

УДК 681.142.1

ВОПРОСЫ КЛАССИФИКАЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

В.И. Брановицкий, З.Л. Рабинович

Классификация вычислительных систем (ВС) прежде всего служит для систематизации имеющихся структур ВС с целью их изучения и совершенствования. Однако правильно построенная классификация должна играть не только пассивную роль, заключающуюся в упорядочении имеющихся результатов, но и одновременно помогать в разработках путем прогнозирования структур ВС, исходя из требований к средствам вычислительной техники, предназначенной для объединения в системы, и способам такого объединения.

В рассматриваемой классификации достаточно четко выделяются три "этажа", разделенных, в свою очередь, на ступени.

На верхнем этаже все ВС классифицируются по их взаимозависимости, а также по их структурной (и программной) однородности. На среднем этаже выделяются ступени обобществления различных устройств ЭВМ, входящих в состав системы. И, наконец, на нижнем этаже производится разделение в состав вычислительных систем в зависимости от связей между включенными в их состав устройствами.

В общем плане все системы средств вычислительной техники можно прежде всего разделить на вычислительные системы и вычи-

CANTONMENT COTN.

В вычислительных системах время передачи информации ничтожно мало по сравнению со временем решения задачи. Такое положение возникает, когда в систему объединяются средства вычислительной техники, находящиеся в одном вычислительном центре.

В вычислительных сетях время передачи информации по каналам связи сравнимо со временем решения задач и должно учитываться при описании и исследовании работы системы. Такое положение возникает при объединении средств вычислительной техники (в частности, ВМ и ВС), расположенных на достаточно большом расстоянии друг от друга, когда для связи используются каналы с небольшой скоростью передачи информации (скажем, телефонные и телеграфные линии).

Последующее изложение материала посвящено именно вычислительным системам.

I. Прежде всего конкретизируем смысл употребляемых в дальнейшем терминов.

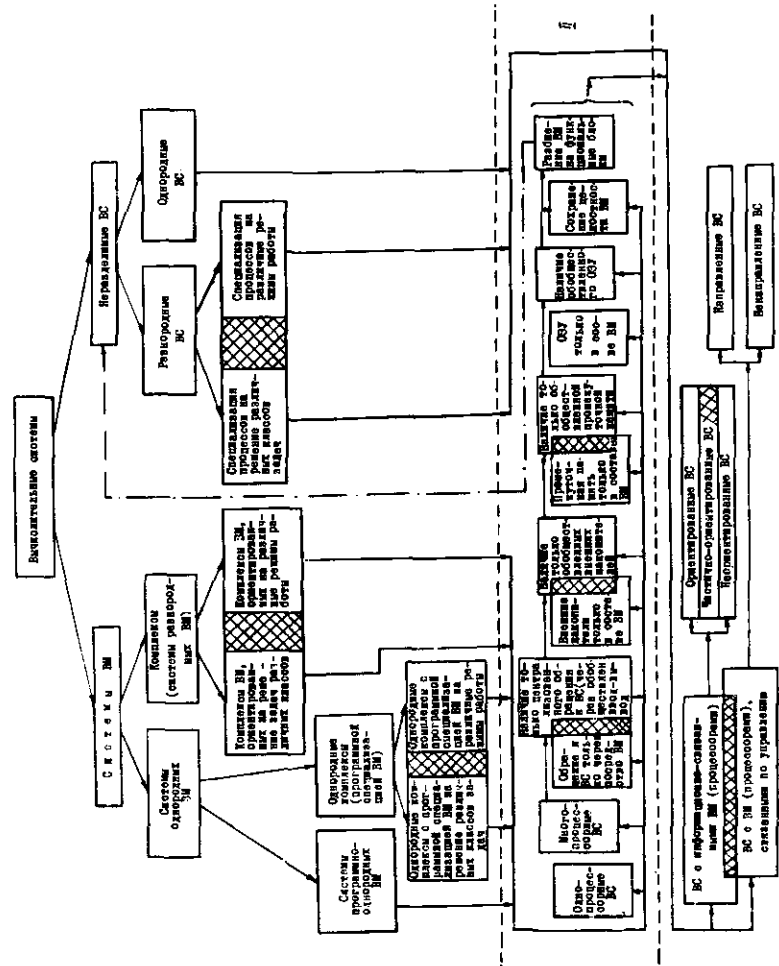
Процессором будем считать набор вычислительного оборудования (в простейшем случае - часть ЦВМ), предназначенный для переработки информации (линейчатую программу), предусмотренной алгоритмом решения задачи; причем эта переработка протекает после осуществления ввода исходных данных и программы решения задачи.

