УПРАВЛЕНИЕ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ

ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КАНАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ СМЕШАННОГО ТРАФИКА ПО ИНТЕГРАЛЬНОЙ СЕТИ

Ашигалиев Д.У., Калимолдаев М.Н., Кемельбекова Ж.С.
Институт проблем информатики и управления МОН РК, Казахстан,
E-mail:office@ipic.kz

Рассматривается цифровая сеть с интеграцией служб (ЦСИС) на основе импульсно кодовой модуляции (ИКМ), с временным уплотнением, состоящая из V гибридных узлов коммутации, соединенных M симплексными интегральными групповыми трактами (ИГТ). По каждому ИГТ осуществляется передача интегральных кадров фиксированной длины, вырабатываемыми узлами, в которых в режиме временного уплотнения производится передача информации методом коммутации каналов (КК) и коммутации пакетов (КП). Для передачи информации методом КК на всех трактах сети, через которые проходят соединения, фиксируются временные каналы интегрального тракта, закрепляемые за данным соединением. Запрос на организацию соединения передается в форме служебного пакета или установленного диалога с асинхронным абонентским пунктом. При передаче информационного трафика в режиме КП используются все временных каналов интегрального тракта, не занятые в данный момент передачей информации в режиме КК. Каждый цикл ИКМ разбивается на N временных каналов по c_1 бит каждый. Если k есть число временных циклов в секунду, то пропускная способность одного временного канала составит $c = kc_1$ бит/с.

Для каждого $ИГТ_j$, $j = 1,2,...M$, структуры которых определяются позициями интегрального кадра, заданы значения числа временных каналов $N_j = m_j + n_j$, причем пропускная способность одного временного канала равна c бит/с. Значения m_j, n_j - есть число временных каналов, выделенных в $ИГТ_j$ для передачи информационного трафика соответственно в режимах КК и КП. Отношение $\varepsilon_j = m_j / N_j$ является границей разбиения пропускной способности $ИГТ_j$, а совокупность $\varepsilon = \{\varepsilon_1, \varepsilon_2, ..., \varepsilon_M\}$ рассматривается как обобщенная граница между сетями КК и КП [1]. При фиксированной границе две сети функционируют независимо одна от другой и свободные каналы одной сети не могут быть использованы для передачи информации другой сетью. При подвижной границе пропускная способность ЦСИС используются более эффективно, так как в этом случае имеется возможность перераспределения канальных ресурсов в зависимости от степени загрузки обеих сетей.

Входные потоки для сети КК задаются матрицей $L = \| \lambda_{ij} \|$ и для режима КП – матрицей $Г = \| \gamma_{ij} \|$, размерность которых $V \times V$, $i, j = \overline{1,M}$. Распределение потоков на сети определяется процедурами вероятностного и детерминированного выбора маршрутизации, используемых для передачи информации в режимах КК и КП соответственно. При заданной маршрутизации на каждом $ИГТ_j$ фиксируются суммарные интенсивности входных потоков λ_j и γ_j для режимов КК и КП соответственно. Суммарные входные потоки λ_j и γ_j предполагаем пуассоновскими, длины сообщений которых подчиняются экспоненциальному закону распределения со средними значениями соответственно $1/\mu_j$ и $1/\nu_j$.

Качество обслуживания на сети КК и КП обычно оценивается вероятностью отказа в установлении соединения и задержкой пакетов соответственно. Требования пользователей к качеству обслуживания определяется матрицами $P = \| p_{\mathrm{ij}} \|$ и $T = \| t_{\mathrm{ij}} \|$, где $0 < p_{ij} < 1$ и t_{ij} соответственно текущие значения вероятности отказа и задержки пакетов между узлами i, j. Для оценки эффективного функционирования ЦСИС необходимо определить качество обслуживания на всей сети в целом.

Задача динамического управления распределением каналов между сетями КК и КП в ЦСИС формулируется в следующем виде. Пусть на каждой линии связи j известная некоторая функция задержки пакета $t_j(\gamma_j, n_j)$, зависящая от интенсивности пакетов, поступающих на эту линию, а также от количества каналов обслуживающих эту нагрузку. Величина $\gamma_j \cdot t_j(\gamma_j, n_j)$ представляет собой среднюю общую задержку γ_j пакетов при их прохождении через $ИГТ_j$. Тогда средняя задержка пакета в сети T, умноженная на среднее число поступающих пакетов в единицу времени имеет вид:

$$T\gamma = \sum_{j=1}^{M} \gamma_j t_j(\gamma_j, n_j), \tag{1}$$

где $\gamma = \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{M} \gamma_{ij}$.

