

УДК 621.391

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТЬЮ

А. В. Холодкова

Харьковский национальный экономический университет, Харьков, Украина

Решена задача выбора параметров системы динамического управления телекоммуникационной сетью. Разработана математическая модель, пригодная для анализа сетей различных размеров. В качестве исследуемых параметров выбрано число узлов коммутации, характеризующее размер сети, и степень связности ее узлов. Проанализирован простейший случай минимальной связности, соответствующий архитектуре кольца, представляющего собой цепочку связанных узлов коммутации.

A problem of the parameter choosing for the system of telecommunication network dynamic management has been solved. A mathematical model suitable for analysis of networks of various dimensions is developed. A number of node commutation characterizing the network dimension and degree of its node connectivity were chosen as the parameters to be investigated. A simplest case of minimal connection corresponding to ring architecture representing a chain of connected commutation nodes has been analyzed.

Введение

Система динамического управления осуществляет распределение ресурсов телекоммуникационной сети между абонентами с учетом качества обслуживания. Система динамического управления для каждого пользовательского потока выделяет определенный набор сетевых ресурсов. К ресурсам сети относятся пропускные способности каналов связи, выделяемое время для передачи пакетов и емкость буферного запоминающего устройства. Эффективность системы динамического управления зависит также от объема информации, передаваемой по телекоммуникационной сети, и состояния ее объектов. Не менее важны характеристики управляемости объекта, время его реакции и другие динамические показатели [1].

Система динамического управления должна так распределить ресурсы сети, чтобы скорость передачи пакетов была максимальной:

$$V_{\text{п}} = \max. \quad (1)$$

Оценка работоспособности системы динамического управления и нахождения оптимального распределения сетевых ресурсов является задачей оптимизации с ограничениями. Эти ограничения, описываемые некоторой матрицей Q , связаны с топологией и размерностью телекоммуникационной сети, количеством маршрутов передачи, пропускными способностями каналов:

$$Qr \leq d, \quad (2)$$

где r — подмножество распределений ресурсов; d — подмножество ограничений.

Кроме того, существуют ограничения, связанные с алгоритмами функционирования телекоммуникационной сети. В предположении отсутствия потерь пакетов и других мешающих факторов эти ограничения можно записать в следующем виде:

$$x(n+1) = f[x(n), r(n), \xi(n)], \quad (3)$$

где $x(n)$, $x(n+1)$ — подмножества состояний телекоммуникационной сети на n -ом и $n+1$ -ом шагах работы алгоритма; $r(n)$ — подмножество распределений ресурсов телекоммуникационной сети на n -ом шаге; $\xi(n)$ — функция, описывающая воздействие случайных факторов.

Сетевые ресурсы на k -ом шаге управления $r(k)$ выделяются непосредственно на доставку пакетов пользователей $r_{\text{ТКС}}(k)$ и на нужды системы динамического управления $r_{\text{СДУ}}(k)$ при следующих ограничениях:

$$r_{\text{ТКС}}(k) + r_{\text{СДУ}}(k) \leq r(k). \quad (4)$$

Как правило, объем ресурсов, выделяемых для системы динамического управления, составляет не более 15 % от общего объема ресурсов [2]

$$r_{\text{СДУ}}(k) \leq 0,15r(k). \quad (5)$$

С учетом (1)–(5) задачу оптимального распределения ресурсов телекоммуникационной сети можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} & \max_r V_n = \\ & = F[r_{\text{ТКС}}(0), x(1), r_{\text{ТКС}}(1), x(2), \dots, r_{\text{ТКС}}(K-1), x(K)]; \\ & x(n+1) = f[x(n), r(n), \xi(n)]; \\ & Qr = d; \\ & r(k) \geq 0; \\ & r_{\text{ТКС}}(k) + r_{\text{СДУ}}(k) \leq r(k); \\ & r_{\text{СДУ}}(k) \leq 0,15r(k), \end{aligned}$$

где K — число временных шагов.

В результате необходимо найти такую последовательность распределений ресурсов телекоммуникационной сети $r_{\text{ТКС}}(0), r_{\text{ТКС}}(1), \dots, r_{\text{ТКС}}(k), \dots, r_{\text{ТКС}}(K)$, чтобы скорость передачи ценной информации V была максимальной.

Постановка задачи

Целью работы является алгоритмизация методики определения параметров системы динамического управления телекоммуникационной сетью, исследование эффективности различных вариантов ее реализации с учетом качества управляющей информации, количества выделенных сетевых ресурсов, а также временных ограничений.

