

Тема: Вычислительные системы - понятие, виды, классификация и режимы работы.

Вычислительная система, - это совокупность аппаратно-программных средств, образующих единую среду, предназначенную для решения задач обработки информации (вычислений). Первоначально универсальная вычислительная система создавались на основе однопроцессорных компьютеров с целью увеличения их быстродействия. В первых компьютерах процессоры сами управляли операциями ввода-вывода. Однако скорость работы внешнего устройства значительно меньше скорости работы процессора, поэтому во время операций ввода-вывода процессор фактически простаивал. Чтобы сбалансировать их работу, в кон. 1950-х – нач. 1960-х гг. компьютеров начали комплектовать независимыми процессорами ввода-вывода для параллельного выполнения вычислений и операций обмена данными, тогда и появился термин «вычислительная система». Основными преимуществами вычислительная система по сравнению с однопроцессорной компьютеров являются: значительное повышение производительности за счет статического или динамического распараллеливания процесса решения задачи (напр., выполнение отд. частей задачи на разл. процессорах); увеличение эффективности использования оборудования за счет более полной его загрузки; повышение надежности системы и др.

Из чего состоит любая вычислительная система? Во-первых, из того, что в англоязычных странах принято называть словом *hardware*, или техническое обеспечение: *процессор*, память, монитор, дисковые устройства и т.д., объединенные магистральным соединением, которое называется шиной. Некоторые сведения об архитектуре компьютера имеются в приложении 1 к настоящей лекции.

Во-вторых, вычислительная система состоит из программного обеспечения. Все программное обеспечение принято делить на две части: прикладное и системное. К прикладному программному обеспечению, как правило, относятся разнообразные банковские и прочие бизнес-программы, игры, текстовые процессоры и т. п. Под системным программным обеспечением обычно понимают программы, способствующие функционированию и разработке прикладных программ. Надо сказать, что деление на прикладное и системное программное обеспечение является отчасти условным и зависит от того, кто осуществляет такое деление. Так, обычный пользователь, неискушенный в программировании, может считать Microsoft Word системной программой, а, с точки зрения программиста, это – приложение. Компилятор языка Си для обычного программиста – системная программа, а для системного – прикладная. Несмотря на эту нечеткую грань, данную ситуацию можно отобразить в виде последовательности слоев (см. рис. 1.1), выделив отдельно наиболее общую часть системного программного обеспечения – операционную систему:



Рис. 1.1. Слои программного обеспечения компьютерной системы

Вычислительная система (ВС) - это взаимосвязанная совокупность аппаратных средств вычислительной техники и программного обеспечения, предназначенная для обработки информации.

Иногда под ВС понимают совокупность технических средств компьютера, в которую входит не менее двух процессоров, связанных общностью управления и использования общесистемных ресурсов (память, периферийные устройства, программное обеспечение и т.п.).

Постоянное увеличение степени интеграции и быстродействия элементов совр. *микропроцессоров*, высокий уровень их надежности и относительная дешевизна позволяют строить вычислительная система путем объединения необходимого числа микропроцессоров и организации параллельной обработки данных. Параллелизм в вычислениях в значит. степени усложнил управление вычислит. процессом, а также распределение аппаратных и программных ресурсов. Поэтому важная роль в вычислительная система стала отводиться *операционной системе*, выполняющей функции планирования вычислит. процесса и распределения ресурсов (оперативной и внешней памяти, процессоров, периферийного оборудования и др.), а также оптимизирующим *компиляторам* с языков высокого уровня, позволяющим в наибольшей степени использовать архит. особенности микропроцессоров. Большую роль в достижении высокой эффективности работы вычислительная система играет система коммутации, связывающая процессоры между собой или с модулями оперативной памяти. Как правило, для этого применяют общую шину, с которой соединены процессоры и модули памяти. В вычислительная система, состоящих из нескольких процессоров, обычно используют матричные коммутаторы, а также топологию связи – кольцо, звезда и др. При объединении большого числа процессоров применяют более сложные топологии связи – тор, гиперкуб и др.

Современные вычислительная система сильно отличаются друг от друга своими возможностями и характеристиками, и этим обусловлено разнообразие признаков, по которым классифицируют вычислительная система (напр., по типам и числу компьютеров или процессоров, архитектуре системы, режимам работы, методам управления элементами системы). Так, вычислительная система бывают разделимые (включающие неск. ЭВМ, которые способны работать независимо друг от друга) и неразделимые (или многопроцессорные, состоящие из процессоров, каждый из которых может выполнять свои функции только в составе вычислительная система). Одним из видов неразделимых вычислительная система являются *кластеры*, состоящие из нескольких связанных между собой ЭВМ, которые находятся в едином корпусе или соединены скоростным каналом связи.

Вычислительная система делят также на однородные и неоднородные. Однородная вычислительная система строится на базе однотипных процессоров или ЭВМ, а неоднородная состоит из компьютеров или процессоров разл. типов. Выделяют многомашинные и многопроцессорные вычислительная система. В многомашинных вычислительная система каждый из процессоров имеет свою локальную оперативную память и работает, как правило, под управлением своей операционной системы, а в многопроцессорных вычислительная система процессоры работают с общей оперативной памятью под управлением единой операционной системы. Также выделяют классы параллельных вычислительная система: SMP (симметричная мультипроцессорная обработка данных – группа процессоров работает с общей памятью), MPP (вычислительная система с массовым параллелизмом – процессоры, число которых практически не ограничено, работают каждый со своей памятью), NUMA (промежуточная архитектура, сочетающая свойства классов SMP и MPP).

Если в состав вычислительная система кроме цифровых вычислительных машин входят *аналоговые вычислительные машины*, то она относится к гибридным вычислительная система. Эти вычислительная система обычно используются при моделировании сложных систем, динамич. процессов и др., напр. при разработке геолого-

технологич. моделей нефтяных и газовых месторождений, систем управления полетом самолета.

В 1966 М. Флинн (США) предложил классифицировать вычислительная система по числу потоков команд и потоков данных. Он выделил 4 класса: SISD (один поток команд – один поток данных), к которому относятся системы с одним процессором; SIMD (один поток команд – много потоков данных), включающий однородные векторные и матричные вычислительная система; MISD (много потоков команд – один поток данных); MIMD (много потоков команд – много потоков данных), в котором каждый процессор работает по своей программе и со своими данными. Эта классификация до сих пор актуальна, однако она не позволяет достаточно полно и точно охарактеризовать все виды вычислительная система (напр., потоковые), поэтому попытки более точно систематизировать все разнообразие вычислительная система продолжаются. Напр., классификация Базу (США, 1987) основана на последовательном определении принятых при проектировании вычислительная система решений: уровня параллелизма (данные, команды или задачи), метода реализации алгоритмов (аппаратный или программный), способа параллельного выполнения команд (конвейеризация или одновременное независимое), а также способа управления процессом выполнения команд (синхронный или асинхронный). Кришнамурти (Индия, 1989) предложил классифицировать вычислительная система по четырем характеристикам: уровню параллелизма; способу реализации параллелизма (аппаратный или аппаратно-программный), топологии (матрица, линейный массив, тор, дерево, звезда и др.), степени связи процессоров (сильная, слабая, средняя) и механизму взаимодействия процессоров (посредством передачи сообщений, разделяемых переменных или по готовности операндов), способу управления (синхронный, асинхронный, потоком данных).

