

Это позволяет приступить к разработке подходов к объединению данных в интересах ситуационной оценки эмоционально-физического состояния человека-оператора эргатических систем. Разработанная МПО деятельности оператора позволяет в динамике интерпретировать явления предметной области в виде сущностей, описывать их значения и степень влияния друг на друга, а также прогнозировать возможное развитие событий в рассматриваемой предметной области.

Вопросы разработки метода объединения разнородных данных, характеризующих сущности предметной области, а также алгоритмизации функционирования информационно-технических систем ситуационной оценки эмоционально-физического состояния человека-оператора

эргатических систем будут рассмотрены в дальнейших работах по данной тематике.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джексон П. Введение в экспертные системы. М., 2001.
2. Липаев В. В. Надежность программных средств. М.: СИНТЕГ, 1998.
3. Захаров В. Н. и др. Системы управления. М.: Энергия, 1977.
4. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем. М.: Высшая школа, 1998.
5. Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. М.: Эдиториал УРСС, 2002.
6. Городецкий В. И., Котенко И. В., Карсаев О. В. Многоагентные системы (обзор) // Новости искусственного интеллекта. 1998 №2. С. 64—116.
7. Smarandache F., Vasantha Kandasamy W. B. Fuzzy Cognitive Maps and Neutrosophic Cognitive Maps. Univ. of New Mexico. Gallup, 2002.

УДК 681.324

## Основные проблемы синтеза распределенных вычислительных сред на базе компьютерных сетей

Р. М. АЛГУЛИЕВ, чл.-корр. НАНА, д-р техн. наук, проф.,  
Р. К. АЛЕКПЕРОВ, канд. техн. наук

Институт информационных технологий НАНА, Баку

*Рассмотрены основные проблемы синтеза распределенных вычислительных сред (РВС) на базе компьютерных сетей (КС). Показано, что при создании РВС на основе КС надо учитывать такие факторы, как архитектура, надежность, безопасность, производительность компьютеров, скорость передачи каналов связи, разнородность подзадач по вычислительной сложности, оптимальное распределение заданий и т. п.*

**Ключевые слова:** распределенное вычисление, надежность и безопасность вычислительной среды, распределение нагрузки, метакомпьютерная среда.

**В** настоящее время системы высокопроизводительных распределенных вычислений, создаваемые на основе объединения множества подключенных к Интернету компьютеров, рассматриваются как наиболее перспективные. Повышение надежности, увеличение пропускной способности интернет-среды и быстрое развитие информационных технологий и сетевых средств привело к увеличению вычислительной мощности, сосредоточенной в компьютерных сетях (КС). Возникла идея создавать распределенные вычислительные среды (РВС) на базе общедоступных компьютеров КС для решения сложных задач.

Использование КС для решения сложных вычислительных задач уже сегодня — дело вполне реальное. Эта технология рассматривается миро-

вым сообществом как наиболее перспективная для проведения распределенных вычислений, использующих географически рассредоточенные ресурсы. В настоящее время в мире осуществляются различные проекты по использованию вычислительных мощностей, имеющихся в КС, к числу которых можно отнести Distributed.net, Globus, SETI@home и др.

Использование вычислительных мощностей КС для создания РВС требует решения ряда сложных задач, связанных с управлением заданиями, безопасностями, надежностями и др. Кроме того, гетерогенность КС и непредсказуемое поведение вычислительной среды во время решения задач приводят к проблеме рационального использования вычислительной мощности, сосредоточенной в сети.

Идея использования незадействованной вычислительной мощности, дешевой и не ограниченной в объеме памяти представляется весьма привлекательной. Сейчас в мире насчитывается множество компьютеров, в том числе рабочие станции, ПК, мощные серверы и кластеры, суперкомпьютерные системы. Многие из них объединены в сети. Благодаря различным службам, таким как e-mail, ftp, www, в Интернете можно обмениваться информацией между компьютерами. С развитием сети Интернет появилась концепция использования вычислительных ресурсов географически распределенных вычислительных систем, в том числе обычных персональных компьютеров, для решения сложных задач. Такая концепция получила название метакомпьютинг или Grid [1, 2].

Grid — это географически распределенная вычислительная система, объединяющая множество разных ресурсов (таких как процессорный, коммуникации, система хранения данных, информационные системы, а также программные фонды), доступ к которым пользователь может получить из любой точки, независимо от места их расположения. Grid — также сетевая служба, и, подобно тому, как происходит обмен данными между подключенными к Интернету компьютерами, так и она позволяет обмениваться вычислительными ресурсами, дисковым пространством и т. д. Основная задача Grid — создание протоколов и сервисов для обеспечения надежного и безопасного доступа к географически распределенным информационным вычислительным ресурсам: отдельным компьютерам, кластерам, суперкомпьютерным центрам, хранящим информацию, сетям и т. п. [3, 4].

