

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,
Н. А. Шаменков, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., e-mail: shna810516@mail.ru,
НИИЦ (г. Москва) ЦНИИ Войск ВКО МО РФ

Высоконадежные управляющие компьютерные сети с нейросетевой адаптивной маршрутизацией на базе перспективных моделей серии "Эльбрус"

Рассматриваются возможности адаптивной пошаговой маршрутизации информационных пакетов в виртуальной централизованной компьютерной сети сложной распределенной системы управления динамическими процессами и объектами в реальном времени. Применение логической нейронной сети для такой маршрутизации обеспечивает максимальную пропускную способность, надежность, скрытность и живучесть сети. Предлагаются методы организации многоканального параллельного сбора данных головным узлом централизованной компьютерной сети при использовании сети Интернет. Даются рекомендации по развитию архитектуры семейства "Эльбрус" и средств сопряжения со средой функционирования.

Ключевые слова: централизованная компьютерная сеть, допустимая виртуализация, адаптивная маршрутизация, логическая нейронная сеть, web-объекты параллельной сборки данных, семейство "Эльбрус"

Введение

При допустимо виртуальном, т. е. скрытном, физически безадресном размещении вычислительных средств оперативного управления сложными, территориально распределенными системами, такими как энергетические, транспортные, беспроводные телекоммуникационные, оборонные и др., а также при реализации распределенных вычислений по *Grid*-технологии предъявляются высокие требования к средствам информационного взаимодействия элементов и объектов таких систем. Эти требования следуют из общих требований высокой производительности, надежности, помехоустойчивости вычислений и обмена данными, скрытности и живучести систем в условиях деградации под влиянием внешних враждебных действий. Виртуализация вычислительных средств обрела большое значение последние десятилетия. Пользователь, создавая свой вычислительный комплекс, оперирует условными, "математическими", виртуальными адресами компьютеров. "Физические" адреса возникают динамически в результате статического или динамического распределения имеющихся или специально выделенных вычислительных средств между пользователями. Эффективность такого

применения вычислительных средств получила признание как при организации виртуального вычислительного ресурса в многопроцессорных вычислительных комплексах "Эльбрус" [1], так и при организации "облачных" вычислений.

Однако перечисленные выше сложные системы управления допускают лишь ограниченную виртуальность. Так, средства управления одним объектом могут быть созданы лишь на основе множества достаточно "близких" компьютеров, а то и внутри одного вычислительного комплекса, ввиду необходимости оперативной (чаще всего жесткой) связи с объектом. По сути, при этом решается вопрос о требуемой производительности и резервировании [2].

Сформируем абстрактную модель предмета исследований, в которой информационное взаимодействие [3] объектов внутри системы осуществляется двумя способами:

1) на основе направленных радиоканалов связи между смежными узлами, образуемыми объектами, согласно технологии беспроводной телекоммуникационной системы связи;

2) на базе сети Интернет, обладающей ограниченными с точки зрения систем реального времени возможностями по оперативности и информационной безопасности, но обеспечивающей высокую

живучесть при виртуализации вычислительных средств оперативного управления системой.

Отметим, что прокладка стационарных магистралей представляется не только дорогостоящей, но, главное, противоречащей модернизации и развитию, динамической реконфигурации, мобильности и живучести системы. Отметим однако, что в настоящее время интенсивно выполняется прокладка магистральных кабельных систем на основе оптоволокна.

Тогда для рассматриваемых сложных систем справедлива информационно-технологическая сетевая модель, пример которой представлен на рис. 1.

На рис. 1 показано лишь обязательное наличие связей между узлами и внешних связей через сеть Интернет, хотя, как сказано выше, связи между узлами могут быть также реализованы с помощью сети Интернет.

Данная сеть (рис. 1) обладает ведущим и резервными ведущими узлами. Такую компьютерную сеть назовем *централизованной*.

Узлы в этой схеме отражают выделенные из общего вычислительного ресурса компьютеры или компьютерные комплексы (однородные или неоднородные), виртуально, независимо от средств воплощения, связанные между собой одно- или двунаправленными линиями обмена информационными пакетами.

Обмен может совершаться как между отдельными узлами (связь вида "узел → узел"), так и между отдельными узлами и группами узлов (связи вида "узел → много узлов" и "много узлов → узел").

Каждый виртуальный узел жестко связывается с управляемыми средствами системы — стационарными или подвижными.

Считаем, что система связей "каждый с каждым" технически неосуществима на значительной территории, хотя бы из-за требований большой мощности радиоканалов, скрытности связей,

а также трудностей обеспечения синхронной, автономной работы средств системы. Поэтому для согласованной работы системы невозможно избежать транзитивных передач информации. Использование радиоканалов связи для "близких" узлов становится целесообразным, так как они устойчиво работают на сравнительно небольшом расстоянии.

