

УДК 004.738

К.О. Малков

ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНОГО СОГЛАСУЮЩЕГО ЦЕНТРА В КАЧЕСТВЕ МЕЖСЕТЕВОГО УСТРОЙСТВА КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ

Предложено применение адаптивных согласующих центров (АСЦ) в пакетных корпоративных сетях передачи данных как устройств межсетевого взаимодействия. Проведено сравнение АСЦ со стандартными средствами сетевого взаимодействия – межсетевыми устройствами, показаны отличия АСЦ от существующих межсетевых устройств и целесообразность их использования в корпоративных сетях.

Введение. Корпоративная деятельность в распределенных технологических, организационно-административных и технических комплексах осуществляется с поддержкой информационных систем сетевого типа.

В отдельных частях корпоративной сети могут применяться различные телекоммуникационные технологии и уже сложившиеся процедуры обмена и управления данными. Все функции по интеграции и согласованию выполняются в межсетевых устройствах разного уровня и назначения – мостах, коммутаторах, маршрутизаторах и шлюзах, обеспечивающих сопряжение и необходимое преобразование в терминах как аппаратуры, так и программного обеспечения.

Межсетевые устройства (МУ) реализуются в виде многопроцессорных мультипрограммных систем с определенной конфигурацией. Выполняя основную функцию взаимодействия нескольких неоднородных сетей, МУ обрабатывают большие потоки информации, что приводит к необходимости распараллеливания во времени функций приема, передачи и обработки поступающих на его вход сообщений. Классическим путем создания подобных систем является использование процессоров с типичными архитектурами I386, PowerPC, ARM, RISC и других. Такой подход обладает рядом недостатков: производительность МУ при выполнении фиксированных задач используется не полностью, а лишь на 10-20 %, жесткая привязка архитектуры к функциональности МУ не позволяет гибко управлять ресурсами и распределять нагрузку, моральное устаревание элементной базы приводит к необходимости полной замены межсетевого устройства.

Теоретическое обоснование. Появившиеся на сегодняшний день технологии, инструментальная и элементная база определили альтернативный подход к построению сетевого оборудования. Данный подход базируется на идеях уни-

версальности, аппаратной конфигурируемости и динамической настройки структуры МУ в зависимости от решаемых задач и внешних условий. Согласно этим идеям синтез структуры МУ осуществляется в соответствии с модульным принципом построения из базовых блоков (модулей).

Базисный набор состоит из следующих структурных единиц (см. рисунок):

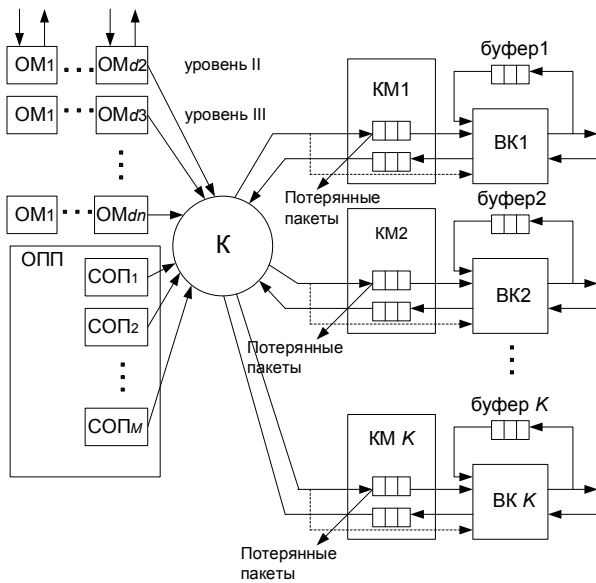
– канальных модулей (КМ), предназначенных для выполнения процессов приема и передачи кадров; обозначим как множество $M1 = \{ KM_{i=1, S} \}$, S – число сопрягаемых неоднородных сетей}. Обеспечивают функционирование протоколов канального уровня;

