



УДК 519.872

**М. И. Фаттахова**, канд. техн. наук  
Ин-т кибернетики НАН Азербайджана  
(Азербайджан, AZ1141 Баку, ул. Ф. Агаева, 9,  
E-mail: meri-fattah@mail.ru)

## **Анализ многопараметрической стратегии доступа в мультисервисных беспроводных сотовых сетях связи**

*(Статью представил чл.-кор. НАН Украины В. В. Васильев)*

Предложена новая многопараметрическая стратегия доступа в мультисервисных беспроводных сотовых сетях связи, основанная на схеме ограничения числа новых и хэндовер вызовов разнотипных трафиков в каналах соты. Разработан метод нахождения показателей качества обслуживания разнотипных вызовов в изолированной соте, в которой используется предложенная стратегия доступа. Решена задача нахождения эффективных значений параметров данной стратегии. Приведены результаты вычислительных экспериментов.

Запропоновано нову багатопараметричну стратегію доступу в мультисервісних безпроводних сотових мережах зв'язку, базовану на схемі обмеження числа нових та хендовер викликів різнотипних трафіків у каналах соти. Розроблено метод пошуку показників якості обслуговування різнотипних викликів у ізольованій соті, в якій використовується запропонована стратегія доступу. Розв'язано задачу пошуку ефективних значень параметрів даної стратегії. Наведено результати обчислювальних експериментів.

*К л ю ч е в ы е с л о в а:* мультисервисные беспроводные сети, качество обслуживания, алгоритмы расчета.

Удовлетворение заданного уровня качества обслуживания (Quality of Service (QoS)) в беспроводных мультисервисных сетях связи является очень важной и достаточно сложной проблемой, так как в них полоса передачи значительно меньше, чем в проводных сетях связи. Для решения указанной проблемы разработаны различные стратегии доступа, позволяющие улучшить коэффициент использования дефицитных радиоканалов мультисервисной сети при заданных ограничениях на показатели (индикаторов) QoS разнотипных вызовов. Эти стратегии часто основаны на схеме резервирования каналов, ранее используемой для моносервисных сетей первого и второго поколения (см., например, [1—3]).

Такая многопараметрическая стратегия доступа (МПСД) предложена в работе [4]. В ней различают четыре типа вызовов: хэндовер речевые ( $hv$ -вызовы), новые речевые ( $ov$ -вызовы), хэндовер вызовы данных ( $hd$ -вызовы) и новые вызовы данных ( $od$ -вызовы). Приоритеты этих вызовов уменьшаются в указанном порядке. Исходя из этого, для каждого трафика резервируют определенное число каналов. Для расчета показателей QoS модели разработан рекурсивный метод. Достаточно подробный обзор работ по стратегиям доступа в беспроводных мультисервисных сетях связи можно найти в работах [5—7].

Рассмотрим новую МПСД, которая основана на схеме введения ограничений на число разнотипных вызовов в каналах соты. При использовании предложенной стратегии доступа стационарное распределение соответствующей модели имеет мультипликативный вид. Приближенный метод исследования данной стратегии доступа описан в работе [8].

**Описание модели и МПСД.** Будем рассматривать изолированную соту мультисервисной беспроводной сети связи, в которой осуществляется обработка речевых вызовов и вызовов данных. В сети используется фиксированная схема распределения каналов между ее сотами и данная сота имеет  $N > 1$  радиоканалов, используемых совместно с пуассоновскими потоками  $x$ -вызовов интенсивностью  $\lambda_x$ ,  $x \in \{od, ov, hd, hv\}$ .

Для удобства изложения предположим, что для обслуживания вызова каждого типа требуется лишь один свободный канал. Функции распределения времени занятия каналов разнотипными вызовами являются экспоненциальными, но, вообще говоря, с различными средними, т.е. средняя интенсивность обработки одного речевого вызова (нового или хэндовер) равна  $\mu_r$ , а соответствующий показатель для вызовов данных (новых или хэндовер) равен  $\mu_d$ .