Тогда особую важность обретает разработка *адаптивных алгоритмов маршрутизации* информационных пакетов. Адаптация заключается в динамическом построении маршрута следования каждого отдельного информационного пакета в обход перегруженных или вышедших из строя узлов, а также при прерывании или зашумлении линий или радиоканалов связи.

Однако, как сказано выше, не следует исключать из рассмотрения для сети в целом глобальную сеть Интернет с ее развитыми возможностями обеспечения конфиденциальности и надежности. Для ведущего узла сопряжение с сетью Интернет неизбежно.

Таким образом, на формальном уровне в системе управления реализуются два вида связей для обмена данными:

1. Связи, обеспечивающие распределенные вычисления задач (функциональных модулей) вычислительными средствами системы. Это — сверхоперативные связи, поддерживающие временной режим функционирования системы. Эти связи между узлами в основном отражены на рис. 1.

2. Связи, обеспечивающие системе выход в сеть Интернет. Такими связями обязательно располагают ведущие узлы. Добавим, что организация виртуального управления сложной системой и распределенным решением задач достигается с помощью средств сети Интернет. Значит, все операции управления виртуализацией, а также операции "внешнего общения" также организуются с помощью сети Интернет, как это характерно, например, для центра *Grid*-технологий.

Система связей должна удовлетворять следующим требованиям:

1) обеспечение максимальной пропускной способности как максимального объема циркулирующей информации в единицу времени:

$$W_{\text{обм}} \rightarrow \max;$$

2) обеспечение максимальной вероятности обслуживания запроса на обмен:

$$P_{\text{обм}} \rightarrow \max.$$

Таким образом, сетевые проблемы сложных, территориально распределенных управляющих систем должны решаться на уровне разработки высокопроизводительных вычислительных

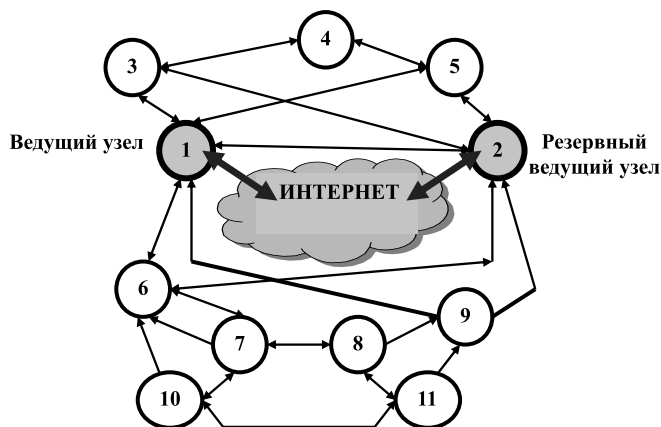


Рис. 1. Примерная схема сетевой централизованной модели системы управления

средств, обеспечивающих их виртуальное размещение и оперативный обмен с помощью беспроводных телекоммуникационных средств, включая сеть Интернет.

1. Нейросетевой адаптивный алгоритм маршрутизации информационных пакетов

Пусть на сети, примерно представленной на рис. 1, задано *отношение смежности* [4]. Информационные пакеты движутся к адресату между смежными компьютерами (узлами). Каждый маршрут по адресу назначения не формируется весь сразу, а реализуется динамически, по шагам, посредством приоритетного обращения к смежным узлам с учетом минимального пути следования к цели, возможного выхода узлов из строя, а также с учетом текущей загрузки этих узлов и текущей оценки качества связи между узлами. Лишь в результате такого комплексного анализа может быть окончательно выбран узел смещения. Таким образом, одновременно реализуемые маршруты в сети оказывают взаимное влияние, и "разводить" их динамически надо так, чтобы избегать пиковых нагрузок узлов и, в конечном итоге, обеспечить максимальную пропускную способность сети, а также максимальную вероятность выполнения передачи.

На каждом i -м узле есть таблица T_i (см. таблицу) предпочтительного смещения при передаче данных на все прочие узлы, кроме смежных.

Здесь R — число узлов сети, в общем случае доступных при передаче пакетов из данного узла через один из смежных, K — число смежных узлов. (В общем случае K — переменная величина.)

При выборе весов ω учитывается территориальное взаимное расположение узлов. Так, очевидно, что приоритетной является та передача, при которой пакет приближается к узлу назначения, хотя в динамике загрузки сети может оказаться, что "круглой" путь ближе "прямого".

В развитие работы [4] введем для всех смежных узлов по отношению к данному узлу *коэффициент расстояния* d_j ($0 \leq d_j \leq 1$, $j = 1, \dots, K$), значение которого убывает от более "близких" узлов к узлам, более далеким. Ведь очевидно, что

Таблица предпочтительного смещения из данного i -го узла для каждого (не смежного) адреса назначения

Узел (адрес) назначения	Вес смежного узла в направлении передачи			
A_1	ω_{11}	ω_{12}	ω_{1K}
.....
A_R	ω_{R1}	ω_{R2}	ω_{RK}

с ростом расстояния надежность радиосвязи падает. Коэффициент расстояния весьма актуален для движущихся объектов.

