

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ MODELING AND OPTIMIZATION

УДК 004.031.43

А. Б. Барский, д-р техн. наук, проф., e-mail: arkbarsk@mail.ru,
Б. В. Желенков, канд. техн. наук, доц., e-mail: boriszhv@gmail.com
МИИТ, Москва

Средства оптимизации информационного взаимодействия ресурсных процессоров для минимизации времени "облачных" вычислений

Исследуются возможности повышения скорости обмена данными при распределенных вычислениях в компьютерных сетях. Предлагается параллельный многоканальный прием данных одним компьютером от многих абонентов с помощью внешнего устройства, объединяющего несколько web-объектов. Применение такого устройства актуально при кластеризации ресурса для сборки результатов вычислений на головном компьютере при Grid- и "облачных" вычислениях по SPMD-технологии. Приводятся формулы оптимизации ресурсных параметров вычислительного процесса. Обсуждаются особенности закрепления "физических" ресурсов за виртуальными в глобальной сети. Утверждается, что значительное географическое удаление ресурсных процессоров друг от друга приводит к большим затратам времени на синхронизацию обмена, делая неэффективным применение многих web-объектов ввода. Рекомендуется компактное размещение ресурсных процессоров и применение локальной сети для распределенных вычислений. Показывается возможность реализации конвейера обработки потока поступающих на компьютер данных для перевода кадров из сетевого стандарта в компьютерное представление.

Ключевые слова: компьютерная сеть, "облачные" вычисления, виртуальный ресурс, сборка данных, кластеризация, конвейер операций

Введение

"Облачные" вычисления следует рассматривать в свете практической реализации Grid-технологии [1–3]. Эта технология предполагает наличие развитой сети Центров, объединенных и доступных пользователю через глобальную сеть (web-сеть), обладающих мощными вычислительными ресурсами для распределенного решения задач. Часть ресурсов, являющихся web-объектами, могут быть удаленными относительно Центра, а также быть общими для многих Центров. Использование абстрактных, виртуальных ресурсов всего доступного земного информационного пространства для оптимизации его производительной загрузки является главной идеей Grid- и "облачных" вычислений. Следует учесть и то, что в будущем сложные системы управления, в частности военного назначения, целесообразно реализовывать на основе практически неуязвимых виртуальных вычислительных ресурсов. Поэтому в общем случае, выделяя наиболее трудную часть проблемы, следует считать, что Центр на основе запросов пользователей либо сам организует решение задач на удаленных сетевых ресурсах, либо предоставляет эти ресурсы пользователю для самостоятельного планирования вычислительного процесса. В любом случае взаимодействие выделенных средств и их связь с пользователем или с головным процессором Центра, управляющим вычислитель-

ным процессом решения задачи, осуществляется на основе web-технологий.

Однако низкая скорость взаимодействия объектов сети превращает организацию распределенных вычислений в сложную оптимизационную задачу обоснования состава вычислительных средств. В частности, может оказаться, что распределение вычислений неэффективно: один компьютер справится быстрее, чем их медленно взаимодействующий коллектив.

Установлено, что основной, базовой, эффективной технологией "облачного" решения задач [4] является SPMD-технология (*Single Program — Multiple Data*). При организации вычислений по этой технологии основная проблема взаимодействия вычислительных средств в сети заключается в сборке результатов вычислений на одном процессоре для совместного анализа и выдачи пользователю. Для этого применяется принцип кластеризации [1, 3, 5, 6] ресурсных процессоров¹. Повышается актуальность разработки аппаратных и структурных средств поддержки параллельной, независимой передачи данных "от многих — одному" для минимизации времени вычислений.

¹ В соответствии с принятой терминологией, здесь, в отличие от кластера web-объектов, значение слова "кластер" соответствует объединению нескольких компьютеров для сбора результатов их счета на одном из них.

1. Общая схема "облачных" вычислений по SPMD-технологии и функции процессоров Grid-Центра

Организация "облачных" вычислений на базе SPMD-технологии отображена укрупненной схемой на рис. 1–4.

Очевидно, если пользователь запрашивает только ресурс, самостоятельно рассчитывая способ его использования, например, при моделировании сложной структурированной системы, то на него ложатся и хлопоты по достижению высокой производительности. В том числе это касается организации "быстрого" взаимодействия распределенных программных модулей. Однако если распределенное решение задачи полностью возлагается на Центр Grid-технологий с применением аппарата "облачных" вычислений, то минимизация времени решения становится главной функцией Центра. Минимум времени решения достигается оптимальным выбором числа ресурсных процессоров, способом кластеризации ресурсных процессоров при сборе результатов счета, а также средствами аппаратной и структурной поддержки распределенного вычислительного процесса.

