

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ШИРОКОПОЛОСНЫХ
ЦИФРОВЫХ СЕТЕЙ С ИНТЕГРАЦИЕЙ СЛУЖБ С
ТЕХНОЛОГИЕЙ АТМ
ПРИ ОГРАНИЧЕННЫХ УЗЛОВЫХ РЕСУРСАХ**

к.т.н. П.А. Будко
(представил д.т.н. В.В. Федоренко)

Предложен метод оптимизации пропускных способностей звеньев широкополосных цифровых сетей с интеграцией служб с учётом достаточного объёма буферной памяти в каждом направлении многоканальной сети заданной топологии, обеспечивающих допустимую вероятность потери ячеек и минимальное время доставки информации.

При создании широкополосных цифровых сетей с интеграцией служб (Ш-ЦСИС) важной проблемой остаётся эффективное использование узловых и канальных ресурсов сети при обеспечении требуемого качества обслуживания пользователей (QoS) [1]. Интеграция различных видов связи здесь базируется на технологии АТМ, обеспечивающей передачу информации независимо от источников трафика. Решение данной проблемы требует разработки методики расчёта пропускной способности Ш-ЦСИС и обеспечения QoS. Учитывая структурную сложность Ш-ЦСИС, в [1] предлагается решить эту задачу применительно к каждому отдельному звену с последующим расчётом пропускной способности и вектора вероятности потерь ячеек для всей сети. Однако предлагаемый метод не позволяет рассматривать сеть как единое целое с учётом взаимодействия всех её элементов в процессе функционирования и, следовательно, не даёт возможности получить оптимальные значения пропускных способностей всех звеньев сети, обеспечивающих минимальную среднюю задержку пакетов, которая также важна для QoS, как и вероятность потерь. Кроме того, звено моделируется в виде системы массового обслуживания (СМО) с потерями, что несовместимо с технологией АТМ и пакетной коммутацией, т.к. для асинхронной передачи пакетов все сообщения записываются в память. Применение в качестве среды передачи оптического волокна, имеющего практически неограниченную для современных классов трафика широкополосность, позволяет сделать время пребывания в очереди сколь угодно малым, но, тем не менее, не даёт основания для использования в качестве модели Ш-ЦСИС СМО с отказами, так как при типовых значениях трафика нереально удовлетворить требования по малой вероятности потерь.

Целью данной статьи является разработка метода расчёта оптимальных пропускных способностей звеньев Ш-ЦСИС, совместимого с технологией АТМ и мультисервисным обслуживанием, обеспечивающим минимальное время доставки информации при заданной вероятности потерь.

Звено сети моделируется в виде СМО типа М/М/н с ограниченной очередью (н-канальная СМО с ожиданием), на которую поступает пуассоновский поток заявок с суммарной интенсивностью λ , интенсивностью обслуживания для каждого канала μ и числом мест в очереди n . Очереди связаны с входом в каждое звено, образованное пучком из n каналов и коллективно используемой памятью в каждом направлении, содержащей m ячеек памяти.

Для каждого звена среднее число занятых каналов определяется как [2]:

$$\bar{z} = \rho \left(1 - \frac{\rho^{n+m}}{n^m n!} P_0 \right), \quad \rho = \lambda / \mu. \quad (1)$$

Среднее число заявок, находящихся в очереди, может быть найдено как [3]:

$$\bar{r} = \frac{(n\chi)^{n+1} P_0}{n n!} \sum_{\alpha=1}^m \alpha \chi^{\alpha-1}, \quad \chi = \rho / n. \quad (2)$$

В формулах (1), (2) значение P_0 определяется следующим выражением:

$$P_0 = \left[\sum_{\alpha=0}^n \frac{\rho^\alpha}{\alpha!} + \frac{\rho^n}{n!} \sum_{\alpha=1}^m \left(\frac{\rho}{n} \right)^\alpha \right]^{-1} = \left[\sum_{\alpha=0}^n \frac{(n\chi)^\alpha}{\alpha!} + \frac{(n\chi)^n}{n!} \sum_{\alpha=1}^m \chi^\alpha \right]^{-1}. \quad (3)$$