Вспомогательным процессором будем называть устройство, предназначенное для вспомогательной обработки информации, как-то: редактирование вводимой и выводимой информации, решение задач диспетчеризации и пр. (в дальнейшем для краткости слово "вспомогательный" будем опускать, указывая при этом функциональное назначение процессора).

Таким образом, вычислительной системой будем называть любую совокупность вычислительных средств с более чем одним процессором (включая вспомогательные), объединенных линиями передачи информации и управляемых централизованным образом. Большие ЦВМ с развитой структурой следует, пожалуй, также отнести к ВС (однопроцессорным - см. ниже).

I.I. Вычислительные системы подразделяются на:

I) неравдоленные ВС,



КЛАССИФИКАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

б) системы вычислительных машин.

Н е р а з д е л я е м ы м и В С назовем системы, построенные на основе нескольких процессоров (включая вспомогательные), причем самостоятельная работа каждого из них в отрыве от системы — невозможна.

С и с т е м ы в ы ч и с л и т е л ь н ы х м а ш и н — это В С, построенные на основе отдельных ВМ, при этом допускается автономная работа каждой из машин, входящих в состав системы. Отметим, что наряду с ВМ в состав системы могут входить и неразделяемые В С.

Каждая из указанных групп в свою очередь может быть разделена на:

- а) однородные системы,
- б) разнородные системы.

Под однородной системой будем подразумевать В С, в состав которой входит несколько одинаковых процессоров (или вычислительных машин), не считая вспомогательных.

Разнородной системой назовем В С, в состав которой входит несколько процессоров (либо ВМ) различного типа, опять-таки не считая вспомогательных.

ПРИМЕЧАНИЕ. Говоря об однородности либо разнородности вычислительных систем, мы имеем в виду прежде всего структурную однородность объединяемых вычислительных средств. Последние при этом могут быть как элементарно-однородными, так и элементарно-разнородными. Элементарно-однородные структуры В С, естественно, более предпочтительны. Все же в настоящее время (да и в обозримом будущем) следует принять как должное существование наряду с элементарно-однородными и элементарно-разнородных вычислительных систем. Эти вопросы классификацией не охватываются.

1.2. На основании сказанного можно выделять четыре главных класса В С (см. рисунок):

- а) однородные (неразделяемые) В С;
- б) системы однородных ВМ;
- в) разнородные (неразделяемые) В С;
- г) комплексы, или системы разнотипных ВМ.

Приведем некоторые примеры.

И з о д н о р о д н ы х н е р а з д е л я е м ы х В С

можно назвать строящуюся в настоящее время в США фирмой Burroughs систему "Illiac - 4" (состоящую из соединенных соответствующим образом 256 процессоров), в которой при решении ряда задач предполагается, благодаря распараллеливанию алгоритма, достигнуть быстродействия 10^9 опер /сек [1-2].

Примером системы однородных вычислительных машин может служить "Минск-222" [3].

ПРИМЕЧАНИЕ. Так как внешнее оборудование машин, входящих в систему, различно (и не обобществлено), то такую систему логичнее отнести к системам разнородных машин, поскольку в этом случае возможности машин различны (т.е. это формально различные процессоры).

Примером разнородной неразделяемой В С могут служить некоторые модели, построенные на основе АСВТ (агрегатная система средств вычислительной техники), представляющей собой набор агрегатных устройств, построенных на единой конструктивно-технологической базе [4]. При этом каждое из агрегатных устройств представляет собой блок определенного функционального назначения с унифицированными внешними связями (последнее позволяет компоновать из них самые различные модели).

Одним из типичных примеров комплекса может служить многомашинный комплекс "КЛАСС" (комплексная лабораторная автоматическая станция). Он состоит из разнородных — по аппаратуре, информационному формату, внутреннему языку — машин и предназначен для решения задач широкого круга в следующих режимах [5]:

- пакетной обработки задач;
- отладки и однократного счета задач;
- обслуживания пользователей с разделением времени (различные этого режима предусматриваются в дальнейшем);
- моделирования с реальной аппаратурой;
- автономной работы всех (либо отдельных) машин.

Примером комплекса может служить и система "Intip" [6], а также комплекс ЭВМ, построенный и используемый фирмой Ford Motor Company и являющийся, по утверждению "Automotive Industries", крупнейшим комплексом в мире [7].

Этот комплекс включает 22 вычислительные машины и систе -

ми десяти различных фирм и служит для решения научных, инженерных задач, задач управления, обучения и пр. В состав его входят, например, 4-процессорная однородная ВС Philco - 2000 - 212, машина GE - 235, работающая в режиме разделения времени с удаленными пультами, периферийные ВМ GE - 115, IBM - 1130 и др. Всего комплекс может обслуживать более 150 дистанционно удаленных пультов, периферийных вычислительных машин и систем, используя для этого обычную телефонную сеть.

