

Оптимизационные методы распределения каналов передачи данных телекоммуникационной системы распространения геоинформации по типам трафика

Optimization methods of distribution of data transmission channels of the telecommunication system of geographic information distribution by traffic types

Ясинский / Jasinskii S.

Сергей Александрович

(yasinsky777@mail.ru)

доктор технических наук, доцент.

ФГКВОУ ВО «Военная академия связи имени

Маршала Советского Союза С. М. Буденного» МО РФ,

(ВАС им. С. М. Буденного),

профессор кафедры сетей связи и систем коммутаций.

г. Санкт-Петербург

Лебедев / Lebedev P.

Павел Владимирович

(spirit-angel@yandex.ru)

кандидат технических наук.

ВАС им. С. М. Буденного,

преподаватель кафедры сетей связи и систем коммутаций.

г. Санкт-Петербург

Григорчук / Grigorchuk A.

Александр Николаевич

(grigorchuk.spb@mail.ru)

ВАС им. С. М. Буденного,

преподаватель кафедры сетей связи и систем коммутаций.

г. Санкт-Петербург

Живодерников / Zhivodernikov A.

Александр Юрьевич

(sabir.81@mail.ru)

ВАС им. С. М. Буденного,

адъюнкт кафедры сетей связи и систем коммутаций.

г. Санкт-Петербург

Ермаков / Ermakov A.

Алексей Валентович

(ermakov-t@yandex.ru)

кандидат экономических наук, доцент.

ФГУП НИИР-ЛОНИИР, начальник отдела.

г. Санкт-Петербург

Романенко / Romanenko P.

Павел Геннадьевич

(pa-roman@yandex.ru)

кандидат технических наук, доцент

ВАС им. С. М. Буденного,

начальник кафедры сетей связи и систем коммутаций.

г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: оптимизационный метод – optimization method; канал передачи данных – data transmission channel; типы трафика – traffic types; алгоритм Беллмана – Bellman algorithm.

Приведены оптимизационные методы распределения каналов передачи данных телекоммуникационной системы распространения пространственно-временной геоинформации по типам трафика, учитывающие информационно-технические дестабилизирующие воздействия, показатели качества обслуживания и приоритеты.

Optimization methods of distribution of data transmission channels of the telecommunication system of spatial-temporal geoinformation distribution by traffic types, taking into account information and technical destabilizing effects, service quality indicators and priorities, are given.

Введение

Одним из основных направлений развития существующих инфокоммуникационных систем, включая телекоммуникационные системы (ТКС) распространения геоинформации (РГИ), является создание систем управления этими системами, отличительную особенность которых представляет возможность управления внутренними ресурсами их сетей электросвязи. К этим ресурсам относится каналный ресурс, как совокупность каналов и трактов передачи телекоммуникационной сети, где на основе путей передачи информационных потоков (ИП) в рамках каждого из телекоммуникационных направлений (ТКН) формируется подмножество маршрутов с целью образования каналов передачи данных (КПД) для информационных направлений (ИН) ТКС РГИ.

Решение задачи по оптимизации распределения КПД (РКПД) является одним из наиболее значимых научно-практических направлений исследований по разработке эффективных методов повышения вероятности своевременной передачи ИП по ИН в рамках каждого из ТКН [1, 2].

Отличительной особенностью построения систем управления ТКС РГИ является наличие ограниченности канального ресурса, что накладывает на процесс управления дополнительную значимость и создает необходимость в разработке специальных методов, моделей и алгоритмов оптимизации РКПД в рамках каждого из ИН с учетом не только типов трафика, но и показателей качества обслуживания, информационно-технического дестабилизирующего воздействия (ИТДВ) на ТКС, приоритетов.

В настоящее время разработаны эффективные методы и математические модели для решения задач оптимального распределения КПД применительно к телекоммуникационным сетям (транспортным сетям и сетям доступа). К этим методам относятся [3–5]:

- метод чисел Фибоначчи;
- метод «золотой» пропорции.