Важными вехами в развитии вычислительная система стало создание таких систем, как ILLIAC IV (сдана в эксплуатацию в 1974; матричная вычислительная система из 64 процессоров), векторно-конвейерные «Cray-1» (1976, США), «Cyber 205» (1981, США), «Cray C90» (1991, США), вычислительная система с массовым параллелизмом «Connection Machine-1» (объединяла 65 536 одноразрядных процессоров, связанных через гиперкуб, 1985), «Cray T3E» (1995) и др. В России выпускались вычислительная система ПС-2000 (произ-во с 1981) и ПС-3000 (произ-во в 1984–87), многопроцессорные вычислит. комплексы «Эльбрус-1» (1980), «Эльбрус-2» (1985). Самая быстродействующая вычислительная система в России на середину 2015 – «Ломоносов-2» производства компании «Т-Платформы», установленная в МГУ им. М. В. Ломоносова. Она занимает 31-е место в июньском выпуске международного рейтинга суперкомпьютеров TOP500, достигая производительности 1,8 Пфлопс (1 Пфлопс=10¹⁵ операций над вещественными числами в секунду) в тесте LINPACK при теоретическом пределе используемого оборудования в 2,6 Пфлопс. Первое место в TOP500 с рекордной производительностью в 33,8 Пфлопс занимает вычислительная система «Тяньхэ-2», спроектированная Оборонным научно-техническим университетом Народно-освободительной армии КНР.

Ресурсы вычислительной системы

К ресурсам вычислительной системы относят такие средства вычислительной системы, которые могут быть выделены процессу обработки данных на определенный квант времени. Основными ресурсами ВС являются процессоры, области оперативной памяти, наборы данных, периферийные устройства, программы.

Виды вычислительных систем

• В зависимости от ряда признаков различают следующие **вычислительные системы (ВС)**:

• однопрограммные и многопрограммные (в зависимости от количества программ, одновременно находящихся в оперативной памяти);

• индивидуального и коллективного пользования (в зависимости от числа пользователей, которые одновременно могут использовать ресурсы ВС);

• с пакетной обработкой и разделением времени (в зависимости от организации и обработки заданий);

- однопроцессорные, многопроцессорные и многомашинные (в зависимости от числа процессоров);
- сосредоточенные, распределенные (вычислительные сети) и ВС с теледоступом (в зависимости от территориального расположения и взаимодействия технических средств);
- работающие или не работающие в режиме реального времени (в зависимости от соотношения скоростей поступления задач в ВС и их решения);
- универсальные, специализированные и проблемно-ориентированные (в зависимости от назначения);
- вычислительная система с распределенной памятью (: Вычислительная система с распределенной памятью; Вычислительные системы с распределенной памятью;)

Вычислительная система с распределенной памятью (distributed memory) – система, в которой каждый процессор обладает собственной локальной памятью, а общая память отсутствует. Обмен информацией между составляющими системы обеспечивается с помощью коммуникационной сети посредством обмена сообщениями.

Часто такие системы объединяют отдельные ВМ. Данный вид ВС называют слабо связанными (loosely coupled systems). Слабо связанные системы встречаются как в классе SIMD, так и в классе MIMD. Подобное построение ВС снимает ограничения, свойственные для общей шины, но приводит к дополнительным издержкам на пересылку сообщений между процессорами или машинами. Многопроцессорность ВС приводит еще к одной проблеме - проблеме одновременного доступа к памяти со стороны нескольких процессоров.

Режимы работы вычислительных систем Мультипрограммирование

Мультипрограммирование - это режим обработки данных, при котором ресурсы вычислительной системы предоставляются каждому процессу из группы процессов обработки данных, находящихся в ВС, на интервалы времени, длительность и очередность предоставления которых определяется управляющей программой этой системы с целью обеспечения одновременной работы в интерактивном режиме.

Режим реального времени

Режим реального времени - режим обработки данных, при котором обеспечивается взаимодействие вычислительной системы с внешними по отношению к ней процессами в темпе, соизмеримом со скоростью протекания этих процессов.

Этот режим обработки данных широко используется в системах управления и информационно-поисковых системах.

Однопрограммный режим работы вычислительной системы (ВС)

Аппаратные средства ЭВМ совместно с программным обеспечением образуют ВС. В зависимости от класса ЭВМ и вида операционной системы ВС могут работать в режимах однопрограммном и мультипрограммном.

В однопрограммном режиме работы в памяти ЭВМ находится и выполняется только одна программ. Такой режим обычно характерен для микро-ЭВМ и персональных ЭВМ, то есть для ЭВМ индивидуального пользования.

Мультипрограммный (многопрограммном) режим работы вычислительной системы (ВС)

В мультипрограммном (многопрограммном) режиме работы в памяти ЭВМ находится несколько программ, которые выполняются частично или полностью между переходами процессора от одной задачи к другой в зависимости от ситуации, складывающейся в системе.

В мультипрограммном режиме более эффективно используются машинное время и оперативная память, так как при возникновении каких-либо ситуаций в выполняемой

задаче, требующих перехода процессора в режим ожидания, процессор переключается на другую задачу и выполняет ее до тех пор, пока в ней не возникает подобная ситуация, и т.д.

При реализации мультипрограммного режима требуется определять очередность переключения задач и выбирать моменты переключения, чтобы эффективность использования машинного времени и памяти была максимальной.

Мультипрограммный режим обеспечивается аппаратными средствами ЭВМ и средствами операционной системы. Он характерен для сложных ЭВМ, где стоимость машинного времени значительно выше, чем у микро-ЭВМ. Разработаны также мультипрограммные ОС, позволяющие одновременно следить за решением нескольких задач и повышать эффективность работы пользователя.

Режим пакетной обработки

В зависимости от того, в каком порядке при мультипрограммном режиме выполняются программы пользователей, различают режимы пакетной обработки задач и коллективного доступа.

В режиме пакетной обработки задачи выстраиваются в одну или несколько очередей и последовательно выбираются для их выполнения.