Для достижения поставленной цели в работе предполагается разработать математическую модель системы динамического управления телекоммуникационной сетью, определить оптимальные параметры системы и обосновать методику исследования ее эффективности.

В результате решения задачи управления определяются число возможных маршрутов и значений пропускных способностей каналов связи, а также емкости буферных запоминающих устройств на этих маршрутах. Эти показатели должны соответствовать оптимальному распределению ресурсов телекоммуникационной сети.

Выбор показателя эффективности системы динамического управления

В рассматриваемой задаче телекоммуникационная сеть выступает в качестве управляемой подсистемы некоторой транспортной сети, управляющую часть которой составляет совокупность средств управления и контроля. Для описания структурной модели транспортной сети будем применять графовые схемы, обладающие простотой и наглядностью. Структурную модель транспортной сети можно представить в виде взвешенного графа G , показанного на рис. 1. Зачастую для описания структурной модели телекоммуникационной сети с дуплексными

каналами связи используется ориентированный взвешенный граф $G(V, D)$, где множество вершин графа V соответствует множеству узлов сети, а множество дуг D обозначает множество трактов передачи, связывающих узлы телекоммуникационной сети.

В рамках разрабатываемой модели принимаем, что основной характеристикой узлов телекоммуникационной сети ($V_i \in V; i=1,2,\dots,n; n$ — общее число узлов) является объем буферных ресурсов, а основными параметрами трактов передачи ($D_{ij} \in D; i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,n; i \neq j$), соединяющих узлы с номерами i и j , являются пропускные способности c_{ij} . Вершины $V_i \in V$ графа характеризуют также соответствующие центры управления (серверы, маршрутизаторы). Множество D включает параметры каналов связи, которые служат для передачи информации о состоянии телекоммуникационной сети.

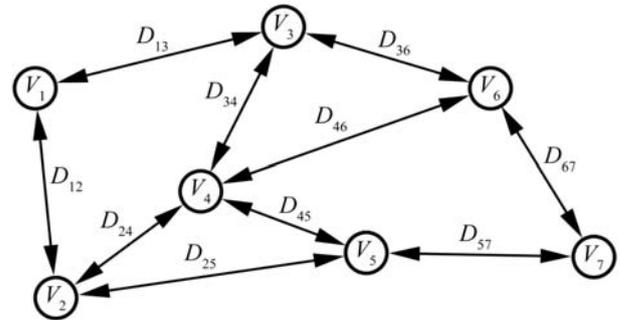


Рис. 1. Графовое представление телекоммуникационной сети

Проводимый ниже анализ справедлив для сетей различных размеров. В качестве параметра, характеризующего размер сети, будем использовать число узлов коммутации. В представленном на рис. 1 примере число узлов коммутации $n=7$. Необходимо оптимально распределить сетевые ресурсы между этими узлами телекоммуникационной сети. Успешное решение этой задачи определяется вероятностью правильного распределения сетевых ресурсов системой динамического управления $P_{\text{пр}}$. Значение этой вероятности зависит от полноты перебора всех возможных альтернатив решений $P_{\text{пол}}$, полноты информации $P_{\text{инф}}$ и вероятности своевременного решения задачи распределения сетевых ресурсов $P_{\text{вр}}$

$$P_{\text{пр}} = f(P_{\text{пол}}, P_{\text{инф}}, P_{\text{вр}}). \tag{6}$$

При выборе функционала $f(P_{\text{пол}}, P_{\text{инф}}, P_{\text{вр}})$ учитываем, что вероятность правильного решения находится в диапазоне значений от 0 до 1. Если пере-

бор вообще не осуществлялся, то вероятность $P_{пр}$ будет равна вероятности распределения ресурсов на предыдущем шаге P_{k-1} . Если информация полностью устарела, когда $P_{инф} = 0$, и (или) решение принято несвоевременно ($P_{вр} = 0$), тогда вероятность правильного распределения ресурсов $P_{пр}$ будет также равна P_{k-1} . Если $P_{пол} = 1$, $P_{инф} = 1$ и $P_{вр} = 1$, то вероятность правильного распределения ресурсов будет также равна $P_{пр} = 1$.

