

Метод оперативного управления радиоресурсом спутника-ретранслятора на основе динамического резервирования каналов с запаздыванием

Method of operational radio-resource management on the basis of the dynamic reservations with delay

Ключевые слова: радиоресурс – radio resource; динамическое резервирование – dynamic reservation; спутниковая связь – satellite communication.

В статье рассматривается вариант организации множественного доступа к радиоресурсу спутника-ретранслятора с выделением каналов по требованию на основе резервирования. Исследуются модели с фиксированной и динамически изменяемой величиной резерва канальной емкости спутника-ретранслятора.

The article describes a method for setting up multiple access to a repeater satellite radio resource with a redundancy-based on-call channel allocation. Models with fixed and dynamically changeable channel capacity reserves of a repeater satellite are researched.

Необходимым условием инновационного развития экономики России является интенсивное развитие телекоммуникационной инфраструктуры, особенно ее космического сегмента. Для удаленных и труднодоступных регионов использование систем спутниковой связи (ССС) зачастую является единственным возможным вариантом организации высокоскоростной связи и передачи данных. Принципиальная ограниченность частотно-энергетического ресурса (далее – радиоресурса) спутника-ретранслятора (СР) и большая численность потенциальных абонентов в обширной зоне обслуживания выдвигают на первый план проблему динамического перераспределения радиоресурса между активными и пассивными направлениями связи. Дополнительным фактором, усиливающим актуальность разрешения указанной проблемы, является неоднородность и, как следствие, нестационарность (пульсации) трафика, формируемого

КОСЯКОВ / KOSYAKOV E.

Евгений Николаевич

(e-kosyakov@yandex.ru)

кандидат технических наук, доцент.

ФГКВОО ВПО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» МО РФ (ВКА им. А.Ф. Можайского), профессор кафедры сетей и систем связи космических комплексов.

г. Санкт-Петербург

НОВИКОВ / NOVIKOV E.

Евгений Александрович

(Novikov.evg.al@gmail.com)

кандидат технических наук, доцент.

ВКА им. А.Ф. Можайского, докторант кафедры сетей и систем связи космических комплексов.

г. Санкт-Петербург

различными мультимедийными службами [1, 4, 6]. Следует ожидать, что учет различий в требованиях к качеству доставки разных видов трафика вкуче с прерывистым характером процесса обмена информацией позволит добиться существенного повышения пропускной способности ССС на основе оперативного маневра радиоресурсом СР между радионаправлениями. Главным препятствием на пути внедрения методов оперативного управления перераспределением радиоресурса СР являются высокие задержки распространения сигналов в спутниковых радиолиниях [1, 6].

Предлагаемый в работе подход состоит в том, что оперативно выделяемый для каждого радионаправления радиоресурс, включает не только то значение, которое необходимо для поддержания требуемого качества связи, но и дополнительный резерв (запас), призванный скомпенсировать запаздывание в управлении. Обоснование минимально необходимой величины резерва (измеряемого в стандартных цифровых каналах) рассмотрим на примере уплотнения группы из M абонентов, ведущих телефонные переговоры в радионаправлении, образуемом земной станцией (ЗС) через

СР. Учитывая высокий процент ($> 60\%$) пауз в процессе телефонного разговора [2, 3, 5], следует ожидать, что использование пакетной формы передачи и уплотнение группы каналов в режиме подавления пауз позволит существенно сократить величину выделяемого станции ресурса каналов K (в том числе с дополнительным резервом R) и, соответственно, повысить емкость радиосети в целом. Дополнительно следует учесть некоторую смысловую избыточность речи, которая допускает 1–5% потерь от общего числа речевых пакетов без снижения качества диалога [2, 4, 7]. Задача состоит в определении величины выделяемого ЗС резерва R , необходимого для поддержания заданного качества связи (уровня потерь) с учетом запаздывания управления. Эффективность управления оценивается значением достигнутого коэффициента уплотнения [5].