1.3. Следующая ступень классификации вычислительных систем приводит к детализации главных классов ВС.

Так, в системах однородных ВМ можно выделить:

- а) системы однородных по математическому обеспечению ВМ, здесь возможности всех машин, входящих в систему, одинаковы;
- б) системы ВМ с различным матобеспечением. Здесь более логичным кажется название "однородные комплексы", так как, несмотря на то, что ВМ, составляющие систему, одинаковы, их функциональные возможности различны, благодаря их различному программному оснащению (отметим, однако, что программная специализация ВМ оказывается не всегда столь эффективной, как структурная).

В комплексах, в свою очередь, четко выделяются два подкласса:

- а) комплексы с ВМ, ориентированными на решение задач определенных классов;
- б) комплексы с ВМ, ориентированными на различные режимы работы.

Отметим правомочность существования и третьего (промежуточного) класса комплексов, обладающего как тем, так и другим признаком.

Наличие первого из подклассов поясняется следующим. Любая универсальная машина является лучшим образом ориентированной для решения задач какого-либо одного класса, более или менее широкого в зависимости от степени ее универсализации. Причем чем более широк этот класс, тем большая разнотипность входимых в него задач, тем сложнее конструкция и система математического обеспечения машины и тем, как правило, меньше возможности достижения высокой эффективности вычислительного процесса при

решении каждого типа задач в отдельности. Поэтому объединение в разнородном комплексе вычислительных машин, ориентированных на различные классы задач, способствует повышению эффективности их эксплуатации в широком смысле этого слова: имея в виду как собственно вычислительный процесс, так и процесс программирования и подготовки задач для решения.

Указанное достоинство может также хорошо быть использовано при решении на комплексе сложных задач путем распараллеливания их алгоритмов по отдельным его машинам; имея в виду направленность данного распараллеливания в соответствии с функциональными особенностями каждой из машин.

Наличие второго из указанных подклассов поясняется возможностью функционального распределения отдельных машин не только по классам задач, но и по режимам их работы в общем вычислительном процессе.

Действительно, этот процесс состоит из ряда частных процессов, таких, как анализ и диспетчеризация, выбор численного метода решения, трансляция программ, решение малых и крупных задач, задач, алгоритмы решения которых уточняются в процессе решения, и т.д. Машины комплекса вместе с их системами математического обеспечения могут быть специально приспособлены для наиболее эффективной реализации этих процессов.

Важнейшая роль в этом приспособлении принадлежит внутреннему языку данных машин. Если этот язык достаточно близок к проблемно-ориентированному входному языку, в частности подобен ему, то общение человека с такой машиной (т.е. режим совместной работы человека и ЦВМ) существенно упрощается как в отношении подготовки задач к решению, состоящей в основном из выбора численного метода, программирования, трансляции и отладки программ, так и в отношении слежения за ходом вычислительного процесса и внесения соответствующих корректив. Последнее обстоятельство играет особую роль для задач, решение которых происходит в режиме диалога человека с машиной, как, например, выбор численного метода решения какой-либо задачи с помощью анализа ее исходных данных и пробных расчетов. Поэтому в составе комплекса желательно иметь машину с высоким уровнем интерпретации, обеспечивающим использование развитого внутреннего языка, который позволяет сохранить в рабочих программах принципиальные основы записи исходных программ на проблемно -

ориентированных языках.

В такой машине следует предусмотреть и режим разделения времени, в основном поручая ей решение задач в процессе диалога с человеком.

В составе комплекса следует в качестве главного вычислителя иметь машину, которая бы обеспечивала максимально возможную производительность собственно вычислительного процесса. Такой машине, обладающей возможностью пакетной обработки задач, целесообразно поручать в основном решение стандартных задач (т.е. требующих программирования) и решение крупных нестандартных задач, включая и их подготовку, если ее процесс должен оказаться существенно менее длительным, чем общий процесс решения, с учетом итераций либо повторений расчетов (т.е. задач многовариантных).

Разумеется, такое распределение подготовительных и вычислительных работ между процессорами должно являться не абсолютным, а преимущественно-регулируемым в текущем процессе его эксплуатации. В частности, по-видимому, целесообразно в вычислителе с менее высоким уровнем интерпретации предусмотреть возможность работы в режиме разделения времени.

К примеру в состав упомянутого уже комплекса "КЛАСС" включены три вычислительные машины, одна из которых является управляющей, а две остальные — вычислительными, причем последние специализированы по режимам работы.

