

Разработка и исследование программных методов повышения надежности распределенных вычислений в модели исчисления древовидных структур

Ю.С. Затуливетер, А.В. Топорищев, Е.А. Фищенко, И.А. Ходаковский

Формулируется проблема повышения надежности универсально программируемых распределенных вычислений и процессов управления в недетерминированных компьютерных средах. Предлагаются и исследуются программные методы повышения надежности, за счет введения избыточных вычислений посредством одновременного исполнения на многих ненадежных компьютерах, связанных сетями, идентичных вычислительных процессов. С применением методов исчисления древовидных структур, положенных в основу универсально программируемых распределенных вычислений, разрабатываются алгоритмы реализации в сетевых ресурсах предложенных моделей повышения надежности.

1. Введение

Современный уровень развития компьютерных сетей позволяет использовать большие количества отдаленных компьютеров для организации распределенных вычислений, а также для построения распределенных систем управления разнообразного назначения. Известные подходы к созданию систем распределенной обработки данных в сетевых ресурсах, строятся как дополнительные технологические надстройки, над стандартными операционными системами. В результате получаются многослойные программные комплексы, чрезмерно громоздкие, с большим числом степеней свободы, управление которыми требует сложного администрирования на всех системных и сетевых уровнях.

В таблице приведены примеры специализированных систем, которые дают представление о масштабах и сферах применения распределенных систем обработки данных.

Таблица. Примеры специализированных систем.

Название	Цель	Средство	Стоимость
LHC (Большой Адронный Коллайдер), CERN	Обработка 1500 Тбайт ежегодно на 10 тыс. компьютерах, связанных сетями	GRID, 100 организаций в 31 стране	≈\$1 млрд.
"Связьинвест", Россия	Обслуживание 40 млн. абонентов проводных сетей связи	Интегрированная биллинговая система	\$480 млн.
Future Combat System, US Army	Соединить всех участников боевых действий и военную технику в единую командную сеть	–	\$177 млрд.

Примеры иллюстрируют противоречивые качества специализированных систем. Массовость вовлечения потребителей говорит о потенциально неограниченном спросе на глобально распределенные системы обработки данных, а высокая стоимость отражает чрезмерную трудоемкость разработок и сопровождения специализированных решений.

Особенность глобальных сетей в том, что их совокупные вычислительные ресурсы не образуют детерминированный, устойчиво работающий и универсально программируемый вычислительный агрегат. При этом глобальные сети уже связали более миллиарда универсальных компьютеров, но этот колоссальный ресурс до сих пор практически недоступен для массового применения распределенных вычислений в разнообразных применениях.

Выделим две фундаментальные причины недоступности массового применения распределенных вычислений:

- отсутствие общей модели универсально программируемых распределенных вычислений, действие которой на уровне первичных логических правил можно распространить на любые подмножества связанных сетями универсальных компьютеров;
- существенная недетерминированность совокупных вычислительных ресурсов глобальных сетей, которая проявляется в заведомой, по многим неустранимым причинам, ненадежности ее элементов.

Современная индустрия массового производства компьютеров и программ продолжает оставаться в рамках классической компьютерной аксиоматики, выраженной моделью Дж. фон Неймана. Область применимости классических постулатов универсальных вычислений ограничена внутренними ресурсами компьютера. Поэтому вычислительные ресурсы компьютерных сетей не попадают в сферы их действия. Это означает, что проблемы организации универсально программируемых распределенных вычислений в сетевых ресурсах до сих пор не имеют единой и регулярной логической основы.

Основные причины недетерминированности вычислительных ресурсов глобальных сетей связаны как с технической ненадежностью элементной базы, вычислительного и сетевого оборудования, так и с внешними факторами:

- принципиальной недоступности отдаленных вычислительных ресурсов для применения дополнительных аппаратных или программных средств повышения их надежности;
- непрерывно и случайным образом меняющийся состав и конфигурации связей работоспособных компьютеров;
- стихийное или преднамеренное воздействие деструктивных факторов на привлеченные к распределенным вычислениям сетевые ресурсы.

Проблемы организации универсально программируемых распределенных вычислений с требуемым уровнем надежности исполнения в недетерминированной компьютерной среде до настоящего времени мало исследованы. Для их решения предлагается новый подход, основанный на новой компьютерной аксиоматике [1], а также разработка и исследование программных методов повышения их надежности до требуемого уровня в условиях недетерминированного меняющегося состояния ресурсов глобальной сети посредством автоматического введения избыточных вычислений.

