**16. Основные классы современных параллельных компьютеров. MPP, SMP, NUMA, PVP.**

Основным параметром классификации параллельных компьютеров является наличие общей (SMP) или распределенной памяти (MPP). Нечто среднее между SMP и MPP представляют собой NUMA-архитектуры, где память физически распределена, но логически общедоступна. Кластерные системы являются более дешевым вариантом MPP. При поддержке команд обработки векторных данных говорят о векторно-конвейерных процессорах, которые, в свою очередь могут объединяться в PVP-системы с использованием общей или распределенной памяти.

Все большую популярность приобретают идеи комбинирования различных архитектур в одной системе и построения неоднородных систем.

При организациях распределенных вычислений в глобальных сетях (Интернет) говорят о мета-компьютерах, которые, строго говоря, не представляют из себя параллельных архитектур.

**Массивно-параллельные системы (MPP)**

*Архитектура*:

Система состоит из однородных *вычислительных узлов*, включающих:

1. один или несколько центральных процессоров (обычно RISC),
2. локальную память (прямой доступ к памяти других узлов невозможен),
3. коммуникационный процессор или сетевой адаптер
4. иногда - жесткие диски (как в SP) и/или другие устройства В/В

К системе могут быть добавлены специальные узлы ввода-вывода и управляющие узлы. Узлы связаны через некоторую коммуникационную среду (высокоскоростная сеть, коммутатор и т.п.)

*Примеры*: IBM RS/6000 SP2, Intel PARAGON/ASCI Red, SGI/CRAY T3E, Hitachi SR8000, транспьютерные системы Parsytec.

*Масштабируемость*: Общее число процессоров в реальных системах достигает нескольких тысяч (ASCI Red, Blue Mountain).

*Операционная система*: Существуют два основных варианта:

1. Полноценная ОС работает только на управляющей машине (front-end), на каждом узле работает сильно урезанный вариант ОС, обеспечивающие только работу расположенной в нем ветви параллельного приложения. Пример: Cray T3E.

2. На каждом узле работает полноценная UNIX-подобная ОС (вариант, близкий к кластерному подходу). Пример: IBM RS/6000 SP + ОС AIX, устанавливаемая отдельно на каждом узле.

*Модель программирования*: Программирование в рамках модели передачи сообщений ( MPI, PVM, BSPlib).

**Симметричные мультипроцессорные системы** (SMP)

*Архитектура:* Система состоит из нескольких однородных процессоров и массива общей памяти (обычно из нескольких независимых блоков). Все процессоры имеют доступ к любой точке памяти с одинаковой скоростью. Процессоры подключены к памяти либо с помощью общей шины (базовые 2-4 процессорные SMP-сервера), либо с помощью crossbar-коммутатора (HP 9000). Аппаратно поддерживается когерентность кэшей.

*Примеры:* HP 9000 V-class, N-class; SMP-cервера и рабочие станции на базе процессоров Intel (IBM, HP, Compaq, Dell, ALR, Unisys, DG, Fujitsu и др.).

*Масштабируемость:* Наличие общей памяти сильно упрощает взаимодействие процессоров между собой, однако накладывает сильные ограничения на их число - не более 32 в реальных системах. Для построения масштабируемых систем на базе SMP используются кластерные или NUMA-архитектуры.

*Операционная система:* Вся система работает под управлением единой ОС (обычно UNIX-подобной, но для Intel-платформ поддерживается Windows NT). ОС автоматически (в процессе работы) распределяет процессы/нити по процессорам (scheduling), но иногда возможна и явная привязка.

*Модель программирования:* Программирование в модели общей памяти. (POSIX threads, OpenMP). Для SMP-систем существуют сравнительно эффективные средства автоматического распараллеливания.

**Системы с неоднородным доступом к памяти** (NUMA)

*Архитектура:* Система состоит из однородных базовых модулей (плат), состоящих из небольшого числа процессоров и блока памяти. Модули объединены с помощью высокоскоростного коммутатора. Поддерживается единое адресное пространство, аппаратно поддерживается доступ к удаленной памяти, т.е. к памяти других модулей. При этом доступ к локальной памяти в несколько раз быстрее, чем к удаленной. В случае, если аппаратно поддерживается когерентность кэшей во всей системе (обычно это так), говорят об архитектуре cc-NUMA (cache-coherent NUMA).

*Примеры:* HP HP 9000 V-class в SCA-конфигурациях, SGI Origin2000, Sun HPC 10000, IBM/Sequent NUMA-Q 2000, SNI RM600.

*Масштабируемость:* Масштабируемость NUMA-систем ограничивается объемом адресного пространства, возможностями аппаратуры поддежки когерентности кэшей и возможностями операционной системы по управлению большим числом процессоров. На настоящий момент, максимальное число процессоров в NUMA-системах составляет 256 (Origin2000).

*Операционная система:* Обычно вся система работает под управлением единой ОС, как в SMP. Но возможны также варианты динамического "подразделения" системы, когда отдельные "разделы" системы работают под управлением разных ОС (например, Windows NT и UNIX в NUMA-Q 2000).

*Модель программирования:* Программирование в модели общей памяти. (POSIX threads, OpenMP). Для SMP-систем существуют сравнительно эффективные средства автоматического распараллеливания.

**Параллельные векторные системы** (PVP)

*Архитектура:* Основным признаком PVP-систем является наличие специальных векторно-конвейерных процессоров, в которых предусмотрены команды однотипной обработки векторов независимых данных, эффективно выполняющиеся на конвейерных функциональных устройствах. Как правило, несколько таких процессоров (1-16) работают одновременно над общей памятью (аналогично SMP) в рамках многопроцессорных конфигураций. Несколько таких узлов могут быть объединены с помощью коммутатора (аналогично MPP).

*Операционная система:* NEC SX-4/SX-5, линия векторно-конвейерных компьютеров CRAY: от CRAY-1, CRAY J90/T90, CRAY SV1, серия Fujitsu VPP.

*Модель программирования:* Эффективное программирование подразумевает векторизацию циклов (для достижения разумной производительности одного процессора) и их распараллеливание (для одновременной загрузки нескольких процессоров одним приложением).