Следовательно, функционал (6) можно записать в следующем виде:

$$P_{прk} = 1 - (1 - P_{k-1}) \exp[-P_a / (1 - P_a)]; P_a = P_{пол} P_{инф} P_{вр}.$$

Рассмотрим определение каждого параметра данного выражения. Полнота выбора альтернатив управления для информационного потока p -го типа между i -м и j -м узлами коммутации $P_{ij}^{(p)}_{пол}$ определяется как отношение исследованных альтернатив управления $L_{ij}^{(p)}$ к общему числу возможных альтернатив $N_{ij}^{(p)}$. Тогда полноту выбора можно представить в виде

$$P_{ij}^{(p)}_{пол} = L_{ij}^{(p)} / N_{ij}^{(p)}.$$

Вероятность выбора альтернатив управления для телекоммуникационной сети в целом можно определить следующим образом:

$$P_{пол} = (\sum_{i,j,p} P_{ij}^{(p)}_{пол}) / S,$$

где S — общее число всех возможных информационных потоков.

Решение задач маршрутизации, управления информационным потоком и доступом к сети проводим в соответствии с [2, 3]. Выбор оптимального варианта связан с полным перебором всех возможных маршрутов и значений пропускных способностей каналов связи, а также емкостей буферных запоминающих устройств на этих маршрутах.

Предположим, что в телекоммуникационной сети имеется V узлов коммутации и U каналов связи. Между i -м и j -м узлами сети появляются информационные потоки p -го типа с интенсивностью $\lambda_{ij}^{(p)}$. Для каждого такого потока необходимо решить задачу динамического управления, выделив необходимые сетевые ресурсы, чтобы обеспечить требуемое качество обслуживания. Получим решение задачи динамического управления для отдельного потока. Предположим, что в сети существует Q возможных маршрутов между i -м и j -м узлами. Из них только $Q_{доп}$ маршрутов могут обеспечить требуемое качество обслуживания. Каждый мар-

шрут представляет собой совокупность l узлов и каналов между конечными узлами. На каждом узле необходимо определить требуемые полосу пропускания и емкость буферного запоминающего устройства. Выбор оптимального варианта связан с полным перебором всех возможных маршрутов и значений пропускных способностей каналов связи, а также емкостей буферных запоминающих устройств на этих маршрутах. Пусть требуемая емкость запоминающего устройства, измеряемая количеством сохраненных блоков информации, может иметь значения от 0 до M_l , а возможные значения пропускной способности могут изменяться с шагом ΔC в интервале $(C_{ij\min}, C_{ij\max})$, бит/с.

Поиск оптимального решения проводим путем полного перебора всех значений емкости буферного запоминающего устройства и всех возможных значений пропускной способности каналов связи для всех возможных маршрутов.

Для отдельного q -го маршрута, состоящего из l_q узлов, число возможных вариантов может быть определено по формуле

$$N_{ij}^{(q)} = \prod_l M_l \prod_l \{ [C_{\max}^{(l)} - C_{\min}^{(l)}] / \Delta C_l \} \\ l = 1, 2, \dots, L; L = l_q.$$

Если емкости запоминающих устройств на всех узлах коммутации данного маршрута и все его пропускные способности одинаковы, то будет справедливо выражение

$$N_{ij}^{(q)} = M_l^L \{ [C_{\max}^{(l)} - C_{\min}^{(l)}] / \Delta C_l \}^L.$$

Соответственно, для всех Q маршрутов число всех вариантов составит

$$N_{ij} = \prod_q \prod_l M_l \prod_l \{ [C_{\max}^{(l)} - C_{\min}^{(l)}] / \Delta C_l \}; q = 1, 2, \dots, Q.$$

Задачу оптимального распределения ресурсов необходимо решить для всех потоков. Тогда общее число задач, которое требуется решить за интервал времени T , будет

$$N_p = T \sum_{i,j,p} \lambda_{ij}^{(p)}.$$

Общее число вариантов, которые необходимо рассмотреть за время T ,

$$N = T \sum_{i,j,p} \lambda_{ij}^{(p)} \prod_q \prod_l M_l \prod_l \{ [C_{\max}^{(l)} - C_{\min}^{(l)}] / \Delta C_l \}. \quad (7)$$

В рассмотренном анализе в качестве параметра, характеризующего размер сети, использовалось число узлов коммутации, которое может принимать

значения $n = 10, 25, 100$, что примерно соответствует малым, средним и большим сетям. Другим важным параметром телекоммуникационной сети является степень связности ее узлов. Архитектура минимальной связности представляет собой цепочку связанных узлов коммутации. В данном случае число возможных маршрутов $Q = 2$.