#### **Анализ возможности создания РВС на базе КС**

Сегодня наблюдается быстро растущий интерес к технологиям Grid как со стороны научных исследователей, так и со стороны коммерческих предприятий. Как следствие, сейчас предлагается множество систем для организации распределенных вычислений, которые реализуют определенные концепции Grid. К их числу можно отнести такие инструментари, как Alchemi [<http://www.alchemi.net>], NGrid [<http://ngrid.sourceforge.net>], X-Com [<http://x-com.parallel.ru>], проект XtermWeb [<http://www.xtermwebch.net>]. Характерной особенностью перечисленных систем является возможность быстрой и простой организации вычислений в имеющейся компьютерной сети, а основная их задача — повышение эффективности использования доступных ресурсов [5].

Проанализировав состояние дел в данной области, можно констатировать, что реальная работа по созданию и использованию РВС-метакомпьютинга сегодня ведется по трем направлениям [6].

Первое направление — это создание универсальных метакомпьютерных сред. Практически все основные производители программного обеспечения (Oracle, IBM, HP, Sun и др.) работают в данном направлении. В качестве стандарта широко используют Globus, создавая программную инфраструктуру для своих платформ [7]. На основе этого же пакета формируются глобальные полигоны, объединяющие высокоскоростными сетями значительно распределенные вычислительные ресурсы. Второе направление состоит в разработке инструментария для организации распределенных вычислений. Третье направление получается из первого, если универсальность среды заменить четкой ориентацией на конкретные задачи. Речь идет о создании специализированных метакомпьютерных сред для решения небольшого набора многократно используемых сложных вычислительных задач. Такая постановка намного более реалистична, поскольку специфика задачи известна заранее, что помогает спроектировать эффективную среду для ее решения.

Безусловно, универсальные среды являются перспективным направлением, но создать такую среду очень сложно. Globus Toolkit — стандарт де-факто, но инсталляция слишком трудна и сложна в использовании. Поэтому нужен простой инструментарий, который помог бы быстро создавать распределенные приложения и использовать доступные вычислительные ресурсы. При решении задачи интеграции вычислительных ресурсов компьютеров разных организаций наиболее серьезными являются две проблемы [8]:

сложность администрирования компьютеров, принадлежащих разным учреждениям, организациям, фирмам;

рациональное использование так называемой низкокачественной вычислительной мощности, сосредоточенной в сети.

Сложность использования компьютеров, принадлежащих разным организациям, вполне объяснима. Даже при наличии желания администрации какой-либо организации предоставить простаивающую вычислительную мощность своих компьютеров сторонним пользователям для выполнения расчетов, обеспечить им административный доступ к операционным системам и файлам трудно.

С одной стороны, операционная система рабочей станции, используемой в качестве вычислительного узла метакомпьютинга, конфигури-

руется совершенно конкретным образом в расчете на максимальную производительность. При работе на этом узле соблюдается строжайшая дисциплина доступа к его ресурсам из единого центра — центрального узла метакомпьютинга. Таким способом достигаются управляемость и целостность системы. С другой стороны, свободные ресурсы компьютеров, принадлежавшие разным организациям, используются не на принципах добровольности, а на традиционных рыночных принципах. Коммерциализация вычислений дает возможность увеличить количество участников в создаваемом метакомпьютинге [2, 9, 10].

На рынке услуг метакомпьютинга поставщики и потребители вычислительных ресурсов имеют различные цели, используют разные стратегии и экономические механизмы регулирования спроса и предложения. В этих условиях разработка архитектурно-технологических принципов создания РВС для решения сложных задач на базе КС является актуальной проблемой.

В настоящее время используются различные экономические подходы организации распределенных вычислений на базе КС. Многие системы, такие как Legion, Condor, Apples PST, Netsolve, Punch, XTRemweb и т. п., используют простые схемы распределения, когда центральный компьютер, отвечающий за распределение, решает, какие задачи должны быть выполнены на каком ресурсе, используя функции стоимости, задаваемые системными параметрами. Они не рассматривают цену использования каждого ресурса, а это означает, что значимость выполнения всех приложений в любое время одинакова, что в реальности далеко не так. Значимость должна возрастать с приближением срока выполнения прикладной задачи [11, 12].

