

РАСЧЕТ МОДЕЛИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ВЫЗОВОВ В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЯХ СОТОВОЙ СВЯЗИ С ОГРАНИЧЕННЫМ ДОСТУПОМ

М. Фаттахова

*Азербайджанская Национальная Академия Наук, Институт
Кибернетики
Баку, Азербайджан*

Предложен численный метод исследования показателей качества обслуживания (Quality of Service, QoS) в беспроводных сотовых сетях связи, поддерживающих обработки узкополосных речевых сообщений и широкополосных данных. В качестве математической модели этих сетей используется многоскоростная система обслуживания с явными потерями. Доступ разнотипных вызовов управляется много-пороговой стратегией, которая ограничивает число разнотипных вызовов в системе.

Ключевые слова: беспроводные сети, качества обслуживания, алгоритмы расчета

1. ВВЕДЕНИЕ

В литературе предложены различные схемы улучшения коэффициента использования дефицитных радиоканалов беспроводных сотовых сетей связи (БССС) при заданных ограничениях на показатели качества обслуживания (Quality of Service, QoS) разнотипных вызовов. Наиболее изученными являются модели традиционных БССС, в которых производится обработка лишь речевых вызовов. Они были изучены, например, в работах [1-5]. В списках литературы этих работ можно найти дальнейшую библиографию по этим моделям. Вместе с тем, в современных БССС осуществляется обработка разнотипных вызовов, предъявляющих существенно различные требования к размеру требуемой полосы передачи. Так, обычно трафики данных требуют более широкую полосу, чем речевые вызовы. Исходя из этих соображений для адекватного описания работы мультисервисных БССС необходимо использовать модели многоскоростных систем обслуживания (Multi-Rate Queue, MRQ). Обзор работ по этим моделям можно найти, например, в работах [6, 7].

В задачах расчета мультисервисных БССС модель MRQ с много-пороговой стратегией доступа, основанной на схеме резервирования каналов, была использована в работе [8]. В ней различаются четыре типа вызовов: хэндовер речевые вызовы (*hv*-вызовы), новые речевые вызовы (*ov*-вызовы), хэндовер вызовы данных (*hd*-вызовы) и новые вызовы данных (*od*-вызовы). Приоритеты этих вызовов уменьшаются в указанном порядке. Для расчета показателей QoS этой модели в указанной работе разработан рекурсивный метод.

В настоящей работе предложена альтернативная много-пороговая стратегия доступа, которая ограничивает число разнотипных вызовов в системе. Здесь разработан метод расчета показателей QoS, который не требует генерации всего пространство состояний модели.

2. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

Рассматривается изолированная сота мультисервисной БССС, в которой осуществляется обработка речевых вызовов и вызовов данных. В БССС используется фиксированная схема назначения каналов и данная сота имеет $N > 1$ радиоканалов. Эти каналы используются совместно Пуассоновскими потоками hu -вызовов (с интенсивностью λ_{hu}), ou -вызовов (с интенсивностью λ_{ou}), hd -вызовов (с интенсивностью λ_{hd}) и od -вызовов (с интенсивностью λ_{od}).

Для обслуживания одного речевого вызова требуется лишь один свободный канал, а один вызов данных требует одновременно $b > 1$ каналов. Здесь предполагается, что вызовы данных являются неэластичными, т.е. все b каналы начинают и завершают обслуживание одного вызова одновременно (хотя в дальнейшем могут быть исследованы и модели с эластичными вызовами данных). Обе функции распределения времени занятия каналов разнотипных вызовов являются экспоненциальными, но, вообще говоря, с различными средними, т.е. средняя интенсивность обработки одного речевого вызова (нового или хэндовер) равна μ_v , а соответствующий показатель для вызовов данных (новых или хэндовер) равен μ_d .

В этой системе вводится следующая много-пороговая стратегия доступа. Определяются три параметра N_1 , N_2 и N_3 , которые удовлетворяют неравенству:

$$0 < N_1 \leq N_2 \leq N_3 \leq N.$$

Указанная стратегия определяет следующие правила приема разнотипных вызовов:

- если в момент поступления od -вызова число вызовов данного типа меньше N_1 , то он принимается для обслуживания; в противном случае он получает отказ (теряется).
- если в момент поступления hd -вызова число вызовов данного типа меньше N_2 , то он принимается для обслуживания; в противном случае он получает отказ.
- если в момент поступления ou -вызова число вызовов данного типа меньше N_3 , то он принимается для обслуживания; в противном случае он получает отказ.
- если в момент поступления hu -вызова имеется хотя бы один свободный канал системы, то он принимается для обслуживания; в противном случае он получает отказ.

Проблема заключается в нахождение основных показателей QoS данной системы Ц вероятностей потери вызовов каждого типа и коэффициента использования каналов.

Для простоты промежуточных математических преобразований здесь предполагается, что $b = 1$. Случай $b > 1$ исследуется почти идентично.