– процессорных модулей (ПМ), предназначенных для выполнения уровневых протоколов центра сопряжения (ЦС). ПМ состоит из набора обрабатывающих модулей (ОМ); обозначим как множество $M2 = \{ OM_{i=1, N; j=3, 7} \}$, N – число ОМ, реализующих протоколы j -го уровня эталонной модели взаимодействия открытых систем - ЭМВОС}. Данные модули применяются в устройствах, функционирующих на третьем, сетевом уровне ЭМВОС и выше. Функции протоколов канального уровня берут на себя процессоры канальных модулей КМ;

– модуля памяти – общего поля памяти (ОПП), предназначенного для хранения общих информационных ресурсов, необходимых при выполнении уровневых протоколов, и хранения передаваемых пакетов; обозначим как множество $M3$;

– схемы комплексирования (СК), предназначенной для объединения всех модулей в рамках одного центра сопряжения;

– виртуального канала (ВК) – для отображения входа/выхода КМ и поступающей на него нагрузки; обозначим как множество $M4$.



Структура универсального центра сопряжения

Конструктивно МУ выполнено в виде стойки с отсеками для вставки модулей. Для каждого конкретного случая взаимодействия сетей подбирается достаточная (не избыточная по производительности и минимальная по стоимости) комплектация МУ. Похожая технология, основанная на модульном принципе, давно применяется в центрах коммутации телефонных сетей общего пользования и мобильных телефонных сетях.

Такой подход комплектования аппаратных средств МУ позволяет расширять его возможности - МУ структурируется из перечисленных готовых функциональных модулей в зависимости от нагрузки и степени неоднородности сопрягаемых сетей. С увеличением нагрузки возможно увеличение производительности МУ расширением процессорного модуля по горизонтали путем добавления одного или нескольких ОМ определенного уровня. При подключении новой сети активизируется новый КМ и добавляются новые ОМ по вертикали, что обеспечивает функционирование протокола соответствующего уровня, и секции общей памяти (СОП), нужное число которых определяется заранее для соблюдения необходимых показателей качества обслуживания. Переключением связей между модулями задается схема комплексов. Данная методология построения МУ отличается от существующих, поскольку сегодняшние устройства сопряжения могут наращивать производительность, увеличивать количество портов, но не свою функциональность.

КМ - это интерфейсный модуль, выполняющий прием и передачу кадров по протоколам и функциям канального уровня ЭМВОС, передачу пакета через интерфейс в модуль памяти,

фильтрацию пакетов по алгоритму моста, разгружающую процессорный модуль от обработки пакетов собственной сети.

Процессорный модуль выполняет функции обработки пакетов, т.е. принимает решения по их фильтрации/продвижению, модифицирует заголовки пакетов, если это необходимо, передает пакеты непосредственно присоединенному КМ или другому процессору обработки пакетов, обновляет базу данных адресной и топологической информации, поддерживает SNMP-управление и выполняет другую административную работу. Процессорный модуль состоит из набора ОМ. Каждый ОМ поддерживает все основные протоколы определенного уровня: ОМ3 - протоколы 3-го уровня и т.д. до 7-го уровня ЭМВОС и имеет свои копии программного обеспечения, т.е. возможна параллельная обработка на разных ОМ как одного и того же уровня, так и разных уровней.

Общее поле памяти разбито на секции для параллельного обслуживания нескольких канальных и обрабатывающих модулей $M3 = \{ \text{ОПП}_{i=1, \overline{M}}, M - \text{число секций общего поля памяти} \}$. Память хранит различные общие информационные ресурсы, например маршрутные и адресные таблицы.

Организация вычислительного процесса в МУ также зависит от способа соединения функциональных блоков системы. По топологии межмодульных связей выделяются следующие схемы комплексов (СК): СК1 - матричного типа; СК2 - на базе общей шины; СК3 - на базе разделяемой памяти.

Виртуальный канал (ВК) в явном виде не является структурным элементом ЦС, но его можно представить как некий функциональный модуль, задающий нагрузку на порты МУ.

