

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ В СИСТЕМАХ АБОНЕНТСКОГО РАДИОДОСТУПА

Введение

Предоставление услуг в современных телекоммуникационных системах обеспечивается на базе так называемого соглашения об уровне обслуживания SLA. Этот уровень сервиса обеспечивается эффективным распределением ресурсов телекоммуникационной системы. Задача управления ресурсами представляет собой многокритериальную задачу и реализуется при обеспечении постоянного контроля качества QoS, выполняется соответствующими оптимальными процедурами, которые должны обеспечивать работоспособности сети с надежностью ниже 99,999% времени.

Процедура управления сервисом (SLM – Service Level Management) может выполняться помощью различных методов оптимизации, а сама задача многокритериальной оптимизации при своей постановке требует выбора вектора параметров и соответственно критериев, обеспечивающих SLA. Размерность вектора параметров и число частных критериев приобретают наибольшую размерность в системах абонентского радиодоступа (САРД), поскольку в этом случае к обычно имеющим место сетевым проблемам, характерным для проводных и оптических линий, добавляются проблемы, связанные с наличием помех в линиях связи, замирание сигналов, что требует выбора не только соответствующей помехозащищенной структуры сигнала и уровня излучения их передающими устройствами и точками доступа, но и процедуры адаптации к складывающейся на конкретный момент времени сигнально-помеховой обстановке, необходимости фрагментации пакетов и изменения скорости передачи информации.

Рассмотрим более подробно постановку и решение задачи многокритериальной оптимизации для систем абонентского радиодоступа.

Постановка задачи многокритериальной оптимизации качества обслуживания

Пусть X – решение, определенное на допустимом множестве решений X , образованное множеством управляемых параметров. Качество решения оценивается множеством частных критериев $K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$, где $k_1 \dots k_n$ – множество критериев качества обслуживания САРД, известно отображение $f: x \rightarrow K$ и относительная важность частных критериев $\Lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_n\}$. Необходимо найти оптимальное решение

$$x^0 = \text{opt}G[K(x), \Lambda],$$

$$x \in X.$$

Решение поставленной задачи не вызывает затруднений в том случае, если известен оператор Λ и определен вид оператора $\text{opt}G$, т.е. заданы обобщенный критерий или правило позволяющее упорядочивать возможные решения.

Один из наиболее распространенных подходов к решению задачи (1) основан на сведении многокритериальной задачи к однокритериальной. Такой подход основан на теории полезности [4], согласно которой предполагается, что существует некоторая обобщенная оценка ценности или полезности любого решения $x \in X$. В этом случае формирование схемы компромисса связано с видом функции полезности

$$P = F\{K_1(x), K_2(x), \dots, K_n(x)\}.$$

Для решения этой задачи необходимо обосновать вид функции полезности локальных критериев $\xi(K_i)$.

Функция полезности частных критериев должна быть универсальной и хорошо приспособленной к учету особенностей конкретных систем, их целей и критериев. Для этого она должна отвечать следующим требованиям: быть безразмерной; иметь единичный интервал измерения; быть инвариантной к виду экстремума частного критерия

Перечисленным требованиям отвечает функция вида

$$\varepsilon_i(K_i) = \left(\frac{K_i - K_{i_{\min}}}{K_{i_{\max}} - K_{i_{\min}}} \right)^{\alpha_i}, \infty \quad (3)$$

где K_i – значение i -го частного критерия для варианта системы; $K_{i_{\min}}$, $K_{i_{\max}}$ – его наилучшее и наихудшее значение, соответствующее или границам области допустимого изменения соответствующих параметров системы, или программам приближенной области компромиссов; α_i – показатель нелинейности.

