

Алгоритм распределения ресурсов спутникового ретранслятора для многоприоритетного трафика

А.В. Максименко

Аннотация. Предлагается рекуррентный алгоритм, вычисляющий оптимальные значения порогов резервирования для спутникового ретранслятора при работе с изменяющимся многоприоритетным трафиком с заданными ограничениями на качество обслуживания заявок каждого приоритета. Формулируется критерий суммарной обслуженной нагрузки. Приводится сравнение данной дисциплины обслуживания многоприоритетного трафика с другими существующими подходами.

Ключевые слова: порог резервирования, зона доступности, спутниковый ретранслятор, сеть спутниковой связи, многоприоритетный трафик, качество обслуживания, ALOHA, абсолютный приоритет.

Введение

На основе марковских моделей разноприоритетных потоков требований и сформулированного критерия максимума суммарной обслуженной нагрузки пользователей при ограничениях на ресурс ретранслятора и допустимую вероятность обслуживания высокоприоритетных заявок синтезирован рекуррентный алгоритм оптимизации зон доступности заявок (порогов резервирования) к ресурсу ретранслятора в сети спутниковой связи.

В сетях спутниковой связи с предоставлением ресурса ретранслятора по требованиям пользователей [1, 2] только управление качеством обслуживания многоприоритетных заявок на основе оптимизации зон доступности заявок различного приоритета к общему радиоресурсу ретранслятора (управления порогом резервирования) позволяет поддерживать требуемое качество обслуживания высокоприоритетных пользователей без прерывания обслуживания низкоприоритетных заявок и осуществлять статистическое уплотнение заявок различного приоритета на ресурсе ретранслятора.

Реализация данного алгоритма управления порогом резервирования требует последовательного решения задач стохастической оценки интенсивностей разноприоритетных потоков требований и синтеза алгоритма формирования порогов резервирования (зон доступности) оптимального в смысле выбранного критерия значений.

Можно показать [3], что для случая аппроксимации состояния потока требований одного приоритета $x(k)$ управляемой цепью Маркова многоприоритетные потоки заявок могут быть представлены системой марковских уравнений состояния и наблюдения.

При этом текущая оценка состояния потоков заявок, оптимальная в смысле минимального среднеквадратичного отклонения, может быть найдена на основе рекуррентного алгоритма фильтрации, предложенного в [3].

В качестве целевой функции в задаче определим коэффициент обслуженности суммарной нагрузки в сети связи, а соответствующий ей критерий оптимальности решений относительно планируемого числа зарезервированных

каналов $\Delta_r(k)$ и значений порогов резервирования $d_r(k)$ будет иметь следующий вид:

$$\max_{d_r, \Delta_r} K_o(k) = \frac{\sum_{r=1}^R z_r(k) P_{\text{обсл}r}(k, \lambda_r, V_\Sigma, d_r, \Delta_r)}{z_\Sigma(k)}$$

при ограничениях

$$P_{\text{обсл}r=1}(k, \lambda_r, V_\Sigma, d_r, \Delta_r) \geq P_{\text{обсл}r=1, \text{доп.}} \text{ и } \sum_{r=1}^R \Delta_r(k) \leq V_\Sigma$$

и начальном условии

$$K_o(0) = 0,$$

где $K_o(k, z_\Sigma, z_r, P_{\text{обсл}r}(d_r, \Delta_r))$ — коэффициент обслуженности нагрузки;

k — номер шага оптимизации;

$$z_r(k) = \frac{\lambda_r(k) t_3}{60}, z_\Sigma(k) \text{ — входящая нагрузка, создаваемая заявками только } r\text{-го приоритета, и суммарная входящая нагрузка соответственно;}$$

λ_r — интенсивность поступающей нагрузки r -го приоритета (выз./час);

t_3 — среднее время занятия ресурса одним вызовом (мин);

$P_{\text{обсл}r}(k, \lambda_r, V_\Sigma, d_r, \Delta_r)$ — вероятность обслуживания заявок r -го приоритета;

$P_{\text{обсл}r, \text{доп.}}$ — требования, предъявляемые к вероятности обслуживания заявок r -го приоритета;

$\Delta_r(k), d_r(k)$ — текущее значение зарезервированного числа единиц ресурса и порога резервирования (зоны доступности) для пользователей r -го приоритета;

V_Σ — суммарное число единиц ресурса (каналов).