Режим коллективного доступа

В режиме коллективного доступа каждый пользователь ставит свою задачу на выполнение в любой момент времени, то есть для каждого пользователя в такой ВС реализуется режим индивидуального пользования. Это осуществляется обычно с помощью квантования машинного времени, когда каждой задаче, находящейся в оперативной памяти ЭВМ, выделяется квант времени. После окончания кванта времени процессор переключается на другую задачу или продолжает выполнение прерванной в зависимости от ситуации в ВС. Вычислительные системы, обеспечивающие коллективный доступ пользователей с квантованием машинного времени, называют ВС с разделением времени.

Классификация вычислительных систем

Классификация определяется набором *признаков*, которые характеризуют *внутренние параметры* объектов классификации. При этом выбираются наиболее важные признаки, определяющие *внешние параметры* этих объектов.

В том случае, когда объектами классификации являются *вычислительные системы* (ВС), задача классификации усложняется из-за многообразия областей применения ВС и, следовательно, многообразия видов ВС, поскольку ВС являются специализированными в соответствии с классом решаемых задач.

Однако есть два фактора, которые надо принимать во внимание какие бы виды ВС не рассматривались. Это

- - *какие задачи* должны решаться с помощью ВС,
- - *какие понадобятся вычислительные средства* и как они должны быть *взаимосвязаны*, чтобы требуемые задачи можно было решить *за заданное время* (или в другой постановке – определяется *время*, необходимое для решения требуемых задач *на выбранных вычислительных средствах*).

Решаемые задачи весьма условно можно разделить по характеру взаимодействия между частями задачи (вычислительными процессами) на: *сильно связанные* и *ослабленными связями*.

Вычислительные средства, предназначенные для решения отмеченных выше задач, назовем соответственно:

- - *многопроцессорными вычислительными системами* (МПВС),
- - *многомашинными вычислительными системами* (ММВС).

Состав вычислительных средств и *связи* между этими средствами – это *основные классификационные признаки*, характеризующие любую техническую структуру, в том числе и ВС, поскольку вычислительная система является технической структурой.

Отметим, что здесь рассматриваются ВС, которые по классификации М. Дж. Флинна относятся к группе «много команд, много данных».

Что касается используемых далее терминов, то среди возможных синонимов выбираются, во-первых, **русские**, если они есть (например, *многомашинные*, а не *мультикомпьютерные*), во-вторых, наиболее **простые** (например, *коммутатор*, а не *средства коммутации* или *коммуникационная сеть*). Рекомендуемые термины далее выделяются курсивом.

Классификация ВС по основным признакам, характеризующим структуру этих технических объектов, приведена в таблице 1. В таблицу включены дополнительные признаки, отражающие особенности организации памяти, передачи данных, управления и конструктивной реализации ВС.

Таблица 1 – Классификация ВС

Признак классификации	Многопроцессорная ВС	Многомашинная ВС
Состав структуры	<i>CP*</i> , <i>PM</i> , <i>BM</i> , <i>EM</i> , <i>I/O</i> , <i>SW</i>	<i>BM</i> (ЭВМ, МПВС), <i>EM</i> , <i>I/O</i> , <i>SW</i>
Вид связи между элементами структуры (вид коммутатора)	Матричный <i>SW</i> , многоступенчатый <i>SW</i> , общая шина	Шинные (многошинный <i>SW</i> и др.) или линковые (<i>SW</i> с регулярными связями и др.)
Организация памяти	Общая память	Распределенная память
Способ передачи данных	Параллельный (сильная связь)	Параллельно-последовательный (ослабленная связь)
Приемник передаваемых данных	—	Кэш-память или оперативная память
Инициатор передачи данных	—	Процесс-последователь или процесс-предшественник
Операционная система (ОС), управление	Общая, централизованное	Копии ОС и общая надстройка, смешанное
Пространственное размещение элементов структуры	На одной плате или в одном блоке	В одном блоке, в одной стойке и т.д. (в одном помещении)

* *CP* – *центральный процессор* (не содержит кэш-памяти *CM*); *PM* – *процессорный модуль*, т.е. *CP+CM*, при этом *CM* может быть двухуровневой; *BM* – *оперативная память*, которая может состоять из одного или нескольких модулей *ММ* (2, 4, 8 ...); *ММ* – *модуль оперативной памяти*, который представляет собой *секционированную память* с числом секций, равным числу слов в блоке *CM* (обычно 4), *EM* – *внешняя память* на магнитных или оптических носителях информации; *I/O* – *устройства ввода/вывода*; *SW* – *коммутатор*, т.е. совокупность средств, обеспечивающих взаимодействие между элементами структуры. В состав *SW* помимо *ключевых элементов* входит устройство управления, выполняющее функции маршрутизации, арбитража и т.п., *BM* – *вычислительный модуль* (это компьютеров или МПВС).

Образ единой ВС поддерживается совокупностью как аппаратных, так и программных средств (операционной системой). Однако приводимая классификация ориентирована главным образом на организацию аппаратных средств.

Схема классификации ВС приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема классификации ВС

Рассмотрим каждый вид ВС более подробно.

Многопроцессорные ВС характеризуются *сильными связями и общей памятью*.

Особенностью МПВС является то, что время обращения любого процессора к памяти *одинаковое*. В зарубежной литературе такие МПВС называют *UMA (Uniform Memory Access)* – ВС с *однородным* доступом к памяти. Работа МПВС характеризуется также аббревиатурой *SMP (Symmetrical Multiprocessor Processing)* – *однородная* (симметричная) многопроцессорная обработка, которая достигается за счет циклического изменения приоритетов процессоров.

Многопроцессорные ВС с различными коммутаторами показаны на рисунке 2.

Рисунок 2 – Многопроцессорные ВС с различными коммутаторами

а – МПВС с матричным коммутатором; б – двухступенчатый коммутатор 16х4;
в – МПВС с общей шиной (коммутатор «размазан» по РМ).

Многомашинные ВС (ММВС) характеризуются *ослабленными связями* и *распределенной памятью* (рисунок 3).

Связи в ММВС могут быть в виде *шин* или в виде *линков*, т.е. . Об этом говорит сайт <https://intellect.icu> . двух групп линий, по которым сигналы могут передаваться независимо в двух противоположных направлениях (рисунок 4).

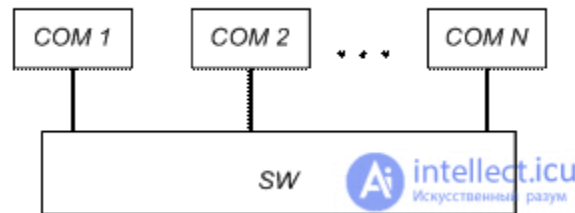


Рисунок 3 – Многомашинная вычислительная система (ММВС).
COM – вычислительный узел, *SW* – коммутатор.