Целесообразность распределения функций между различными машинами комплекса подтверждается результатами эксперимента, проведенного Мичиганским университетом совместно с Римским авиационным исследовательским институтом. Оказалось, что при решении задач (с предварительной трансляцией программы) в мультипрограммном режиме время трансляции занимает примерно 41%, а время собственно решения задачи всего 8% времени, затрачиваемого на полное решение задачи [8].

Отметим, что аналогичное разделение на подклассы можно провести и среди разнородных неразделяемых ВС.

Нельзя также упускать возможности программной специализации ВМ при объединении их в однородные комплексы (очередная ступень классификации). Здесь возможны

три подкласса:

1) однородные комплексы с машинами, ориентированными на решение задач различных классов (подобная программная специализация наблюдается в тех случаях, когда объединяемые ВМ имеют различные, ориентированные на вполне определенные классы задач библиотеки основных и типовых программ и подпрограмм);

2) однородные комплексы, объединяющие машины, ориентированные на различные режимы работы (такая ориентация достигается в том случае, когда каждая из ВМ имеет свою операционную систему);

3) промежуточный подкласс, в котором существует программная специализация ВМ как 1-го, так и 2-го направлений.

II. Дальнейшая классификация (средний "этап") посвящена системам ВМ. В основе ее лежит понятие об уровнях обобщения вычислительных средств [9].

Эта классификация, как видно из схемы, имеет 6 ступеней.

На первой ступени все системы ВМ делятся на два класса: многопроцессорные (многомашинные) и однопроцессорные. Однопроцессорные системы, по сути, представляют собой ВС с одним центральным процессором (либо ВМ) и одним или более вспомогательными процессорами (либо машинами, совершающими вспомогательную обработку информации). Цель создания таких ВС — достижение максимально возможной производительности основного процессора (ВМ), для чего необходимо, чтобы он выполнял преимущественно основную переработку информации с минимальным временем простоя.

Многопроцессорные (многомашинные) системы в наибольшей степени оправдываются лишь при условии надлежащего выбора входящих в их состав машин и их математического обеспечения (в соответствии со сказанным выше).

На следующей ступени классификации производится деление всех систем на две группы:

с централизованным обращением к системе через посредство обобществленных устройств ввода-вывода;

с обращением к системе только через внешние устройства самих ВМ, входящих в состав системы.

Естественно, первая группа ВС оказывается более совершенной, поскольку в ней возможно лучше организовать эксплуатацию

всех средств вычислительной техники, однако он более сложен. Вторая же группа ВС более проста. Отметим, что в практике чаще можно встретиться и с третьим (промежуточным) вариантом, что и указано на схеме, когда в системе наряду с централизованным обращением существует обращение непосредственно к ВМ. Эта группа систем, по-видимому, сохраняя все достоинства первой группы, имеет большую "живучесть".

Аналогичные группы имеются и на следующих двух ступенях классификации. Так, к примеру, в зависимости от степени обобществления внешних запоминающих устройств (ВЗУ) можно выделить две основные группы:

ВС только с обобществленными внешними запоминающими устройствами;

ВС, в которых внешние ЗУ входят только в состав машин.

Возможно наличие и промежуточной группы, когда ВЗУ системы обобществлены не полностью, а частично входят и в состав машин.

Преимущества первой и промежуточной групп становятся очевидными, если принять во внимание, что обобществление ЗУ позволяет создать общую для всей системы библиотеку стандартных и типовых программ и подпрограмм, своевременно накапливать задачи, требующие решения, компоновать их в пакеты и т.д.

Что же касается очередной ступени классификации в зависимости от степени обобществления ОЗУ, то здесь можно выделить лишь две группы:

ВС, в которых есть обобществленная оперативная память (наряду с ОЗУ, входящим в состав самих ВМ);

ВС, в которых ОЗУ входит только в состав машин.

При наличии обобществленных ОЗУ (первая группа) существенно упрощается процесс обмена информацией. Отметим, что группы с только обобществленными ОЗУ быть не может, так как в любом случае при каждом процессоре есть своя оперативная (либо сверхоперативная) память, хотя бы в виде регистров.

И, наконец, последняя ступень классификации (по уровням обобществления) касается лишь тех ВС, которые по предыдущим ступеням относятся к первым группам. Эти ВС также разделяются на две группы:

системы с ВМ, разделенными на функциональные блоки;

системы с целостно сохраненными ВМ.

Эта ступень классификации учитывает уже нарушение целостности центральной части самих машин.