Гетерогенность состава вычислительных узлов и непредсказуемые изменения вычислительной среды во время решения задачи приводят к проблеме рационального использования вычислительной мощности, сосредоточенной в сети [13, 14].

Анализ существующих на сегодняшний день технологий и программных средств, позволяющих решать вычислительные задачи в КС, показывает, что процесс разработки приложений для решения задач с использованием сети в качестве вычислительного ресурса является сложным, так как содержит множество этапов, начиная от разработки параллельного алгоритма и заканчивая мониторингом ресурсов и распределения нагрузки [15].

Проблема распределения нагрузки в параллельных вычислениях является одной из самых

важных, особенно в такой динамично меняющейся среде, как КС. И именно от решения этой проблемы в основном зависит эффективность параллельного решения задачи, т. е. тот выигрыш во времени, который можно получить по сравнению с последовательным решением [16].

Некоторые из рассматриваемых средств реализуют методы распределения нагрузки, что снижает трудоемкость разработки приложений при использовании этих средств [2, 17]. Но данные методы не обеспечивают рационального использования ресурсов сети, так как не исключают простоя компьютеров. Так, в ADM (Application Data Movement) точность распределения зависит от некоторой функции, которую должен написать разработчик. Метакомпьютинг Condor требует описания ресурсов от разработчика и распределяет нагрузку на основании этого описания. При этом не учитывается реальная загрузка компьютеров, которая может меняться во время вычисления. Метакомпьютинг Piranha просто выбирает один из свободных компьютеров случайным образом, не учитывая реальные возможности компьютеров и требуемые ресурсы для решения задачи. Sun Grid Engine и Netsolve распределяют нагрузку на основании данных мониторинга сети, где собирают информацию о загрузке вычислительных узлов в текущий момент времени и соответственно с этим отправляют задачу на наименее загруженный компьютер. Подобный подход обеспечивает более точное распределение нагрузки, не требующее от разработчика каких-либо данных или действий, но при этом возникают дополнительные накладные расходы на проведение мониторинга.

Рассмотренные указанные выше метакомпьютинги не обеспечивают оптимального использования вычислительных ресурсов сети с учетом минимизации времени решения задачи и накладных расходов.

Рациональное использование ресурсов метакомпьютинга определяется перечисленными ниже критериями [18—20]:

- необходимость использования всех доступных вычислительных ресурсов;
- минимизация простоев вычислительных узлов и обеспечение их постоянной загрузкой;
- минимизация накладных расходов;
- обеспечение безопасности;
- обеспечение надежности.

На основании данных критериев можно сделать оценку эффективности методов решения задач в сети и максимально выгодно использовать доступные ресурсы.

Рассмотренные метасистемы обычно используют статистические методы распределения на-

грузки [21]. В статистическом методе вся задача делится на подзадачи одинакового размера. При этом выравнивание нагрузки происходит за счет количества подзадач, просматриваемых каждым компьютером. Каждый компьютер после обработки очередной подзадачи запрашивает следующую. Чем больше мощность компьютера, тем больше подзадач он успевает обработать. Таким образом, быстрый компьютер обрабатывает большее число, а медленный — меньшее число подзадач. Это достаточно известный подход к распределению нагрузки.

Однако эта методика не позволяет сбалансировать накладные расходы (стоимость арендуемых вычислительных ресурсов, память, канал связи и др.) и время решения подзадачи. Стоимость накладных расходов при организации вычислений одной подзадачи для различных компьютеров будет примерно одинакова. Следовательно, размер накладных расходов зависит от числа подзадач, а число подзадач — от размера одной подзадачи. Таким образом, увеличивая размер подзадачи, мы уменьшаем их количество, а следовательно, и накладные расходы.

Но, с другой стороны, увеличивая размер подзадачи, мы увеличиваем время, необходимое для решения задачи, которое определяется интервалом времени, прошедшего с момента окончания работы первым компьютером, и до момента времени окончания работы последним компьютером. При этом время решения задачи будет равно времени решения одной подзадачи на самом медленном компьютере.

Следовательно, при увеличении размера подзадачи увеличивается значение времени решения задачи и уменьшаются накладные расходы.

Для минимизации времени решения задачи и накладных расходов используется динамический (адаптивный) метод распределения нагрузки с учетом коэффициента загруженности компьютеров [16, 22].