Предположим также, что речевые вызовы любого типа (новые или хэндовер) имеют высокие приоритеты перед вызовами данных, а внутри каждого трафика хэндовер вызовы имеют высокие приоритеты перед новыми вызовами. Исходя из этого построим следующую МПСД.

Следует заметить, что если в момент поступления  $hv$ -вызова в системе имеется хотя бы один свободный канал, то он принимается для обслуживания, в противном случае он получает отказ. Для определения стратегии доступа вызовов остальных типов введем три параметра,  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ , которые удовлетворяют неравенству  $0 < R_1 \leq R_2 \leq R_3 \leq N$ . Предложенная стратегия определяет следующие правила приема разнотипных вызовов: если в момент поступления  $od$ -вызова (соответственно  $hd$ -вызова и  $ov$ -вызова) число вызовов данного типа меньше  $R_1$  (соответственно  $R_2$  и  $R_3$ ), то он принимается для обслуживания, в противном случае он получает отказ

(теряется). Проблема состоит в определении показателей QoS данной системы — вероятностей потери вызовов каждого типа и коэффициента использования каналов.

**Метод решения.** Состояние соты в произвольный момент времени описывается двумерным вектором  $\mathbf{n} = (n_d, n_v)$ , где  $n_d$  и  $n_v$  — суммарное число вызовов данных и речевых вызовов. Тогда фазовое пространство состояний соответствующей двумерной цепи Маркова определяется так:

$$S := \{\mathbf{n} : n_d = 0, 1, \dots, R_2, n_v = 0, 1, \dots, N; n_d + n_v \leq N\}.$$

Здесь и в дальнейшем  $a := b$  означает, что  $a$  определяется выражением  $b$ . Согласно введенной стратегии доступа элементы производящей матрицы данной цепи  $q(\mathbf{n}, \mathbf{n}')$ ,  $\mathbf{n}, \mathbf{n}' \in S$  определяются из следующих соотношений:

$$q(\mathbf{n}, \mathbf{n}') = \begin{cases} \lambda_d, & \text{если } n_d \leq R_1 - 1, \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_1; \\ \lambda_{hd}, & \text{если } R_1 \leq n_d \leq R_2 - 1, \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_1; \\ \lambda_v, & \text{если } n_v \leq R_3 - 1, \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_2; \\ \lambda_{hv}, & \text{если } R_3 \leq n_v \leq N - 1, \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_2; \\ n_d \mu_d, & \text{если } \mathbf{n}' = \mathbf{n} - \mathbf{e}_1; \\ n_v \mu_v, & \text{если } \mathbf{n}' = \mathbf{n} - \mathbf{e}_2; \\ 0 & \text{в остальных случаях.} \end{cases} \quad (1)$$

Здесь  $\lambda_d := \lambda_{od} + \lambda_{hd}$ ,  $\lambda_v := \lambda_{ov} + \lambda_{hv}$ ,  $\mathbf{e}_1 = (1, 0)$ ,  $\mathbf{e}_2 = (0, 1)$ .

Показатели QoS данной системы определяются как соответствующие маргинальные распределения исходной цепи. Пусть  $P_x$  означает стационарную вероятность потери вызовов типа  $x$ ,  $x \in \{hv, ov, hd, od\}$ . Поскольку хэндовер речевые вызовы теряются лишь в случае, когда все каналы соты заняты, согласно теореме PASTA [9] заключаем, что соответствующий показатель QoS при использовании предложенной стратегии доступа определяется так:

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

где  $p(\mathbf{n})$  — стационарная вероятность состояния  $\mathbf{n} \in S$ ;  $\delta(i, j)$  — символы Кронекера.