Предполагается, что компьютер каждого узла имеет буфер, в котором накапливаются пакеты для дальнейшей отправки. Перегрузка буферов (точнее, достижение критической отметки) должна блокировать прием новых пакетов. Потери информации не предполагаются, пользователь должен быть информирован об этой перегрузке для повторения запроса позже.

Управление передачей пакетов осуществляется с помощью логической нейронной сети, которая первоначально использует для каждого адреса предпочтительные направления передачи пакетов смежным узлам, найденные в таблице. Веса этих смещений используются в качестве весов синаптических связей при обучении сети¹. С помощью обратных связей, осуществляемых смежными узлами, с отрицательными весами передаются коэффициенты k_j загрузки этих узлов, а также (с положительными весами) коэффициенты расстояния d_j и оценки $r_j \leq 1$ ($j = 1, \dots, K$) состояния связи между данным и смежным узлами, которые окончательно влияют на выбор смежного узла для передачи пакета. (Значение k_j следует интерпретировать как достоверность высказывания о том, что буфер узла загружен полностью, значение d_j — как вероятность абсолютной близости j -го узла, а значение r_j — как достоверность высказывания о том, что качество связи между передающим и j -м узлами отличное.) Для каждого конкретного узла составляется своя логическая нейронная сеть, отражающая информацию (в том числе — достижимые адреса), связанную только с этим узлом.

Логическая нейронная сеть, размещенная на одном узле, представлена на рис. 2 (см. вторую сторону обложки). Здесь ω_{ij} — предпочтительные веса смежных узлов при передаче пакета по адресу A_i ; k_j — коэффициент загрузки буфера смежного узла; d_j — коэффициент расстояния; r_j — состояние связи между узлами.

Функция активации нейрона имеет вид $V_j = V_{A_i} \omega_{ij} - k_j + d_j + r_j$, если эта сумма превышает порог h , в противном случае $V_j = 0$.

Порог h выбирается экспериментально так, чтобы предпочтение могло быть выбрано между не полностью загруженными узлами.

Здесь $V_{A_i} = 1$, если A_i ($i = 1, \dots, R$) — адрес назначения информационного пакета. Таким образом, в результате обратной связи максимального возбуждения может достичь совсем не тот смеж-

¹ Логическая нейронная сеть строится обученной, а в процессе эксплуатации легко модифицируется [3].

ный узел, которому первоначально было оказано предпочтение в таблице.

Однако серьезные меры должны быть предприняты во избежание "зацикливания" динамически формируемого маршрута информационного пакета. Для этого пакет сопровождается списком узлов, которые он посетил. Пакет повторно не должен смещаться в узел, в котором он уже был, хотя это не более чем подозрение на возможный цикл. Ведь динамически меняющиеся условия вполне справедливо могли привести к повторному использованию узла. Однако для высокой оперативности передающий узел блокирует (для данного пакета) предложенный ему узел смещения, если адрес такового содержится в списке посещения, и вновь запрашивает у нейронной сети адрес смещения в один из оставшихся смежных узлов.

Необходимо помнить, что для компьютерных вычислений логическая нейронная сеть представляется своей матрицей связей. В рассматриваемом случае однородной логической нейронной сети такая матрица вырождается в таблицу, легко обрабатываемую с помощью *EXCEL*. Так что нейросетевая интерпретация на рис. 2 является лишь теоретической моделью, иллюстрирующей и обосновывающей пошаговый процесс адаптивной динамической маршрутизации.

Более того, в поиске смещения пакета участвует лишь фрагмент нейросети (общей таблицы связей), отображающий движение пакета по данному адресу. Значение возбуждения нейронов, указывающих на смещение, следует искать последовательно, чтобы попутно, за один проход, найти максимально возбужденный нейрон, определяющий решение. Таким образом, алгоритм рассмотренной динамической маршрутизации обладает невысокой полиномиальной сложностью.

Если пакету сместиться некуда, т. е. возбуждение всех нейронов, соответствующих смежным узлам, не превысило порог, пакет "висит" в буфере текущего узла, пока не сдвинется при следующих попытках или пока не иссякнет время его существования (пребывания в буфере). Лишь тогда информационный пакет "теряется".

Отметим, что существующие протоколы динамической маршрутизации могут оценивать только изменение топологии связей и выбирать маршрут на основе пропускной способности. Некоторые протоколы можно настроить на анализ загрузки канала. Но такие протоколы не являются стандартными. Таким образом, для адаптивной пошаговой маршрутизации должен быть разработан новый протокол.