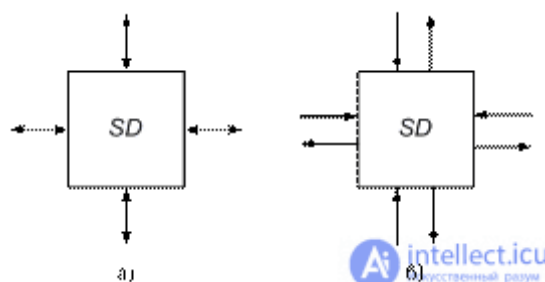


Рисунок 4 – Коммутационный узел (4 × 4) со связями в виде шин(а) и в виде линков (б)

На рисунках 5 –7 показаны ММВС с шинными связями.

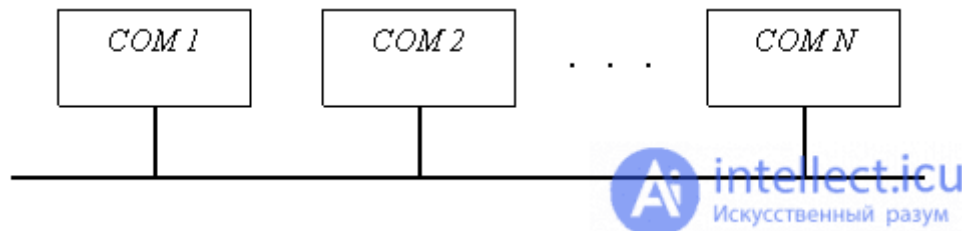


Рисунок 5 – ММВС с общей шиной. *COM* – вычислительный модуль

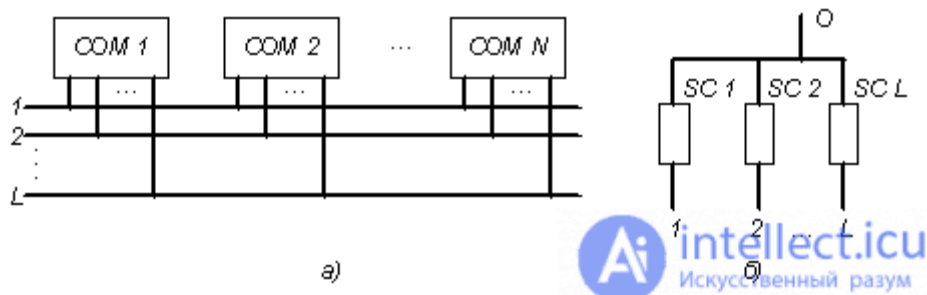


Рисунок 6 – Схема многошинной ММВС (а) и узел ключевых элементов, входящих в состав каждого ВМ (б)

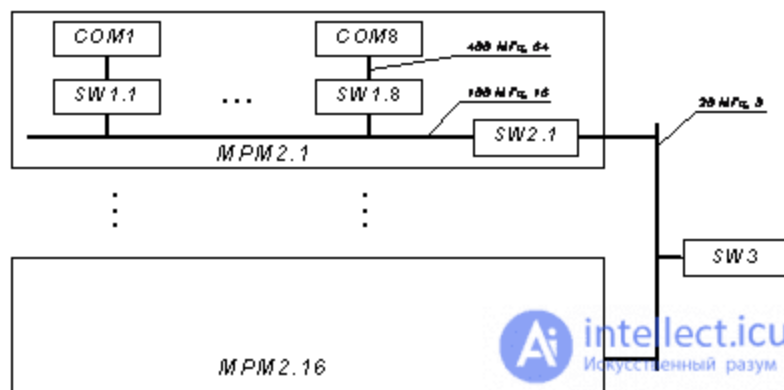


Рисунок 7 – ММВС с шинными связями иерархического типа.

COM – вычислительный модуль первого уровня,

МРМ – вычислительный модуль второго уровня,

Некоторые ММВС со связями в виде линков могут быть названы *регулярными*: *кольцевые*, *матричные* (решетка, тор, витой тор), *трехмерные*, *гиперкуб*. Коммутационные узлы, используемые для построения таких связей, имеют особый вход/выход для подключения к ВМ и несколько линков для соединения с соседними узлами (рисунок 8).

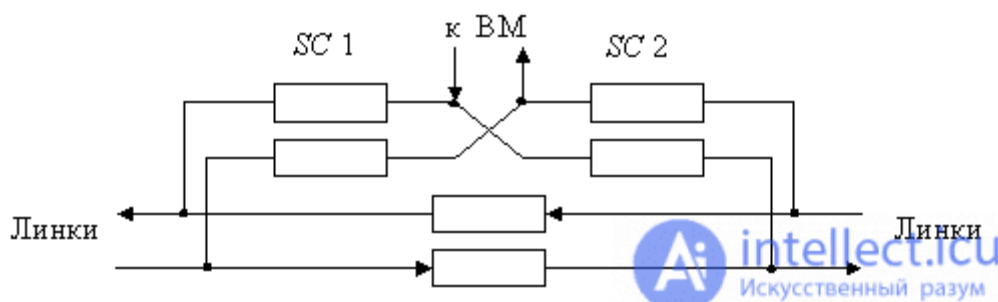


Рисунок 8 – Коммутационный модуль для регулярной ММВС в виде кольца, $L = 2$.

Бывают с $L = 4, 6$ и др. *SC* – коммутационные (ключевые) элементы

На рисунке 9 показаны ММВС в виде кольца и матрицы (в виде тора).

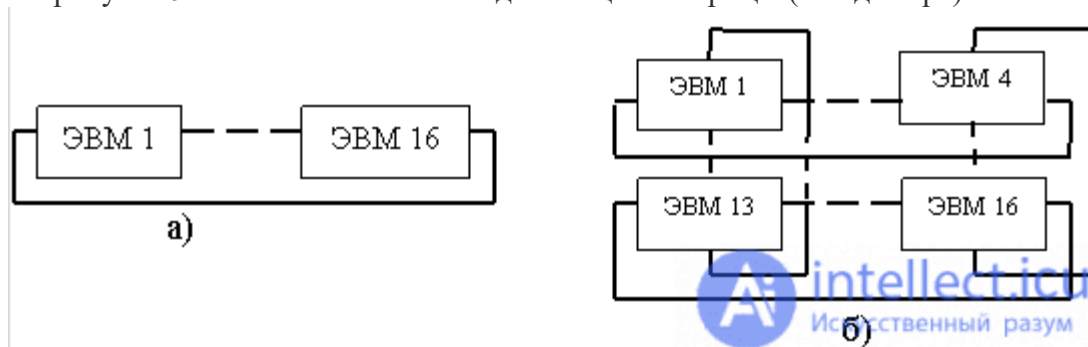


Рисунок 9 – Регулярные ММВС в виде кольца (а) и в виде тора (б)

Коммутационные узлы, используемые для *полносвязных* и *составных* (в том числе *древовидных*) ММВС, имеют одинаковые (линковые) входы/выходы (рисунок 10). Все связи однотипные (линки) и могут использоваться как для подключения ВМ, так и для подключения других коммутационных узлов.