Потеря новых речевых вызовов происходит тогда, когда в момент их поступления число таких вызовов в соте равно  $R_3$  вне зависимости от числа занятых каналов. Следовательно, искомая вероятность потери вызовов данного типа определяется в виде

$$P_{ov} := \sum_{\mathbf{n} \in S} p(\mathbf{n}) I(n_v \geq R_3),$$

где  $I(A)$  — индикаторная функция события  $A$ . Рассуждая аналогичным образом заключаем, что вероятности потери новых  $P_{od}$  и хэндовер вызовов данных  $P_{hd}$  определяются из следующих выражений:

$$P_{od} := \sum_{\mathbf{n} \in S} p(\mathbf{n}) I(n_d \geq R_1) + \sum_{n \in S} p(\mathbf{n}) \delta(n_d + n_v, N) I(n_d < R_1),$$

$$P_{hd} := \sum_{\mathbf{n} \in S} p(\mathbf{n}) \delta(n_d, R_2) + \sum_{n \in S} p(\mathbf{n}) \delta(n_d + n_v, N) I(n_d < R_2).$$

Среднее число занятых каналов соты определяется так:

$$N_{av} := \sum_{k=1}^N k \xi(k),$$

где

$$\xi(k) := \sum_{\mathbf{n} \in S} p(\mathbf{n}) \delta(n_d + n_v, k).$$

Следовательно, проблема нахождения показателей QoS предложенной стратегии доступа сводится к вычислению стационарного распределения исходной цепи. Под традиционным путем вычисления указанного распределения подразумевается решение соответствующей системы уравнений глобального равновесия (СУГР). Согласно (1) СУГР имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} & (\lambda_d I(n_d \leq R_1 - 1) + \lambda_{hd} I(R_1 \leq n_d \leq R_2 - 1) + \lambda_v I(n_v \leq R_3 - 1) + \\ & + \lambda_{hv} I(R_3 \leq n_v \leq N - 1) + n_d \mu_d + n_v \mu_v) + p(\mathbf{n}) = \\ & = \lambda_d p(n - e_1) I(0 < n_d \leq R_1) + \lambda_{hd} p(n - e_1) I(R_1 < n_d \leq R_2) + \\ & + \lambda_v p(n - e_2) I(0 < n_v \leq R_3) + \lambda_{hv} p(n - e_2) I(R_3 < n_v \leq N) + \\ & + (n_d + 1) \mu_d p(n + e_1) + (n_v + 1) \mu_v p(n + e_2). \end{aligned} \quad (2)$$

К этой СУГР следует добавить условие нормировки:

$$\sum_{\mathbf{n} \in S} p(\mathbf{n}) = 1. \quad (3)$$

Прямое решение СУГР (2), (3) при ее больших размерностях связано с известными вычислительными трудностями. Вместе с тем, она имеет аналитическое решение. Действительно, с использованием теоремы Колмогорова [10] об обратимости двумерных цепей Маркова можно показать, что в данной системе существует нулевая циркуляция между ее состояниями, т.е. удовлетворяется условие локального баланса. Тогда вероятность состояния  $(i, j)$  можно выразить через вероятность состояния  $(0, 0)$ , при этом можно выбирать любой путь между этими двумя состояниями в соответствующем графе. Так, например, выбирая путь  $(0, 0), (1, 0), \dots, (i, 0), (i, 1), \dots, (i, j)$  между этими состояниями, в случае  $R_2 + R_3 \leq N$  получаем

следующее мультипликативное решение для стационарного распределения модели:

$$p(n_d, n_v) = \begin{cases} \frac{v_d^{n_d} v_v^{n_v}}{n_d! n_v!} p(0,0), \text{ если } n_d \leq R_1, n_v \leq R_3; \\ \frac{v_d^{n_d} v_v^{n_v}}{n_d! n_v!} \left(\frac{v_v}{v_{hv}}\right)^{R_3} p(0,0), \text{ если } n_d \leq R_1, R_3 < n_v \leq N; \\ \frac{v_{hd}^{n_d} v_v^{n_v}}{n_d! n_v!} \left(\frac{v_d}{v_{hd}}\right)^{R_1} p(0,0), \text{ если } R_1 < n_d \leq R_2, n_v \leq R_3; \\ \frac{v_{hd}^{n_d} v_v^{n_v}}{n_d! n_v!} \left(\frac{v_d}{v_{hd}}\right)^{R_1} \left(\frac{v_v}{v_{hv}}\right)^{R_3} p(0,0), \text{ если } R_1 < n_d \leq R_2, R_3 < n_v \leq N, \end{cases} \quad (4)$$