Частными критериями эффективности адаптивной маршрутизации являются: 1) минимум среднего времени выполнения запроса на передачу пакета в сети; 2) минимум времени ожида-

ния отправителем пакета возможности выполнения своих запросов.

Рассмотренный подход легко распространяется на выбор оптимального множества маршрутов совместного следования объектов в транспортной сети любой природы.

Выбор адаптивного алгоритма пошаговой маршрутизации требует глубокого исследования методом имитационного моделирования. В данной статье внимание акцентируется на обосновании требований к вычислительным средствам и к средствам обеспечения надежности.

2. Оптимальная *web*-технология многоканального параллельного приема данных головным узлом

2.1. Проблема параллельного сбора данных на головном узле

Если многоканальные средства ввода-вывода компьютеров интенсивно разрабатываются, то параллельные *web*-технологии практически не изучены.

Распараллеливание обмена вида "много узлов → узел" требует серьезных разработок параллельных каналов приема данных [3]. Ведь если не предпринять никаких мер, то каждый передающий процессор *последовательно* должен связаться с головным процессором другого узла и передать свой пакет данных.

Получила распространение *кластеризация* передающих процессоров узлов. Например, при двухкомпьютерной кластеризации [2, 4] для объединения одиннадцати результатов счета (X_0, \dots, X_{10}) по *SPMD*-технологии на головном 0-м компьютере схема многоярусного "древесного" обмена представлена на рис. 3.

Здесь размерность задачи $n = 11$. Данные распределены для одинаковой обработки по *SPMD*-технологии между $M = 11$ процессорами, в том числе и головным.

Стрелки на рис. 3 соответствуют направлению передачи всех уже имеющихся на процессоре результатов для их накопления, т. е. их объединения с результатами 0-го процессора — адресата. Число ярусов сборки $k = \lceil \log_2 11 \rceil = 4$. Каждый ярус на рис. 3 отображает кластерный список — список процессоров, между которыми формируется обмен на данном уровне, т. е. образуется один кластер.

Пусть $t_{\text{обм}}$ — время единичного обмена в сети, отражающее все необходимые операции согласно протоколу, маршрутизации и пр. Это же время требуется для объединения данных в двухпроцессорном кластере. Тогда полное время T сбор-

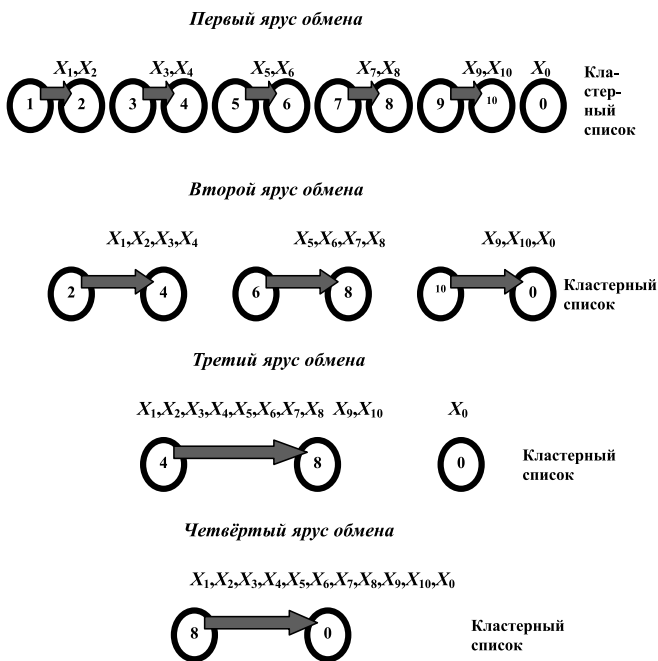


Рис. 3. Сборка результатов счета при двухпроцессорной кластеризации

ки данных на головном процессоре находится по формуле

$$T = \lceil \log_2 11 \rceil t_{обм} = 4t_{обм}.$$

В работе [4] предлагается алгоритм кластеризации процессоров для сборки результатов счета *SPMD*-программы. Этот алгоритм применим в любом случае, когда несколько компьютеров сети приблизительно одновременно закончили расчеты данных, которые необходимо сообщить головному процессору. При этом несомненно, что какие-то накладные расходы требуются для организации этих процессоров в единый пул, совместно осуществляющий кластеризованный обмен. Если такой пул процессоров создать нельзя, процессоры обмениваются по очереди.

В работе [3] рассматривается возможность создания трехпроцессорных элементарных кластеров, если возможно совмещение во времени (распараллеливание) передачи данных лидеру тройки от двух других процессоров (рис. 4).

В этом случае число ярусов сборки резко сокращается. В работе [3] представлен алгоритм сборки результатов с помощью трехпроцессорной кластеризации при выполнении *SPMD*-программы с участием головного процессора.