2. Исследование программных методов повышения надежности распределенных вычислений

Методы повышения надежности до требуемого уровня за счет введения на программном уровне вычислительной избыточности строятся в предположениях, которые не требуют специальных или дополнительных средств повышения надежности сетевых вычислительных ресурсов. Предварительные оценки показывают, что в определенных обстоятельствах надежность распределенных вычислений с увеличением степени вычислительной избыточности растет экспоненциально. Так, при исходной надежности компьютеров равной 0.999 введение порядка 100-кратной вычислительной избыточности дает повышение надежности достаточно длительного вычислительного процесса до 200 девяток после запятой [2].

Предлагаемый подход включает теоретическое обоснование решений, которое осуществляется через построение и исследование вероятностных и ситуационных моделей, учитывающих технические и внешние факторы ненадежности, соответственно. В предположении последовательности выполнения всех вычислительных шагов идентичных вычислительных процессов, исполняемых на многих изначально ненадежных компьютерах, связанных сетью, определяются модели и исследуются возможности повышения надежности распределенных вычислений и процессов управления, реализуемых в режиме мажорантного сравнения промежуточных результатов вычислительных шагов. Все задействованные для исполнения процесса компьютеры образуют мажорантную группу взаимного резервирования.

Модели, учитывающие технические факторы ненадежности, рассматриваются в двух крайних предположениях о характере ненадежности вычислителей.

В первом случае ненадежность вычислителей задается постоянной с одинаковой вероятностью их выхода из строя, а резервирование осуществляется мгновенной заменой выбывших. Во

втором случае надежность вычислителей падает со временем по экспоненциальному закону (классическое техническое старение), выбывшие вычислители не заменяются. Первый случай дает "оптимистическую" оценку роста надежности с увеличением числа вычислителей в мажорантной группе резервирования. Надежность при этом растет экспоненциально и позволяет говорить об обеспечении сравнительно избыточностью вычислений сколь угодно высокой надежностью вычислений в недетерминированной компьютерной среде с изначально ненадежными вычислениями.

Второй случай дает "пессимистическую" оценку, позволяющую определять верхнюю границу временного интервала исполнения вычислений, на которой действует эффективный рост надежности при внесении ограниченной вычислительной избыточности. Обе эти оценки определяют область эффективного роста надежности и связывают её с практически значимыми параметрами:

- число последовательных шагов в вычислительном процессе;
- количество компьютеров, одновременно исполняющих идентичные вычислительные процессы (размер мажорантной группы компьютеров);
- порог достоверности мажорирования;
- размер битовой строки с промежуточным результатом, которыми обмениваются все участвующие компьютеры.

Ситуационные модели направлены на повышение надежности вычислительных и управляющих процессов в случае направленных извне деструктивных воздействий на некритичные подмножества всех связанных компьютерных устройств. В этих случаях повышение надежности обеспечивается за счет управления конфигурациями распределенных вычислений, направленного на минимизацию рисков полной утраты возможностей исполнения требуемых вычислительных процессов.

Предлагается программный метод повышения надежности, в котором повышение надежности обеспечивается за счет контролируемого введения избыточных вычислений посредством одновременного исполнения на разных компьютерах идентичных вычислительных фрагментов с последующим сравнением полученных результатов. Контроль эффективности вносимой избыточности осуществляется с помощью функциональных зависимостей между параметрами, учитывающими практически значимые характеристики - надежность элементов компьютерной среды, длительность вычислительных процессов, степень избыточности вычислений и др.

3. Система программирования распределенных вычислений ПАРСЕК

В качестве логической основы универсально программируемых распределенных вычислений предлагается исчисление древовидных структур, которое можно рассматривать как обобщение классической компьютерной аксиоматики в модели Дж. фон Неймана, обеспечивающее распространение свойства универсальной программируемости с ресурсов изолированных компьютеров на совокупные ресурсы глобальной компьютерной среды. Исчисление древовидных структур представляет математически замкнутую модель универсальных вычислений в математически однородном поле компьютерной информации [1].

Язык ПАРСЕК [3] является простейшей процедурной реализацией исчисления древовидных структур – математически замкнутой модели вычислений на множестве структурированной информации. Программирование осуществляется посредством математически замкнутого и полного набора операций с древовидными и только древовидными структурами. На идеологическом уровне исключена опасность разрушения информации в памяти из-за переполнения индексных полей. В ходе решения задач, программист формирует необходимые деревья и функции их преобразования, придает им смысловую нагрузку, соответствующую требованиям задачи. При этом в значительной мере упрощается параметризация программ.