Анализ этих двух методов показал, что они эффективны исключительно для распределения канального ресурса в рамках физического (первого) уровня семиуровневой эталонной модели взаимодействия открытых систем (ЭМ ВОС). Что касается уровня передачи данных (второго) ЭМ ВОС, то его отличием от физического (первого) уровня ЭМ ВОС является необходимость учета показателей качества обслуживания и приоритетов. Следовательно, остановимся на изложении разработанных методов распределения КПД для ТКС РГИ по типам трафика с учетом показателей качества обслуживания и приоритетов в рамках уровня передачи данных (второго) ЭМ ВОС.

Оптимизационный метод распределения каналов передачи данных телекоммуникационной сети распространения геоинформации по типам трафика с учетом показателей качества обслуживания

Учитывая характеристики ИН в виде подмножества КПД с отказами и необходимость восстановления после ИТДВ на ТКС РГИ предлагается использовать известные математические выражения для оценки вероятности своевременного прохождения пакетов между вершинами ТКС. Для этого сформулируем задачу оптимального распределения канального ресурса по типам трафика с учетом приоритетов.

Пусть на вершину ТКС РГИ поступает суммарный поток пакетов фиксированного объема с суммарной интенсивностью Λ :

$$\Lambda = \sum_{i=1}^I \lambda_i,$$

где λ_i – интенсивность подпотока, предназначенного для передачи в i -ом типе трафика; I – число организуемых типов трафика с учетом приоритетов.

Условимся, что подпотоки являются произвольными, а обслуживание поступающих в систему массового обслуживания (СМО) пакетов проводится в соответствии с технологией WFQ (Weighted Fair Queuing). С учётом введенных условий для образования ИН обслуживание можно описать моделью СМО типа $G / G / 1 / \infty$.

Для пакетного i -го типа трафика выразим общую задержку пакетов по среднему времени при доставке ($\bar{T}_{\text{дост } i}$) через сумму транспортной задержки ($\bar{T}_{\text{зад } i}$), задержки распространения ($\bar{T}_{\text{распр } i}$) и задержки пребывания пакета в СМО ($\bar{T}_{\text{зад } i}$) [6]:

$$\bar{T}_{\text{дост } i} = \bar{T}_{\text{зад } i} + \bar{T}_{\text{пр } i} + \bar{T}_{\text{распр } i}, \quad i = \overline{1, I}.$$

В свою очередь среднее время задержки пребывания пакета в СМО рассчитывается как сумма среднего времени ожидания в очереди ($\bar{T}_{\text{оч}}$) и среднего времени обслуживания пакета ($\bar{T}_{\text{обсл}}$):

$$\bar{T}_{\text{зад}} = \bar{T}_{\text{оч}} + \bar{T}_{\text{обсл}}.$$

Под транспортной задержкой (serialization delay) подразумевается время, требуемое для передачи пакета при заданной пропускной способности. Задержка зависит от размера пакета и ширины полосы пропускания КПД. Транспортную задержку можно определить как функцию от пропускной способности КПД и длины пакета:

$$\bar{T}_{\text{пр}} = \frac{L_i}{C}, \quad (1)$$

где L – размер пакета, бит; C – пропускная способность КПД, кбит/с.

Пропускную способность канала целесообразно представить, как сумму канальных единиц, выделенных на каждый тип трафика:

$$C = \sum_{i=1}^I N_i, \quad (2)$$

С учетом выражений (1) и (2) транспортная задержка пакета для каждого типа трафика определяется:

$$\bar{T}_{\text{пр } i} = \frac{L_i}{\sum_{i=1}^I N_i}, \quad (3)$$

Задержка распространения (propagation delay) зависит от используемой среды передачи и расстояния и может составлять десятки миллисекунд. Внедрение технологии DWDM позволяет принимать задержку распространения менее 1 мс.