Суммируя выражения (1) и (2), получим среднее число заявок в СМО

$$\bar{w} = \bar{z} + \bar{r}. \quad (4)$$

Вероятность отказа (занятости всех каналов и мест в очереди) равна

$$P_{\text{отк}} = \frac{\rho^{n+m}}{n! n^m} P_0. \quad (5)$$

Зафиксируем вероятность отказа на некотором допустимом уровне

$$P_{\text{отк}} \leq P_{\text{отк}}^{\text{доп}}, \quad (6)$$

тогда для предельного значения $P_{\text{отк}}^{\text{доп}}$ из выражения (5) определим P_0 :

$$P_0 = \frac{n! n^m}{(n\chi)^{n+m}} P_{\text{отк}}^{\text{доп}}. \quad (7)$$

Используя соотношение (7) произведем упрощение выражений (1) и (2):

$$\bar{r} = P_{\text{отк}}^{\text{доп}} \sum_{\alpha=1}^m \alpha \chi^{-(m-\alpha)} ; \quad (8)$$

$$\bar{z} = n \chi \left(1 - P_{\text{отк}}^{\text{доп}} \right) \quad (9)$$

и подставив их в (4), получим выражение для среднего числа заявок в СМО

$$\bar{W} = n \chi \left(1 - P_{\text{отк}}^{\text{доп}} \right) + P_{\text{отк}}^{\text{доп}} \sum_{\alpha=1}^m \alpha \chi^{-(m-\alpha)} . \quad (10)$$

Соотношение (10) справедливо для любого звена изотропной сети, в которой ρ не зависит от направления передачи. Однако в анизотропных сетях независимая переменная χ и значения m , n , $P_{\text{отк}}^{\text{доп}}$, зависят от направления передачи для каждого i -го звена из k звеньев на сети связи, так, что

$$\bar{W}_i = n_i \chi_i \left(1 - P_{i\text{отк}}^{\text{доп}} \right) + P_{i\text{отк}}^{\text{доп}} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha \chi_i^{-(m_i-\alpha)}, \quad i = \overline{1, k} . \quad (11)$$

Используя формулу Литтла и клейнрокковскую аппроксимацию [4], имеем

$$\gamma \bar{T}_{\text{зад}} = \sum_{i=1}^k \bar{W}_i , \quad (12)$$

где γ - трафик; $\bar{T}_{\text{зад}}$ - средняя задержка пакета; \bar{W}_i - среднее число пакетов в звене.

Условие (12) с учетом (11) определяет среднее время задержки пакетов

$$\bar{T}_{\text{зад}} = \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^k \left[P_{i\text{отк}}^{\text{доп}} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha \chi_i^{-(m_i-\alpha)} + n_i \chi_i \left(1 - P_{i\text{отк}}^{\text{доп}} \right) \right] . \quad (13)$$

Введение условия (6) позволило не только упростить функционал оптимизации за счет исключения громоздкого выражения (4), но и ввести второй качественный показатель – вероятность отказа, допустимое значение которого может быть задано в виде требования пользователей сети. При этом функция (13) имеет экстремум (минимум), поиск которого является задачей безусловной оптимизации. Это позволяет путем вычисления частных производных

$$\partial \bar{T}_{\text{зад}} / \partial \chi_i = 0 \quad (14)$$

получить абсолютный экстремум, который в силу ее унимодальности является глобальным. При традиционном методе оптимизации необходимо задавать функцию стоимости в качестве ограничения, так как исходная функция не содержит экстремума, но является выпуклой, и поиск экстремума решается как задача условной оптимизации, имеющей мно-

жество относительных экстремумов. Кроме того, данный метод свободен от субъективизма в выборе функции стоимости, т.к. применение любой ее формы не может быть убедительно аргументировано для конкретных условий задачи

В силу аддитивности функции (13) после вычисления частных производных (14) получаем систему алгебраических уравнений

$$\partial \bar{W}_i / \partial \chi_i = 0 \quad , \quad i = \overline{1, k} \quad ,$$

каждое из которых является функцией одной независимой переменной, т.е.

$$\partial \bar{W}_i / \partial \chi_i = d \bar{W}_i / d \chi_i = 0 \quad . \quad (15)$$

Вычисление (15) с учётом (11) приводит к системе k уравнений вида

$$\sum_{\alpha=1}^{m_i-1} (m_i - \alpha) \alpha \chi_i^{-(m_i-\alpha+1)} = n_i \frac{1 - P_{\text{отк}}^{\text{доп}}}{P_{\text{отк}}^{\text{доп}}} \quad , \quad (16)$$