где  $p(0,0)$  находится из условия нормировки (3):

$$p(0,0) = \left( \sum_{n \in S_1} \frac{v_d^{n_d} v_v^{n_v}}{n_d! n_v!} + \left(\frac{v_v}{v_{hv}}\right)^{R_3} \sum_{n \in S_2} \frac{v_d^{n_d} v_v^{n_v}}{n_d! n_v!} + \left(\frac{v_d}{v_{hd}}\right)^{R_1} \times \right. \\ \left. \times \sum_{n \in S_3} \frac{v_{hd}^{n_d} v_v^{n_v}}{n_d! n_v!} + \left(\frac{v_d}{v_{hd}}\right)^{R_1} \left(\frac{v_v}{v_{hv}}\right)^{R_3} \sum_{n \in S_4} \frac{v_{hd}^{n_d} v_v^{n_v}}{n_d! n_v!} \right)^{-1}.$$

Здесь приняты следующие обозначения:

$$v_d := \lambda_d / \mu_d, v_v := \lambda_v / \mu_v, v_{hd} := \lambda_{hd} / \mu_d, v_{hv} := \lambda_{hv} / \mu_v;$$

$$S_1 := \{\mathbf{n} \in S : n_d \leq R_1, n_v \leq R_3\}, S_2 := \{\mathbf{n} \in S : n_d \leq R_1, R_3 + 1 \leq n_v \leq N\};$$

$$S_3 := \{\mathbf{n} \in S : R_1 + 1 \leq n_d \leq R_2, n_v \leq R_3\},$$

$$S_4 := \{\mathbf{n} \in S : R_1 + 1 \leq n_d \leq R_2, R_3 + 1 \leq n_v \leq N\}.$$

В случае  $R_2 + R_3 > N$  стационарное распределение модели имеет следующий вид:

$$p(n_d, n_v) = \begin{cases} \frac{v_d^{n_d} v_v^{n_v}}{n_d! n_v!} p(0,0), \text{ если } 0 \leq n_d \leq R_1, 0 \leq n_v \leq R_3; \\ \frac{v_{hd}^{n_d} v_v^{n_v}}{n_d! n_v!} \left(\frac{v_d}{v_{hd}}\right)^{R_2} p(0,0), \text{ если } R_1 + 1 \leq n_d \leq R_2, 0 \leq n_v \leq N - n_d; \\ \frac{v_d^{n_d} v_v^{n_v}}{n_d! n_v!} \left(\frac{v_v}{v_{hv}}\right)^{R_3} p(0,0), \text{ если } 0 \leq n_d \leq N - R_3 - 1, R_3 + 1 \leq n_v \leq N, \end{cases} \quad (5)$$

где

$$p(0,0) = \left( \sum_{n \in T_1} \frac{v_d^{n_d}}{n_d!} \frac{v_v^{n_v}}{n_v!} + \left( \frac{v_d}{v_{hd}} \right)^{R_1} \sum_{n \in T_2} \frac{v_{hd}^{n_d}}{n_d!} \frac{v_v^{n_v}}{n_v!} + \left( \frac{v_v}{v_{hv}} \right)^{R_3} \sum_{n \in T_3} \frac{v_d^{n_d}}{n_d!} \frac{v_{hv}^{n_v}}{n_v!} \right)^{-1};$$

$$T_1 := \{\mathbf{n} \in S : 0 \leq n_d \leq R_1, 0 \leq n_v \leq R_3\};$$

$$T_2 := \{\mathbf{n} \in S : R_1 + 1 \leq n_d \leq R_2, 0 \leq n_v \leq N - n_d\};$$

$$T_3 := \{\mathbf{n} \in S : 0 \leq n_d \leq N - R_3 - 1, R_3 + 1 \leq n_v \leq N\}.$$

