

УДК 681.512

МИРОШНИК М.А., д.т.н., профессор (УкрГАЗТ)

## Проектирование распределенных вычислительных систем на базе компьютерных сетей

*В данной статье рассмотрены основные проблемы синтеза распределенных вычислительных сред на базе компьютерных сетей. 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.д.*

**Ключевые слова:** распределенное вычисление, распределенная вычислительная систем, кластерная система, метакомпьютерная среда, метакомпьютерный тип, надежность и безопасность вычислительной среды, распределение нагрузки.

### Введение

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 мировым 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.

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 неограниченной 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 возможно 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 (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.д. [3, 4].

**Анализ 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. Характерной особенностью систем является возможность быстрой и простой организации вычислений в имеющейся компьютерной сети, а основная их задача – повышение эффективности использования доступных ресурсов [5].

Проанализировав работы 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 используется Globus, создавая программную инфраструктуру для своих платформ. 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 [7].

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 для выполнения расчетов, обеспечить административный доступ для сторонних пользователей к операционным системам и файлам трудно.

С другой стороны, операционная система рабочей станции, используемой в качестве вычислительного узла метакомпьютинга, конфигурируется 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 [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 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.

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

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, т.к. содержит множество этапов, начиная от разработки параллельного алгоритма и заканчивая мониторингом ресурсов и распределением нагрузки.

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.

Некоторые из рассматриваемых средств реализуют методы распределения нагрузки, что снижает трудоемкость разработки приложений при использовании этих средств. Но данные методы не обеспечивают рационального использования ресурсов сети, т.к. не исключают простоя компьютеров. Так, например, в ADM (Application Data Movement) точность распределения зависит от некоторой функции, которую должен написать разработчик. Метакомпьютинг Condor требует описания ресурсов от разработчика и распределение нагрузки производит 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 тем самым реальных возможностей компьютеров и требуемых ресурсов для задачи. Sun Grid Engine и Netsolve распределение нагрузки производят на основании данных мониторинга сети, где собирают информацию о загруженности 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 осуществление мониторинга.

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

Рациональное использование ресурсов метакомпьютинга определяется ниже перечисленными критериями:

- 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 нагрузки. 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. Но эта методика не позволяет сбалансировать величины накладных расходов (стоимость арендуемых вычислительных ресурсов, память, канал связи и др.) и время решения подзадачи. Стоимость на накладные расходы при организации вычислений одной подзадачи для различных компьютеров будет примерно одинакова. Следовательно, величина накладных расходов зависит от количества подзадач, а количество подзадач зависит 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 величину времени решения задачи, которая определяется временем, прошедшим 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 величина 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.

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. 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. Объединение большого количества географически распределенных компьютеров открытых компьютерных сетей (ОКС) в единую распределенную систему вычислений (РСВ) предъявляет жесткие требования к обеспечению

безопасности решения задачи (задачи и данные не должны теряться и обязаны быть защищены от несанкционированного доступа к ним).

Для того чтобы обеспечить надежную защиту ресурсов распределенной системы, нужно осуществить ряд организационно-технических мероприятий. В числе этих мероприятий особую роль играют межсетевые экраны, которые являются основным средством контроля внешнего доступа к ресурсам компьютерной сети в целях предотвращения проникновения злоумышленников. Применение межсетевых экранов для безопасности информации в распределенных системах требует осуществления оперативной настройки параметров на основе существующих аутентификационных правил между компьютерами сети, а также скоординирования их функционирования с учетом требований политики безопасности. Вышеуказанная 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. 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, у которых результаты подзадач взаимосвязаны друг с другом. Однако при реализации таких задач в компьютерных сетях существует 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.

Однако в этих работах задача решается при некоторых допущениях. В работе межпроцессорные взаимодействия не учитываются, и при этом эффективность системы осуществляется за счет равномерной загрузки процессоров. А в работе на каждый процессор заранее распределяется равное число заданий, и эффективность достигается за счет минимизации межпроцессорных взаимодействий. В другой работе 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.

## Выводы

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.д. При этом главная цель заключается в повышении эффективности использования простаивающих вычислительных ресурсов КС.