определяющих значение $\chi_i = \chi_i^{\text{опт}}$ функций переменных $m_i, n_i, P_{\text{отк}}^{\text{доп}}$, обеспечивающих минимальное среднее время доставки пакета. Однако по условиям задачи приемлемыми значениями $\chi_i^{\text{опт}}$ являются те, которые располагаются на поверхности, определяемой выражениями, полученными из (5):

$$\frac{(n_i \chi_i)^{n_i+m_i}}{n_i! n_i^{m_i}} \left[\sum_{\alpha=0}^{n_i} \frac{(n_i \chi_i)^\alpha}{\alpha!} + \frac{(n_i \chi_i)^{n_i}}{n_i!} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \chi_i^\alpha \right]^{-1} = P_{\text{отк}}^{\text{доп}} \quad . \quad (17)$$

Преобразуем выражение (16) к следующему виду:

$$\left[1 + \frac{1}{n_i} \sum_{\alpha=1}^{m_i-1} (m_i - \alpha) \alpha \chi_i^{-(m_i-\alpha+1)} \right]^{-1} = P_{\text{отк}}^{\text{доп}} \quad . \quad (18)$$

Учитывая, что правые части уравнений (17) и (18) одинаковы и постоянны, приемлемые оптимальные значения $\text{пр} \chi_i^{\text{опт}}$ найдем из условия

$$\frac{n_i!}{n_i \chi_i} \sum_{\alpha=0}^{n_i} \frac{(n_i \chi_i)^\alpha}{\alpha!} = \sum_{\alpha=1}^{m_i} \left[\frac{\alpha (m_i - \alpha)}{n_i} - \chi_i \right] \chi_i^{\alpha-1} \quad , \quad i = \overline{1, k} \quad , \quad P_{\text{отк}}^{\text{доп}} \ll 1 \quad . \quad (19)$$

Анализ выражения (19) показывает, что приемлемые значение $\text{пр} \chi_i^{\text{опт}}$ не зависят от требуемого значения вероятности отказа и являются функциями дискретных значений числа каналов (n_i) и числа мест в очереди (m_i).

Каждое уравнение системы (19) является функцией одной переменной χ_i и даёт возможность независимо определить приемлемое опти-

мальное значение $\text{пр } \chi_i^{\text{опт}}$ для каждого звена сети. Однако получить точное аналитическое решение (19) не представляется возможным в виду его трансцендентности, но они могут быть решены с помощью специальной программы численным методом. Тогда достаточно решить одно из уравнений (19) относительно

$$\text{пр } \chi_i^{\text{опт}} = \frac{\lambda_i}{\mu_i n_i} = \frac{L \lambda_i}{L \mu_i n_i} = \frac{F_i}{C_i n_i} = f(m_i, n_i), \quad (20)$$

где L - фиксированная длина пакета; $F_i = L \lambda_i$ - суммарный поток на входе i -го звена; $C_i = L \mu_i$ - пропускная способность каждого из n_i каналов. Остальные значения $\text{пр } \chi_i^{\text{опт}}$ могут отличаться лишь числом буферов m_i , либо каналов n_i .

Оптимизация по χ_i позволяет варьировать величинами C_i и n_i в зависимости от класса трафика F_i , предоставляя по требованию пользователя любую совокупность каналов с переменной шириной битовых скоростей передачи, формируя каждый раз виртуальный канал с переменной пропускной способностью, независимо от требуемой P_0 , при этом время доставки информации будет оставаться минимальным. Решение уравнения (19) можно осуществить графическим методом для изотропной сети. При этом с учётом соотношения (20) можно оценить все необходимые параметры сети известной топологической структуры, зная, например, $P_{\text{отк}}^{\text{доп}}$ и n .

ЛИТЕРАТУРА

1. Еришов В.А., Еришова Э.Б., Ковалёв В.В. Метод расчёта пропускной способности звена Ш-ЦСИС с технологией АТМ при мультисервисном обслуживании. // *Электросвязь*. – 2000. – № 12 – С. 20 - 23.
2. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Наука, 1989. – 275 с.
3. Кучук Г.А. Минимизация загрузки каналов связи вычислительной сети // *Системы обработки информации*. – Х. : НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 1998. – Вып. 1(5). – С. 149-154.
4. Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных. – М.: Мир, 1989. – 544 с.

Поступила 03.01.2002

БУДКО Павел Анатольевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник НИО филиала Ростовского военного института РВ (г. Ставрополь). Окончил в 1988 г. Ставропольское высшее военное инженерное училище связи. Область научных интересов – сети передачи данных.