Легко показать, что мультипликативное представление (4) (или (5)) является решением СУГР. С этой целью достаточно доказать, что оно является решением системы уравнений локального равновесия (СУЛР). Докажем этот факт для случая  $R_2 + R_3 \leq N$ . Действительно, из (1) заключаем, что, например, для состояний  $(n_d, n_v)$  и  $(n_d, n_v + 1)$ , где  $n_d \leq R_1, R_3 \leq n_v < N$ , уравнение локального баланса имеет следующий вид:

$$\lambda_{hv} p(n_d, n_v) = (n_v + 1) \mu_v p(n_d, n_v + 1). \quad (6)$$

Однако из второй строки формулы (4) находим

$$\frac{p(n_d, n_v + 1)}{p(n_d, n_v)} = \frac{v_{hv}}{n_v + 1} = \frac{\lambda_{hv}}{(n_v + 1) \mu_v}.$$

Следовательно, (4) является решением (6). Рассуждая аналогично, заключаем, что мультипликативное представление (4) (или (5)) является решением СУЛР, а следовательно, оно является и решением СУГР.

Теперь рассмотрим некоторые важные частные случаи.

1. *Полнодоступная стратегия доступа.* В данной стратегии не существует различия между трафиками, т.е. предполагается, что  $R_1 = R_2 = R_3 = N$ . В этом случае вероятности потерь разнотипных трафиков равны между собой. Эта вероятность согласно теореме PASTA [9] совпадает с вероятностью того, что поступивший вызов любого типа застает все каналы системы занятыми. Тогда из формулы (5) при  $R_1 = R_2 = R_3 = N$  получаем известное стационарное распределение двумерной модели Эрланга с чистыми потерями:

$$p(\mathbf{n}) = G^{-1} \frac{v_d^{n_d}}{n_d!} \frac{v_v^{n_v}}{n_v!},$$

где

$$G := \sum_{\mathbf{n} \in S} \frac{v_d^{n_d}}{n_d!} \frac{v_v^{n_v}}{n_v!}.$$

Искомые показатели QoS вычисляются так:

$$P_{hv} = P_{ov} = P_{hd} = P_{od} = \sum_{\mathbf{n} \in S_N} p(\mathbf{n}); \quad N_{av} = \sum_{k=1}^N k \sum_{\mathbf{n} \in S_k} p(\mathbf{n}),$$

где

$$S_k := \{\mathbf{n} \in S : n_d + n_v = k\}, \quad k=1, \dots, N.$$

2. *Стратегия доступа с одним порогом.* В данной стратегии не различают новые и хэндовер вызовы каждого трафика. Предполагается, что  $R_1 = R_2$  и  $R_3 = N$ , при этом  $R_2 < R_3$ , т.е. имеется лишь один пороговый параметр. Для этого случая из (5) находим

$$P_{hv} = P_{ov} \approx \sum_{k=0}^{R_2-1} \pi(<k>) \rho_k(N-k);$$

$$P_{hd} = P_{od} \approx \sum_{k=0}^{R_2} \pi(<k>) \rho_k(N-k).$$

Последние результаты полностью совпадают с результатами работы [11, с. 204—206].

**Численные результаты расчета модели.** Разработанный подход позволяет исследовать поведение показателей QoS изучаемой модели относительно изменения значений параметров предложенной стратегии доступа и трафиков. Результаты расчета зависимости показателей QoS от параметра  $R_1$  при фиксированных значениях остальных параметров модели показаны на рис. 1 и 2, где выбраны следующие исходные данные гипотетической модели:  $N = 15$ ,  $R_2 = 10$ ,  $R_3 = 13$ ,  $v_d = 2,5$ ,  $v_v = 1,3$ ,  $v_{hd} = 1$ ,  $v_{hv} := 0,3$ .