Таким образом, модель обобщенного МУ запишется в виде следующего кортежа элементов, характеристик и связей:

$$\text{ЦС} = \langle M1(q_1, q_4, q_5, S, \text{БП}_{i=1, \overline{S}}), M2(q_1, q_5, N), \\ M3(q_2, q_3, M, RS), M4, \bigcap_{i=1}^5 \text{CK}_i, G \rangle.$$

Частные варианты межсетевых устройств описываются следующими кортежами:

- мост: $\langle M1(q_1, q_4, q_5, S=2, \text{БП}_{i=1, \overline{2}}), M4, \text{CK2}, G \rangle;$
- коммутатор на базе матрицы: $\langle M1(q_1, q_4, q_5, S, \text{БП}_{i=1, \overline{S}}), M4, \text{CK1}, G \rangle;$
- коммутатор на базе общей шины: $\langle M1(q_1, q_4, q_5, S, \text{БП}_{i=1, \overline{S}}), M4, \text{CK2}, G \rangle;$
- коммутатор на базе общей памяти:

$\langle M1(q_1, q_4, q_5, S, \text{БП}_{i=1, \overline{S}}), M3(q_2, q_3, M, RS), M4, \text{СКЗ}, \rangle;$

– маршрутизатор:

$\langle M1(q_1, q_4, q_5, S, \text{БП}_{i=1, \overline{S}}), M2(q_1, q_5, N), M3(q_2, q_3, M, RS),$
 $M4, (\text{СК1} \vee \text{СКЗ}) \wedge (\text{СК2} \vee \text{СКЗ}), G \rangle;$

– шлюз:

$\langle M1(q_1, q_4, q_5, S, \text{БП}_{i=1, \overline{S}}), M2(q_1, q_5, N),$

$M3(q_2, q_3, M, RS), M4, (\text{СК1} \vee \text{СКЗ}) \wedge (\text{СК2} \vee \text{СКЗ}), G \rangle.$

Структура МУ характеризуется открытой модульной архитектурой, приспособленной к реконфигурации, и состоит из набора функциональных модулей, каждый из которых выполняет функцию определенного протокола, например прием или передачу кадра, буферизацию, обработку поступившего пакета по протоколу и другие. Каждый модуль является аппаратно-программируемым устройством. Такая технология позволяет, объединяя как функционально одинаковые модули, так и модули различного назначения, масштабировать структуру МУ. Возможность гибкого наращивания функций и протоколов делает структуру МУ универсальной, т.е. не зависящей от степени неоднородности взаимодействующих сетей.

В связи с этим можно ввести новый тип межсетевого устройства – адаптивный согласующий центр (АСЦ) корпоративной сети. При этом термин «адаптивный» принимает двойственное значение: во-первых, при работе данного согласующего центра на одном уровне ЭМВОС его производительность можно увеличивать или уменьшать, в зависимости от задачи, путем добавления или удаления соответствующих модулей, например модулей памяти; во-вторых, данный согласующий центр может адаптироваться для работы на разных уровнях ЭМВОС опять же путем добавления или удаления модулей, например обрабатывающих модулей.

Данные обстоятельства выгодно отличают АСЦ от существующих межсетевых устройств. Ведь современные корпоративные сети связи являются изменяющимися, развивающимися системами, где наряду с увеличением производительности МУ иногда необходимо и ее уменьшение, при этом высвобождаются производительные ресурсы, которые могут быть использованы в другой части сети. Целесообразнее функционально или количественно преобразовывать уже имеющийся узел сети, чем каждый раз, когда это необходимо, заменять его на другой.

Оптимизация структуры АСЦ. В результате рассматриваемой идеи адаптации согласующего центра возникает задача оптимизации такого устройства с точки зрения производительности и стоимости [2]. Т.е. когда в каком-

либо сегменте корпоративной сети стоит задача установить новый или трансформировать согласно требованиям уже существующий узел, необходимо определить такую функциональную структуру узла, которая удовлетворяла бы требуемым показателям качества и имела бы минимальную стоимость. В связи с этим введем в рассмотрение множество параметров, определяющих АСЦ с точки зрения пользователя, – показатели качества, параметры, задающие технические характеристики структурно-функциональных модулей АСЦ, и параметры, характеризующие определенное решение, принятое для синтеза структуры межсетевого устройства.