Из приведенного выражения для коэффициента обслуженности

$K_o(k, z_\Sigma, z_r, P_{\text{обсл}r}(d_r, \Delta_r))$ следует, что он является аддитивной функцией числа потоков заявок различного приоритета и линейной функцией вероятностей обслуживания $P_{\text{обсл}r}(k, \lambda_r, V_\Sigma, d_r, \Delta_r)$ при каждом фиксированном значении $\Delta_r(k), d_r(k)$.

Анализ зависимостей вероятностей обслуживания заявок от величины нагрузки пользователей при различных моделях потоков требований и классах СМО, выполненный в среде Mathcad для широкого спектра исходных данных, показал, что функции $P_{\text{обсл}r}(k, \lambda_r, V_\Sigma, d_r, \Delta_r)$ во всех случаях имеют монотонный характер, а это при аддитивной целевой функции $K_o(k, z_\Sigma, z_r, P_{\text{обсл}r}(d_r, \Delta_r))$ приводит к возможности отыскания глобально оптимального решения относительно плана распределения ресурсов ретранслятора $\Delta_r^*(k), d_r^*(k)$ в сетях спутниковой связи при обслуживании многоприоритетных потоков заявок с изменяющейся нагрузкой $z_r(k)$.

1. Рекуррентный алгоритм оптимизации порогов резервирования

Запишем исходную задачу в следующем виде:

$$K_o(\hat{z}_\Sigma, \hat{z}_r, P_{\text{обсл}r}(\hat{z}_r, \vec{\Delta})) \rightarrow \max,$$

$$\sum_{r=1}^R \Delta_r = V_\Sigma, \Delta_r \geq 0, r = 1, \dots, R, \quad (1)$$

$$P_{\text{обсл}r}(\hat{z}_r, \vec{\Delta}) \geq P_{\text{доп}r}$$

Зафиксируем для данной задачи $0 \leq \Delta_1 \leq V_\Sigma$ и определим вероятность обслуживания заявок 1-го приоритета на области Δ_1 , выделенной для обслуживания заявок только 1-го приоритета:

$$P_{\text{обсл}1}^I = P_{\text{обсл}1}(\hat{z}_1, \Delta_1).$$

При обслуживании заявок 1-го приоритета на данной выделенной области возникает остаточный поток заявок, сформированный в результате отказов в обслуживании. Вызванная этим потоком нагрузка \hat{z}_1^{II} определяется выражением

$$\hat{z}_1^{II} = \hat{z}_1 \cdot P_{\text{отк}1}(\hat{z}_1, \Delta_1) = \hat{z}_1 (1 - P_{\text{обсл}1}^I).$$

Чтобы перейти к следующему шагу рекурсии приравняем теперь недообслуженные заявки первого приоритета к заявкам второго приоритета, сокращая таким образом общее количество приоритетов на единицу. В итоге задача (1) преобразуется к виду:

$$K_o \left(\hat{z}'_{\Sigma}, \hat{z}'_r, P'_{\text{обсл } r} \left(\hat{z}'_r, \bar{\Delta}' \right) \right) \rightarrow \max,$$

$$\sum_{r=1}^{R'} \Delta'_r = V'_{\Sigma}, \Delta'_r \geq 0, r = 1, \dots, R',$$

$$P'_{\text{обсл } r} \left(\hat{z}'_r, \bar{\Delta}' \right) \geq P'_{\text{доп } r}$$

Здесь $R' = R - 1$, $\Delta'_r = \Delta_{r+1}, r = 1, \dots, R - 1$, $\hat{z}'_r = \hat{z}'_{r+1}, r = 2, \dots, R - 1$, $\hat{z}'_{\Sigma} = \hat{z}_{\Sigma} - \hat{z}'_1$, $V'_{\Sigma} = V_{\Sigma} - \Delta_1$, $P'_{\text{доп } r} = P_{\text{доп } r+1}, r = 2, \dots, R - 1$.