Язык ПАРСЕК уникален по ряду свойств. Математическая замкнутость исчисления древовидных структур позволила построить простые и эффективные алгоритмы автоматического управления вычислительными ресурсами компьютера, что делает программирование в математически однородном поле компьютерной информации

машинезависимым. Система изолирует программиста от сложностей управления вычислительной средой и позволяет ему решать задачи в формальных математических конструкциях, не связанных с особенностями машинной среды.

Для организации распределенных вычислений, обеспечения их координированного взаимодействия и синхронизации вычислительных процессов в язык ПАРСЕК введены функции [4-6], с помощью которых задается распределенная обработка компонентов деревьев посредством одновременного исполнения на разных компьютерах многих асинхронно взаимодействующих процессов:

SEND(name,gip) - пересылка данных с именем name по групповому IP-адресу gip;.

WAIT(name1,name2,..., nameM) - оператор ожидания доставки данных с именами name1, name2,..., nameM, отсылаемых функциями SEND. Этот оператор необходим для получения полного набора входных данных с последующим запуском соответствующего вычислительного модуля на исполнение.

Программы, реализующие функцию WAIT, работают в качестве сетевых резидентов в тех компьютерах, которые составляют доступный совокупный вычислительный ресурс сети. Помимо приема потоков данных эти функции обеспечивают декодирование и запуск вычислительных заданий, поступающих в потоке данных. Функции SEND иницируются и отключаются автоматически в программах, передающих потоки данных. Основными компонентами распределенных вычислений являются как перемещаемые exe-модули, так и подпрограммы (функции) с параметрами отдаленного запуска и согласованными интерфейсами межкомпонентного сетевого взаимодействия по событиям и данным.

Исчисление древовидных структур и реализующий его язык и система программирования ПАРСЕК являются не только инструментом практического программирования, но и носителем новой машинезависимой идеологии осуществления надежных распределенных вычислений в связанных недетерминированных компьютерных средах любого размера с изначально ненадежными элементами. С помощью языка и системы программирования ПАРСЕК разработаны программные модели и средства программирования глобально распределенных задач. Построены демонстрационные и производственные примеры решения практических задач [7].

4. Заключение

На базе построенных моделей с помощью языка и системы программирования ПАРСЕК, реализующей исчисление древовидных структур, предполагается разработать подсистему трансляции и автоматической компоновки надежных программ распределенных вычислений в существенно недетерминированных вычислительных ресурсах глобальных сетей, функционирующих в режиме "as is" (использование протоколов TCP/IP без дополнения промежуточных программных слоев).

Литература

1. Затуливетер Ю.С. К единому полю компьютерной информации в концепции исчисления древовидных структур. // Труды института проблем управления РАН. Том XVIII. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова, 2002. -С.113-126.
2. Затуливетер Ю.С., Карибский В.В., Лубков Н.В. Проблема организации надежных процессов управления с применением ненадежных вычислительных сред // Тезисы докладов. Четвертая международная конференция "Проблемы управления в чрезвычайных ситуациях", г. Москва, 11 января, 1997. -М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова, 1997. - С.160-163.
3. Затуливетер Ю.С., Халатян Т.Г. ПАРСЕК - язык компьютерного исчисления древовидных структур с открытой интерпретацией. Стендовый вариант системы программирования. -М., 1997. (Препринт/Институт проблем управления РАН), 71с.
4. Затуливетер Ю. С., Фищенко Е.А. Проблемы управления сетевыми ресурсами при организации глобально-распределенных вычислений // В сборнике: "Вторая международная кон-

ференция по проблемам управления (17-19 июня 2003 года, Москва). Избранные труды в двух томах”. Москва: 2003. - Т.2.,-С.141-147.

5. Затуливетер Ю.С., Фищенко Е.А. Организация распределенных вычислений в системе программирования ПАРСЕК на примере сжатия цифрового видео.// Проблемы управления. №4, 2003. С.6-10.
6. Затуливетер Ю.С., Топорищев А.В. Язык Парсек: программирование глобально распределенных вычислений в модели исчисления древовидных структур // Проблемы управления. - 2005.- №4.-С. 12-20.
7. Затуливетер Ю.С, Фищенко Е.А., Артамонов С.Е., Козлов В.А., Крупкин В.В., Сергеев В.В, Соколов А.Ю., Топорищев А.В. Разработка и испытание системы распределенных вычислений для сжатия цифрового видео в реальном времени. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. - 2006. - № 1. -С.27-32.