величина. Граф алгоритма почти всегда является параметризованным графом. Он используется как удобное представление алгоритма при исследовании его структуры, ресурса параллелизма, а также других свойств. Его можно рассматривать как параметризованную информационную историю. Он сохраняет ее информативность, при этом обладая компактностью за счет параметризации. Разработана методика построения графа алгоритма по исходному тексту программ.

Ярусно-параллельная форма (ЯПФ) — это представление графа алгоритма, в котором:

- все вершины разбиты на перенумерованные подмножества ярусов
- начальная вершина каждой дуги расположена на ярусе с номером меньшим, чем номер яруса конечной вершины
- между вершинами, расположенными на одном ярусе, не может быть дуг

Высота ЯПФ — это число ярусов. **Ширина яруса** — число вершин, расположенных на ярусе. **Ширина ЯПФ** — это максимальная ширина ярусов в ЯПФ.

Канонической ярусно-параллельной формой называется ЯПФ, высота которой на единицу больше длины критического пути, а все входные вершины расположены на первом ярусе. Для заданного графа его каноническая ЯПФ единственна. Высота канонической ЯПФ соответствует параллельной сложности алгоритма. Критический путь графа — путь максимальной длины в ориентированном ациклическом графе. **Степень параллелизма** — число операций, которые можно выполнять в любом порядке.



Ресурс параллелизма — это где и насколько мы можем сделать программу более эффективной за счет распараллеливания.

Закон Амдала

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

где S_p — ускорение, α — доля последовательных операций, p — число процессоров в системе.