Допустим, что известна функция $p_j(\lambda_j, m_j)$, представляющая собой вероятность того, что в режиме КК при поступлении интенсивности потока требований на $ИГТ_j$ все m_j каналов будут заняты обслуживанием предыдущих требований. Данная функция зависит от интенсивности поступающей нагрузки, количества временных каналов обслуживаемых эту нагрузку и может быть различной для каждой линии j. Суммарные потери в ЦСИС имеют вид:

$$\pi = \sum_{j-1}^{M} \lambda_j p_j(\lambda_j, m_j), \tag{2}$$

где потери измеряются количеством требований в режиме КК, получающих отказ на установление соединения в единицу времени. Задача оптимального распределения каналов в ЦСИС состоит в минимизации (1) при ограничениях

$$\sum_{j-1}^{M} \lambda_j p_j(\lambda_j, m_j) \le \pi_0, \tag{3}$$

$$N_j = m_j + n_j, \qquad m_j, n_j \ge 0, \;\; j = 1,2,..., M, \tag{4}$$

$$t_j > 0, \quad 0 < p_j < 1, \quad \mathrm{j} = 1,2,..., \mathrm{M}, \tag{5}$$

где π_0 - допустимые потери сообщений сети КК,

Из-за специфики организации канала в интегральной сети ограничение на целочисленность переменных m_j, n_j не налагается. *П*редположим, что временно свободные каналы режима КК могут использоваться для передачи пакетов, а возможность заполнения речевых пауз пакетами для простоты не учитывается, хотя это не меняет общего алгоритма. Обозначим через $\eta_j(\lambda_j, m_j)$ – среднее количество свободных каналов режима КК в линии связи j, зависящее от нагрузки λ_j и числа обслуживаемых каналов m_j. Тогда целевая функция принимает следующий вид:

$$T\gamma = \sum_{j=1}^{M} \gamma_j \cdot t_j(\gamma_j; N_j - m_j + \eta_j(\lambda_j m_j)), \tag{6}$$

В качестве конкретной целевой функции рассмотрим среднюю задержку в однoприборной системе массового обслуживания [2]:

$$t_j = \frac{1}{\mu_j b_j - \gamma_j}, \qquad (7)$$

где b_j - суммарная пропускная способность, выделяемая в *ИГТj* для режима КП. Поскольку для передачи пакетов используются также временно свободные каналы режима КК, то

$$b_j = c_j(n_j + \eta_j) = c_j(N_j - m_j + \gamma_j), \qquad (8)$$

Функцию качества обслуживания сети КК определяем как функцию явных потерь нагрузки в ИГТ

$$\pi_j = \alpha_j p_j(\alpha_j, m_j) \qquad (9)$$

где $\alpha_j = \lambda_j / \gamma_j\ c_j$ - среднее число сообщений, поступающих в *ИГТj* за среднее время обслуживания одного сообщения, $p_j(\alpha_j, m_j)$ - вероятность занятости m_j каналов в *ИГТj* , которая определяется формулой Эрланга:

$$p_j(\alpha_j, m_j) = \frac{\alpha_j^{\ v}}{m_j! \sum_{k=0}^{v} \frac{\alpha_j^{\ k}}{k_j!}}, \qquad (10)$$

Среднее число занятых каналов равно $\alpha_j(1 - p_j)$. Тогда среднее число временных каналов, незанятых обслуживанием нагрузки режима КК, используемых при передачи данных в режиме КП, составляет:

$$\eta_j = m_j - \alpha_j(1 - p_j)\ . \qquad (11)$$

С учетом формул (7) – (11), задача распределения канальных ресурсов имеет вид:

$$T\gamma = \sum_{j=1}^{M} \frac{\beta_j}{N_j - \alpha_j - \beta_j + \alpha_j \beta_j} \quad \to \min \qquad (12)$$