2. Кластер web-объектов — внешнее устройство памяти хост-процессора

В работе [3] предложено в качестве промежуточного устройства памяти для сборки результатов счета ресурсных процессоров использовать модули оперативной памяти (ОП). В каждом таком модуле может формироваться область ОП ресурсного процессора, хранящая результаты вычислений.

За одним модулем ОП при решении задачи могут закрепляться несколько ресурсных процессоров. Таким образом, со стороны хост-процессора кластер таких модулей ОП входит в состав единого адресного пространства его оперативной памяти, разработанной по традиционной технологии, использующей матричный коммутатор. Со стороны web-пространства, т. е. со стороны ресурсных процессоров, каждый такой модуль ОП является web-объектом, имеющим свой адрес в глобальной сети. Ресурсные процессоры взаимодействуют с хост-процессором посредством закрепленных за ними модулей ОП — web-объектов построенного кластера.

Однако технология построения оперативной памяти, работающей в двух слабосовместимых направлениях, весьма сложна (хотя известны технологии построения многоходовой памяти). Обращение к ней не исключает конфликтов, разрешаемых арбитрами матричного коммутатора. Трудно достигается достаточный объем такой памяти.

Целесообразно считать, что модули, хранящие образы памяти ресурсных процессоров, выполнены по технологии построения внешних устройств, например дисковых. Типом данных для них становится файл [3], что соответствует управлению со стороны



Рис. 1. Алгоритм управления компьютера — администратора Центра



Рис. 2. Алгоритм управления, реализуемый хост-процессором

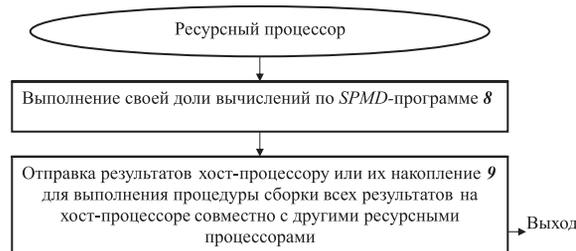


Рис. 3. Алгоритм работы ресурсного процессора

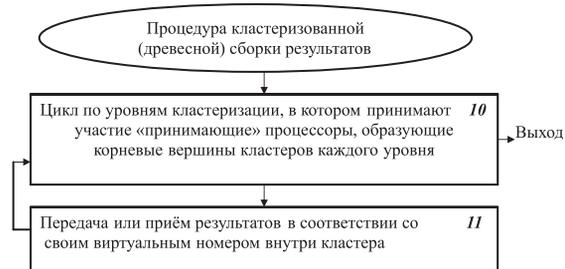


Рис. 4. Схема совместно выполняемой процедуры кластеризации

хост-процессора с помощью файловой подсистемы ОС. Кластер web-объектов как единое внешнее устройство может быть связан с хост-процессором одним каналом ввода-вывода при последовательном обслуживании web-объектов. Последовательное считывание результатов из образов памяти групп ресурсных процессоров, поступивших на web-объекты, окончательно формирует файл результатов, предоставляемый пользователю.



Рис. 5. Структура связей кластера web-объектов для сборки данных

На рис. 5 указаны связи, обусловленные сборкой результатов счета ресурсных процессоров. Однако связь в обратном направлении — от хост-процессора к ресурсным процессорам, обозначенная на рисунке отдельно, также может быть реализована через web-объекты кластера, если ресурсные процессоры распределены между ними.

Число M ресурсных процессоров может значительно превышать число N web-объектов в составе кластера, и за каждым web-объектом в общем случае может быть закреплено неодинаковое число ресурсных процессоров. Ведь возможности технической реализации весьма ограничены по сравнению с возможностями абстрактного виртуального выбора числа процессоров для распределенных вычислений. То есть, если $M > N$, однозначное закрепление web-объектов за ресурсными процессорами невозможно. Необходима кластеризация этих процессоров для объединения результатов их счета по "древесной" структуре [2, 4, 5]. На рис. 5 название (индекс) группы процессоров совпадает с номером ресурсного процессора, образующего корневую вершину дерева. Таким образом, на этих процессорах частично выполнена сборка результатов счета внутри группы, а окончательная сборка выполняется с помощью кластера web-объектов.

3. Оптимизация ресурсных параметров вычислительного процесса

Выбор оптимальной схемы вычислительного процесса заключается в таком подборе соотношений параметров, при котором достигается минимальное время решения задачи пользователя.

Этими параметрами являются:

N — число процессоров в кластере web-объектов;

M — число выделенных в задаче ресурсных процессоров;

n — размерность задачи или число решаемых вариантов.