Определены следующие показатели качества устройства:

– пропускная способность АСЦ – g_1 ;

– задержка передачи кадра – g_2 ;

– вероятность блокировки принимаемых кадров для входящего канала i (процент потерянных кадров) – g_3 .

Ко множеству параметров Q , задающих технические характеристики структурно-функциональных модулей АСЦ, отнесены:

– номинальное быстродействие процессоров или число команд, выполняемых ОМ в единицу времени, – q_1 ;

– время работы с кольцевой очередью – q_2 ;

– объем памяти – q_3 ;

– среднее число команд протокольных процессов – q_4 ;

– время, затрачиваемое на обращение к таблице маршрутизации – q_5 .

В качестве оптимизируемых параметров H в зависимости от типа АСЦ выбраны следующие:

– число процессоров обработки или обрабатывающих модулей – N ;

– число секций общей памяти (СОП) – M ;

– разрядность процессора ℓ ;

– время цикла обращения регистр-память,

т.е. записи слова из КМ в СОП $\tau^{\text{СОП}}$.

Таким образом, задача оптимизации сформулирована как смешанная многопараметрическая и многокритериальная экстремальная задача с ограничениями: при заданных значениях элементов множества параметров Q найти оптимальную структуру АСЦ такую, чтобы выполнялись условия:

$$0 < g_i(Q, H) \leq g_i^{\text{доп}}, \quad g_i \in \vec{G}, \quad (1)$$

$$\phi \rightarrow \min f(Q, H), \quad (2)$$

где ϕ – аддитивная функция стоимости АСЦ.

Решение сформулированной задачи распадается на два этапа. На первом этапе на соответствующих моделях находятся зависимости пока-

зателей качества. Для многопроцессорных вычислительных комплексов, каким является АСЦ, применим аппарат экспоненциальных сетей массового обслуживания [1]. Данный аппарат позволяет получить оценивание производительности и времен задержки в аналитическом виде. Подробное описание математических моделей АСЦ, функционирующих на различных уровнях ЭМВОС, выходит за рамки поставленной задачи излагаемого материала.

На втором этапе решается оптимизационная задача, определяемая выражениями (1)-(2). На сегодняшний день предпочтителен интеллектуальный подход в методах оптимизации [3], предполагающий использование методов выбора параметров АСЦ, которые гарантировали бы обеспечение требуемого качества обслуживания пользователей при минимальных затратах. Одним из таких методов является применение генетического алгоритма поиска оптимальной структуры устройства.

Генетические алгоритмы (ГА) позволяют решать многие прикладные задачи в условиях значительной неопределенности информации о сложных техногенных и природных системах, работать с зашумленными данными, отражать свойства разрывности и нелинейности. Это можно объяснить способностью ГА к адаптации и обучению в ходе работы. Кроме того, традиционные методы вычислений не обладают необходимой гибкостью за пределами ограниченных условий. Своим успехом ГА обязаны именно указанным выше свойствам: адаптивности и универсальности подходов. Использование этого алгоритма можно применить и в АСЦ.

Суть ГА предполагает представление набора переменных $x_1, x_2, \dots, x_n$ целевой функции f в виде хромосомы, где $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. А каждый параметр x_n будет являться геном в этой хромосоме. Для случая АСЦ каждая особь популяции описывается хромосомой из четырех генов: $M, \ell, \tau^{\text{СОП}}, N$. В качестве целевой функции выбрано среднее время задержки передачи кадра g_2 как основной характеристики АСЦ.

Целью является найти конфигурацию АСЦ, удовлетворяющую допустимым значениям характеристик $g_i^{\text{доп}}$, с минимальной стоимостью реализации, потому что с помощью ГА может быть найдено много вариантов структуры АСЦ, удовлетворяющих допустимому времени задержки и имеющих даже меньшее значение, но стоимость реализации может быть высокой. Таким образом, к задаче определения структуры, удовлетворяющей допустимым условиям, необходимо добавить задачу по определению наи-

меньшей стоимости реализации этой структуры. Такая задача будет решаться вне ГА: алгоритм после завершения своей работы определит конечную популяцию с наименьшими значениями целевой функции, т.е. среднего времени задержки. Из этой популяции выбираются особи, удовлетворяющие условию $g_2(Q, H) \leq g_2^{\text{доп}}$. Далее для каждой такой особи рассчитывается условная стоимость каждого параметра (гена), суммируется, и выбирается особь, имеющая наименьшее значение стоимости.