Таким образом, мы провели простую переenumerацию приоритетов (второй приоритет теперь стал первым, т.е. максимальным, третий стал вторым и т.д., наименьший приоритет имеет номер $R - 1$). При этом новая нагрузка от заявок максимального приоритета имеет вид $\hat{z}'_1 = \hat{z}_2 + \hat{z}''_1$.

Остаётся лишь определить $P'_{\text{доп } 1}$. Как уже было сказано, исходный поток заявок первого приоритета \hat{z}'_1 после обслуживания на области Δ_1 разбивается на два: в первый (\hat{z}'_1) входят заявки, успешно обслуженные в этой области, а второй (\hat{z}''_1) образуется в результате отказов в обслуживании и отправляется на дообслуживание в область Δ_2 . Начальное условие для вероятности обслуживания заявок первого приоритета тогда приобретает вид:

$$P'_{\text{обсл } 1} \cdot \frac{\hat{z}'_1}{\hat{z}'_1} + P''_{\text{обсл } 1} \cdot \frac{\hat{z}''_1}{\hat{z}'_1} \geq P_{\text{доп } 1}, \quad (2)$$

где $P''_{\text{обсл } 1}$ — итоговая вероятность обслуживания потока \hat{z}''_1 на оставшейся части ресурса. Из (2) выводим условие для $P''_{\text{обсл } 1}$:

$$P''_{\text{обсл } 1} \geq \frac{P_{\text{доп } 1} \cdot \hat{z}'_1 - P'_{\text{обсл } 1} \cdot \hat{z}'_1}{\hat{z}''_1} = P''_{\text{доп } 1}. \quad (3)$$

Наконец, получаем ограничение на вероятность обслуживания потока заявок высшего приоритета в новой задаче:

$$P'_{\text{доп } 1} = P_{\text{доп } 2} \cdot \frac{\hat{z}_2}{\hat{z}'_1} + \max(0, P''_{\text{доп } 1}) \cdot \frac{\hat{z}''_1}{\hat{z}'_1}.$$

Следует обратить внимание на появление во втором слагаемом функции «max». Действительно, выражение в (3) может принимать отрицательные значения. Это происходит в тех случаях, когда Δ_1 выбрана таким образом, что-

бы обслуживать заявки первого приоритета с требуемой вероятностью уже на этой области. Однако подобное распределение ресурса, очевидно, является эффективным лишь в вырожденных случаях, когда для обслуживания суммарного потока заявок ресурса хватает с избытком.

Вспомним, что $K_o = \frac{1}{\hat{z}'_{\Sigma}} \sum_{r=1}^R \hat{z}'_r P_{\text{обсл } r}$. Поэтому

оптимальное значение критерия при решении исходной задачи принимает вид:

$$K_o^* = \max_{\Delta} K_o \left(\hat{z}'_{\Sigma}, \hat{z}'_r, P_{\text{обсл } r} \left(\hat{z}'_r, \bar{\Delta} \right) \right) =$$

$$\frac{1}{\hat{z}'_{\Sigma}} \max_{\Delta_1} \left[P'_{\text{обсл } 1} \cdot \hat{z}'_1 + \max_{\Delta_2, \dots, \Delta_R} \left(P''_{\text{обсл } 1} \cdot \hat{z}''_1 + \sum_{r=2}^R \hat{z}'_r P_{\text{обсл } r} \right) \right]. \quad (4)$$

Данное выражение очень хорошо иллюстрирует работу алгоритма:

- фиксируется значение Δ_1 ;
- для заданного Δ_1 отыскивается максимум

функции $P''_{\text{обсл } 1} \cdot \hat{z}''_1 + \sum_{r=2}^R \hat{z}'_r P_{\text{обсл } r}$;

- выбирается максимум по всем Δ_1 выражения (4).