При создании распределенной среды необходимо учитывать ряд важных требований к вычислительной среде, к числу которых относятся надежность и безопасность. Анализ различных подходов к организации распределенных вычислений на базе локальных и глобальных КС показывает, что наряду с преимуществами эти подходы имеют ряд недостатков, связанных с вопросами обеспечения надежности [23]. Несомненно, что объединение большого количества географически распределенных компьютеров в единую РВС предъявляет жесткие требования к надежности ее функционирования. Поэтому при организации распределенных вычислений необходимо учитывать этот важный фактор. Также

при организации распределенных вычислений на базе глобальных КС надо учитывать и вопросы безопасности [3]. Объединение большого количества географически распределенных компьютеров открытых компьютерных сетей (ОКС) в единую распределенную систему вычислений предъявляет жесткие требования к обеспечению безопасности решения задачи (должны быть обеспечены сохранность задач и данных и их защита от несанкционированного доступа).

Чтобы обеспечить надежную защиту ресурсов распределенной системы, нужно провести ряд организационно-технических мероприятий. В числе этих мероприятий особую роль играет использование межсетевых экранов, которые служат основным средством контроля внешнего доступа к ресурсам компьютерной сети в целях предотвращения проникновения злоумышленников. Применение межсетевых экранов для безопасности информации в распределенных системах обуславливает необходимость оперативной настройки параметров на основе существующих аутентификационных правил между компьютерами сети, а также их скоординированного функционирования с учетом требований политики безопасности. Указанная выше политика безопасности увеличивает стоимость и усложняет управление создаваемой распределенной системой на базе компьютерной сети.

Для более эффективного обеспечения безопасности распределенных вычислений предлагается использовать виртуальную частную сеть с перестраиваемой структурой [24]. При этом в соответствии с архитектурой решения сложных задач для каждого уровня необходимо определить условия изменения внутренней структуры среды распределенных вычислений.

В РВС также можно решать задачи, результаты подзадач которых взаимосвязаны. Однако при реализации таких задач в компьютерных сетях возникает проблема эффективного распределения заданий между процессорами. Суть проблемы заключается в том, что при распределении заданий между компьютерами на производительность системы влияют два конфликтующих фактора — равномерная загрузка и межкомпьютерные взаимодействия [25, 26]. Однако в этих работах задача решается при некоторых допущениях. В работе [25] не учитываются межпроцессорные взаимодействия, и при этом эффективность системы обеспечивается за счет равномерной загрузки процессоров. А в работе [26] на каждый процессор заранее распределяется равное число заданий, и эффективность достигается за счет минимизации межпроцессорных

взаимодействий. В работе [27] система считается однородной.

Для решения проблемы минимизации времени предлагается модель эффективного распределения заданий в распределенной системе с учетом загруженности компьютеров и межкомпьютерных взаимодействий в неоднородной среде [28].