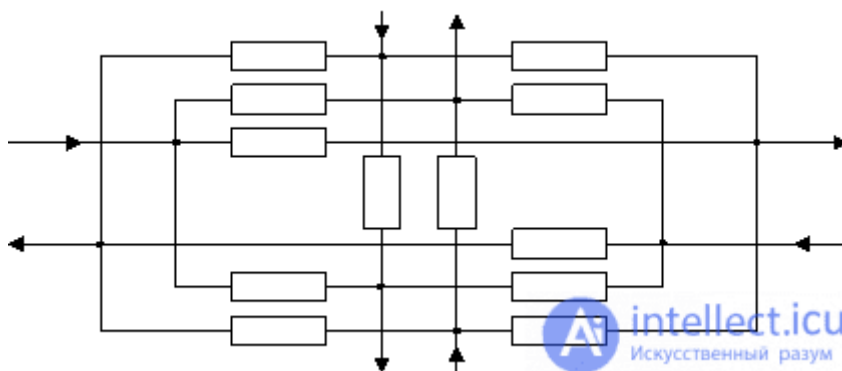


Рисунок 10 – Узел ключевых элементов 4×4 для составных ММВС.

Бывают 8×8, 16×16, 22×22, 64×64, 128×128 и др.

Составные коммутационные модули 16×16, собранные из коммутационных узлов 4×4 показаны на рисунке 11. На рисунке 12 показаны коммутационные модули 16×16, собранные из коммутационных узлов 4×4.

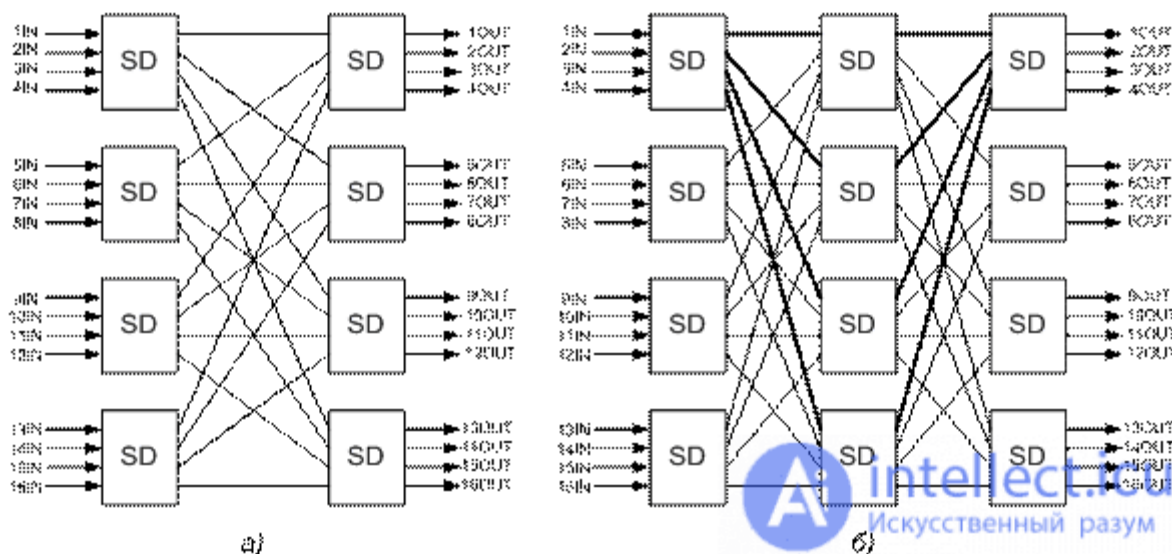


Рисунок 11 – Двухступенчатый коммутатор 16×16, построенный из коммутационных узлов 4×4. Слева – входные линки, справа – соответствующие выходные линки. Слева блокируемый SW (а).

Неблокируемый SW (б) может быть получен добавлением еще одного столбца из коммутационных узлов 4×4 (коммутатор Клоза)

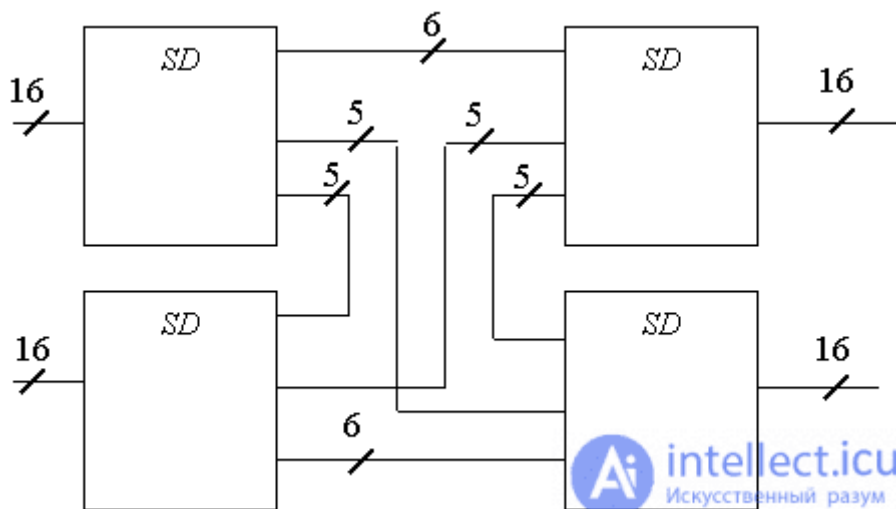


Рисунок 12 – Составной коммутатор 64×64 из 4-х коммутационных узлов 32×32.

Здесь каждая линия – это пара линков (входной и выходной)

На рисунке 13 показана полносвязная ММВС с матричным коммутатором $N \times N$. Для ясности рисунка цепи входных линков вычислительных узлов не соединены (точки 1... N соответственно). Коммутатор может быть выполнен так как показано на рисунках 11 ($N = 16$) или 12 ($N = 64$).