Настало время понять, как же именно должны выбираться Δ_1 , чтобы повысить эффективность работы алгоритма. Одно ограничение уже получено выше на основании здравого смысла: Δ_1 не должно быть настолько большим, чтобы выражение в (3) принимало отрицательные значения, однако одно это условие довольно слабое, т.к. всё равно ведёт к линейному росту вариантов с увеличением V_{Σ} .

Как показывают многочисленные расчёты и примеры решения задач оптимизации порогов резервирования с разными параметрами и исходными данными, функция

$P'_{\text{обсл } 1} \cdot \hat{z}'_1 + \max_{\Delta_2, \dots, \Delta_R} \left(P''_{\text{обсл } 1} \cdot \hat{z}''_1 + \sum_{r=2}^R \hat{z}'_r P_{\text{обсл } r} \right)$ является

невыпуклой по переменной Δ_1 , однако аналитического доказательства её невыпуклости пока получить не удалось из-за сложной рекуррентной структуры функции и зависимости от Δ_1 остаточной нагрузки \hat{z}''_1 , которая, в свою очередь, влияет на вероятность обслуживания

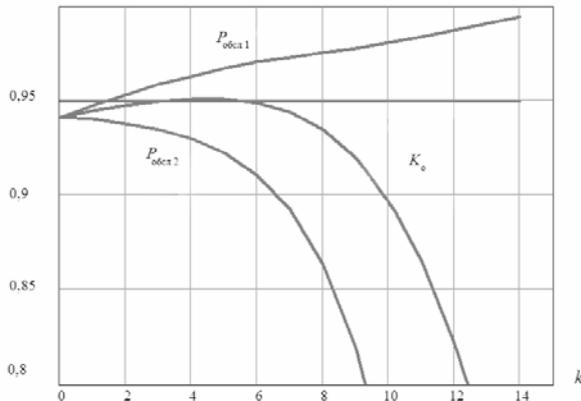


Рис. 1. Зависимости показателей качества обслуживания многоприоритетного потока требований от номера шага оптимизации при начальном значении $\Delta_1(0)=0$

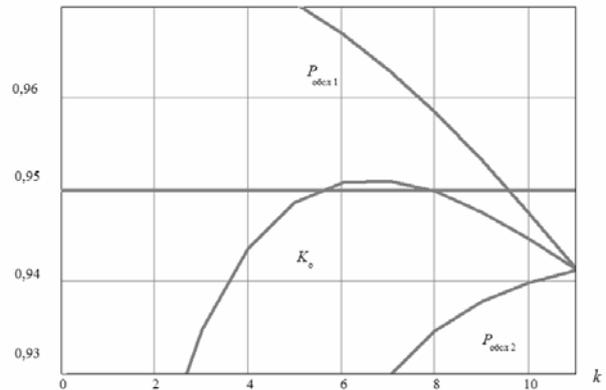


Рис. 2. Зависимость показателей качества обслуживания многоприоритетного потока требований от номера шага оптимизации при начальном значении $\Delta_1(0)=11$

заявок второго приоритета. И хотя, безусловно, строгое доказательство необходимо для последующего улучшения работы алгоритма, оно, видимо, представляет собой отдельную сложную математическую проблему и выходит за рамки данной работы, поэтому далее ограничимся лишь предположением о невыпуклости данной функции.