Заметим, что ВС, принадлежащие на данной ступени к первой группе, представляют собой уже фактически качественно новую форму организации систем, а именно неразделимые вычислительные системы.

Низшая же форма организации систем ВМ предполагает лишь наличие парка ВМ, объединенных каналами передачи информации.

III. Следующие существенно важные принципы классификации, описывающие связи между машинами (процессорами) системы, предложены в работах Д.А. Поспелова [10]. Эта классификация относится уже ко всем ВС.

Дало в том, что в процессе работы машины, входящие в ВС, могут обмениваться как исходными и промежуточными данными, программами решения, так и управляющей информацией, необходимой для правильного функционирования всей ВС. При этом каналы для передачи этих двух видов информации могут быть как раздельными, так и совмещенными.

Анализируя типы связей между ВМ (процессорами) системы, можно выделить следующие группы вычислительных систем:

1) ВС с информационно связанными машинами (процессорами), когда машины (процессоры) системы могут обмениваться только функциональной информацией;

2) ВС с машинами (процессорами), связанными только по управлению. Машина, передающая управляющую информацию, называется управляющей ВМ, а машины, принимающие управляющую информацию — управляемыми.

Возможно также наличие промежуточной группы, которая объединяет ВС, имеющие как информационные, так и управляющие связи.

Первая группа, в свою очередь, подразделяется на:

ориентированные ВС, если передача функциональной информации возможна только в одну сторону — от одной машины (процессора) к другой, в одном направлении;

неориентированные ВС (если передача функ-

циональной информации возможна в обе стороны);

частично ориентированные ВС (если в системе имеются как ориентированные, так и неориентированные подсистемы).

Вторая группа подразделяется на:

направленные ВС (если связи по управлению всегда ориентированы);

ненаправленные ВС (если связи по управлению являются неориентированными).

И, наконец, в зависимости от постоянства состава ВС, а также функциональных и управляющих связей можно провести деление на такие группы:

1) ВС с постоянной структурой (если в процессе функционирования системы, ее состав, все связи и их ориентация остаются неизменными);

2) ВС с переменной структурой (если в процессе функционирования системы могут меняться как состав системы, так и функциональные и управляющие связи, а также их ориентация).

В заключение, укажем на возможность построения комбинированных систем, структурными единицами которых могут быть как отдельные вычислительные машины, так и однородные и разнородные ВС, системы однородных машин (подобным образом организован, например, комплекс фирмы Ford Motor Company).

В частности (как указывал на конференции М.А. Карцев), целесообразным является иерархический способ построения таких комбинированных ВС. По сути, согласно данному выше определению, это не что иное, как комплексы, когда на нижних ярусах помещаются отдельные ВМ и однородные ВС, на следующем ярусе они объединяются в системы однородных машин, на следующем ярусе — системы однородных машин и разнородные вычислительные системы уже объединяются в комплексы.

Л и т е р а т у р а

1. STOKES RICHARD A. ILLIAC IV; route to parallel computers. Electronic Design, 1967, vol.15, N 26.
2. RILEY W.B. Illiac 4, world's fastest computer, won't be slowed by criticism. Electronics, 1967, vol.40, N 10.
3. ЕВРЕЙНОВ Э.В., ЛОПАТО Г.П. Универсальная вычислительная система "Минск-222", — "Вычислительные системы", Новосибирск, "Наука" СО, 1966, вып.23.
4. КОСТЕЛЯНСКИЙ В.М. Общие принципы построения АСВТ, — "Сб. докладов I Всесоюзной конференции по программированию", секция "Вычислительные системы и системы разделения времени", Киев, ИК АН УССР, КДНТ, 1968.
5. АРТАМОНОВ Г.Т., МИНАЕВ В.С., ДЕРЕШКЕВИЧ В.Ю., ШКЛЯР О.Н. Архитектура многомашиного неоднородного комплекса "Класс", Киев, ИК АН УССР, КДНТ, 1968.
6. MINED bag makes a multiprocessor. Electronics, 1965, v.38, N4.
7. A Glimpse at the Future in Computer Centers—the Technical Computer Center at Ford Motor Company. Computers & Automation, 1968, vol.17, N 1.
8. Communication of ACM, 1968, N 7, 8.
9. РАБИНОВИЧ Э.Л. Некоторые методологические вопросы теории комплексов вычислительных средств. — "Вычислительные системы", Труды I Всесоюзной конференции по вычислительным системам, Новосибирск, "Наука" СО, 1968, вып.1.
10. ПОСПЕЛОВ Д.А., ЭЙВАЗОВ А.Р. Децентрализованные вычислительные системы, — "Известия АН СССР", Техническая кибернетика, М., 1968, №5.