Для расчета задержки пребывания пакета в СМО $G/G/m$, где m – число обслуживающих приборов, воспользуемся результатами теории диффузионной аппроксимации, полученными в [7, 8].

Оценка среднего числа пакетов в системе $G/G/m$ производится на основе результатов расчетов с помощью следующего выражения:

$$\bar{q} = P(\rho, m) \frac{\rho}{1-\rho} \frac{C_{t_{ож}}^2 + C_{t_{обсл}}^2}{2} + m\rho, \quad (4)$$

где $P(\rho, m)$ – вероятность того, что пакет, придя в систему, застанет все приборы занятыми, при определенном коэффициенте загрузки всей СМО (ρ);

$$C_i^2 = \left(\frac{\sigma}{M[t]} \right)^2 - \text{квадратичный коэффициент вариации}$$

времени ожидания ($t_{ож}$) или времени обслуживания ($t_{обсл}$).

Параметр $P(\rho, m)$ может быть рассчитан по приближенной формуле Эрланга [8]:

$$P(\rho, m) \approx m(1-\rho) \frac{\rho^m}{1-\rho^m}. \quad (5)$$

С учетом выражений (4) и (5) задержка пребывания пакета в СМО для каждого типа трафика определяется:

$$\bar{T}_{зад} = P(\rho, m) \frac{\bar{T}_{обсл}}{m(1-\rho)} \cdot \frac{C_{t_{ож}}^2 + C_{t_{обсл}}^2}{2} + \bar{T}_{обсл}. \quad (6)$$

Учитывая, что максимальная производительность современного обслуживающего прибора (коммутатора, маршрутизатора, межсетевого экрана и др.) составляет 20×10^{-6} пакетов/с, примем $T_{обсл} = 1 \times 10^{-7}$ для канала с пропускной способностью 2 Мбит/с.

Таким образом, задержка пакетов в СМО представляет собой функцию от коэффициента вариации, т.е. зависит от закона распределения длин пакетов и интервалов между их приходами.

Модель информационно-технического дестабилизирующего воздействия на телекоммуникационную сеть распространения геоинформации

В реальных условия функционирования ТКС РГИ, включающая S ИН ($s = 1, S$), каждое из которых характеризуется весом $A_s(P_{ИТДВ_s})$, подвержена информационному воздействию.

С точки зрения противника решение задачи по ИТДВ на информационных направлениях ТКС РГИ сводится к распределению средств воздействия по взаимовязанным элементам этой системы. То есть чтобы количество трафика подверженного ИТДВ за заданное время стремилось к максимуму.

Исходя из физической постановки этой задачи, изначально определяется матрица назначения средств воздействия $X^0 = \|x_{vs}\|$, обеспечивающая максимальное значение целевой функции [9, 10] при условии $V < S$, где V – количество средств воздействия на ТКС РГИ ($v = 1, V$). Тогда целевая функция определяется как:

$$P_{ИТДВ}(X^0) = \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S P_{ИТДВ_s}(x_{vs}) = \max_{X^0} \sum_{s=1}^S A_s(P_{ИТДВ_s}) \left\{ 1 - \prod_{i=1}^I \left[1 - \alpha_{si}(P_{ИТДВ_i}) \left(1 - \prod_{v=1}^V E_{vsi}^{x_{vsi}} \right) \right] \right\}, \quad (7)$$

где

$$x_{vsi} = \begin{cases} 1 - \text{если ИТДВ назначено;} \\ 0 - \text{в противном случае} \end{cases};$$

$E_{vsi} = 1 - P_{ИТДВ_v}$ – вероятность защиты i -го типа трафика s -го ИНС от ИТДВ v -м средством;

$\alpha_{si} = \frac{\lambda_{si}}{\lambda_s}$ – вес i -го типа трафика в s -ом ИНС ИКС СН, при $0 < \alpha_{si}(P_{ИТДВ_i}) \leq 1$.