### Заключение

Проведенный анализ показывает, что при создании РВС на основе КС приходится учитывать множество факторов: архитектуру, надежность, безопасность, производительность компьютеров, скорость передачи каналов связи, разнородность подзадач по вычислительной сложности, оптимальное распределение заданий и т. п. При этом главная цель заключается в повышении эффективности использования простаивающих вычислительных ресурсов КС.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черняк Л. Grid как будущее компьютеринга // Открытые системы. 2003. № 1. С. 16–19.
2. Lawton G. Distributed net application create virtual Supercomputers // Computer. 2000. 33. № 6. P. 16–20.
3. Управление метакомпьютерными системами / А. Киселев, В. Корнеев, Р. Семенов и др. // Открытые системы. 2005. № 2. С. 11–16.
4. Структура и проблемы развития программного обеспечения среды распределенных вычислительных Грид / В. И. Коваленко, Е. И. Коваленко, Д. А. Карягин и др. // Препринт Института прикладной математики. РАН. 2002. № 22. С. 1–23.
5. Боголепов Д. К. Использование ресурсов гри для выполнения распределенных вычислений // Научный сервис в сети Интернет: решение больших задач: Тр. Всероссийской науч. конф. (22–27 сентября 2008 г., Новороссийск). М.: Изд-во МГУ, 2008. С. 322–325.
6. Филимофитский М. П. Система поддержки метакомпьютерных расчетов X-COM. Архитектура и технология работы // Вычислительные методы и программирование. 2004. Т. 5. С. 1–9.
7. Foster I., Kesselman C. A Metacomputing Infrastructure Toolkit // International Journal of Applications. 1997. № 1. P. 115–128.
8. Крюков Ю. А. Вычислительная инфраструктура для прикладных задач, будущее и настоящее // Геоинформатика. 2004. № 9. С. 57–61.
9. Коренков В. В., Тихоноженко Е. А. Организация вычислений в научных отраслях // Открытые системы. 2001. № 2. С. 27–34.
10. Pescovitz D. Power to the PC. Sci. Amer. 2000. 282. № 4. P. 15–16.
11. Buaya R., Abramson D., Giddy J. An Economy Driven Resource Management Architecture For Global Computational Power Grids // International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications. 2000. P. 271–283.
12. Performance bounds for level-oriented two-dimensional packing algorithms / E. J. Coffman, M. R. Grey, D. S. Johnson, etc. // SIAM J. Computing. 1980. V. 9. P. 808–826.
13. Степанченко И. В. Алгоритмы выбора вычислительного ресурса в гетерогенной распределенной вычислительной системе // Математика, компьютер, образование. Вып. 10. Ч. 2. Сб. науч. тр. / Под ред. Г. Ю. Ризниченко. Москва—Ижевск: Науч. изд. центр "Регулярная и хаотическая динамика", 2003. С. 17–25.
14. Таненбаум Э., Ван Стеен М. Распределенные системы. Принципы и парадигмы. СПб.: Питер, 2003. 877 с.
15. Существующие технологии распределенных вычислений и тенденции их развития / <http://www.airesearch.ru/archiv.php>.
16. Степанченко И. В. Алгоритмы самоорганизации распределенной вычислительной системы // Тр. второй междунар. конф. Параллельные системы вычисления и задачи управления. М., 4–6 октября 2004. С. 164–173.
17. Foster I., Kesselman C. (edit.). The Grid: Blueprint for New Computing Infrastructure. Morgan Kaufman, San Fransisko, 1999. 438 p.
18. Афанасьев А. П., Волошинов В. В., Кривцов В. Е. Об организации распределенных вычислений в сетях // Тез. докл. первой московской конф. Декомпозиционные методы в математическом моделировании. М., 25–29 июня 2001. М.: Изд.-во ВЦ РАН, 2001. С. 7–10.
19. Крупин А. М., Самохин А. М., Хохлов С. А. Метакомпьютинг в распределенных информационных системах // Тр. 2-й междунар. конф. Параллельные вычисления и задачи управления. М., 4–6 октября 2004. С. 451–457.
20. Топорков В. В. Оптимизация распределения ресурсов в системах жесткого реального времени // Изв. Академии наук. Теория и системы управления. 2004. № 3. С. 61–71.
21. Степанченко И. В. Адаптивный алгоритм назначения подзадач в гетерогенной распределенной вычислительной системе // Математические методы в технике и технологиях: Сб. тр. XVI междунар. науч. конф. Т. 6. / Под общ. ред. В. С. Балакирева / Ростов-на-Дону, 2003. С. 119–122.
22. Фомичев В. С., Смирнов А. Н. Методы динамической загрузки компьютеров при параллельном решении задач в сети // Сб. докл. V междунар. конф. по мягким вычислениям (SMS 2002). СПб. Гидрометеоздат, 2002. Т. 1. С. 274–277.
23. Алгулиев Р. М., Алекперов Р. К., Алиев И. М. Об одном методе организации надежной распределенной вычислительной среды с применением мультиагентной технологии // Тр. Института системного анализа Российской академии наук (ИСА РАН). Сетевые и алгоритмические задачи распределенных вычислений. Москва, 2004. С. 66–172.
24. Алгулиев Р. М., Алекперов Р. К., Алиев И. М. Об одном методе обеспечения безопасной сетевой среды для распределенных вычислений // Тр. II Междунар. конф. Параллельные вычисления и задачи управления. РАН им. Трапезникова, ИПУ, Россия, Москва, 4–6 октября 2004. С. 814–821.
25. Лобков С. Н., Ревин С. Б. К вопросу оценки одного метода оптимального распределения заданий в многопроцессорных вычислительных системах // Изв. вузов Северо-Кавказского региона. Естественные науки. 1998. № 2. С. 34–42.
26. Лобков С. Н., Фатхи В. А. Подход к минимизации межпроцессорных взаимодействий при организации вычислительного процесса в многопроцессорных системах // Изв. РАН. ТиСУ. 2003. № 6. С. 106–112.
27. WWW-based distributed computing / Zhang Weiqi, Hvang Yaping, Xia Hongshan, etc. // Aeron. and Astronaut. 2000. 32. № 6. P. 686–690.
28. Алгулиев Р. М., Алыгулиев Р. М., Алекперов Р. К. Подход к оптимальному назначению заданий в распределенной системе // Проблемы управления и информатики. Киев. 2004. № 5. С. 140–145.