3. МЕТОД ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ QoS

Состояние соты в произвольный момент времени описывается двумерным вектором $n = (n_d, n_v)$, где n_d и n_v указывают суммарное число вызовов данных и речевых вызовов, соответственно. Фазовое пространство состояний (ФПС) соответствующей цепи Маркова определяется так:

$$S := \{n : n_d = 0, N_2, n_v = 0, N, n_d + n_v \leq N\}. \quad (1)$$

Согласно введенной стратегии доступа, элементы производящей матрицы данной цепи определяются из следующих соотношений:

$$q(n, n') = \begin{cases} \lambda_d & \text{если } n_d \leq N_1 - 1, n' = n + e_1 \\ \lambda_{hd} & \text{если } N_1 \leq n_d \leq N_2 - 1, n' = n + e_1 \\ \lambda_v & \text{если } n_v \leq N_3 - 1, n' = n + e_2 \\ \lambda_{hv} & \text{если } N_3 \leq n_v \leq N - 1, n' = n + e_2 \\ n_d \mu_d & \text{если } n' = n - e_1 \\ n_v \mu_v & \text{если } n' = n - e_2 \\ 0 & \text{в остальных случаях.} \end{cases} \quad (2)$$

где $\lambda_d := \lambda_{od} + \lambda_{hd}$, $\lambda_v := \lambda_{ov} + \lambda_{hv}$, $e_1 = (1, 0)$, $e_2 = (0, 1)$.

Указанные выше основные показатели QoS данной системы определяются через стационарное распределение модели. Пусть P_x означает вероятность потери вызовов типа x , $x \in \{hv, ov, hd, od\}$ и η указывает среднее число занятых каналов соты. Указанные вероятности потери определяются так:

$$P_{hv} := \sum_{n \in S} p(n) I(n_d + n_v = N), \quad (3)$$

$$P_{ov} := \sum_{n \in S} p(n) I(n_v \geq N_3), \quad (4)$$

$$P_{hd} := \sum_{n \in S} p(n) I(n_d \geq N_2), \quad (5)$$

$$P_{od} := \sum_{n \in S} p(n) I(n_d \geq N_1), \quad (6)$$

где $p(n)$ – стационарная вероятность состояния $n \in S$, $I(A)$ –Ц индикаторная функция события A .

Среднее число занятых каналов соты определяется так:

$$N_{av} := \sum_{k=1}^N k \sum_{n \in S} p(n) I(n_d + n_v = k). \quad (7)$$

Разработанный ниже приближенный метод, который основан на принципах фазового укрупнения состояний стохастических систем [9], базируется на следующем допущении.

Допущение: $\lambda_v \gg \lambda_d$, $\mu_v \gg \mu_d$. Отметим, что оно очень адекватно описывает реальное условие работы мультисервисных БССС. Действительно, в реальных сетях речевые вызовы характеризуются короткими длительностями занятия канала (средняя продолжительность одного разговора оценивается несколькими минутами) по сравнению с вызовами данных, которые имеют достаточно долгое время обслуживания (их длительность оценивается несколькими десятками минут). Одновременно обычно речевые вызовы составляют большую долю общего трафика мультисервисных БССС. Более того, как будет видно из дальнейшего изложения конечные результаты в прямую не зависят от λ_v , λ_d , μ_v и μ_d , а зависят лишь от их соотношений.

Рассматривается следующее разбиение исходного ФПС (1):

$$S = \bigcup_{k=0}^{N_2} S_k, S_k \cap S_{k'} = \emptyset, k \neq k', \quad (8)$$

где $S_k := \{n \in S : n_d = k\}$.

При выполнении принятого выше допущения соблюдается основной принцип применимости алгоритмов фазового укрупнения: в разбиение (8) исходное ФПС разделены на такие классы, что вероятности переходов между состояниями внутри классов намного превосходят вероятности между состояниями различных классов.

Классы состояний S_k объединяются в укрупненное состояние $\langle k \rangle$ и в исходном ФПС (1) строится функция укрупнения:

$$U(n) = \langle k \rangle, \text{ если } n \in S_k, k = \overline{0, N_2}. \quad (9)$$

Функция укрупнения (9) определяет укрупненную модель, которая является одномерной цепью Маркова с пространством состояний $\tilde{S} := \{\langle k \rangle : k = \overline{0, N_2}\}$. Тогда стационарное распределение исходной модели приближенно определяется так:

$$\rho(k, i) \approx \rho_k(i) \pi(\langle k \rangle), (k, i) \in S_k, k = \overline{0, N_2}, \quad (10)$$

где $\{\rho_k(i) : (k, i) \in S_k\}$ и $\{\pi(\langle k \rangle) : \langle k \rangle \in \tilde{S}\}$ обозначают стационарные распределения внутри класса S_k и укрупненной модели, соответственно.