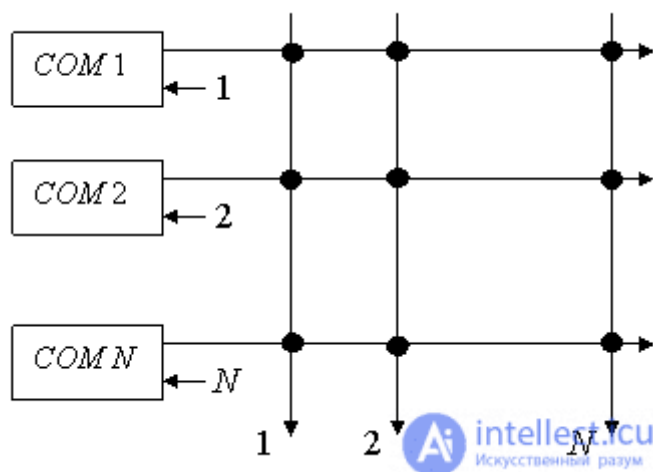


Рисунок 13 – ММВС с матричным коммутатором

Во всех рассмотренных выше структурах ММВС оперативная память распределена по ВМ, причем время обращения процессора к оперативной памяти «своего» ВМ существенно меньше, времени обращения к памяти «чужого» (удаленного) ВМ. В зарубежной литературе такие ММВС называют *NUMA (Non-Uniform Memory Access)* – системы с *неоднородным доступом* к памяти, а саму память – *распределенной (distributed memory)*.

Поскольку число ВМ в ММВС обычно велико (≥ 64), то работа ММВС характеризуется также аббревиатурой *MPP (Massively Parallel Processing)* – ВС с *массовой параллельной обработкой*.

По способу организации передачи данных, т.е. способу обращения процессора одного ВМ к памяти другого (удаленного или «чужого») ВМ можно выделить ММВС с организацией *CCNUMA, COMA и RMA*.

CCNUMA (Cache Coherent NUMA) – организация [архитектура] ММВС, в которой передача строки данных производится по инициативе *процесса-последователя*. Данные передаются из оперативной памяти ВМ, в котором они были получены, в кэш-память ВМ, на котором будет выполняться процесс-последователь. Передача производится тогда, когда эти данные потребуются.

COMA (Cache Only Memory Architecture) – организация [архитектура] ММВС, в которой передача страницы данных производится по инициативе *процесса-последователя*. Данные передаются из оперативной памяти ВМ, в котором они были получены, в оперативную память ВМ, на котором будет выполняться процесс-последователь. Передача производится тогда, когда эти данные потребуются. Память ВМ называется *притягивающей (AM – Attraction Memory)*, поскольку данные при необходимости как бы притягиваются в эту память.

RMA (Reflector Memory Architecture) – организация [архитектура] ММВС, в которой передача страницы данных производится по инициативе *процесса-предшественника*. Данные передаются из оперативной памяти того ВМ, в котором они были получены, в оперативную память тех ВМ, на которых будут выполняться процессы-последователи (при *статическом распределении*) или в оперативной памяти всех ВМ (при *динамическом распределении* процессов по процессорам). Память ВМ называется *отражающей (RM – Reflector Memory)*, поскольку данные после их получения отображаются в памяти других ВМ.

Особенности архитектуры современных высокопроизводительных ВС

Что такое высокопроизводительные вычислительные системы ?

Высокопроизводительные вычислительные системы (НРС) — это приложения и рабочие задачи, связанные с выполнением ресурсоемких вычислительных операций с использованием различных ресурсов.

Специализированные решения для высокопроизводительных вычислений помогают организациям совершать открытия, преобразующие бизнес. Высокопроизводительные вычисления стали доступнее, чем когда-либо ранее, как на одиночных локальных системах, так и в кластерах, в том числе и с использованием облака.

Как работают высокопроизводительные вычисления?

Ученые, инженеры и исследования используют высокопроизводительные вычислительные системы для выполнения невероятно ресурсоемких задач, в том числе для прогнозирования погоды, разведки нефтегазовых запасов, физических исследований, исследований квантовой механики и т. д.

Хотя высокопроизводительные вычисления можно выполнять на одной системе, действительно мощные возможности открываются при использовании кластеров из нескольких высокопроизводительных вычислительных узлов, которые также называют суперкомпьютерами. Они открывают возможности крупномасштабного моделирования, которое нецелесообразно или даже невозможно проводить на одиночных системах.

Многие первые и самые знаменитые суперкомпьютеры были разработаны компанией Cray, которая сегодня является партнером программы Intel® Datacenter Builders. Современные суперкомпьютеры представляют собой большие кластеры узлов, включающих процессоры, ускорители, высокопроизводительную инфраструктуру связи и комплексные системы памяти и хранения данных. Все эти ресурсы доступны разным узлам, что помогает предотвратить возникновение узких мест и обеспечить оптимальную производительность.

Вертикальное масштабирование производительности

Приложения для высокопроизводительных вычислений используют возможности аппаратных и программных архитектур, распределяющих вычисления между ресурсами одной системы (обычно сервера). Такая форма параллельной обработки называется вертикальным масштабированием. Прирост производительности очень значительный, но ограничивается возможностями одной системы.

Горизонтальное масштабирование производительности

Также приложения для высокопроизводительных вычислений могут распределять вычислительные задачи по разным системам, настроенным для работы в комплексе. Такой комплекс называется высокопроизводительным вычислительным кластером и позволяет приложениям распределять вычислительные задачи для параллельного выполнения на нескольких системах.

Стоимость и преимущества высокопроизводительных вычислительных систем

Высокопроизводительные вычислительные системы все больше используются организациями. Также они становятся более доступными. Ученые и инженеры могут выполнять рабочие задачи высокопроизводительных вычислений на локальной инфраструктуре, а также масштабировать вычислительные мощности без значительных капиталовложений, используя ресурсы поставщиков облачных услуг.

Примеры использования высокопроизводительных вычислительных систем

Современные предприятия используют высокопроизводительные вычислительные системы для симуляции и моделирования во многих важных областях, включая разработку моделей автономного вождения, проектирование и производство продукции, анализ сейсмических волн и их воздействия на сооружения, оценку стратегий добычи нефти и газа и т. д. Высокопроизводительные вычислительные системы также полезны для развития

высокоточной медицины, оценки финансовых рисков, обнаружения мошенничества, гидродинамических расчетов и т. д.

Компоненты высокопроизводительных вычислительных систем

Самые эффективные высокопроизводительные вычислительные системы построены на основе идеально подобранного сочетания аппаратного и программного обеспечения. Аппаратное обеспечение обычно включает высокопроизводительные процессоры, инфраструктуру связи, память, ресурсы хранения данных, сетевые компоненты и ускорители для специальных рабочих задач. Платформенное программное обеспечение, библиотеки, оптимизированные инфраструктуры больших данных и глубокого обучения и другие программные инструменты для высокопроизводительных вычислительных систем помогают добиться наибольшей отдачи от высокопроизводительных вычислительных кластеров.