Необходимо считать, что значение N находится на уровне построения системы обработки информации. Другие параметры выбирают для организации вычислительного процесса решения конкретной задачи. Так, согласно SPMD-технологии, параметр n определяется способом распараллеливания по информации [1, 2, 4, 8]. Он соответствует числу параллельных запусков программы (*single program*) для выполнения одного из вариантов обработки экспериментальных данных, нахождения корня системы линейных уравнений, варианта продолжения цепочки логического вывода и т. д. Число $M \leq n$ и состав ресурсных процессоров назначается компьютером — администратором Центра для минимизации или с учетом ограничения времени решения задачи.

Для определенности будем считать, что *single program* составлена для обработки одного варианта исходных данных и распределяется между однородными ресурсными процессорами в соответствии с распределением вариантов счета.

На рис. 6 представлена схема решения задачи при $N = 4$, $n = 48$, $M = 24$, отображающая использование выделенных ресурсных процессоров. Рассмотрена двухпроцессорная [7] схема кластеризации процессоров для сборки данных на внешнем устройстве памяти хост-процессора. Каждая группа, связанная с одним web-объектом, содержит шесть процессоров. Сборка внутри каждой группы отражена на рис. 6 снизу вверх, некоторые "собирающие" процессоры на третьем уровне указаны повторно.

Пусть $t_{\text{вар}}$ — время счета одного варианта; $t_{\text{пер}}$ — время выполнения сеанса передачи данных в сети; $t_{\text{вн}}$ — время считывания с одного web-объекта в оперативную память хост-процессора. Тогда время $T_{\text{реш}}$ распределенного решения задачи без учета подготовительных операций будет:

$$T_{\text{реш}} = \frac{n}{M} \left[t_{\text{вар}} + \left(\lceil \log_2 \frac{M}{N} \rceil + 1 \right) t_{\text{пер}} + N t_{\text{вн}} \right] \quad (1)$$

Построенная функция является ступенчатой. Для приближенной оценки оптимального соотношения

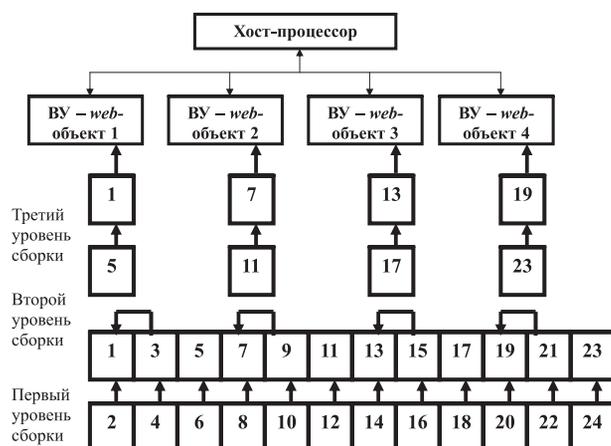


Рис. 6. Схема решения задачи с применением двухпроцессорной кластеризации для сборки результатов счета

шения между параметрами, а именно, для выбора значения M при назначении однородного ресурса администратором Центра, представим эту функцию непрерывной от этой переменной, отбросив требование целочисленности коэффициентов:

$$T_{\text{реш}} = \frac{nt_{\text{вар}}}{M} + (\log_2 M - \log_2 N + 1)t_{\text{пер}} + Nt_{\text{вн}}. \quad (2)$$

При этом считается, что $n \geq M \geq N$.

Найдем первую производную (2) по M и приравняем ее нулю:

$$T'_{\text{реш}} \approx -\frac{nt_{\text{вар}}}{M^2} + \frac{t_{\text{пер}}}{M \ln 2} = \frac{-nt_{\text{вар}} \ln 2 + Mt_{\text{пер}}}{M^2 \ln 2} = 0. \quad (3)$$

Следовательно, экстремальное целое значение M определяется соотношением

$$M \approx 0,7n \frac{t_{\text{вар}}}{t_{\text{пер}}}. \quad (4)$$

Для проверки соответствия экстремальной точки (4) минимальному значению времени решения $T_{\text{реш}}$ найдем вторую производную (2):

$$T''_{\text{реш}} = \frac{2nt_{\text{вар}}}{M^3} - \frac{t_{\text{пер}}}{M^2 \ln 2} = \frac{1,4nt_{\text{вар}} - t_{\text{пер}}M}{M^3 0,7}.$$

В экстремальной точке $T''_{\text{реш}} = \frac{nt_{\text{вар}}}{M^3} > 0$. Положительное значение второй производной указывает на то, что в найденной по соотношению (4) экстремальной точке M достигается минимум времени решения задачи, так как первая производная меняет знак с "минуса" на "плюс".

Следует обратить внимание на то, что найденная рекомендация (4) администратору Центра по выбору числа однородных ресурсных процессоров на основе размерности задачи не зависит от наличия кластера *web*-объектов в составе внешних устройств хост-процессора. Весьма важным является отношение времени счета одного варианта к времени обмена данными в глобальной сети. Число *web*-объектов в соответствии с формулой (1) уменьшает время распределенного решения задачи.