При вычислении стационарного распределения расщепленных моделей необходимо различать два случая: 1) $N_2 + N_3 \leq N$; 2) $N_2 + N_3 > N$. В первом случае стационарное распределение расщепленной модели с пространством состояний S_k , обозначаемое через $\{\rho_k(i) : (k, i) \in S_k\}$, определяется так:

$$\rho_k(i) = \begin{cases} \frac{v_v^i}{i!} \rho_k(0) & \text{если } 1 \leq i \leq N_3 - k \\ \left(\frac{v_v}{v_{hv}}\right)^{N_3-k} \frac{v_{hv}^i}{i!} \rho_k(0) & \text{если } N_3 - k + 1 \leq i \leq N - k, \end{cases} \quad (11)$$

где

$$\rho_k(0) = \left(\sum_{i=0}^{N_3-k} \frac{v_v^i}{i!} + \left(\frac{v_v}{v_{hv}}\right)^{N_3-k} \sum_{i=N_3-k+1}^{N-k} \frac{v_{hv}^i}{i!} \right)^{-1}, v_v := \lambda_v / \mu_v, v_{hv} := \lambda_{hv} / \mu_v. \quad (12)$$

Во втором случае искомое распределение для моделей с пространством состояний $S_k, k = 0, 1, \dots, N - N_3 - 1$ вычисляются также с помощью (11), (12), а распределение моделей с пространством состояний $S_k, k = N - N_3, \dots, N_2$ совпадают с распределением классической модели Эрланга $M/M/N - k/0$ с нагрузкой ρ_k эрл.

С учетом (11) и (12) из (2) получаем следующие соотношения для вычисления элементов производящей матрицы, $q(< k >, < k' >), < k >, < k' > \in \bar{S}$, укрупненной модели:

$$q(< k >, < k' >) = \begin{cases} \lambda_d(1 - \rho_k(N - k)) & \text{если } 0 \leq k \leq N_1 - 1, k' = k + 1 \\ \lambda_{hd}(1 - \rho_k(N - k)) & \text{если } N_1 \leq k \leq N_2 - 1, k' = k + 1 \\ k\mu_d & \text{если } k' = k - 1 \\ 0 & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (13)$$

Следовательно, стационарное распределение укрупненной модели $\{\pi(< k >) : < k > \in \bar{S}\}$ находится следующим образом:

$$\pi(< k >) = \frac{\pi(< 0 >)}{k! \mu_d^k} \prod_{i=1}^k q(< k - i >, < k >), k = \overline{1, N_2}, \quad (14)$$

где

$$\pi(< 0 >) = \left(1 + \sum_{i=1}^{N_2} \frac{1}{k! \mu_d^k} \prod_{i=1}^k q(< k - i >, < k >) \right)^{-1}. \quad (15)$$

Окончательно, с использованием (11)-(15) после определенных преобразований получим следующие приближенные формулы для расчета показателей качества обслуживания (3)-(7):

$$P_{hv} \approx \sum_{k=0}^{N_2} \pi(< k >) \rho_k(N - k), \quad (16)$$

$$P_{ov} \approx \sum_{k=0}^{N_2} \pi(< k >) \sum_{i=N_3}^{N-k} \rho_k(i), \quad (17)$$

$$P_{hd} \approx \pi(< N_2 >), \quad (18)$$

$$P_{od} \approx \sum_{k=N_1}^{N_2} \pi(< k >), \quad (19)$$

$$N_{av} \approx \sum_{k=1}^N k \left(\sum_{i=0}^k \pi(< i >) \rho_i(k - i) I(k \leq N_2) + \sum_{i=0}^{N_2} \pi(< k >) \rho_i(k - i) I(k > N_2) \right). \quad (20)$$

ЛІТЕРАТУРА

1. *Chen H., Huang L., Kumar S., Kuo C. C.* Radio resource management for multimedia QoS support in wireless networks // Kluwer Academic Publishers, Boston. 2004.
2. *DasBit S., Mitra S. F.* Challenges of computing in mobile cellular environment – a survey // Computer Communications. 2003. V. 26(8). P. 2090–2105.
3. *Melikov A. Z., Fattakhova M. I., Babaev A. T.* Calculation and optimization of call processing procedures in cellular communication networks // Automatic Control and Computer Sciences. 2004. V. 38(4). P. 55–63.
4. *Melikov A. Z., Babaev A. T.* Refined approximations for performance analysis and optimization of queuing model with guard channels for handovers in cellular networks // Computer Communications. 2006. V. 29(8). P. 1386–1392.
5. *Kim C. S., Melikov A. Z., Ponomarenko L. A.* Two-dimensional models of cellular communication networks with infinite queues of handover calls // Journal Automation and Information Sciences. 2007. V. 39(12). P. 25–41.
6. *Баширин Г. П.* Лекции по математической теории телетрафика. Москва. // Изд. РУДН. 2007.
7. *Меликов А. З., Пономаренко Л. А., Паладюк В. В.* Телетрафик. Модели, методы, оптимизация. Киев. // Политехника. 2007.
8. *Ogbonmwan S. E., Wei L.* Multi-threshold bandwidth reservation scheme of an integrated voice/data wireless network // Computer Communications. 2006. V. 29(9). P. 1504–1515.
9. *Korolyuk V. S., Korolyuk V. V.* Stochastic models of systems // Kluwer Academic Publishers, Boston. 1999.