Очевидно, что при невыпуклости по переменной Δ_1 функция $P_{\text{обсл } 1}^I \cdot \hat{z}_1^I + \max_{\Delta_2, \dots, \Delta_R} \left(P_{\text{обсл } 1}^{II} \cdot \hat{z}_1^{II} + \sum_{r=2}^R \hat{z}_r P_{\text{обсл } r} \right)$ имеет единственный (с точностью до эквивалентности) максимум. При этом перебор Δ_1 можно производить, например, методом дихотомии.

Таким образом, на каждом шаге рекурсии производится перебор порядка $\ln V_\Sigma$ вариантов, а общая сложность алгоритма составляет $O(R \cdot \ln V_\Sigma)$. Поскольку, как правило, на практике R — количество приоритетов — не слишком велико, а V_Σ — количество единиц ресурса — наоборот может достигать больших значений, данная асимптотическая оценка является очень хорошей при решении реальных задач оптимизации порогов резервирования.

На Рис. 1 и Рис. 2 представлены зависимости вероятностей обслуживания заявок первого и второго приоритетов $P_{\text{обсл } 1}(k), P_{\text{обсл } 2}(k)$, а также величины коэффициента обслуженности

входящей нагрузки $K_o(k)$ от номера шага оптимизации k .

Оптимальные значения зарезервированного числа каналов для заявок первого приоритета и порога резервирования для заявок второго приоритета, а также соответствующие им значения вероятностей обслуживания и коэффициента обслуженности составляют $\Delta_1^* = 4, d_2^* = 11, P_{\text{обсл } 1}^* \approx 0.963, P_{\text{обсл } 2}^* \approx 0.930, K_o^* \approx 0.951$.

Таким образом, использование алгоритма оптимизации порогов резервирования ресурса ретранслятора при обслуживании заявок от многоприоритетных пользователей позволяет повысить эффективность использования ресурсов ретранслятора до 10%, исключить прерывания в обслуживании заявок низшего приоритета при безусловном выполнении требований к вероятности обслуживания заявок высшего приоритета.

2. Сравнение метода оптимизации порогов резервирования с другими дисциплинами обслуживания

В соответствии с методикой и алгоритмом векторного анализа эффективности определены класс корпоративной сети спутниковой связи и число сравниваемых вариантов построения системы распределения ресурса ретранслятора, обоснован вектор показателей эффективности

функционирования сети спутниковой связи и получены результаты сравнительной оценки.

Пусть спутниковая сеть типа «звезда» состоит из одной центральной и N абонентских станций, генерирующих два потока заявок на ресурс ретранслятора, первый из которых является приоритетным. Поток пакетов (заявок) каждого приоритета на входе системы распределения ресурса ретранслятора описывается пуассоновским процессом с интенсивностью λ (пакетов (заявок) в секунду) и средним объемом пакета \bar{L} бит (либо средним временем занятия ресурса $\tau_{\text{пт}}$). Максимальная скорость передачи данных по выделенному каналу (пропускная способность единицы ресурса) составляет R_k .

Представляется целесообразным [5] сравнить эффективность функционирования сети спутниковой связи для трех возможных алгоритмов и соответствующих им планов распределения ресурсов ретранслятора:

1. полнодоступной схемы распределения ресурса ретранслятора, использующей алгоритм «синхронная АЛОНА»;

2. алгоритма распределения ресурсов с использованием абсолютного приоритета на ресурс ретранслятора со стороны заявок высокого приоритета и прерыванием обслуживания низкоприоритетных заявок при появлении высокоприоритетных;

3. разработанного итерационного алгоритма оптимизации порогов резервирования единиц ресурса ретранслятора для заявок высокоприоритетных пользователей, обеспечивающего максимум коэффициента обслуживания суммарной нагрузки от пользователей.

Для соблюдения свойства полноты вектора показателей качества при выполнении требований к его минимальной размерности и коррелированности компонентов целесообразно ограничить его состав следующими частными показателями качества.