На рис. 7 показана схема решения задачи при использовании трехпроцессорной кластеризации.

Как и ранее, каждая группа ресурсных процессоров, приходящаяся на один *web*-объект и внутри которой проводится "древесная" сборка, содержит шесть процессоров.

Трехпроцессорная кластеризация, обеспечивающая меньшее число уровней сборки результатов, целесообразна лишь в том случае, когда технически возможно совмещение двух синхронных пересылок одному из трех процессоров так, чтобы время сборки $t_{\text{сб}}$ данных на нем стало существенно меньше времени двух независимых, выполненных раздельно, пересылок: $t_{\text{сб}} < 2t_{\text{пер}}$.

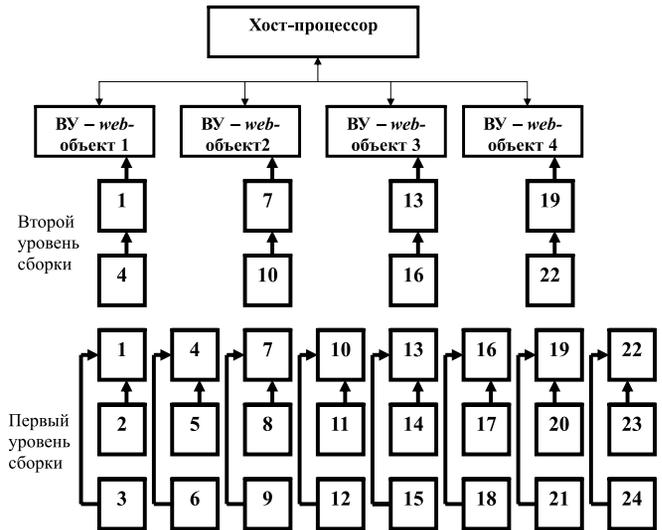


Рис. 7. Схема решения задачи при трехпроцессорной кластеризации

Время решения задачи находим следующим образом:

$$T_{\text{реш}} = \left] \frac{n}{M} [t_{\text{вар}} + \right] \log_3 \frac{M}{N} [t_{\text{сб}} + t_{\text{пер}} + Nt_{\text{вн}}. \quad (5)$$

Для получения приближенных оценок преобразуем ступенчатую функцию в непрерывную:

$$T_{\text{реш}} = \frac{nt_{\text{вар}}}{M^2} + (\log_3 M - \log_3 N)t_{\text{сб}} + t_{\text{пер}} + Nt_{\text{вн}}. \quad (6)$$

Найдем первую производную по M и приравняем ее нулю:

$$T'_{\text{реш}} = -\frac{nt_{\text{вар}}}{M} + \frac{t_{\text{сб}}}{M \ln 3} = \frac{-nt_{\text{вар}} \ln 3 + Mt_{\text{сб}}}{M^2 \ln 3} = 0. \quad (7)$$

Экстремальная точка приближенно определяется соотношением

$$M \approx 1,1n \frac{t_{\text{вар}}}{t_{\text{сб}}}. \quad (8)$$

Положительное значение второй производной в этой точке свидетельствует о достижении в ней минимума функции $T_{\text{реш}}$.

Пусть отсутствует техническая возможность хотя бы частичного совмещения двух пересылок данных одному процессору при трехпроцессорной кластеризации. Тогда $t_{\text{сб}} = 2t_{\text{пер}}$, и выбор трехпроцессорного способа кластеризации возможен при условии

$$2 \left] \log_3 \frac{M}{N} [< \left] \log_2 \frac{M}{N} [. \quad (9)$$

4. Проблемы практической реализации оптимизирующих средств передачи и сбора данных "облачных" вычислений

Внедрение распределенных вычислений в качестве одной из основных функций в такую развитую глобальную сеть, какой является Интернет, не может

не коснуться основ ее построения [8–10]. Прежде всего, это касается скорости информационного обмена между *web*-объектами, инициатором которого является не человек-пользователь, а компьютер или его внешнее устройство, вычислительная система, специализированное устройство связи и т.д. То есть внутри процесса решения задачи пользователя обмен является полностью автоматическим.

В то же время тенденция развития современной вычислительно-информационной среды направлена на расширение использования терминальных систем. Это обусловлено такими факторами, как:

- высокая степень интеграции схем на уровне аппаратной реализации средств вычислительной техники;
- высокая степень универсальности;
- высокая пропускная способность телекоммуникационных сетей.