При этом возможно две стратегии выбора значения резерва R . Первая стратегия состоит в том, что величина резерва R устанавливается фиксированной для каждой группы абонентов. Величина R выбирается минимальной при ограничении на вероятность потери речевого пакета. Вторая стратегия выбора величины резерва R состоит в том, что величина резерва адаптивно изменяется в зависимости от числа активных в текущем цикле абонентов и емкости канальной группы. Очевидно, что вторая стратегия более сложна в реализации, так как в этом случае необходимо вести таблицу значений R для каждого соотношения числа N_A активных абонентов и емкости K ресурса пропускной способности.

Так как число активных абонентов в группе изменяется случайным образом, независимо от числа выделенных каналов, то каждое состояние можно характеризовать парой чисел (i, j) , где $i = 0, M$ – число активных абонентов; $j = R, \min[K, (i + R)]$ – число выделенных для телефонии каналов.

При первой стратегии (с фиксированным резервом) необходимо поддерживать постоянную величину R до тех пор, пока не будет исчерпан весь доступный ресурс каналов. В качестве примера на рис. 1 изображен граф переходов в марковской цепи, моделирующей процесс уплотнения группы из четырех абонентов при фиксированной величине резерва $R=1$.

Динамическое выделение каналов ЗС (при активизации абонента) осуществляется не мгновенно, а с запаздыванием, через некоторый случайный интервал времени, значение которого определяется задержкой распространения сигналов до СР и протоколом множественного доступа. В качестве допущения, позволяющего воспользоваться аппаратом теории марковских процессов, примем,

что эта величина имеет показательное распределение со средним значением T_p (задержка распространения). Тогда интенсивность переходов из состояний (i, j) в состояния $(i, j+1)$ будет равна $\alpha = 1/T_p$. На графе (рис. 1) этим переходам соответствуют горизонтальные стрелки в правом направлении.

Для расчета вероятностей состояний подобной марковской цепи в стационарном режиме составлена система линейных уравнений вида:

$$\left\{ \begin{aligned} p_{ij} &= \frac{\lambda(N-i+1)p_{(i-1)j} + \mu \min(K, i+1)p_{(i+1)j} + \alpha p_{i(j-1)}}{\lambda(N-i) + \mu i + \alpha}, \\ & i=1, N-1, j=R, i+R-1; \\ p_{ij} &= \frac{\mu \min(K, i+1)(p_{(i+1)j} + p_{(i+1)(j+1)}) + \alpha p_{i(j-1)}}{\lambda(N-i) + \mu i}, \\ & i=1, N-1, j=i+R; \\ p_{Nj} &= \frac{\lambda p_{(N-1)j} + \alpha p_{N(j-1)}}{K\mu + \alpha}, \quad j=R, K-1; \\ p_{N,K} &= \frac{\lambda p_{(N-1)K} + \alpha p_{N(K-1)}}{\mu K}; \\ \sum_{i=0}^N \sum_{j=R}^{\min(i+R, K)} p_{ij} &= 1; \\ p_{ij} &= 0, (j-i) > R. \end{aligned} \right. \quad (1)$$

Особенность системы уравнений (1) состоит в том, что сумма вероятностей состояний каждого яруса по горизонтали (рис. 2) для каждого индекса i совпадает с вероятностями P_i активизации i абонентов:

$$\sum_{j=R}^{\min(i+R, K)} p_{ij} = P_i. \quad (2)$$

Потери будут происходить в том случае, когда число активных абонентов будет превышать число доступных каналов, т.е. при $(i-j) > 0$. При этом, если $(i-j)=1$, то будут теряться пакеты лишь одного соединения, при $(i-j)=2$ – двух соединений и т.д. Состояния марковской цепи, в которых происходят потери пакетов, отделены в нижней части графа (рис. 1) штриховой линией. Учитывая, что стационарные вероятности состояний показывают, какую долю времени на интервале наблюдения процесс проводит в том или ином состоянии, вероятность потери речевых пакетов может быть оценена соотношением:

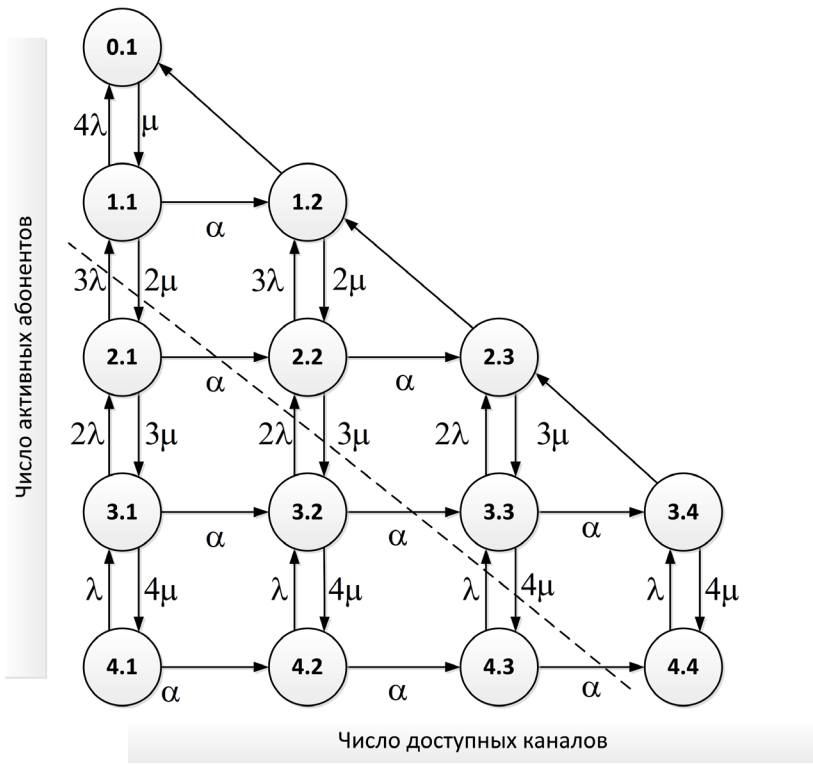


Рис. 1

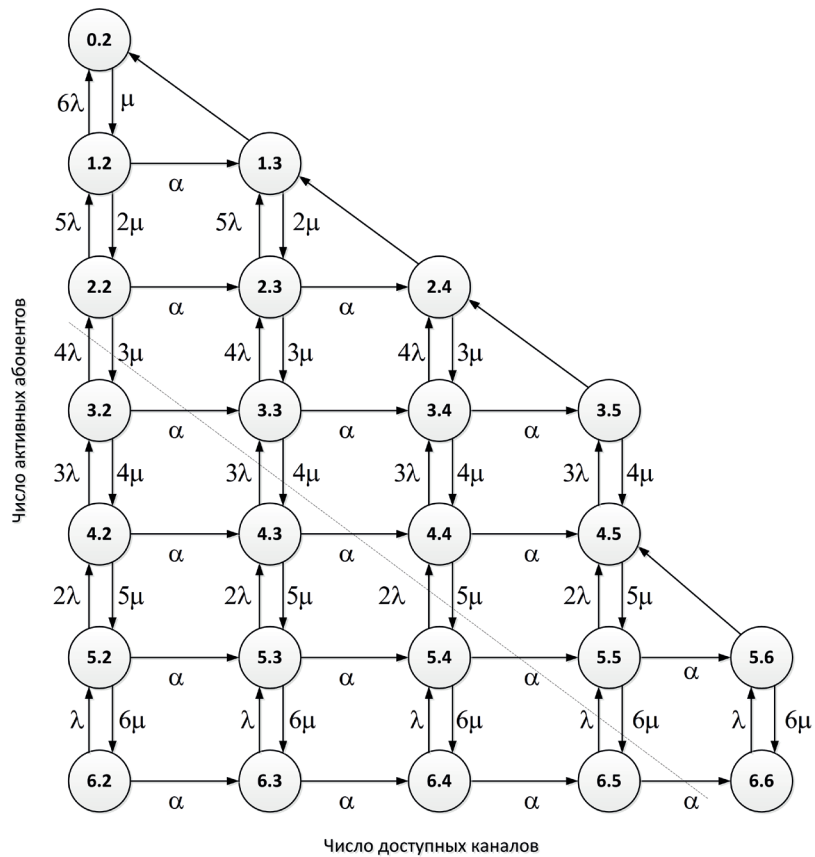


Рис. 2

$$P_n = \sum_{i=R+1}^N \sum_{j=R}^{\min(K, i-1)} (i-j) p_{ij}. \quad (3)$$

Для второй стратегии резервирования с адаптивно изменяемой величиной резерва может быть построена марковская цепь, подобная изображенной на рис. 1. В качестве примера на рис. 2 приведен граф переходов для системы уплотнения шести телефонных каналов при начальном уровне резерва $R_1=2$, где состояния марковской цепи, в которых происходят потери пакетов, отделены в нижней части графа пунктирной линией. После достижения порогового состояния, в котором активны три абонента, уровень резерва снижается на 1, т.е. до $R_2=R_1-1$. Для данной модели может быть составлена аналогичная (1) система линейных алгебраических уравнений, позволяющая рассчитать стационарные вероятности состояний. Отличием новой системы уравнений от (1) является условие:

$$p_{ij} = 0 \text{ при } i > i_{\text{пр}}; j = i + R_1,$$

где $i_{\text{пр}}$ – предельное значение числа активных абонентов, после которого уровень резерва снижается на 1 (для приведенного примера на рис. 2 $i_{\text{пр}}=3$).

При известных вероятностях состояний для первой и второй модели можно оценить среднее число занимаемых трафиком телефонии каналов \bar{K} , величину свободного ресурса ($K-\bar{K}$), который может быть задействован для передачи данных, а также уровень потерь речевых пакетов. Среднее число каналов, занимаемых системой уплотнения с динамическим резервированием, определяется равенством

$$\bar{K} = \sum_{i=0}^N \sum_{j=R}^{\min(K, i+R)} j p_{ij}.$$

Достижимый при этом коэффициент уплотнения группы из K каналов можно оценить как отношение числа уплотняемых источников N к емкости группы каналов K :

$$K_y = N / K.$$

На рис. 3 приведены кривые, отражающие коэффициент уплотнения (сплошные линии) в зависимости от числа уплотняемых каналов для трех случаев: 0 – без динамического резервирования; 1 – с резервированием одного канала; 2 – с адаптивным изменением числа резервируемых каналов. На этом же графике приведены кривые (штриховые линии), отражающие уровень потерь