## Литература

1. Мирошник М.А. Размещение подзадач в распределенных вычислительных системах кластерно-метакомпьютерного типа. / М.А. Мирошник, Л.А. Клименко // Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. – 2014. – №4. – С. 71-77.
2. Мирошник М.А. Методы интерактивного управления ресурсами технических систем при проектировании. / М.А. Мирошник, Ю.Н. Салфетникова // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2013. – №4. (приложение 27 межд. Конф. «Перспективні компютерні управляючі і телекоунікаційні системи) с.4-5.
3. Miroshnik M. Application of software complex for query processing in the database management system with a view of dispatching problem solving in Grid systems. / Miroshnik M. Kotukh V.G., Selevko S.N. // Telecommunications and radio engineering. – 2013. Vol.27, № 10. – p 875-891.
4. Мирошник М.А. Синтез распределенных компьютерных сред на базе компьютерных сетей. / Систем и обробки інформації. – 2013 – №7 (114). 4стр
5. Патент на винахід № 98395 <sup>(51)</sup>МПК G01F 11/28 (2006.01), G01R 35/00 - Пристрій для функціонального діагностування пристрою регулювання росту монокристалів, заєстровано 11.05.2012.
6. Мирошник М.А. Отказоустойчивые вычислительные системы с реконфигурируемой структурой / М.А. Мирошник, Г.И. Загарий // Третя міжнародна науково-практична конференція «Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації». Вінниця. 29-31 травня 2012 р. – С. 24.
7. Miroshnik M. Design of a Built-in Diagnostic Infrastructure for Fault-Tolerant Telecommunication Systems. / Miroshnik M., Zagariy G.I. // Modern Problems of Radio, Engineering, Telecommunications and Computer Science – Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Conference, TCSET'2012. – 2012.

8. Мирошник М.А. Подход к проектированию компьютерных систем с интеллектуальной диагностической инфраструктурой. / С.Г. Карпенко, М.А. Ковалева, С.В. Панченко // Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011. – №6. – С. 51-59.
9. Мирошник М.А. Отказоустойчивость распределенных телекоммуникационных систем. / М.А. Мирошник, В.Г. Котух, С.Н. Селевко // РАДІОТЕХНІКА: Всеукр. міжвед. науч.-техн. сб. 2011. Вып. 168. С. 51–55.
10. Мирошник М.А. Решение задач диспетчеризации в распределенных телекоммуникационных системах. / М.А. Мирошник, В.Г. Котух, С.Н. Селевко // РАДІОТЕХНІКА: Всеукр. міжвед. науч.-техн. сб. 2011. Вып. 169. С. 139–152.

**Мірошник М.А. ПРОЕКТУВАННЯ РОЗПОДІЛЕНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ НА БАЗІ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ.** У статті розглянуті основні проблеми синтезу розподілених обчислювальних середовищ на базі комп'ютерних мереж. Показано, що при створенні РОС на основі КС треба враховувати такі фактори, як архітектура, надійність, безпека, продуктивність комп'ютерів, швидкість передачі каналів зв'язку, різноманітність підзадач з обчислювальною складністю, оптимальний розподіл завдань і тощо.

**Ключові слова** розподілене обчислення, розподілена обчислювальна система, кластерна система, метакомп'ютерна середа, метакомп'ютерний тип, надійність і безпека обчислювального середовища, розподіл навантаження.

---

**Miroshnik M.A. THE DESIGN OF DISTRIBUTED COMPUTING SYSTEMS BASED ON COMPUTER NETWORKS.** This article describes the synthesis of the basic problems of distributed computing environments based on computer networks. It is shown that the establishment of the PBC on the basis of the COP must take into account factors such as architecture, reliability, security, performance of computers, the transmission rate of communication channels, the heterogeneity of the subtasks on the computational complexity of the optimal distribution of tasks, etc.

**Key words:** distributed computing, distributed computing systems, the cluster system, metacomputing environment metacomputing type, reliability and security of the computing environment, the distribution of the load.

Рецензент д.т.н., професор, професор кафедри СКС  
Листровой С.В. (УкрГАЗТ)

*Поступила 30.09.2014г.*