Повышение степени интеграции схем на уровне аппаратной реализации средств вычислительной техники на начальном этапе привело к уходу от терминальных систем, давая возможность пользователю максимально абстрагироваться от внешних вычислительных ресурсов и выполнять решение задач локально. Но по мере увеличения степени универсализма вычислительных средств (компьютеров), расширился круг решаемых задач и увеличились объемы вычислений. Этот факт в сочетании с постоянным ростом пропускной способности телекоммуникационных сетей привел к новому витку развития терминальных систем. Высокая скорость передачи информации и практически неограниченная зона покрытия современных телекоммуникационных сетей в сочетании с компьютерами компакт-класса, позволяют использовать распределенные вычислительные ресурсы в сети общего доступа (в "облаке"), отправляя в него задачи и по-

лучая ответ. При этом в "облаке" создается набор виртуальных вычислительных ресурсов в зависимости от требований решаемой задачи и ограниченный времени получения результата.

Нет необходимости покупать дорогостоящий высокопроизводительный компьютер, а достаточно купить недорогое мобильное терминальное устройство с минимальными аппаратными возможностями и при необходимости арендовать виртуальные вычислительные ресурсы в "облаке".

Если раньше время решения задачи определялось системным временем, необходимым для решения задачи на однопроцессорном или мультипроцессорном компьютере, то теперь это время определяется временем решения задачи в "облаке", в основном зависящим от времени взаимодействия и синхронизации обмена общими данными.

В первых двух разделах уже описано взаимодействие объектов в такой вычислительной среде. Также рассмотрен процесс оптимизации ресурсных параметров вычислительного процесса при двухпроцессорной и трехпроцессорной кластеризации.

В общем случае физическое размещение виртуальных ресурсов зависит от администратора сети, закрепляющего "физические" процессоры за виртуальными. Тогда физические ресурсы, назначенные для поддержки одного вычислительного процесса, могут находиться в различных географически удаленных друг от друга частях "облака". Следовательно, результаты выполнения частных задач будут приходиться на хост-процессор настолько не одновременно, что кластеризация сборки потеряет смысл. Ведь на всех уровнях сборки потребуются синхронизация ожидания поступления всех необходимых результатов. В этом случае сборка решений может осуществляться последовательно, для чего достаточно одного внешнего *web*-объекта, как показано на рис. 8 для двухпроцессорной кластеризации. Тогда время $T_{\text{реш}}$ распределенного решения задачи без учета подготовительных операций можно найти по формуле

$$T_{\text{реш}} = \frac{nt_{\text{вар}}}{M} + (\log_2 M + 1)t_{\text{пер}} + t_{\text{вн}} \quad (10)$$

Рассмотрим ситуацию, противоположную предыдущей и допускающую практически синхронный обмен данными в сети, без специального применения средств синхронизации.

Допустим, что все компьютеры, предоставляющие свои вычислительные ресурсы, находятся в одной локальной сети или компактно и близко расположены на местности.

Тогда задания поступают всем компьютерам практически одновременно, и при приблизительно равных объемах распределяемых работ результаты также будут приходиться на хост-процессор практически одновременно. Это позволит ускорить процесс сборки за счет объединения в кластеры нескольких виртуальных машин при условии, что они будут запущены на разных компьютерах. Число

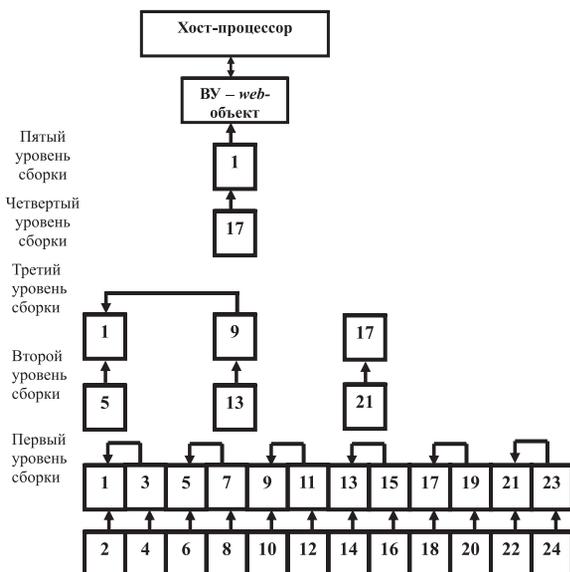


Рис. 8. Схема решения задачи с одним *web*-объектом приема данных при сильно рассогласованном, асинхронном обмене в сети

машин, которые можно объединить в кластер, будет зависеть от числа интерфейсов $k \geq 3$, которые можно установить на компьютер.

В таком случае выражение (5) примет следующий вид:

$$T_{\text{реш}} = \left\lceil \frac{n}{M} \left[t_{\text{вар}} + \right] \log_{k-1} \frac{M}{N} \left[t_{\text{сб}} + t_{\text{пер}} + N t_{\text{вн}} \right] \right\rceil \quad (11)$$

Из этого выражения можно выделить функцию определения числа L уровней сборки:

$$L = \left\lceil \log_{k-1} \frac{M}{N} \right\rceil. \quad (12)$$

На основе выражений (11) и (12) можно найти необходимое число процессоров в кластере или необходимое число интерфейсов k , как функцию от L .