Функция полезности (3) характеризует степень приближенности к локальному оптимуму по критерию K_i . Для определения границ приближенной области компромиссов X^P , т.е. значений $K_{i_{\min}}$ и $K_{i_{\max}}$ пользуются следующим методом [1]. На множестве допустимых решений X проводят оптимизацию по каждому из частных критериев K_i , в результате определяется экстремальное по данному критерию решение

$$X_i^0 = \arg \operatorname{extr}_{x \in X} K_i(x), \quad i = \overline{1, n} \quad (4)$$

и соответствующие ему значения всех частных критериев, $j = \overline{1, n}$; Тогда $K_{i_{\min}} = K_i(X_j^0)$, а

$$K_{i_{\max}} = \begin{cases} \max_j K_i(X_j^0), & K_i(x) \rightarrow \min; \\ \min_j K_i(X_j^0), & K_i(x) \rightarrow \max. \end{cases} \quad (5)$$

Таким образом, $K_{i_{\min}}$ и $K_{i_{\max}}$, $i = \overline{1, n}$ являются границами отображения приближенной области компромиссов X^P на пространство критериев. Область X^P включает в себя область компромиссов (область Парето), так как для нее справедливо необходимое условие области компромиссов – включение глобальных экстремумов всех частных критериев. Область X^P шире области Парето, так как включает в себя некоторые подмножества из области согласия, поэтому в общем случае компромиссные решения, выбранные из области X^P , необходимо проверять на принадлежность области Парето.

Рассмотренная функция полезности (4) не единственно возможная [2]. Выбор их конкретного вида и количественных параметров является эвристической операцией.

Для выбора единственного решения из области компромиссов необходимо обосновать аксиоматику и на ее основе сформировать правило (схему компромисса) принятия решения. Для решения этой задачи требуется дополнительная информация, которую можно получить путем анализа и формализации особенностей цели системы.

Если известны количественные значения весовых коэффициентов α_i частных критериев $K_i(x)$ или их функций полезности $\xi_i(K_i)$, в этом случае в качестве обобщенного критерия целесообразно принять следующее выражение:

$$P(x) = \max_{x \in X} \sum_{i=1}^n \alpha_i \xi_i[K_i(x)], \quad i = \overline{1, n}, \quad \sum_i \alpha_i = 1. \quad (6)$$

Под решением многокритериальной задачи будем понимать совокупность управляемых переменных, которые обеспечивают оптимум одновременно ко всем введенным критериям оптимальности. Определим множество управляемых параметров и множество критериев оптимальности.

Выбор критериев качества обслуживания и управляемых параметров

Согласно SLA [3], определим три основных параметра качества услуг, которые должны согласовываться сетевыми устройствами при установлении соединения: достоверность передаваемой информации, задержка при передаче пакетов, процент потерянных пакетов.

Достоверность передаваемой информации $K_1(x)$, согласно IEEE 802.15.2–2003 [4], может быть определена частотой битовых ошибок.

$$K_1(x) = BER = \left(\frac{2^{8-t}}{2^8 - 1} \right) SER_{11} = \frac{128}{255} SER_{11},$$

где SER_{11} – вероятность ошибки символа, определяется выражением

$$SER_{11} \leq 24 \cdot Q(\sqrt{4 \cdot SIR}) + 16 \cdot Q(\sqrt{6 \cdot SIR}) + 174 \cdot Q(\sqrt{8 \cdot SIR}) + \\ + 16 \cdot Q(\sqrt{10 \cdot SIR}) + 24 \cdot Q(\sqrt{12 \cdot SIR}) + Q(\sqrt{16 \cdot SIR})$$

$Q(x)$ – функция, определена как Гауссово распределение: $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$
 SIR – соотношение сигнал/помеха.

Функция, описывающая задержку при передаче пакетов, согласно G.107 [5], зависит от трех факторов и может быть выражена с помощью следующего соотношения:

$$K_2(x) = I_{dte} + I_{dte} + I_{dd},$$

где I_{dte} – оценка ухудшения QoS из-за эхо источника сообщения;

$$I_{dte} = \left[\frac{R_{0e} - R_e}{2} + \sqrt{\frac{(R_{0e} - R_e)^2}{4} + 100 - 1} \right] \cdot (1 - e^{-T}),$$

где $R_{0e} = -1.5 \cdot (N_0 - R_l)$, N_0 [dB] – мощность различных источников шума (шум схем, эффективный шум комнаты, собственные шумы), R_l [dB] – мощность шумов на приемной стороне

$$R_e = 80 + 2.5 \cdot (G - 14),$$

$$G = H - 40 \log \frac{1 + \frac{T}{10}}{1 + \frac{T}{150}} + 6e^{-0.3T^2},$$

H – оценка эхо источника сообщения на приемной стороне, T – задержка между принимающей стороной и точкой подсоединения, где происходит преломление сигнала на неоднородностях.