Стоимость номинального значения каждого параметра, участвующего в работе ГА, может определяться в условных единицах от 1 до 100. Стоимость самого «дорогого» элемента принимается за 100 единиц, а все остальные стоимости определяются как процент от стоимости самого дорогого. Например, стоимость одного ОМ будет равна 100, а одной СОП – 10 единиц, т.е. 10 процентов и т.д. Данный метод определения стоимости позволяет соотнести реальные стоимости модулей, выразив их в условных единицах. Например, условная стоимость $\tau^{\text{СОП}}$ будет рассчитываться исходя из реальной стоимости процессора КМ, который позволяет произвести запись/считывание пакета в СОП за время $\tau^{\text{СОП}}$. Такой подход удобен тем, что при постоянно меняющихся ценах на рынке вычислительной техники и микроэлектроники можно задавать стоимости узлов АСЦ, адекватные сегодняшнему дню. Для значений, которые нельзя выразить в штуках ($\tau^{\text{СОП}}, \ell$), номинальные стоимости определяются для минимальных значений, например 16 битов для ℓ , 10^4 с для $\tau^{\text{СОП}}$. Данная задача определения стоимости номинального значения каждого параметра (1 СОП, 1 ОМ, минимальное значение ℓ и минимальное значение $\tau^{\text{СОП}}$) ложится на плечи специалиста, который будет заниматься формированием сети в целом и структуры АСЦ в частности.

Номинальные стоимости параметров (генов) для случая расчета АСЦ с общей памятью обозначим как c_1, c_2, c_3, c_4 для $M, \ell, \tau^{\text{СОП}}, N$ соответственно. Выражение для расчета суммарной стоимости найденных в результате работы ГА параметров имеет вид

$$C_{\text{ОПП}} = c_1 \cdot M + c_2 \cdot \frac{\ell}{\ell'} + c_3 \cdot \frac{\tau^{\text{СОП}}}{\tau^{\text{СОП}'}} + c_4 \cdot N, \quad (3)$$

где $\ell', \tau^{\text{СОП}'}$ - минимальные значения соответствующих параметров.

Таким образом, исходными данными для работы алгоритма являются набор оптимизируе-

мых внутренних параметров АСЦ и параметры ГА:

M_{Π} - число особей в популяции;

x_1, x_2, x_3, x_4 - порядок операции кроссовера для разных генов;

q_m - вероятность мутации гена;

c_1, c_2, c_3, c_4 - набор номинальных стоимостей параметров для АСЦ;

$\ell', \tau^{\text{соп}'}$ - минимальные значения соответствующих параметров;

$\varepsilon > 0.9$, $K^{\text{доп}}$ - критерии останова;

где $K^{\text{доп}}$ - задаваемое допустимое число итераций алгоритма.

При представлении параметров используется код Грея.

Для представления значений генов в двоичной форме будем использовать следующие размерности: для M - 1 байт, для ℓ - 2 байта, для $\tau^{\text{соп}}$ - 14 битов, для N - 1 байт. При этом в представлении значений $\tau^{\text{соп}}$ первые 10 битов кодируют число до 1024, а вторые 4 бита - степень числа 10 - отрицательную для $\tau^{\text{соп}}$. Это сделано для того, чтобы исключить большую размерность хромосомы особи, поскольку эти величины могут быть очень малыми, как в случае $\tau^{\text{соп}}$.

После определения начальной популяции особей необходимо вычислить приспособленность каждой особи, т.е. определить значение целевой функции. Это подразумевает вычисление вероятностно-временных характеристик (ВВХ) АСЦ - среднего времени задержки - с помощью одной из аналитических моделей, в зависимости от типа АСЦ (мост, маршрутизатор, шлюз). В процессе скрещивания и определения новой популяции с большей вероятностью участвуют особи, которые являются наиболее приспособленными, т.е. имеющими минимальную среднюю задержку. По окончании работы ГА из последней популяции выбираются только особи, удовлетворяющие условию $g_2(Q, H) \leq g_2^{\text{доп}}$. Для каждой выбранной особи вычисляется суммарное значение стоимости параметров (3) и в качестве решения выбирается особь с минимальным значением стоимости.