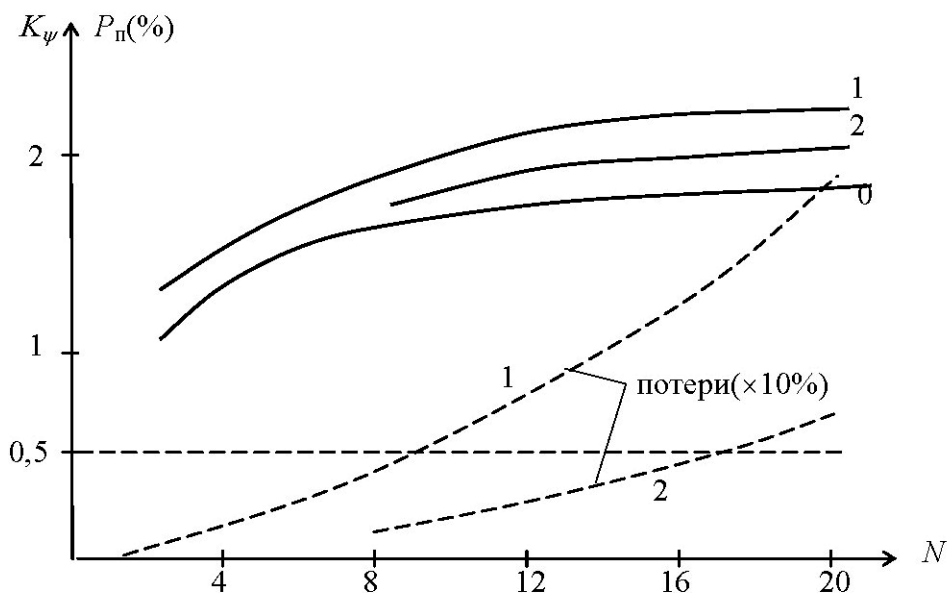


Рис. 3

для различных схем резервирования каналов (при уплотнении без резервирования величина потерь нормировалась на уровне 1%).

Анализ приведенных зависимостей позволяет сделать следующие выводы:

1. Использование механизма динамического резервирования каналов при статистическом уплотнении позволяет заметно (на 20–25%) повысить кратность уплотнения по сравнению со статическим закреплением каналов за группой уплотняемых абонентов. При этом появляется дополнительная возможность уплотнения спутниковых радиолиний потоками данных, не столь чувствительных к задержкам.

2. Резервирование фиксированного числа каналов оправдывает себя лишь для небольших групп (до восьми включительно) абонентов (кривая 1). При большей численности группы величина потерь в случае малого уровня резерва (1 канал) быстро превышает допустимый уровень (штриховая линия 1), что приводит к невозможности поддержания удовлетворительного качества диалога. В случае же большого уровня резерва (два и более каналов) практически пропадает эффект экономии ресурса пропускной способности уплотняемой спутниковой радиолинии.

3. Для групп абонентов численностью от восьми и выше более выгодным с точки зрения допустимого уровня потерь и достигаемого выигрыша является динамическое резервирование запасных каналов с адаптивно изменяемой величиной резерва. При этом величина необходимого резерва определяется общей численностью уплотняемой группы и текущим значением числа активных абонентов. Значения резерва для различных сочетаний исходных данных могут быть установлены программно или «защиты» в память бортовой вычислительной машины СР на этапе проектирования.

Литература

1. *Антонян, А.Б.* Пакетная коммутация для передачи речи / А.Б. Антонян // Вестник связи. – 1999. – № 5. – С. 68–71.
2. *Коган, А.В.* IP-телефония: оценка качества речи / А.В. Коган // Технологии и средства связи. – 2001. – №1. – С. 78–84.
3. *Федин, Д.Н.* Передача голоса по сетям с пакетной коммутацией / Д.Н. Федин // Вестник связи. – 1999. – №9. – С. 33–35.
4. *Шелухин, О.И.* Цифровая обработка речи / О.И. Шелухин, Н.Ф. Лукьянцев; под ред. О.И. Шелухина. – М.: Радио и связь, 2000. – 256 с.
5. *Chandra K.* Statistical multiplexing / Wiley Encyclopedia of Telecommunications. – 2003.
6. *Gruber J.G.* Delay related issues in integrated voice and data networks. // IEEE Trans. Comm. – 1981. – v. 29. – № 6. – P. 768–800.
7. *Minoly D.* Issues in packet voice communication. // Proc. IEEE. – 1979. – v. 126. – №8.

ИНСТИТУТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ



- ▣ **Производство:**
 - Беспилотные летательные аппараты
 - Рельефные карты
 - Ортофотопланы
 - Комплексы картографирования и навигации
 - Телекоммуникационные видеосистемы повышенной защищенности
- ▣ **Проектирование систем:**
 - Геоинформационные технологии
 - Системы поддержки принятия решений
- ▣ **Оказание услуг:**
 - Аэрофотосъемка
 - Кадастр
 - Аренда тахеометров
 - Территориальное планирование
 - Сертификация и испытания



ЗАО «Институт телекоммуникаций»
194100, Санкт-Петербург,
Кантемировская ул., д. 5/5,
тел.: 740-77-07, факс: 740-77-08