5. Постановка задачи конвейеризации многоканального приема данных *web*-объектом от группы абонентов

Пропускная способность сетей связи и передачи данных сегодня достигает значительного объема. Однако в интересах стандартизации и унификации аппаратно-программных средств обмена между *web*-объектами, включая интерфейс пользователя и взаимодействие задач, используется пакетно-кадровая передача. Тогда, с учетом применения программных средств, реальная пропускная способность средств передачи данных в сети снижается на один-два порядка. При решении информационных задач, таких как социальные сети, торговые площадки, электронная почта, справочные системы и других на первый план выдвигаются требования высокого сервиса. Применяемых сегодня алгоритмов, дисциплин и протоколов обмена пока вполне достаточно для приемлемой пропускной способности сети.

Распределенные вычисления организуются как для структуризации имитационного моделирования, так и для минимизации времени вычислений за счет распараллеливания.

Для взаимодействия с пользователем и управления вычислительным процессом один из ресурсных процессоров пользователя является головным. Особую важность обретает поток, образуемый сборкой результатов вычислений или синхронизирующих сообщений на головном процессоре, поступающий от других ресурсных процессоров. Этот поток на принимающем процессоре образует "узкое горло", которое необходимо "расшить", используя принципы распараллеливания и конвейеризации.

Аналогичная проблема возникает при кластеризации, проводимой для реализации "древесной" структуры промежуточной сборки данных, например, при трех- (и выше) процессорной кластеризации ресурсных процессоров.

Распараллеливание приема данных рассмотрено ранее на основе введения нескольких внешних

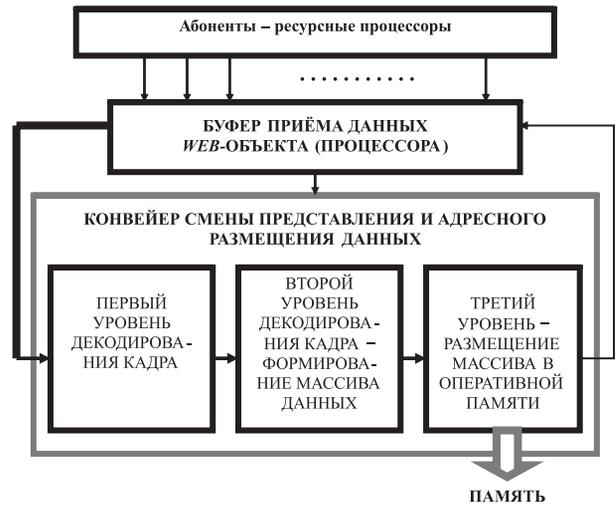


Рис. 9. Конвейеризация приема и размещения данных *web*-объекта

устройств обмена, каждый из которых является *web*-объектом, т.е. имеет адрес и достаточную самостоятельность для выполнения сетевых операций обмена данными.

Однако второй важный резерв ускорения обмена заключается в применении конвейерной обработки потока данных, поступающих на *web*-объект, перевода их стандартного представления в сети передачи данных в стандартное представление в памяти процессора. Такая обработка актуальна при использовании локальной вычислительной сети в качестве ресурса.

На рис. 9 первый и второй уровни переводят данные со стандартного, *кадрового* представления в линии передачи данных в тип *файл*. Третий уровень окончательно переводит данные в представление на уровне задачи, т.е. в тип *массив*, и выполняет адресное размещение массива в оперативной памяти.

Заключение

Слишком много случайных факторов налагаются друг на друга при совместном распределенном решении задачи в вычислительной сети: случайный разброс моментов времени получения заданий разными процессорами; случайный разброс времени выполнения заданий процессорами; случайный разброс времени начала асинхронной передачи результатов счета в соответствии с кластеризацией процессоров; случайный разброс времени асинхронной сборки результатов на одном процессоре; случайный разброс времени асинхронного обмена между уровнями кластеризации и, наконец, случайный разброс времени окончательного формирования вектора результатов на головном процессоре.

Тем не менее несмотря на возложение все более высокой вычислительной нагрузки на виртуальные процессоры компьютерных сетей, рост производительности этих сетей и пропускной способности сетей передачи данных, совершенствование про-

цедур обмена данными при компактном выборе ресурсов, процесс сборки данных будет обретать черты синхронности. Он будет следовать тем идеальным временным параметрам, которые соответствуют предполагаемой древесной структуре сборки. В этом случае ускорение совместной обработки потока принимаемых данных на одном *web*-объекте обретает особую актуальность.