$A_s = \frac{\rho_s}{\rho}$ – вес s -го ИНС ИКС СН, при $0 < A_s(P_{ИТДВ_s}) \leq 1$;

Оптимизационный метод распределения каналов передачи данных телекоммуникационной сети распространения геоинформации по типам трафика с учетом приоритетов

На основе принципа оптимальности Беллмана [2] синтезируем вычислительный алгоритм централизованного РКПД по типам трафика, который оптимален по временным затратам пребывания потоков пакетов (ПП) в ИН. Синтезируемый алгоритм позволяет производить оптимальное распределение пропускных способностей из дискретного набора их значений, что отражает реальную ситуацию использования типов трафика на каждого ИН.

Задача оптимального распределения канальных единиц по типам трафика с учетом их приоритетов на информационных направлениях ТКС РГИ может быть сформулирована следующим образом: определить вектор $N^* = \|N_1^*, \dots, N_i^*, \dots, N_I^*\|$, минимизирующий среднее время доставки пакетов в ИН для каждого типа трафика с учетом приоритета, где N_i^* – количество канальных единиц для i -го типа трафика.

Тогда целевая функция с учетом (7) будет выглядеть следующим образом:

$$\bar{T}_{дост}(N_i^*) = \sum_{i=1}^I P_{ИТДВ_i}(X^0) \frac{\lambda_i}{\Lambda} \bar{T}_{дост_i}(N_i) \rightarrow \min, \quad (8)$$

при ограничениях:

$$\sum_{i=1}^I N_i = C; \quad (9)$$

$$L \leq C, \quad (9) \text{ пропускной способности, выделенных для каждого типа трафика с учетом их приоритетов.}$$

где C – общая пропускная способность ИНС ИКС СН.

Причем $\bar{T}_{\text{дот}_i}(N_i)$ определяется выражением (9), а $P_{\text{ИТДВ}_i}(X^0)$ – (10).

Решение оптимизационной задачи (8) с ограничениями (9) и (10) целесообразно производить методом динамического программирования, суть которого заключается в поэтапном отыскании минимума целевой функции (8).

Общее число этапов решения оптимизационной задачи (8) предполагается приравнять к количеству типов трафика с учетом их приоритетов, а i -ым этапом считать выделение канальных единиц пропускной способности в i -й тип трафика. Изначально в целях отыскания минимума целевой функции производится условная поэтапная оптимизация распределения канального ресурса ТКС РГИ, начиная с I -го типа трафика и заканчивая первым. Затем на основе обратного поэтапного процесса оптимизации определяется искомый вектор распределения канальных единиц пропускной способности по типам трафика, соответствующий найденному минимальному значению (8).

На каждом i -ом этапе будет рассматриваться K возможных вариантов распределения канального ресурса, выделяемого для i -го, $(i+1)$ -го, ..., I -го типа трафика: $N_i^{(1)} = C$, $N_i^{(2)} = C-1$, ..., $N_i^{(k)} = C-(k-1)$, ..., $N_i^{(K)} = 0$.

Для каждого k -го варианта ($k = \overline{1, K}$) канального ресурса решаются функциональные уравнения:

$$F_i(N_i^{(k)}) = \min_{n_i=0, N_i^{(k)}} \left\{ P_{\text{ИТДВ}_i}(X^0) \frac{\lambda_i}{\Lambda} \bar{T}_{\text{дот}_i}(N_i) + F_{i+1}(N_i^{(k)} - n_i^{(k)}) \right\}, \quad (11)$$

где $F_{iM}(N_i^{(k)})$ – минимальное среднее время пребывания пакета в i -ом типе трафика при условии, что канальный ресурс для этого типа трафика $n_i^{(k)}$ не превосходит $N_i^{(k)}$, а для $(i+1)$ -го, ..., I -го типа трафика общее число выделенного канального ресурса равно $N_i^{(k)} - n_i^{(k)}$.