Другим крайним случаем является полносвязная сеть, в которой каждый узел коммутации связан отдельным каналом со всеми остальными узлами коммутации. В данном случае число возможных маршрутов $Q = C_n^2 = n(n-1)/2$ для однопутевой маршрутизации и $Q = 2^{n-1} C_n^2 = 2^{n-1} [n(n-1)/2]$ для многопутевой маршрутизации [2]. При этом длина маршрута l зависит от размера сети и находится в пределах $1 \leq l \leq n-1$.

Емкости запоминающих устройств, которые выделяются на каждом узле коммутации для каждого потока, измеряются числом пакетов в диапазоне $0 \leq M \leq 20$. При значении $M = 0$ память не выделяется. Максимальное значение емкости запоминающих устройств, которая может быть выделена одному потоку, равно $M = 20$, что характерно для алгоритма обслуживания очередей с абсолютным приоритетом.

Количество возможных значений пропускной способности в рассмотренной модели равно $N_C = [C_{\max}^{(k)} - C_{\min}^{(k)}] / \Delta C_k$ и может быть задано степенью двойки $N_C = 128, 256, 512, 1024, 2048$.

Число всех возможных вариантов для каждого потока p -го типа между i -м и j -м узлами с интенсивностью $\lambda_{ij}^{(p)}$ при полном переборе определяется выражением (7). В свою очередь число рассмотренных вариантов $L_{ij}^{(p)}$ определяется интенсивностью решения задач динамического управления $\mu_{ij}^{(p)}$ и может быть представлено в следующей форме $L_{ij}^{(p)} = T \mu_{ij}^{(p)}$. Характеристика $\mu_{ij}^{(p)}$ используется при моделировании сети для вычисления вероятности $P_{ij\text{пол}}^{(p)}$. Если $\mu_{ij}^{(p)} \geq \lambda_{ij}^{(p)}$, то вероятность $P_{ij\text{пол}}^{(p)} = 1$, в другом случае $P_{ij\text{пол}}^{(p)} < 1$.

Число исследуемых альтернатив L зависит от производительности системы принятия решений и определяется временем управления $T_{\text{упр}}$. В свою очередь $T_{\text{упр}}$ можно представить как сумму времен, которое система управления тратит на сбор информации $T_{\text{сбор}}$, принятие решения $T_{\text{пр}}$ и доведения управляющей информации до соответствующих сетевых устройств $T_{\text{дов}}$.

Интервал времени сбора информации определяется объемом необходимой информации и сетевыми ресурсами, которые выделяются для ее передачи. В

общем случае время сбора $T_{\text{сбор}}$ можно представить в следующем виде:

$$T_{\text{сбор}} = \Omega(T_p + T_{\text{пд}} + T_{\text{обсл}}),$$

где $T_p = d/c$ — время распространения сигнала; $T_{\text{пд}} = n_{kk}/M$ — время передачи информационного блока размерностью $k \times k$ со скоростью v бит в секунду; $T_{\text{обсл}}$ — время ожидания в очередях; Ω — коэффициент пропорциональности.

Таким образом, в данной статье проведена оценка эффективности управления телекоммуникационной сетью по таким показателям как пропускная способность каналов, выделяемое время и емкость буферного запоминающего устройства.

Заключение

Разработана математическая модель, позволяющая исследовать эффективность различных вариантов построения системы динамического управления телекоммуникационной сетью с учетом качества управляющей информации и количества сетевых ресурсов, выделяемых для решения задач управления.

Предложен метод выбора показателя эффективности телекоммуникационной сети, который позволяет учитывать эффективность выполнения основных задач динамического управления. Это касается решения задач управления доступом к сети, маршрутизации, управления потоком в сети. Предложенный метод позволяет проводить анализ системы управления телекоммуникационными сетями с учетом особенностей их архитектур.

Полученные результаты могут быть применены для повышения эффективности систем управления телекоммуникационными сетями, в том числе для оценки эффективности управления доступом к сети и распределением потоков.

Выполнение предложенных рекомендаций и проведение комплекса соответствующих организационно-технических мероприятий позволит повысить производительность функционирования телекоммуникационных сетей.

Литература

1. Дольф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. — Москва: ЛБЗ, 2004. — 832 с.
2. Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. — Москва: Эдиториал УРСС, 2002. — 352 с.
3. Шринивас В. Качество обслуживания в сетях IP. — Москва: Вильямс, 2003. — 368 с.

Поступила после переработки 17.08.2011