1. Среднее время обслуживания (задержки) заявки пользователя на ресурс ретранслятора

$$T_1 = T_{S_{\text{ALOHA}}} = T_p + \frac{3\tau_{\text{пт}}}{2} + (e^G - 1) \cdot \left(T_p + \frac{\tau_{\text{пт}}}{2} + \tau_{\text{пт}} \frac{K+1}{2} \right),$$

$$T_2 = T_p + \tau_{\text{пт}},$$

$$T_3 = T_p + \tau_{\text{пт}},$$

где $T_p = 0.26 \text{ с}$ — время распространения сигнала в спутниковом канале;

$\tau_{\text{пт}}$ — среднее время передачи пакета (заявки);

G — общее число пакетов (заявок), подлежащих передаче, учитывающее число повторных вызовов;

K — интервал повторных передач.

Времена задержки T_2, T_3 для второго и третьего алгоритмов распределения ресурса определены для заявок первого приоритета, обслуживание которых осуществляется без столкновений на ресурсе. Так как качество обслуживания заявок низших приоритетов не нормируется, то значение времен задержек для них не влияет на оценку эффективности сети спутниковой связи.

1. Коэффициенты обслуживания суммарного потока требований пользователей к радиоресурсу ретранслятора $K_o(k)$.

2. Вероятность ошибки передачи одного бита информации $P_{\text{ош}}$.

3. Общие затраты радиоресурсов ретранслятора V_{Σ} , выделяемые для обслуживания суммарного потока требований пользователей в сети спутниковой связи.

С целью сокращения размерности векторного показателя эффективности функционирования сети спутниковой связи два последних показателя целесообразно вывести в разряд ограничений, а дальнейший анализ провести по первым двум показателям T и $K_o(k)$, так как требования по достоверности передачи сообщений $P_{\text{ош}}$ и затраты ресурса ретранслятора V_{Σ} в сети должны выполняться всегда и одинаковы для всех режимов работы системы распределения ресурсов и, следовательно, при их выполнении не влияют на сравнительную оценку эффективности по остальным показателям.

Для метода векторной оценки эффективности функционирования сети спутниковой связи целесообразно использовать метод идеальной (утопической) точки, предполагающий выполнение этапов нормирования (приведения

к одной точке отсчета и одинаковой размерности) вектора показателей качества сети спутниковой связи и его скаляризации на основе введения евклидовой метрики

$$\Phi^{обобщ}(\vec{Y}(\vec{x})) = \left[\sum_{n=1}^N \left(\Phi_n^{(n)}(\vec{Y}(\vec{x})) - \Phi_n^{(n)идеал} \right)^q \right]^{\frac{1}{q}}$$

где $\Phi^{обобщ}(\vec{Y}(\vec{x}))$, $\Phi_n^{(n)}$, $\Phi_n^{(n)идеал}$ — обобщенный (скалярный), частный и «идеальный» показатели эффективности функционирования сети;

\vec{Y} — вектор показателей качества сети спутниковой связи;

\vec{x} — вектор параметров сети;

$q = 1, 2, \dots$ — степень целевой функции.

При исходных данных $N = 30$, $V_{\Sigma} = 16$, $\tau_{ин} = 0.2$ с, $T_p = 0.26$ с, получены зависимости среднего времени задержки передачи пакета (обслуживания заявки) для различных алгоритмов распределения ресурса ретранслятора при изменении степени загрузки ретранслятора

$$\rho = \frac{N \lambda \tau_{ин}}{V_{\Sigma}}$$

Для режима средней загрузки $\rho = 0.75$ имеем: $T_1 = 1.8$ с; $T_2 = 0.46$ с; $T_3 = 0.46$ с.