С ростом числа M процессоров значение $\lceil \log_2 M \rceil$ растет быстрее, чем значение $\lceil \log_3 M \rceil$. Следовательно, при больших значениях M даже последовательный, двойной (непараллельный) обмен внутри кластера может оказаться выгоднее, так как он компенсируется меньшим числом ярусов полной сборки данных.

В работе [3] показано, что время распределенного решения задачи по *SPMD*-технологии существенно зависит лишь от соотношения времени счета одного варианта к времени выполнения сеанса обмена в сети.

Пусть M — число выделенных задаче ресурсов процессоров; n — размерность задачи или число решаемых вариантов; $t_{вар}$ — время счета одного варианта; $t_{сб}$ — время сборки данных в кластере (при двухпроцессорной кластеризации совпадает с $t_{обм}$, при трехпроцессорной кластеризации $t_{сб} \leq 2t_{обм}$). Тогда оптимальные соотношения для выбора M составляют:

$$M \approx 0,7n \frac{t_{вар}}{t_{сб}} \quad \text{— при двухпроцессорной сборке и}$$

$$M \approx 1,1n \frac{t_{вар}}{t_{сб}} \quad \text{— при трехпроцессорной сборке.}$$

Казалось бы, эти соотношения явно не зависят от числа *web*-объектов, используемых для передачи результатов головному процессору (хотя неявно влияют на среднее значение $t_{обм}$). Однако, обобщая стратегию распределенного решения функциональных модулей произвольной управляющей системы, следует с очевидностью признать хотя бы линейную зависимость времени решения задачи от возможностей параллельного многоканального обмена данными, используемыми компьютерами.

Существенным фактором в этом случае является то, что операции обмена образуют *потоки заявок* между компьютерами сети, которые изучаются методами теории массового обслуживания с применением методов имитационного моделирования. Предварительно ясно лишь то, что увеличение числа *web*-объектов в кластере внешнего устройства обмена должно благотворно влиять на сокращение среднего времени обмена в системе управления в реальном времени.

Необходимо признать, что в сетевых технологиях проблема множественного обмена пока решена недостаточно. Проработана быстрая широковещательная и множественная передача по всем или многим адресам. Сборка данных, ког-

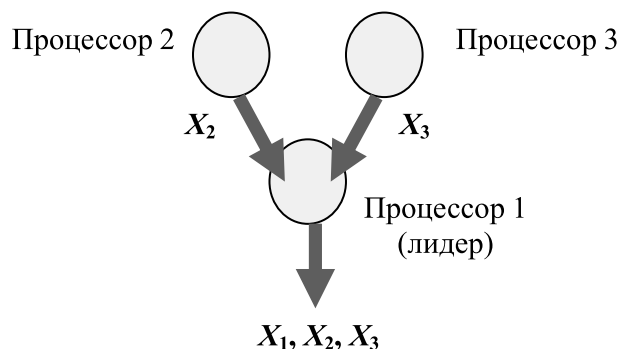


Рис. 4. Параллельный обмен в трехпроцессорном кластере

да многие абоненты передают одному адресату, практически не поддержана ни алгоритмически, ни аппаратно. Но именно ее быстроедействие обусловлено не только широко распространенной сегодня схемой вычислений по *SPMD*-технологии, но и требованиями сложных систем управления в реальном времени.

2.2. Структура оперативной памяти Хост-процессора для многоканальной параллельной сборки данных

Так как головной процессор узла должен обладать существенными особенностями, дающими ему возможность реализовать управление вычислительным процессом и приемом-передачей данных, назовем процессор такого типа *Хост-процессором*.

Структура памяти Хост-процессора узла показана на рис. 5 (см. третью сторону обложки).

Оперативная память (ОП) содержит следующие блоки:

1. Блок собственной ОП, предназначенной только для вычислений и ограниченно доступной другим блокам.

2. N блоков ОП, соответствующих N каналам обслуживания обмена. Каждый блок содержит один или более образов памяти Хост-процессоров передающих узлов, распределенных по каналам обслуживания. Эти образы отражают лишь память этих процессоров, предназначенную для хранения передаваемых результатов вычислений.

3. В качестве внешних устройств используются процессоры памяти $ПП_i, i = 1, \dots, N$, выполняющие функции каналов обслуживания обмена с Хост-процессорами других узлов. Они являются автономными сетевыми объектами (*web-объектами*), обладающими адресами. На основе Интернет-технологии каждый процессор памяти $ПП_i$ связан с закрепленными за ним Хост-процессорами других узлов.

Хост-процессоры узлов независимо (а следовательно, параллельно) по необходимости дублируют свою информацию в этих процессорах, в том числе результаты вычислений. С помощью процессоров памяти выполняется и широковещательный обмен.

Блоки-образы в ОП, ввиду сравнительно небольшого объема, могут быть выполнены по технологии двухвходовой памяти. Однако даже механическое (релейное) их переключение "центральный процессор — сеть" может быть несоизмеримо более оперативным, чем использование кластеризованного сетевого обмена.