В качестве аналогии следует обратить внимание на утвердившуюся практику построения специализированных (по операциям) скалярных и векторных конвейерных исполнительных устройств (ИУ) в составе АЛУ суперкомпьютеров. Применение скалярных конвейерных устройств, на которых время выполнения отдельных операций даже увеличивается, эффективно тогда, когда соответствующие устройству операции в программе образуют поток. В этом потоке следующая операция того же типа с большой вероятностью поступает на выполнение, когда выполнение предыдущей операции (этого типа) еще не закончено. Чем выше эта вероятность, т.е. плотность потока следования данной операции при выполнении программы, тем выше эффективность конвейерного скалярного ИУ при решении конкретной задачи. Чтобы максимально увеличить эту плотность, проводят векторизацию задач и используют синхронные векторно-конвейерные ИУ, способные в каждом такте выдавать результаты операции после "разгона" конвейера.

Такой же эффект для "пиковой" нагрузки следует ожидать при использовании многих *web*-объектов обмена и программно-аппаратной конвейерной поддержки кластеризации сборки данных в компьютерной сети.

Для более точной оценки эффективности мер ускорения обмена необходимо провести стохастиче-

ское моделирование информационных потоков на детерминированной модели глобальной и локальной компьютерной сети.

Список литературы

1. Барский А. Б. Параллельные информационные технологии. М.: ИНТУИТ; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 503 с.
2. Барский А. Б. Grid-вычисления. Организация, методы, планирование. Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 349 с.
3. Барский А. Б. Алгоритмические, архитектурные и структурные методы организации управляющих процессов в виртуальном пространстве средств Grid-системы // Информационные технологии. 2012. № 5. С. 2—6.
4. Барский А. Б. Параллельные технологии решения оптимизационных задач // Информационные технологии. Приложение. 2001. № 2. 24 с.
5. Амиршахи Б. Кластеризация GRID-ресурсов для оптимизации информационного обмена при совместной обработке результатов распределенных вычислений // Информационные технологии. 2011. № 2. С. 22—28.
6. Амиршахи Б. GRID-технологии решения больших систем линейных уравнений на вычислительной сети и на суперкомпьютере кластерного типа // Информационные технологии. 2011. № 6. С. 17—22.
7. Барский А. Б. Двух- и трехкомпьютерная кластеризация Grid-ресурсов для оптимизации сборки результатов распределенных вычислений по SPMD-технологии // Информационные технологии. 2012. № 8. С. 43—46.
8. Загорский Г. С., Барский А. Б., Желенков Б. В. Grid-технологии — ресурсы супервозможностей // Мир Транспорта. 2008. № 3. С. 132—141.
9. Барский А. Б. Оптимизационные задачи в основе пакета параллельных прикладных программ и системы информационного обслуживания Центра Grid-технологий. // Информационные технологии. Приложение. 2010. № 10. 32 с.
10. Goldovsky Y. M., Zhgelenkov B. V., Safonova I. E., Cyganova N. A. To the question of evaluating the reliability of functioning of the elements of the telecommunication enterprise-wide networks // International Scientific — Practical Conference "Innovative Information Technologies". Part 2. Innovative Information Technologies in Science. Prague, 2014, April 21—25. P. 474—477.

A. B. Barskiy, Professor, e-mail: arkbarsk@mail.ru,
B. V. Zhelenkov, Associated Professor, e-mail: boriszhv@gmail.com,
Moscow State University of Railway Engineering (MIIT)

Optimization Means for the Information Interaction of Resource Processors to Minimize the Time of "Cloud" Computing

The possibilities of increasing the data rate when distributed computing in computer networks. The parallel multichannel reception of data from one computer to many subscribers via an external device that combines multiple web-sites. The use of such a device is important when clustering resource for assembling the results of calculations on the host computer when Grid- and "cloud" computing on the SPMD-technology. Formulas resource optimization parameters of the computational process. The features of fixing the "physical" resources for virtual WAN. It is argued that a significant geographical remoteness resource processors from each other leads to long time to sync exchange, making inefficient use of many web-input objects. Recommended compact arrangement of processors and application resource network for distributed computing. We show the feasibility of processing pipeline flow coming to a computer to transfer data frames from the network standard in the computer representation.

