

УДК 681.3

А.М.Ящук, С.В.Яцутин

## СВОЙСТВА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

*Воронежский институт высоких технологий*

*Российский новый университет*

*В данной статье обсуждаются основные свойства параллельных систем. Указаны подходы, на основе которых можно достичь параллелизма. Приведены характеристики систематики Флинна, описывающей взаимодействие потоков команд и потоков данных. Дана классификация многопроцессорных вычислительных систем. Приведена архитектура многопроцессорных систем, имеющих общую память. Указаны особенности систем, имеющих неоднородную общую память. Дано описание архитектуры вычислительных систем, имеющих распределенную память. Обсуждаются отличия мультикомпьютеров от мультипроцессоров. Показаны достоинства кластеров, как одного из средств распараллеливания процессов.*

**Ключевые слова:** параллельные вычислительные системы, процессор, сеть, потоки данных.

В существующих условиях весьма широкое распространение имеют многопроцессорные вычислительные системы. При решении задач, связанных с увеличением производительности подобных систем можно использовать два подхода.

В первом из них повышают тактовую частоту процессоров, во втором ориентируются на то, что параллельным образом выполняют программы. При осуществлении процессов компиляции для исходных последовательных программ для многопроцессорных систем активным образом применяют процедуры выявления информационно-независимых операторов при их дальнейшем распараллеливании.

Многопроцессорная техника развивается, что определяет возрастание числа процессоров в подобных системах, что ведет к необходимости того, чтобы происходила загрузка каждого из процессоров на основе информационно независимых задач и требуется, чтобы происходило распараллеливание последовательных программ для того, чтобы они выполнялись одновременным образом на нескольких процессорах [1, 2].

Особенно критичным это является в системах высокой готовности (в информационно-управляющих системах АЭС, в системах, связанных с управлением оружием, в банковских информационных системах) и других системах [3, 4].

Действующие способы и алгоритмы, которые направлены на выявление информационно-независимых участков в программах большей частью – программные, и проблемы, связанные с распараллеливанием циклических участков по последовательным программам с точки зрения

использования в системах высокой готовности рассмотрены в них в недостаточной мере.

Задача, связанная с распараллеливанием в многопроцессорных системах, когда ее решают программным способом, выполняется при помощи хост-процессора, который решает множество задач: маршрутизацию, проведение назначения и перераспределения задач, проведение реконфигурации и исполнение функций, которые требуются для того, чтобы управлять системой, что ведет к дополнительной нагрузке на хост-процессор.

Есть процессоры, в которых существуют встроенные дополнительные устройства по распараллеливанию, дающие возможности для повышения эффективности вычислительной системы, это ведет к тому, что будет функциональная разгрузка хост-процессора.

Но, процессы распараллеливания в таких системах выполняются лишь для уровня команд, в то время как проведение распараллеливания на уровне данных или участков программ дает возможности для увеличения быстродействия всей системы.

Так как в программах большая часть времени при их выполнении относится к циклам, то проведение их распараллеливания ведет к тому, что будет увеличение быстродействия в системе. Весьма заметно это будет для циклов, имеющих большое количество итераций, когда происходит распараллеливание для систем высокой готовности. Важная роль принадлежит использованию соответствующих алгоритмов управления компьютерной сетью [5-9].

Сейчас среди способов, связанных с классификацией ЭВМ довольно большое распространение имеет систематика Флинна. В таком методе классификации систем основное внимание уделяют подходам, описывающим взаимодействие потоков команд и потоков данных. Указанная классификация выделяет такие типы систем [10]:

SISD (Single Instruction, Single Data) – системы, имеющие одиночный поток команд и одиночный поток данных. К этому классу относят обычные последовательные ЭВМ;

SIMD (Single Instruction, Multiple Data) – системы, имеющие одиночный поток команд и множественный поток данных. В качестве примера можно привести многопроцессорные системы, имеющие единое устройство управления (ILLIAC IV, CM-1);

MISD (Multiple Instruction, Single Data) – системы, имеющие множественный поток команд и одиночный поток данных. В качестве примера можно привести систолические вычислительные системы или системы, в которых происходит конвейерная обработка данных;

MIMD (Multiple Instruction, Multiple Data) – системы, имеющие множественный поток команд и множественный поток данных. К такому

классу относятся большинство из параллельных многопроцессорных вычислительных систем.