Расчет значений коэффициента обслуженности $K_0(k)$ проведем для следующих исходных данных:

$R = 2$ — число приоритетных групп абонентов в сети;

$r = 1, \dots, R$ — номер приоритетной группы;

$N_1 = 80$ — число абонентов 1-ой приоритетной группы;

$N_2 = 100$ — число абонентов 2-ой приоритетной группы;

λ_1 — интенсивность поступления вызовов от одного абонента 1-ой приоритетной группы, выз./час;

λ_2 — интенсивность поступления вызовов от одного абонента 2-ой приоритетной группы, выз./час;

\bar{t}_1 — среднее время обслуживания одной заявки 1-ой приоритетной группы (средняя длительность занятия канала), мин.;

\bar{t}_2 — среднее время обслуживания одной заявки 2-ой приоритетной группы (средняя длительность занятия канала), мин.;

$V_{\Sigma} = 16$ — общее число каналов (единиц ресурса ретранслятора);

$P_{доп1} = 0.95$ — требования к значению вероятности обслуживания заявок первого приоритета;

$\rho = 0.75$ — коэффициент загрузки ретранслятора.

Изменение величины нагрузки на сеть будем осуществлять путем варьирования числа абонентов различных приоритетных групп и интенсивностей поступления вызовов от них. В Получены значения коэффициента обслуживания нагрузки в сети спутниковой связи при различных значениях нагрузки и алгоритмах распределения ресурсов ретранслятора.

Следует отметить, что для первого алгоритма распределения ресурсов — синхронная АЛОНА — лишь при относительно малом значении коэффициента загрузки $\rho = 0.708$ обеспечивается выполнение требований к качеству обслуживания заявок первого приоритета $P_{доп1} = 0.95$ (при этом значение коэффициента обслуживания нагрузки составляет $K_1 = 0.954$). Для всех остальных алгоритмов гарантируется выполнение заданных требований к обслуживанию заявок высшего приоритета во всем допустимом диапазоне загрузок. Как видно из таблицы, для режима средней нагрузки $\rho = 0.75$ имеем $K_1 = 0.94$ (при невыполнении требований к качеству обслуживания заявок первого приоритета); $K_2 = 0.842$ и $K_3 = 0.943$.

Проведем нормирование найденных значений показателей качества в соответствии с выражением:

$$Y_n^{(n)}(\vec{x}; k) = c_n Y_n^*(\vec{x}; k) + d_n,$$

где $c_n = \frac{1}{Y_n^*(\vec{x}; k) - Y_n^0(\vec{x}; k)}$ — масштабный коэффициент n-го показателя качества сети;

$$d_n = -\frac{Y_n^0(\vec{x}; k)}{Y_n^*(\vec{x}; k) - Y_n^0(\vec{x}; k)} \text{ — коэффициент}$$

сдвига n -го показателя качества сети;

$Y_n^*(\vec{x}; k), Y_n^0(\vec{x}; k)$ — максимальное и минимальное значения n -го показателя качества сети.

При предельных значениях времени задержки обслуживания заявки $T_{\max} = 1.8$ с и $T_{\min} = 0.26$ с имеем следующие нормированные значения показателя для трех алгоритмов распределения ресурсов: $T_1^{(n)} = 1$; $T_2^{(n)} = T_3^{(n)} = 0.13$.

При предельных значениях коэффициента обслуживания суммарной нагрузки $K_{\max} = 1$ и $K_{\min} = 0$ имеем следующие нормированные значения показателя для трех алгоритмов распределения ресурсов: $K_1^{(n)} = 0.94$; $K_2^{(n)} = 0.842$ и $K_3^{(n)} = 0.943$.

Наконец, значения обобщенного показателя эффективности функционирования сети для трех различных алгоритмов распределения ресурсов получим при следующих координатах «идеальной точки» в пространстве показателей $T^{(n)идеал} = 0$; $K^{(n)идеал} = 1$.