I_{dd} – оценка ухудшения QoS из-за задержки и эхо сигнала

$$I_{dd} = \frac{R_0 - R_{le}}{2} + \sqrt{\frac{(R_0 - R_{le})^2}{4} + 169},$$

где R_{le} – оценка задержки на подтверждение приема T_r и среднего значения эхо на всем пути передачи V : $R_{le} = 10.5 \cdot (V + 7) \cdot (T_r + 1)^{-0.25}$.

I_{dd} – оценка абсолютной задержки

$$I_{dd} = 25 \cdot \left\{ \left(1 + X^6 \right)^{\frac{1}{6}} - 3 \cdot \left(1 + \left[\frac{X}{3} \right]^6 \right)^{\frac{1}{6}} + 2 \right\},$$

где $X = \frac{\log\left(\frac{T_a}{100}\right)}{\log 2}$, T_a – абсолютная задержка между сторонами передачи и приема в одном направлении передачи.

Функция, описывающая надежность передачи пакетов, согласно G.107 [5], может быть определена выражением

$$K_3(x) = I_e + (95 - I_e) \cdot \frac{P_{pl}}{P_{pl} + B_{pl}},$$

где I_c – коэффициент влияния процедуры кодирования – декодирования на процент потерянных пакетов, P_{pl} – вероятность потери пакета, B_{pl} – устойчивость к потерям пакетов.

Одним из путей достижения оптимального качества обслуживания, как известно, является управление трафиком. Поэтому в качестве одного из частных критериев QoS целесообразно принять $K_d(x)$ – функцию, характеризующую количество управляющей информации.

Сложность функциональной зависимости параметров качества от управляемых параметров не позволяет непосредственно исследовать эти зависимости. Целесообразно исследовать отдельные компоненты этих критериев.

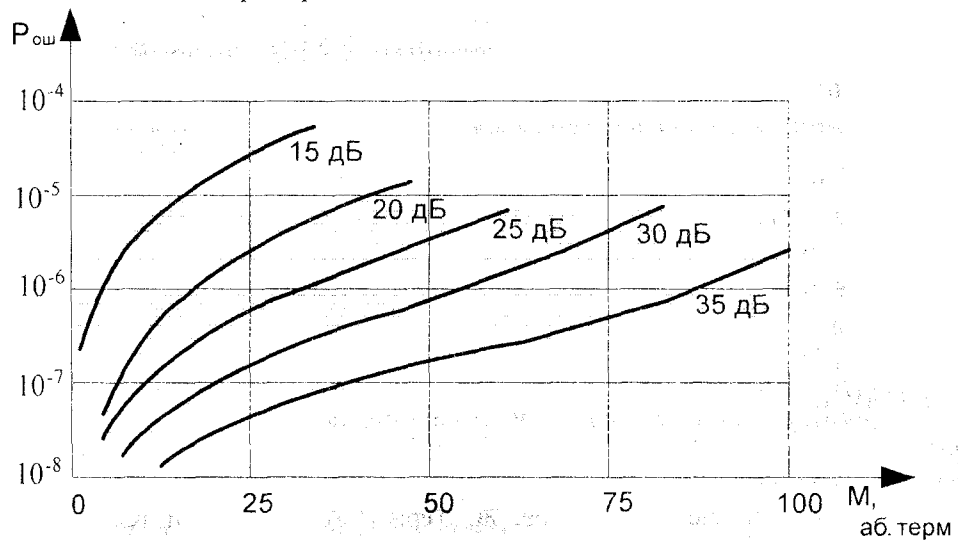


Рис. 1

Одним из факторов, влияющих на критерий $K_d(x)$, является соотношение сигнал/шум, который зависит от количества подключенных абонентских терминалов. На рис. 1 приведена зависимость вероятности ошибки от количества подключенных беспроводных абонентских терминалов для случая частотной модуляции при полосе пропускания 5 МГц и скорости передачи информации 11 Мбит/с.