$$\sum_{j=1}^{M} \alpha_j \beta_j \le \pi_0, \quad \mathrm{m_j} \ge 0,\ \mathrm{j} = 1,2,\ldots,M, \qquad (13)$$

$$t_j > 0, \quad 0 < p_j < 1, \qquad j=1,2,\ldots, M, \qquad (14)$$

где $\beta_j = \gamma_j / c_j\ \mu_j$ - интенсивность нагрузки на один канал $ИГТ_j$ в режиме КП. Данная задача решается относительно переменной m_j, которая содержится в функции p_j. Для удобства введем следующие обозначения:

$$x_j = \alpha_j\ \mathrm{p}_j, \qquad (15)$$

$$B_j = \alpha_j + \beta_j - N_j \qquad (16)$$

Условие (14) запишется в виде:

$$B_j \le x_j \le \alpha_j, \qquad \mathrm{j} = 1,2,\ldots, \mathrm{M}. \qquad (17)$$

Тогда задача (12) - (14) будет иметь следующий вид:

$$T\gamma = \sum_{j=1}^{M} \frac{\beta_j}{x_j - B_j} \quad \to \min \qquad (18)$$

$$\sum_{j=1}^{M} \mathrm{x_j} \le \pi_0 \qquad (19)$$

$$B_j < x_j < \alpha_j \qquad (20)$$

Задача (18) – (20) является задачей выпуклого программирования относительно переменной x_j, так как целевая функция выпукла на выпуклом допустимом множестве решений.

Для получения аналитического решения задачи (18) – (20) используем метод неопределенных множителей Лагранжа. Для данной задачи функция Лагранжа имеет вид:

$$L=\sum_{j=1}^{M}\frac{\beta_j}{x_j-B_j}+\varphi(\sum_{j=1}^{M}x_{\mathrm{j}}-\pi_0)+\sum_{j=1}^{M}\psi_j(\mathrm{x}_{\mathrm{j}}-\alpha_j)+\sum_{j=1}^{M}\theta_j(B_j-x_j),$$

где $\varphi, \psi_{j,}\ \theta_j$ - неопределенные коэффициенты. Условия, которым должен удовлетворять оптимальный выбор x_j, с учетом ограничений (19), (20) имеет вид:

$$-\frac{\beta_j}{(x_j-B_j)^2}+\varphi+\psi_j-\theta_j=0, \tag{21}$$

$$\varphi\ (\sum_{j=1}^{M}x_j-\pi_0)=0, \tag{22}$$

$$\psi_j(x_j-\alpha_j)=0, \qquad \psi_{\mathrm{j}}\geq 0 \tag{23}$$

$$\theta_j(B_j-x_j)=0, \qquad \theta_{\mathrm{j}}\geq 0 \tag{24}$$

Так как неравенство (20) является строгим, то в равенствах (23) и (24) неопределенные коэффициенты обращаются в ноль, то есть: $\psi_j=0,\ \theta_j=0,\ \ \mathrm{j}=1,2,...,\mathrm{M}$. Тогда из соотношения (21) следует, что $\varphi\neq 0$. Таким образом, как следует из (22) стационарная точка задачи (18) –(20) лежит на границе ограничения (!9), то есть, на прямой

$$\sum_{j=1}^{M}x_j-\pi_0=0 \tag{25}$$

Нетрудно получить решение задачи (18) –(19), которое запишется в следующем виде:

$$x_j=B_j+\sqrt{\frac{\beta_j}{\varphi}}, \tag{26}$$

$$\frac{1}{\sqrt{\varphi}}=\frac{\pi_0-\sum_{j=1}^{M}B_j}{\sum_{j=1}^{M}\beta_j}, \tag{27}$$

Так как $\varphi>0$, тогда из последней формулы получим, что $\sum_{j-1}^{M}B_j<\pi_0$. Последнее выражение также вытекает и из условия (20).

Из формул (26) – (27) находим вероятность отказа и, используя табулированные значения формулы Эрланга, находим значения m_j для заданной нагрузки α_j.

Литература

1. Фратта Л., Лазарев В.Г., Паршенков Н.Я. Адаптивное управление канальными ресурсами в интегральной цифровой сети связи,- Сети пакетной коммутации ЭВМ, Труды IV советско-итальянского семинара, М., Наука, 1984, с. 59-63.
2. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями, М., Мир, 1979, 600с.