Такая структуризация ОП легко согласуется с традиционной блочно-модульной структурой, включающей интерливинг.

2.3. Конвейеризация многоканального приема данных web-процессором памяти 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. С учетом применения программных средств реальная пропускная способность средств передачи данных в сети снижается на один-два порядка. При решении информационных задач, таких как разработка социальных сетей, торговых площадок, электронной почты, справочных систем и др., на первый план выдвигаются требования высокого сервиса.

Однако для систем управления этого недостаточно. Поток данных на принимающем Хост-процессоре образует "узкое горло", которое необходимо "расшить", используя принципы распараллеливания и конвейеризации. Аналогичная проблема возникает при "древесной" кластеризации, реализуемой для сборки данных в *Grid*-технологии.

Распараллеливание приема данных рассмотрено выше на основе введения нескольких внешних устройств обмена — процессоров памяти, каждый из которых является *web-объектом*, т. е. обладает адресом и достаточной самостоятельностью для выполнения сетевых операций обмена данными.

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.

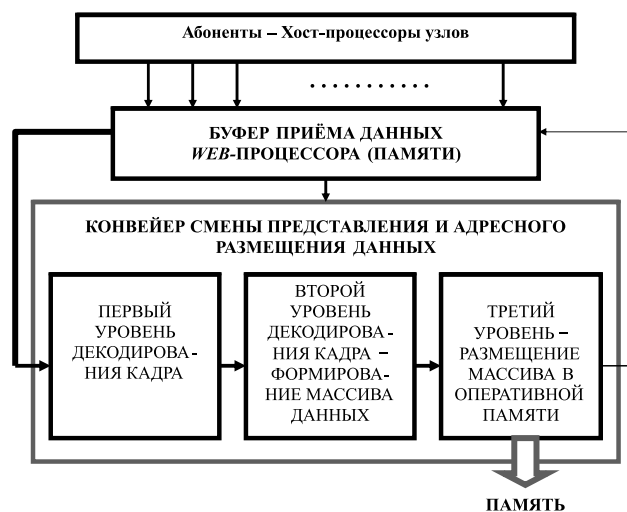


Рис. 6. Конвейеризация приема и размещения данных *web-процессором* памяти

На рис. 6 предполагается, что на первом и втором уровнях конвейера данные переводятся со стандартного *кадрового* представления в линии передачи данных в тип *файл*. На третьем уровне конвейера данные окончательно переводятся в представление задачи, т. е. в тип *массив*, и выполняется адресное размещение массива в ОП.

3. Рекомендации по развитию семейства "Эльбрус"

1. Необходимо продолжить сложившиеся традиции применения средств аппаратного контроля и исправления ошибок, являющихся основным источником информации для построения программных методов построения помехозащищенных управляющих вычислительных процессов.

2. Необходимо развивать парк быстродействующих внешних устройств информационного сопряжения со средствами системы, а также с телекоммуникационными и глобальными компьютерными сетями. Это направление было предусмотрено в предыдущих моделях управляющих МК "Эльбрус".

Еще в 60-х годах прошлого века нашла оправдание идея В. С. Бурцева построения управляющего комплекса М-500 — М-100, в котором процессор М-100 выполнял функции "слабого" резерва и приоритетного обмена по направлениям и объектам. Позднее, в проектах "Эльбрус-1, -2, -3" в обязательную комплектацию входили четыре процессора передачи данных В. И. Перекатова. Указанная тенденция должна быть продолжена, так как требования к производительности управляющего компьютера или компьютерного комплекса, а также требования к оперативности обмена в будущем могут только возрастать.

В этих условиях возлагать задачи обмена на ресурсные процессоры нецелесообразно: ведь в режиме мультипрограммирования два таких процесса высокого приоритета, как счет и обмен, могут мешать друг другу.

Следует помнить о таком новом направлении, как создание быстродействующих *web*-объектов для обмена с сетью Интернет. Это направление приведет к пересмотру и развитию стандартных протоколов обмена.

Таким образом, средства информационного взаимодействия управляющих суперкомпьютеров должны обеспечивать многоканальный быстрый параллельный обмен по технологии беспроводной телекоммуникационной связи, включающей многоканальный доступ в сеть Интернет.

3. Реализованная в МК "Эльбрус" виртуализация ресурса давала превосходный эффект при решении задач распараллеливания по готовности работ в очереди "к процессору". Она же без

дополнительных затрат решала задачу скользящего резервирования. Такой принцип организации вычислений должен быть воспроизведен в перспективных средствах МК "Эльбрус". Однако такой режим виртуализации вычислительного ресурса может потребовать и назначения головного процессора в интересах реализации управляющего вычислительного процесса, так что совмещение централизованного и децентрализованного управления вычислительными ресурсами должно быть доступно.