Из графика следует, что при заданном соотношении сигнал/шум и требуемой вероятности ошибки можно определить максимально возможное количество подключенных абонентских терминалов к САРД, что позволит прогнозировать максимальную интенсивность потока пользовательской информации.

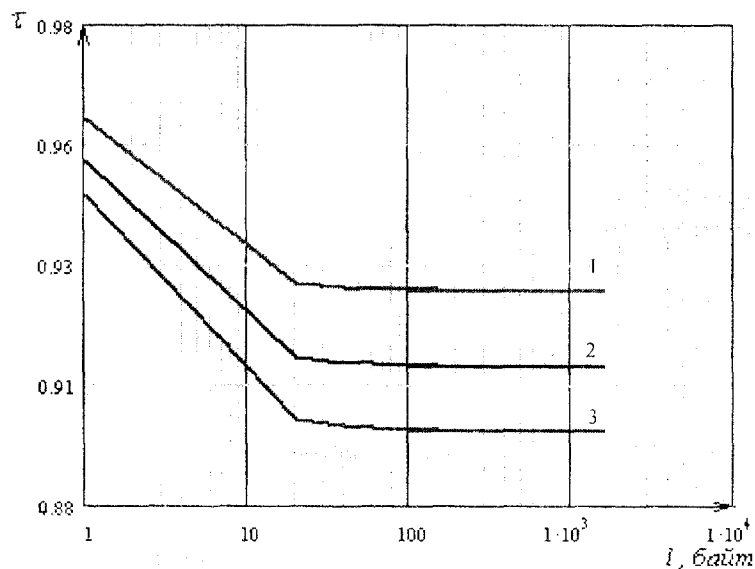


Рис. 2

На рис. 2 приведена зависимость вероятности передачи пакета от длины пакета: 1 – вероятность передачи при 70 попытках начать передачу; 2 – вероятность передачи при 200 попытках начать передачу; 3 – вероятность передачи при 350 попытках начать передачу. Моделирование основывалось на математической модели беспроводной локальной сети предложенной в [6].

Зависимость, приведенная на рис. 2, показывает, что требуемое качество обслуживания достигается при определенной длине передаваемого пакета.

Определение задержки при передаче пакетов [7] дает возможность выделить следующие управляемые параметры: длину сообщения, объем буферной памяти коммутатора, интенсивность потока в сетевых узлах. Множество управляемых переменных необходимо расширить вектором мощности излучения передающих устройств САРД, который определяет значение соотношения сигнал/шум.

Выводы

1. Предлагаемая многокритериальная модель качества обслуживания позволяет найти оптимальное решение в условиях влияния многих факторов, т.е. определить объективную оценку качества функционирования САРД.

2. Использование функции полезности при формировании обобщенного критерия позволяет учесть "равноправие" частных критериев, а весовые коэффициенты позволяют учесть важность, тем самым "приспособиться" к изменениям требований к обеспечению качества обслуживания в САРД.

Список литературы: 1. Петров Э.Г., Пискалова В.П., Бескоровайный В.В. Территориально распределенные системы обслуживания. К.: Техніка, 1992. 2. Линейное программирование со многими критериями / Р.Бенайон, О.И. Ларичев, Ж. Де Монгольдое, Ж. Терн // Автоматика и телемеханика. 1971. № 3. 3. Повышение эффективности работы сетевых приложений с помощью SLA. /Д. Дундуков // Журнал сетевых решений / LAN. 2005. №12. 4. IEEE Recommendation 802.15.2–2003. 5. ITU-T Recommendation G.803 (03/2003). 6. Оценка пропускной способности локальной беспроводной сети при высокой нагрузке и помехах / В.М. Вишневецкий, А.И. Ляхов // Автоматика и телемеханика. 2001. № 8. 7. Назаров А.Н. Модели и методы расчета структурно-сетевых параметров АТМ. М.: Горячая линия - Телеком, 2002.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 12.02.2006