Intel и высокопроизводительные вычислительные системы

Корпорация Intel предлагает полный ассортимент аппаратного и программного обеспечения для высокопроизводительных вычислительных систем. Это высокопроизводительные вычислительные системы на базе технологий Intel.

В основе всего лежат процессоры Intel® Xeon® Scalable, позволяющие создавать революционные высокопроизводительные вычислительные системы с рекордными уровнями гибкости и масштабируемости. Их дополняют решения Intel® для сетей Ethernet и инфраструктура Intel® Omni-Path Fabric (Intel® OP Fabric) для оптимизации масштабирования. Технологии Intel® Optane™ DC обеспечивают инновации в области памяти и хранения данных, а устройства Intel® FPGAs обеспечивают ускорение определенных рабочих задач. Программное обеспечение Intel® и инструменты для разработчиков помогают наиболее эффективно использовать возможности архитектуры и технологий Intel®.

Корпорация Intel представляет широкий ассортимент продуктов и технологий для высокопроизводительных вычислительных систем различного масштаба. Корпорация Intel помогает реализовать вычислительные решения, оперирующие эксабайтами данных, для работы над наиболее сложными научными задачами и предлагает основанный на стандартах подход к решениям для наиболее распространенных задач высокопроизводительных вычислений, реализованный в спецификации Intel® HPC Platform Specification. Высокопроизводительные вычислительные системы становятся все более доступными, и корпорация Intel помогает пользователям осознать преимущества новых технологий высокопроизводительных вычислений.

Конвергенция высокопроизводительных вычислительных систем и искусственного интеллекта

Сочетание возможностей высокопроизводительных вычислительных систем и решений машинного и глубокого обучения дает огромный потенциал в самых разных сферах от лингвистики до геномного секвенирования и моделирования мирового климата. Корпорация Intel поддерживает конвергенцию высокопроизводительных вычислительных систем и искусственного интеллекта, сотрудничая с партнерами по экосистеме в работе над созданием эталонных архитектур и решений, ориентированных на практическое применение в конкретных областях.

Поддержка достижений в сфере высокопроизводительных вычислений

Последние достижения в области вычислительной техники и программного обеспечения способствуют развитию высокопроизводительных вычислительных систем. Корпорация Intel будет и дальше сотрудничать с предприятиями экосистемы высокопроизводительных вычислительных систем с целью оптимизации производительности аппаратного обеспечения, объединения возможностей высокопроизводительных вычислений, ИИ и аналитики и подбора оптимального плана перехода на вычислительные задачи, использующие эксабайты данных.

Для высокопроизводительных вычислительных систем количество имеет значение, поскольку вычисления могут параллельно выполняться на множестве узлов кластера.

К современным компьютерам и вычислительным системам предъявляются следующие требования:

- **отношение стоимость/производительность;**
- **надежность и отказоустойчивость;**
- **масштабируемость;**
- **совместимость и мобильность программного обеспечения.**

Отношение стоимость/производительность.

Начнем с очевидного. Суперкомпьютеры – приоритет производительность, стоимостные характеристики на втором плане. Персональные компьютеры – на первом месте стоимостные характеристики, производительность на втором плане.

Между этими двумя крайними направлениями находятся конструкции, основанные на отношении стоимость/ производительность, в которых разработчики находят баланс между стоимостными параметрами и производительностью. Типичными примерами такого рода компьютеров являются миникомпьютеры и рабочие станции.

Производительность.

Зачастую производительность вычислительной машины подменяют термином быстродействие и при этом считают, что производительность это – среднестатистическое число операций (кроме операций ввода/вывода), выполняемых машиной в единицу времени.

В качестве единиц измерения используются:

- MIPS (Million Instruction Per Second) – миллион целочисленных операций в секунду;
- MFLOPS (Million Floating Operations Per Second) – миллион операций над числами с плавающей запятой в секунду, ну и конечно их производные T, G,...

Системная производительность измеряется с помощью синтезированных тестовых программ. Результаты оценки ЭВМ конкретной архитектуры приводятся относительно базового образца.

Надежность.

Важнейшей характеристикой вычислительных систем является надежность. Повышение надежности основано на принципе предотвращения неисправностей путем снижения интенсивности отказов и сбоев за счет применения электронных схем и компонентов с высокой и сверхвысокой степенью интеграции, снижения уровня помех, облегченных режимов работы схем, обеспечение тепловых режимов их работы, а также за счет совершенствования методов сборки аппаратуры.

Отказоустойчивость - это такое свойство вычислительной системы, которое обеспечивает ей, как логической машине, возможность продолжения действий, заданных программой, после возникновения неисправностей. Введение отказоустойчивости требует избыточного аппаратного и программного обеспечения.

Масштабируемость.

Масштабируемость представляет собой принципиальную возможность бесконфликтного изменения конфигурации компьютера в процессе эксплуатации,

адаптируя его к конкретным условиям эксплуатации. Масштабируемость должна обеспечиваться архитектурой и конструкцией компьютера, а также соответствующими средствами программного обеспечения.

Совместимость

Совместимость проявляется на аппаратном и программном уровнях. Аппаратная совместимость дает возможность комплектовать аппаратуру разных производителей, что предполагает унификацию разъемов, электрических параметров и логики сигналов различных устройств. Программная совместимость обеспечивает работоспособность программы, написанной для одного компьютера, на другом без какой либо перекомпиляции и редактирования.

Персональные компьютеры и рабочие станции

Персональные компьютеры (ПК) появились в результате эволюции миниперсональных компьютеров при переходе элементной базы машин с малой и средней степенью интеграции на большие и сверхбольшие интегральные схемы. ПК, благодаря своей низкой стоимости, очень быстро завоевали хорошие позиции на компьютерном рынке и создали предпосылки для разработки новых программных средств, ориентированных на конечного пользователя.

Сетевой компьютер (Net Computer) появился как компонент приложения клиент-сервер, имеющий минимальную конфигурацию ПО и предназначенный для работы в сети. Впервые об этом заявили в 1996 году Oracle, Sun Microsystems, IBM в совместном документе «Network Computer Reference Profile», в котором сформулировали основные черты NC – обработка информации, хранящейся на сервере; принцип бездисковых рабочих станций; должны поддерживать все сетевые протоколы IP, TCP, UDP – как можно дешевле и вообще не надо памяти.

Рабочая станция. Миниперсональные компьютеры стали прародителями и другого направления развития современных систем – 64 -разрядных машин. Создание RISC-процессоров и микросхем памяти емкостью более 1 Мбайт привело к окончательному оформлению настольных систем высокой производительности, которые сегодня известны как рабочие станции.

X-терминалы.