Отметим, что в интересах контроля и возможности реконфигурации комплекса процессоры МК "Эльбрус-1, -2" были связаны общей шиной и обладали номерами, и пользователь об этом не знал.

4. Применение сетевых технологий вносит особую уязвимость в систему управления перспективными сложными системами вооружения. Представляется, что типизация данных и типовый контроль, воплощенные еще в ранних моделях "Эльбрус", способны эффективно противодействовать современным бурно развивающимся угрозам и атакам противника в попытке взломать и нарушить процесс управления. Здесь необходимо провести самые тщательные исследования на основе предполагаемых применений, понимая, что теговая архитектура, приводящая к существенным излишествам в оборудовании, не является единственным способом воплощения типизации данных.

5. Необходимо развивать принципы аппаратной поддержки языков высокого уровня. По данным испытаний "Эльбрус-1" статистическая оценка показала, что процессор "Эльбрус" в 1,3...1,5 раз быстрее решает задачи, по сравнению с высокопроизводительными ЦВМ, построенными на той же элементной базе, но не обладающими средствами аппаратной поддержки выполнения языковых конструкций. При этом не учитывался стековый механизм выполнения процедур. Идеализация этого механизма в свое время не встретила поддержки разработчика систем управления и является предметом спора до настоящего времени. Известна практика, когда стековый механизм выполнения процедур использовался на этапе программирования управляющих программ, а затем результаты его применения исключались для сведения программы к единственной процедуре.

6. Следует подчеркнуть явную перегруженность операционной системы (ОС) функциями, не применяемыми в ряде систем управления. Повидимому, набор функций ОС должен обоснованно выбираться в соответствии с применением МК.

7. Комплектация моделей семейства "Эльбрус" должна учитывать требования стандартизации и

унификации. Предпочтителен модульный принцип комплектации, допускающий построение ряда моделей, отличающихся по мощности и специализации. Модули исполнительных устройств, сейчас входящие в состав АЛУ, также должны образовывать варьируемые наборы. Их исполнение на микропроцессорной базе дает возможность развития и специализации системы команд, а также реализации процедур ограниченного объема.

8. Необходимо провести самые глубокие теоретические и экспериментальные исследования современных технологий угроз и атак для обоснованной оценки и разработки средств противодействия им в составе ВК "Эльбрус".

Заключение

1. Современные системы управления динамическими процессами и объектами в реальном времени представляют собой территориально распределенные системы с централизованным управлением.

2. Их вычислительные средства образуют централизованную компьютерную сеть, для обеспечения высокой производительности, надежности и живучести использующие принцип допустимой виртуализации. Это определяет специфику средств информационного взаимодействия.

3. Адаптивная маршрутизация информационных пакетов, при которой в пошаговом режиме пакеты движутся в соответствии с динамически

складывающейся загрузкой узлов и состоянием связи между ними, призвана повысить как пропускную способность системы связи, так и вероятность выполнения запроса на обмен. Для обеспечения эффективной работы алгоритма адаптивной пошаговой маршрутизации необходим новый протокол обмена.

4. Компьютеры или компьютерные системы, исполняющие функции управления такой сетью, должны обладать многоканальными средствами беспроводных телекоммуникационных систем, а также средствами многоканального параллельного взаимодействия с сетью Интернет. Для этого предлагается в число внешних устройств управляющего компьютера включить несколько независимых *web*-объектов для приема данных, а также разработать конвейер обработки этого приема.

5. Развитие семейства "Эльбрус" должно учитывать сложившиеся тенденции в поддержке языков высокого уровня, организации вычислений, обеспечении надежности и оперативности средств обмена данными.

Список литературы

1. Ким А. К., Перекатов В. И., Ермаков С. Г. Микропроцессоры и вычислительные комплексы семейства "Эльбрус". СПб.: Питер, 2013. 272 с.
2. Пирожник В. В., Морозов Ю. В., Шаменков Н. А. Обоснование требований к вычислительной технике средств и систем воздушно-космической обороны // Военная мысль. 2015. № 6. С. 51–61.
3. Барский А. Б. Планирование виртуальных вычислений. М.: ИД "ФОРУМ": ИНФРА-М, 2017. 200 с.
4. Барский А. Б. Нейросетевые методы оптимизации решений. СПб.: ИЦ "Интермедия", 2016. 312 с.

A. V. Barsky, Dr. Tech. Sciences, Prof., e-mail: arkbarsk@mail.ru,
B. V. Zhelenkov, Ph. D., Associate Professor, e-mail: boriszhv@gmail.com,
N. A. Shamenkov, Ph. D., Senior Researcher, e-mail: shna810516@mail.ru,
The Russian Transport University (RTU (MIIT))

Highly Reliable Control Computer Networks with Neural Network Adaptive Routing Based on Prospective Models of the Elbrus Family

The possibilities of adaptive step-by-step routing of information packets in a virtual centralized computer network of a complex distributed control system for dynamic processes and objects in real time are considered. The application of a logical neural network for such routing ensures maximum bandwidth, reliability, stealth and survivability of the network. Methods are proposed for organizing multi-channel parallel data collection by the head node of a centralized computer network when using the Internet. Recommendations are given on the development of the architecture of the Elbrus family and interfaces with the environment of functioning.