Даже при широком распространении систематики Флинна, которая позволяет проводить классификацию вычислительных систем, в ней отмечают один существенный недостаток. В этой классификации к группе MIMD относят почти все параллельные вычислительные системы, хотя при этом они являются весьма разнородными.

В этой связи для MIMD систем есть предложения по своей отдельной классификации [10,11]. При этом многопроцессорные системы подразделяют по тому, как организована оперативная память в таких системах. Классификацию многопроцессорных вычислительных систем мы можем увидеть на Рисунке 1.

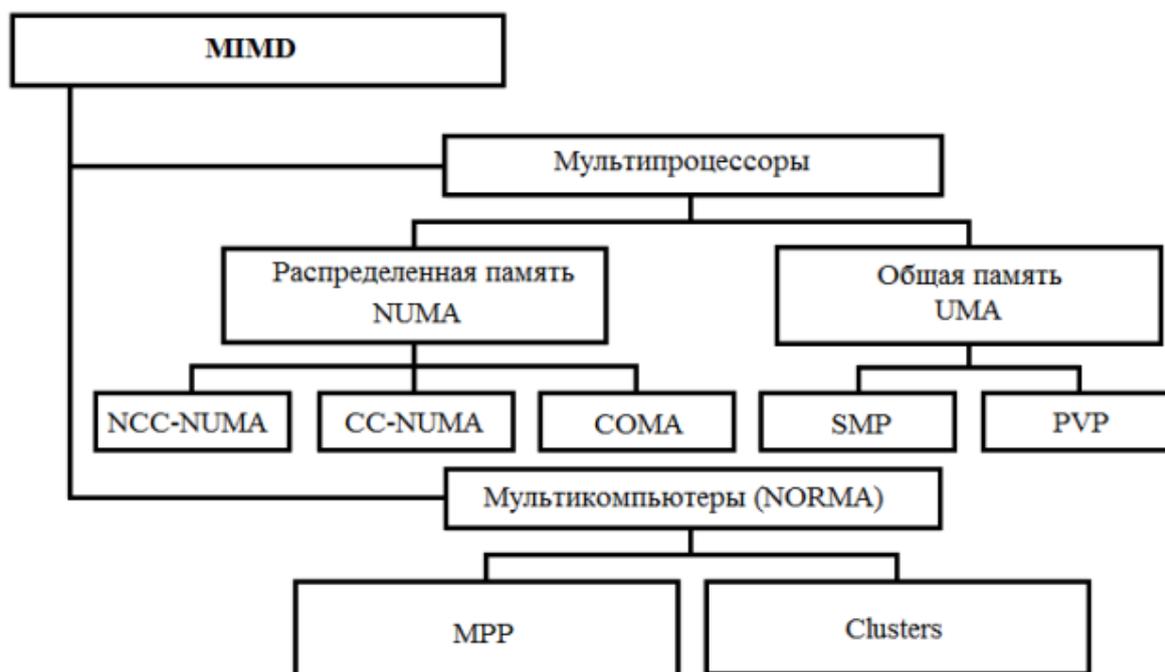


Рисунок 1 – Проведение классификации по многопроцессорным вычислительным системам.

В этой классификации происходит выделение двух основных классов многопроцессорных вычислительных систем – мультимикропроцессоров (говорят о системах с общей памятью) и мультимикрокомпьютеров (говорят о системах с распределенной памятью).

Происходит подразделение мультимикропроцессоров, в свою очередь, по способам организации общей памяти: рассматривают системы, имеющие однородную общую память (uniform memory access, UMA) и системы, имеющие неоднородную общую память (non-uniform memory access, NUMA).

Системы, имеющие однородную общую память, рассматриваются в качестве основы для того, чтобы строить векторные параллельные

процессоры (PVP) и симметричные мультипроцессоры (SMP). Векторный параллельный процессор – это суперкомпьютер Cray T90, симметричный - HP Superdome, IBM eServer и другие.

Архитектура многопроцессорных систем, имеющих общую память, дана на Рисунке 2.