X-терминалы представляют собой комбинацию бездисковых рабочих станций и стандартных ASCII-терминалов. Совсем недавно, как только стали доступными очень мощные графические рабочие станции, появилась тенденция применения "подчиненных" X-терминалов, которые используют рабочую станцию в качестве локального сервера.

На компьютерном рынке X-терминалы занимают промежуточное положение между персональными компьютерами и рабочими станциями. Как правило, стоимость X-терминалов составляет около половины стоимости сравнимой по конфигурации бездисковой машины и примерно четверть стоимости полностью оснащенной рабочей станции.

Серверы.

Существует несколько типов серверов, ориентированных на разные применения: файл-сервер, сервер базы данных, принт-сервер, вычислительный сервер, сервер приложений. Таким образом, тип сервера определяется видом ресурса, которым он владеет (файловая система, база данных, принтеры, процессоры или прикладные пакеты программ).

Файловые серверы небольших рабочих групп (не более 20-30 человек) проще всего реализуются на платформе персональных компьютеров и программном обеспечении Novell NetWare. Файл-сервер, в данном случае, выполняет роль центрального хранилища данных.

На базе многопроцессорных UNIX-серверов обычно строятся также серверы баз данных крупных информационных систем, так как на них ложится основная нагрузка по обработке информационных запросов. Подобного рода серверы получили название супер-серверов.

Современные супер-серверы характеризуются:

- наличием двух или более центральных процессоров RISC, либо CISC;
- многоуровневой шинной архитектурой, в которой запатентованная высокоскоростная системная шина связывает между собой несколько процессоров и оперативную память, а также множество стандартных шин ввода/вывода, размещенных в том же корпусе;
- поддержкой технологии дисковых массивов RAID;
- поддержкой режима симметричной многопроцессорной обработки, которая позволяет распределять задания по нескольким центральным процессорам или режима асимметричной многопроцессорной обработки, которая допускает выделение процессоров для выполнения конкретных задач.

Мейнфреймы.

Мейнфрейм - это синоним понятия "большая универсальная ЭВМ". Мейнфреймы и до сегодняшнего дня остаются наиболее мощными (не считая суперкомпьютеров) вычислительными системами общего назначения, обеспечивающими непрерывный круглосуточный режим эксплуатации.

В архитектурном плане мейнфреймы представляют собой многопроцессорные системы, содержащие один или несколько центральных и периферийных процессоров с общей памятью, связанных между собой высокоскоростными магистралями передачи данных. При этом основная вычислительная нагрузка ложится на центральные процессоры, а периферийные процессоры (в терминологии IBM - селекторные, блок-мультиплексные, мультиплексные каналы и процессоры телеобработки) обеспечивают работу с широкой номенклатурой периферийных устройств.

Суперкомпьютеры. Что такое суперЭВМ? Оксфордский толковый словарь по вычислительной технике, изданный в 1986 году, сообщает, что суперкомпьютер это очень мощная ЭВМ с производительностью свыше 10 MFLOPS (10 миллионов операций с плавающей запятой в секунду). Сегодня это средненький результат даже для ПК. Планки производительности в 10 TFLOPS были успешно перекрыты довольно давно. Суперкомпьютер ASCI WHITE, занимающий первое место в списке пятисот самых мощных компьютеров мира, объединяет 8192 процессора Power 3 с общей оперативной памятью в 4 Терабайта и производительностью более 12 триллионов операций в секунду, а суперкомпьютер IBMBlueGene/L достиг на тесте Linpack производительности в 153, 3 TFLOPS.

Самостоятельная работа

Задание 1. Подготовить сообщения по темам:

1. Профессиональная деятельность разработчика программного обеспечения.
2. Архитектура ЭВМ в сфере деятельности разработчика программного обеспечения

Задание 2. Ответить на вопросы.

1. Каково понятие архитектуры ЭВМ?
2. По каким техническим характеристикам осуществляются оценка и выбор ЭВМ?
3. Какова связь областей применения ЭВМ и их структур?
4. Каковы основные тенденции развития ЭВМ?
5. Охарактеризуйте понятие машинного парка.
6. Каковы основные принципы построения ЭВМ?
7. Поясните место и роль программного обеспечения ЭВМ.
8. Что представляет собой класс персональных ЭВМ?
9. Назначение и отличительные особенности построения сетевых компьютеров

Задание 3. Описать преимущества и недостатки различных типов вычислительных систем и организовать информационный блок в виде таблицы.

Порядок выполнения задания

На основании основной и дополнительной литературы, рекомендуемой к выполнению самостоятельной работы необходимо изучить классы архитектур вычислительных систем SISD, MISD, SIMD, MIMD, выявить их преимущества и недостатки.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Дерюгин А. А. Электронные вычислительные машины и системы. Основные термины, определения и обозначения.
- 2. Дерюгин А. А. Коммутаторы вычислительных систем.
- 3. Большая российская энциклопедия Авторы: В. В. Шилов, А. В. Ермолович (2015 г)
- 4 Аван-проект М-9. Институт электронных управляющих машин. М., 1966.
- 5 Эскизный проект М-9. Институт электронных управляющих машин. М., 1967.
- 6 Kartsev M. A. On the Structure of Multiprocessor Systems. In: Information processing?71. Proceedings of the IFIP in World Computer Congress. Edited by Freiman, North-Holland. Amsterdam, 1971.
- 7 Либуркин Л. З. Проект “Октябрь”, который опередил свое время. Вопросы радиоэлектроники, сер. ЭВТ, вып. 2, 1993.
- 8 Гливенко Е. В. Функциональная арифметика (машина М-10) и современные проблемы первичной обработки. Там же.
- 9 Презентация Intel® для HPC Select Solutions for HPC 2020 г
- 10. Дерюгин А. А. Электронные вычислительные машины и системы. Основные термины, определения и обозначения.
- 11. Дерюгин А. А. Коммутаторы вычислительных систем.
- 12. Большая российская энциклопедия Авторы: В. В. Шилов, А. В. Ермолович (2015 г)
- 13 Аван-проект М-9. Институт электронных управляющих машин. М., 1966.
- 14 Эскизный проект М-9. Институт электронных управляющих машин. М., 1967.

- 15 Kartsev M. A. On the Structure of Multiprocessor Systems. In: Information processing?71. Proceedings of the IFIP in World Computer Congress. Edited by Freiman, North-Holland. Amsterdam, 1971.
- 16 Либуркин Л. З. Проект “Октябрь”, который опередил свое время. Вопросы радиоэлектроники, сер. ЭВТ, вып. 2, 1993.
- 17 Гливенко Е. В. Функциональная арифметика (машина М-10) и современные проблемы первичной обработки. Там же.
- 18 Презентация Intel® для HPC Select Solutions for HPC 2020 г