The main recommendations are as follows:

1. *It is necessary to continue the established traditions of using hardware control and error correction tools to build protected control computing processes.*
2. *It is necessary to develop a fleet of high-speed external interface devices with system resources, as well as with telecommunication and global computer networks. You should use the new direction of creating fast web-objects for exchange with the Internet. This direction will lead to the revision and development of standard exchange protocols.*

3. Virtualization of the resource implemented in ERC "Elbrus" gave an excellent effect when solving the tasks of parallelization on the readiness of work in the queue "to the processor". She also solved the problem of sliding reservation without additional costs. However, the combination of centralized and decentralized management of computing resources should also be available.

4. Application of network technologies introduces a special vulnerability in the management system of advanced complex control systems. It seems that the typing of data and type control, embodied in the early Elbrus models, can effectively counteract today's rapidly developing threats and attacks. Apparently, the tag architecture, which leads to significant excesses in hardware, is not the only way to implement data typing.

5. It is necessary to develop the principles of hardware support for high-level languages. However, reliance on the stack mechanism of performing procedures in its time did not meet the support of the developer of control systems and is the subject of dispute to date.

6. The set of functions of the operating system must be reasonably chosen in accordance with the use of computing facilities.

7. The complete set of models of the Elbrus family should take into account the requirements of standardization and unification. The modular principle of configuration allows the construction of a number of models differing in power and specialization. Modules of actuators must also be composed of variable sets. Their execution on the microprocessor base allows the development and specialization of the command system, as well as the implementation of procedures of limited scope.

Keywords: centralized computer network, permissible virtualization, adaptive routing, logical neural network, web-objects of parallel data collection, Elbrus family

References

1. Kim A. K., Perekatov V. I., Ermakov S. G. *Mikroprocessory i vychislitel'nye komplekсы semeystva "El'brus"* (Microprocessors and computing systems of the Elbrus family), SPb., Piter, 2013, 272 p.

2. Pirozhnik V. V., Morozov Ju. V., Shamenkov N. A. *Obosnovanie trebovanij k vychislitel'noj tehnikе sredstv i sistem vozdušno-kosmicheskoy oborony, Voennaya mysl'* (Justification of

the requirements for the computer technology of means and systems of aerospace defense), 2015, no. 6, pp. 51–61.

3. Barskij A. B. *Planirovanie virtual'nyh vychislenij* (Planning for virtual computing), Moscow, ID "FORUM", INFRA-M, 2017, 200 p.

4. Barskij A. B. *Nejrossetevye metody optimizacii reshenij* (Neural network solutions optimization methods), SPb, IC "Intermediya", 2016, 312 p.

УДК 658.52

DOI: 10.17587/it.24.299-305

Г. Д. Санталов, магистрант, Б. В. Артемьев, д-р техн. наук, проф., boris@artemiev.su, Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, 105005, Россия, e-mail: info@iu.4bmstu.ru

Беспроводные сенсорные сети с централизованной обработкой данных

Представлено перспективное направление использования сенсорных сетей для укрупнения и распространения концепции "Интернет вещей". Основное внимание уделено анализу организации беспроводного массива сенсоров с возможностью централизованной обработки данных. Кратко рассмотрены типы сенсорных сетей, их преимущества и недостатки. Проведен анализ существующих решений и исследование методов обработки данных в различных типах сетей. Наглядно продемонстрированы различные типы сетей. Дана характеристика интерфейсу связи, описание типовых узлов и подборка устройств (в том числе российских). Предложен концепт сенсорной сети, отличающийся отсутствием промежуточного координатора в сети. В результате исследования выявлены характерные аспекты данного концепта, его преимущества и недостатки. Показаны возможности по применению технологии GSM в беспроводных сенсорных сетях в практических условиях, описан механизм взаимодействия устройств и сервера.

Ключевые слова: интернет вещей, сенсорная сеть, беспроводная сенсорная сеть, малая мощность, умные энергосети, мот, координатор, маршрутизатор

Введение

Общество все активнее нуждается в различных автоматизированных системах. Особенно заметна такая тенденция в крупных городах. Именно в мегаполисах развивается технология интернета вещей (Интернет вещей — концепция вычислительной сети физических предметов — "вещей",

оснащенных встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой, рассматривающая организацию таких сетей как явление, способное перестроить экономические и общественные процессы, исключаящее из части действий и операций необходимость участия человека), которая все активнее ведет к развитию разнообразных сенсорных сетей.