По мере решения уравнений (11) определяется минимальное значение целевой функции (8), а также оптимальное значение канального ресурса пропускной способности, выделяемого первому типу трафика (N_1^*).

Нахождение оптимального числа выделяемого канального ресурса для других типов трафика ($i = \overline{2, I}$) осуществляется с помощью обратной поэтапной процедуры, причем на каждом i -ом этапе для определённых на предшествующих этапах величин $n_i = (1, I)$ вычисляются оставшиеся канальные единицы пропускной способности $N_i^{(k)} = C - \sum_{i=1}^{I-k} n_i$ и обеспечивающие минимум функционала (11) значение n_i^* при вычисленном $N_i^{(k)}$.

В итоге получим значения искомого вектора $N^* = \|N_1^*, \dots, N_i^*, \dots, N_I^*\|$ – количества канальных единиц

Заключение

В настоящей статье приведены оптимизационные методы распределения каналов передачи данных телекоммуникационной системы распространения пространственно-временной геоинформации по типам трафика, учитывающие информационно-технические дестабилизирующие воздействия, показатели качества обслуживания и приоритеты. Эти два метода и модель ИТДВ на ТКС РГИ дополняют и развивают научно-практическое направление исследования оптимизационных методов распределения канального ресурса на физическом уровне ЭМ ВОС, то есть распределения каналов передачи для ТКС методом чисел Фибоначчи и методом «золотой» пропорции [3–5].

Литература

- Одоевский, С. М. Модель оптимального распределения канального ресурса информационных направлений в инфокоммуникационной сети / Одоевский С.М., Лебедев П.В., Ключников В.О. // Сборник трудов XXVII Международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию полетов в космос Ю.А. Гагарина и Г.С. Титова. – Воронеж, 2021. – С. 389–393.
- Прикладная математика : Курс лекций / А.А. Колесников, А.А. Ланнэ, Г.И. Боричук [и др.]. – Военная академия связи, 1987. – 209 с.
- Ясинский, С. А. Распределение канального ресурса методами «золотой» пропорции и чисел Фибоначчи / С.А. Ясинский // Сборник рефератов депонированных рукописей. Серия В. Выпуск №4. – Москва : ЦВНИ МО РФ, 1998. – 13 с.
- Ясинский, С. А. Метод базового распределения канального ресурса телекоммуникационных направлений с повышенной структурной устойчивостью / С.А. Ясинский // Информация и Космос. – 2009. – № 2. – С. 58–66.
- Ясинский, С. А. Формирование телекоммуникационных направлений с высокой структурно-поточковой устойчивостью / С.А. Ясинский, А.Н. Зюзин // Электросвязь. – 2022. – № 1. – С. 43–46.
- Модель совместного управления трафиком и пропускной способностью программно-конфигурируемой сети без промежуточной коммутации транзитных каналов / С.М. Одоевский, А.Н. Григорчук, Д.С. Яговитов, С.А. Ясинский // Информация и Космос. – 2021. – № 3. – С. 24–30.
- Назаров, А. Н. Модели и методы расчета показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения / А.Н. Назаров, К.И. Сычев. – Красноярск : Поликом, 2010. – 389 с.
- Зелигер, Н. Б. Проектирование сетей и систем передачи дискретных сообщений / Н.Б. Зелигер, О.С. Чугреев, Г.Г. Яновский. – Москва : Радио и связь, 1984. – 176 с.

9. Боговик, А. В. Эффективность систем военной связи и методы ее оценки / А.В. Боговик, В.В. Игнатов. – Санкт-Петербург : Военная академия связи, 2006. – 183 с.

10. Барабаш, И. С. Модель расчёта связности управляющего направления связи с учётом воздействия дестабилизирующих факторов / И.С. Барабаш, Д.А. Голяков, П.В. Лебедев // Сборник научных статей XVI Международной научно-технической конференции «Новые информационные технологии и системы». – Пенза, 2019. – С. 227–230.