Keywords: computer network "cloud" computing, virtual resource, the assembly of data, clustering, pipeline operations

References

1. **Barskij A. B.** *Parallel'nye informacionnye tehnologii*, Moscow, INTUIT, BINOM. Laboratorija znaniy, 2007, 503 p.
2. **Barskij A. B.** *Grid-vychislenija: organizacija, metody, planirivanie*, Saarbrücken, Germany, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 349 p.
3. **Barskij A. B.** Algoritmicheskie, arhitekturnye i strukturnye metody organizacii upravljajushhijh processov v virtual'nom prostranstve sredstv Grid-sistemy, *Informacionnye tehnologii*, 2012, no. 5, pp. 2—6.
4. **Barskij A. B.** Parallel'nye tehnologii reshenija optimizacionnyh zadach, *Informacionnye tehnologii, Prilozhenie*, 2001, no. 2. 24 p.
5. **Amirshahi B.** Klasterizacija GRID-resursov dlja optimizacii informacionnogo obmena pri sovmestnoj obrabotke rezul'tatov raspredelyonnyh vychislenij, *Informacionnye tehnologii*, 2011, no. 2, pp. 22—28.
6. **Amirshahi B.** GRID-tehnologii reshenija bol'shijh sistem linejnyh uravnenij na vychislitel'noj seti i na superkomp'yutere klasternogo tipa, *Informacionnye tehnologii*, 2011, no. 6, pp. 17—22.
7. **Barskij A. B.** Dvuh- i tryohkomp'yuternaja klasterizacija Grid-resursov dlja optimizacii sborki rezul'tatov raspredelyonnyh vychislenij po SPMD-tehnologii, *Informacionnye tehnologii*, 2012, no. 8, pp. 43—46.
8. **Zagorskij G. S., Barskij A. B., Zhelenkov B. V.** Grid-tehnologii — resursy supervozmozhnostej, *Mir Transporta*, 2008, no. 3, pp. 132—141.
9. **Barskij A. B.** Optimizacionnye zadachi v osnove paketa parallel'nyh prikladnyh programm i sistemy informacionnogo obsluzhivaniya Centra Grid-tehnologij, *Informacionnye tehnologii. Prilozhenie*, 2010, no. 10. 32 p.
10. **Goldovsky Y. M., Zhelenkov B. V., Safonova I. E., Cyganova N. A.** To the question of evaluating the reliability of functioning of the elements of the telecommunication enterprise-wide networks, *International Scientific — Practical Conference "Innovative Information Technologies", Part 2, Innovative Information Technologies in Science. Prague, 2014, April 21—25*. P. 474—477.

УДК 519

О. В. Мандрикова^{1, 2}, д-р техн. наук, зав. лаб., e-mail: oksanaml@mail.ru,
Н. В. Фетисова (Глушкова)¹, мл. науч. сотр., e-mail: nv.glushkova@yandex.ru,
Ю. А. Полозов^{1, 2}, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., e-mail: up_agent@mail.ru

¹ Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, с. Паратунка

² Камчатский государственный технический университет, г. Петропавловск-Камчатский

Моделирование временного хода параметров ионосферы и выделение аномалий

Описана новая многокомпонентная модель (МКМ) временного хода параметров ионосферы, основанная на совмещении вейвлетов с классом моделей авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего. Модель позволяет изучать режим ионосферы и выделять аномалии, возникающие в периоды ионосферных возмущений. Построены МКМ критической частоты ионосферы для района Камчатки (станция "Паратунка", регистрацию данных выполняет Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН). Выполнено сравнение полученных МКМ с эмпирической Международной справочной моделью ИРИ и методом скользящей медианы, которое показало перспективность предлагаемого авторами метода. Для детального изучения аномальных изменений в ионосфере предложено использовать непрерывное вейвлет-преобразование. На основе непрерывного вейвлет-преобразования разработаны вычислительные решения по выделению разномасштабных аномалий в ионосфере и оценке их параметров.

Анализ ионосферных параметров в периоды повышенной геомагнитной активности показал, что аномалии в ионосфере имеют крупные масштабы и достигают максимальной интенсивности в периоды наиболее сильных магнитных бурь. Замечено, что накануне главной фазы магнитной бури в анализируемом районе может наблюдаться повышение концентрации электронов.

Ключевые слова: вейвлет-преобразование, модель авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего, критическая частота ионосферы, ионосферные возмущения

Введение

Работа направлена на создание средств анализа ионосферных параметров и выделения аномалий, возникающих в периоды ионосферных возмущений. Ионосфера Земли — область атмосферы, простирающаяся от 80 до 1000 км и влияющая на распространение радиоволн [1—3]. Структура ионосферы является изменчивой и неоднородной, ее изучение основано на анализе вариации регистрируемых параметров среды. Ионосферные параметры заметно меняются с высотой, зависят от цикла солнечной

активности, геомагнитных условий, географических координат и содержат характерные суточные и сезонные изменения [1—3]. В периоды ионосферных возмущений в ионосферных параметрах наблюдаются аномальные особенности, имеющие различную структуру и масштабы. В большинстве случаев ионосферные возмущения происходят вследствие повышения солнечной и геомагнитной активности, а в сейсмоактивных областях они также могут наблюдаться в периоды повышенной сейсмической активности [1, 3, 4].