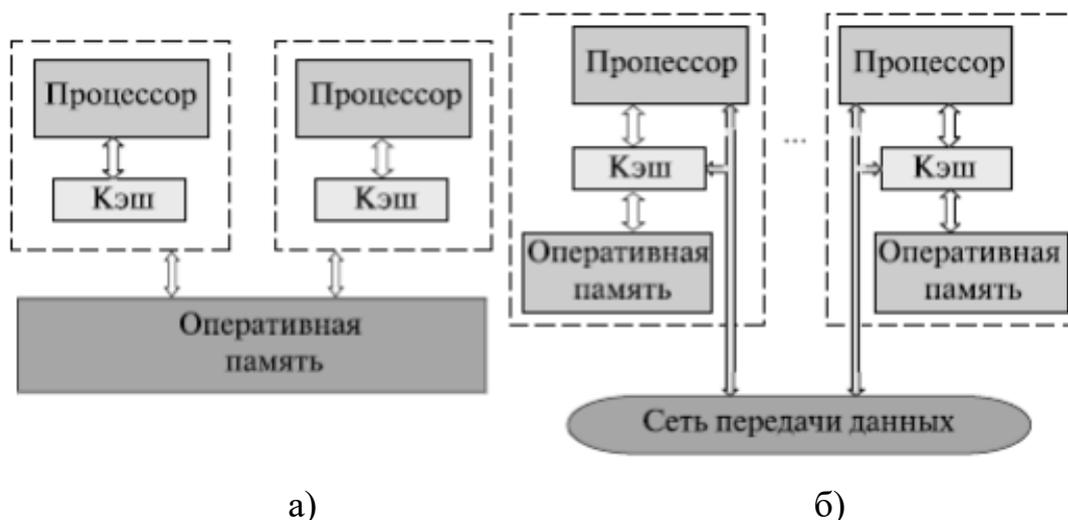


Рисунок 2 – Архитектура многопроцессорных систем, имеющих общую память: системы UMA (а) и NUMA (б).

Системы, имеющие неоднородную общую память, содержат:

СОМА-системы, в них применяют лишь локальный кэш по всем процессорам. Примерами являются системы DDM, KSR-1;

СС-NUMA-системы. Для таких систем происходит обеспечение когерентности по локальным кэшам процессоров. Примерами являются системы IBM/Sequent NUMA-Q 2000, SGI Origin 2000;

НСС-NUMA-системы. В таких системах не осуществляется поддержка когерентности кэша. Примером является система Cray T3E.

Когда организуются параллельные вычисления для систем, имеющих однородную общую память, то в качестве основной проблемы является обеспечение доступа различных процессоров к общим данным. При проведении обработки общих данных, внутри кэшей разных процессоров может происходить хранение копий одних и тех же переменных.

Если одним из процессоров произойдет изменение значения общей переменной, то значения копий этой переменной для кэшей других процессоров будем иметь неверными и, когда другими процессорами будут применяться значения из своих кэшей, это определит некорректность вычислений. Тогда появляется проблема когерентности кэша. Указанную проблему обычно решают на аппаратном уровне, но при этом происходит снижение общей скорости вычислений.

Кроме того, вследствие наличия общих данных, возникает необходимость в том, чтобы синхронизировались параллельные потоки команд [12, 13].

В системах, имеющих распределенную общую память, существует проблема временных задержек, когда используют распределенную память, поскольку значение времени доступа к локальной памяти и памяти других процессоров могут быть разными и различие может даже составлять несколько порядков. Указанные проблемы ведут к тому, что существенным образом повышается сложность параллельного программирования.

В мультимьюльтипроцессорах можно отметить принципиальное отличие от мульти-процессоров. В указанных системах каждым процессором используется только своя локальную память, а для того, чтобы был доступ к данным других процессоров происходит выполнение операции по передаче сообщений. Такой способ применяют при формировании массивно-параллельных систем (Intel PARAGON, IBM RS/6000 SP2, ASCI Red) и кластеров (NCSA NT Supercluster, AC3 Velocity).

Архитектуру вычислительных систем, имеющих распределенную память, мы можем увидеть на Рисунке 3.