Таким образом, алгоритм оптимизации АСЦ включает следующие шаги.

Шаг 1. Выбрать начальную популяцию S_0 , включающую M_{Π} особей. Особь $s \in S_0$ включить в популяцию только при выполнении огра-

ничений $M \geq 1$, $N \geq 1$, $\tau^{\text{соп}} \leq \tau^{\text{соп}'}$, $\ell \geq \ell'$. Положить номер популяции $k := 0$.

Шаг 2. Вычислить приспособленность каждой особи популяции $t(s)$, $s = \overline{1, M_{\Pi}}$, и приспособленность популяции в целом:

$$t_k = \min\{t(s) | s = \overline{1, M_{\Pi}}\},$$

где s - номер особи в популяции; $t(s)$ - целевая функция задачи оптимизации. Данный шаг предполагает вычисление среднего времени задержки с помощью математической модели.

Шаг 3. Селекция. Случайным образом выбрать родителей s_1, s_2 из популяции S_k в соответствии с распределением вероятностей

$$P_1, \dots, P_s, \dots, P_{M_{\Pi}}, \text{ где } P_s = 1 - \frac{t(s)}{\sum_{s \in S_k} t(s)}.$$

Шаг 4. Скрещивание. Построить s' по s_1, s_2 с помощью оператора x_i -точечного кроссовера применительно к i -му гену. Одну из двух вновь образующихся хромосом выбрать в качестве хромосомы потомка с вероятностью 0,5.

Шаг 5. Мутация. Модифицировать s' , с вероятностью q_m заменив значение одного случайно выбранного бита одного из генов хромосомы на противоположное.

Шаг 6. Формирование новой популяции, которая объединяет решения следующего поколения. Для этого M_{Π} раз выполнить операции алгоритма, начиная с шага 3, помещая каждую вновь полученную особь в следующую популяцию S_{k+1} . Затем положить номер новой популяции $k := k + 1$ и перейти к шагу 7.

Шаг 7. Останов. Если на k -м номере популяции выполнилось условие $\frac{t_k}{t_{k-1}} \geq \varepsilon$ или если

$k = K^{\text{доп}}$, то остановить процесс эволюции и перейти на шаг 8. Иначе перейти на шаг 2.

Шаг 8. Отобрать все особи, значения целевых функций которых удовлетворяют условию $g_2(Q, H) \leq g_2^{\text{доп}}$. Определить суммарные стоимости параметров каждой выбранной особи и выбрать особь с наименьшим значением.

Результатом работы ГА, таким образом, является оптимальная или субоптимальная структура АСЦ, т.е. набор численных значений искомым параметров $M, \ell, \tau^{\text{соп}}, N$, удовлетворяющий допустимым значениям ВВХ, с одной стороны, и имеющий минимальную стоимость реализации - с другой, если решение может быть найдено с учетом исходных данных. Конкрет-

ный пример расчета АСЦ ввиду не представленных математических моделей не приводится.

Заключение. Таким образом, применение адаптивных согласующих центров в корпоративных сетях, учитывая наличие разработанных математических моделей и средств оптимизации структуры, приводит к более эффективному с точки зрения стоимости использованию и администрированию корпоративных сетей, обеспечивая при этом требуемое качество обслуживания пользователей.

Библиографический список

1. *Ивницкий В.А.* Теория сетей массового обслуживания.- М.: Физматлит, 2004. – 772 с.
2. *Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К.* Оптимизация в технике.- М.: Мир, 1986. – 346 с.
3. *Колбанев М.О., Кузьма Э.А., Яковлев С.А.* Внедрение генетических алгоритмов поиска в управлении инфокоммуникациями //Санкт-Петербургская научно-практическая конференция «Проблемы подготовки кадров в сфере инфокоммуникационных технологий» /СПОИСУ.- СПб, 2005.-С. 81 – 84.