$$\begin{aligned} I_1^{обобщ} &= \left[\sum_{i=1}^N \left(Y_i^{(n)}(\vec{x}) - Y_i^{(n)идеал} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \\ &= \left((T_1^{(n)} - T^{(n)идеал})^2 + (K_1^{(n)} - K^{(n)идеал})^2 \right)^{\frac{1}{2}} = \\ &= \left((1 - 0)^2 + (0.94 - 1)^2 \right)^{\frac{1}{2}} = 1.002; \\ I_2^{обобщ} &= \left((T_2^{(n)} - T^{(n)идеал})^2 + (K_2^{(n)} - K^{(n)идеал})^2 \right)^{\frac{1}{2}} = \\ &= \left((0.13 - 0)^2 + (0.842 - 1)^2 \right)^{\frac{1}{2}} = 0.205; \\ I_3^{обобщ} &= \left((T_3^{(n)} - T^{(n)идеал})^2 + (K_3^{(n)} - K^{(n)идеал})^2 \right)^{\frac{1}{2}} = \\ &= \left((0.13 - 0)^2 + (0.943 - 1)^2 \right)^{\frac{1}{2}} = 0.142. \end{aligned}$$

Как видно из анализа данных расчета, наиболее близким к «идеальным координатам» по эффективности функционирования является

вариант сети спутниковой связи, использующий предложенный в работе алгоритм оптимизации порогов резервирования ресурса ретранслятора.

Определим выигрыш в эффективности функционирования сети спутниковой связи с предложенным алгоритмом планирования ресурсов ретранслятора по сравнению с наиболее близким к нему вариантом, использующим алгоритм с абсолютными приоритетами заявок высшего приоритета перед низшим.

$$\begin{aligned} V_{\text{Э}} &= \frac{I_2^{обобщ} - I_3^{обобщ}}{I_2^{обобщ}} \cdot 100 \% = \\ &= \frac{0.205 - 0.142}{0.205} \cdot 100 \% = 30,73\%. \end{aligned}$$

Заключение

Таким образом, выигрыш в эффективности функционирования сети спутниковой связи по обобщенному показателю эффективности предложенного алгоритма оптимизации порогов резервирования ресурсов ретранслятора при обслуживании многоприоритетных потоков требований на ресурс может составлять более 30%, что делает целесообразным его внедрение в перспективные разработки систем распределения ресурсов.

Представленный алгоритм обеспечивает возможность как программной, так и программно-аппаратной реализации, а его использование целесообразно в составе специального математического обеспечения автоматизированной системы управления сетью спутниковой связи при обслуживании заявок различного приоритета. Этот подход позволяет исключить прерывания в обслуживании низкоприоритетных заявок пользователей и повысить в некоторых случаях коэффициент обслуженности суммарного трафика на 10% и более при безусловном выполнении требований к вероятности обслуживания заявок высшего приоритета.

Литература

1. Ершов В. А., Ершов Д. В. Управление канальными ресурсами ЦСИС на основе его резервирования // Электросвязь. – 1994. – № 12.

2. Шелухин О. И., Лукьянцев Н. Ф. Цифровая обработка и передача речи / Под ред. О. И. Шелухина. – М.: Радио и связь, – 2000. – 456 с.
3. Максименко А. В., Терентьев В. М. Сравнительная оценка методов распределения ресурса ретранслятора в сетях спутниковой связи при обслуживании многоприоритетных потоков заявок пользователей. // Сборник научных трудов Академии ФСО России. Выпуск №29 (6). – Орёл: Академия ФСО России, 2012. – С.38-43.
4. Петухов Г. Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. Часть 1. Методология, методы, модели. – С.-Пб.: МО СССР, 1989.- 660с.
5. Максименко А. В., Терентьев В.М. Алгоритм динамической оптимизации порогов резервирования ресурса ретранслятора при обслуживании многоприоритетных требований в корпоративных сетях спутниковой связи. «Телекоммуникации», 2012 г. – № 5. – С.13-15.

Максименко Андрей Владимирович. Начальник отдела ОАО «Научно-производственный центр «Вигстар». Окончил Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова в 2006 году. Автор 8 печатных работ. Область научных интересов: сети спутниковой связи. E-mail: andreimaximenko@mail.ru