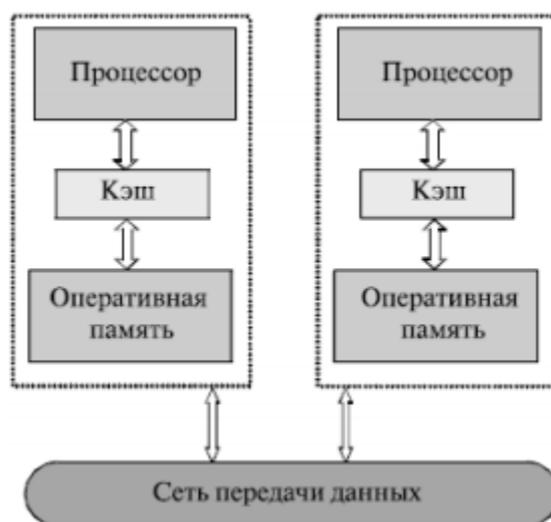


Рисунок 3 – Архитектура вычислительных систем, имеющих распределенную память.

Кластер является множеством компьютеров, которые объединены в сеть, для них обеспечивают возможность по унифицированному управлению и надежному функционированию вследствие использования специализированных аппаратно-программных средств [14].

Использование кластеров позволяет решить определенные проблемы, связанные с разработкой параллельных программ, поскольку появляются возможности построения кластеров из относительно небольшого количества отдельных компьютеров.

Как итог, происходит уменьшение объемов данных, которые передаются между компьютерами в кластере. Среди недостатков в кластерных системах можно отметить наличие дополнительных временных задержек, связанных с тем, что идет организация взаимодействия компьютеров в кластере на основе передачи сообщений. Это определяет то, что возникают ограничения по типу параллельных программ, которые разрабатывают.

Указанная выше классификация вычислительных систем дает возможности говорить о том, что существует множество подходов, связанных с построением многопроцессорных систем, в каждом из них есть свои преимущества и недостатки. В качестве особого класса вычислительных систем можно считать системы высокой готовности, для которых идет предъявление особых требований по характеристикам надежности и доступности систем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лавлинская О.Ю. Технологии облачных вычислений и их применение в решении практических задач / О.Ю.Лавлинская, Т.М.Янкис // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 1 (16). С. 33-36.
2. Часовской А.А. Оценка перспектив внедрения облачных вычислений на предприятиях и в государственном секторе на примере ФРГ // А.А.Часовской, Е.В.Алференко // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 1 (16). С. 94-97.
3. Lvovich I.Ya. The analysis of scattering electromagnetic waves with use of parallel computing / I.Ya.Lvovich, A.P.Preobrazhenskiy, O.N.Choporov, K.V.Kaydakova // В сборнике: 2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 - Proceedings 2015. С. 7147133.
4. Преображенский А.П. О возможностях ускорения вычислений при решении задач / А.П.Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 67-68.
5. Данилова А.В. Разработка локальной компьютерной сети предприятия / А.В. Данилова, А.Г.Юрочкин // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 2 (17). С. 66-69.
6. Данилова А.В. Методы измерения нагрузки сети / А.В. Данилова, А.Г.Юрочкин, О.В. Шадымова // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 2 (17). С. 73-76.

7. Вялова Е.П. Адаптивный алгоритм маршрутизации в компьютерной сети / Е.П.Вялова // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 2 (17). С. 97-100.
8. Preobrazhensky A.P. The models of information transmission in computer networks / A.P.Preobrazhensky // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 2 (17). С. 91-93.
9. Преображенский А.П. Исследование возможностей построения алгоритма оценки загрузки компьютерной сети / А.П.Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2015. № 14. С. 119-120.
10. Цилькер Б.Я. Организация ЭВМ и систем / Б.Я.Цилькер, С.А.Орлов // Учебник для вузов. 2-е изд. СПб.: Питер, 2011. 688 с.
11. Хюбнер М. Многопроцессорные системы на одном кристалле. Разработка аппаратных средств и интеграция инструментов. / М.Хюбнер, Ю.Бекер // М.: Техносфера, 2011. 304 с.
12. Корнеев В. В., Киселев А. В. Современные микропроцессоры. / В. В.Корнеев, А. В.Киселев // СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 448 с.
13. Воеводин В.В. Параллельные вычисления. / В.В.Воеводин, Вл.В.Воеводин //СПб.: БХВ-Петербург, 2002. 608 с.
14. Таненбаум Э. Распределенные системы. Принципы и парадигмы. / Э.Таненбаум //СПб.: Питер, 2003. 877 с.

A.M.Yaschuk, S.V.Yacutin

## THE PROPERTIES OF PARALLEL COMPUTING SYSTEMS

*Voronezh Institute of High Technologies*

*Russian new university*

*This paper discusses the basic properties of parallel systems. The approaches, which can be used to achieve parallelism are specified. The characteristics of Flynn's taxonomy, which describes the interaction of flows of commands and data streams are shown. A classification of multiprocessor computing systems is given. The architecture of multiprocessor systems with shared memory is shown. The features of systems with heterogeneous shared memory are specified. The description of the architecture of computer systems having distributed memory is carried out. The differences of multicomputers from multiprocessors are discussed. The advantages of clusters as a means of parallelization are shown.*

**Keywords:** parallel computing, CPU, network, and data flows.

## REFERENCES

15. Lavlinskaja O.Ju. Tehnologii oblachnyh vychislenij i ih primenenie v reshenii prakticheskikh zadach / O.Ju.Lavlinskaja, T.M.Jankis // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tehnologij. 2016. No. 1 (16). pp. 33-36.
16. Chasovskoj A.A. Ocenka perspektiv vnedrenija oblachnyh vychislenij na predpriyatijah i v gosudarstvennom sektore na primere FRG // A.A.Chasovskoj, E.V.Alferenko // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tehnologij. 2016. No. 1 (16). pp. 94-97.
17. Lvovich I.Ya. The analysis of scattering electromagnetic waves with use of parallel computing / I.Ya.Lvovich, A.P.Preobrazhenskiy, O.N.Choporov, K.V.Kaydakova // V sbornike: 2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 - Proceedings 2015. S. 7147133.
18. Preobrazhenskiy A.P. O vozmozhnostjakh uskorenija vychislenij pri reshenii zadach / A.P.Preobrazhenskiy // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tehnologij. 2014. No. 12. pp. 67-68.
19. Danilova A.V. Razrabotka lokal'noj komp'yuternoj seti predpriyatija / A.V. Danilova, A.G.Jurochkin // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tehnologij. 2016. No. 2 (17). pp. 66-69.
20. Danilova A.V. Metody izmerenija nagruzki seti / A.V. Danilova, A.G.Jurochkin, O.V. Shadymova // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tehnologij. 2016. No. 2 (17). pp. 73-76.
21. Vjalova E.P. Adaptivnyj algoritm marshrutizacii v komp'yuternoj seti / E.P.Vjalova // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tehnologij. 2016. No. 2 (17). pp. 97-100.
22. Preobrazhenskiy A.P. The models of information transmission in computer networks / A.P.Preobrazhenskiy // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tehnologij. 2016. No. 2 (17). pp. 91-93.
23. Preobrazhenskiy A.P. Issledovanie vozmozhnostej postroenija algoritma ocenki zagruzki komp'yuternoj seti / A.P.Preobrazhenskiy // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tehnologij. 2015. No. 14. pp. 119-120.
24. Cil'ker B.Ja. Organizacija JeVM i sistem / B.Ja.Cil'ker, S.A.Orlov // Uchebnik dlja vuzov. 2-e izd. SPb.: Piter, 2011. 688 p.
25. Hjubner M. Mnogoprocessornye sistemy na odnom kristalle. Razrabotka apparatnyh sredstv i integracija instrumentov. / M.Hjubner, Ju.Beker // M.: Tehnosfera, 2011. 304 p.
26. Korneev V. V., Kiselev A. V. Sovremennye mikroprocessory. / V. V.Korneev, A. V.Kiselev // SPb.: BHV-Peterburg, 2003. 448 p.
27. Voevodin V.V. Parallelnye vychislenija. / V.V.Voevodin, Vl.V.Voevodin //SPb.: BHV-Peterburg, 2002. 608 s.
28. Tanenbaum Je. Raspredeleennye sistemy. Principy i paradigmy. / Je.Tanenbaum //SPb.: Piter, 2003. 877 s.