Проведенные вычислительные эксперименты свидетельствуют о том, что при увеличении значения одного из порогов (в допустимой области) уменьшаются лишь вероятности потерь вызовов соответствующего типа. На рис. 1, 2 видно, что увеличение значения параметра  $R_1$  приводит к уменьшению вероятности потери новых вызовов данных, при этом увеличиваются остальные три вероятности потерь (см. рис. 1). Увеличение значения любого параметра стратегии и интенсивности каждого трафика приводят к увеличению коэффициента использования каналов (см. рис. 2). Эти результаты были вполне ожидаемыми, так как увеличение значения параметра  $R_1$  увеличивает шансы новых вызовов данных быть принятыми в каналы, при этом одновременно уменьшаются шансы вызовов из трафиков других типов.

**Выбор эффективных значений параметров МПСД.** Анализ результатов вычислительных экспериментов позволяет сделать вывод о том, что изучаемые индикаторы QoS имеют свойства монотонности относительно

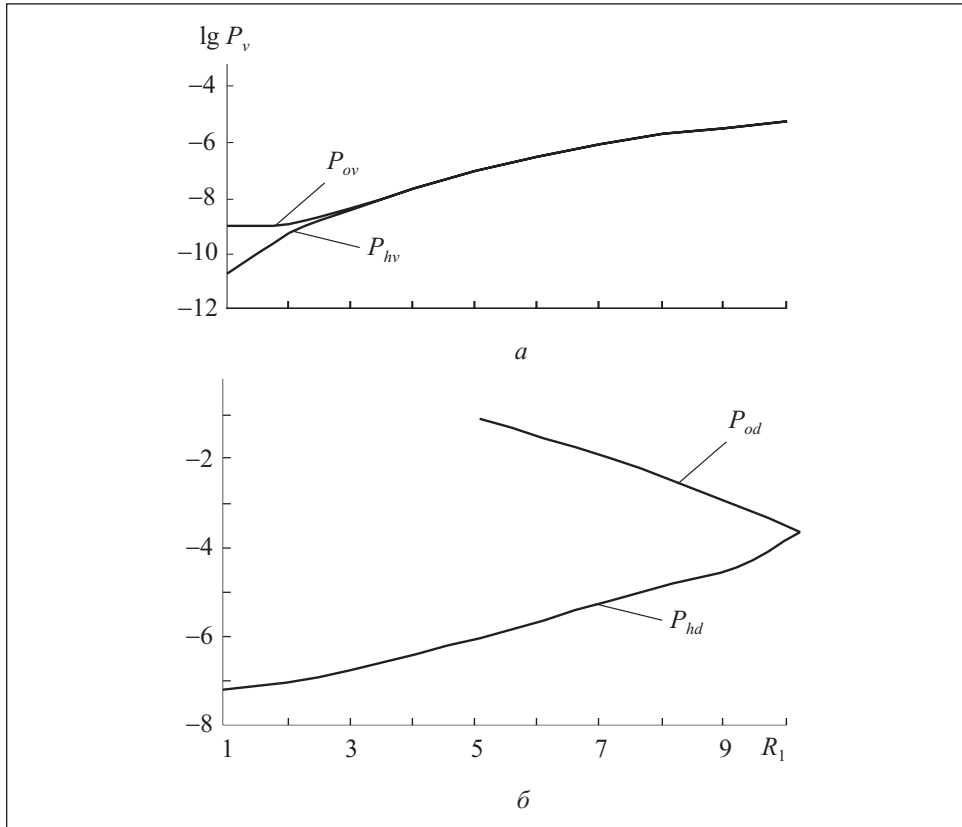


Рис. 1. Кривые зависимости вероятностей потери вызовов речи (а) и данных (б) от  $R_1$

изменения параметров введенной стратегии доступа (см. рис. 1 и 2). Это позволяет решать различные проблемы, относящиеся к выбору таких значений этих параметров, которые удовлетворяли бы заданным ограничениям на желаемые показатели QoS изучаемой модели при известных нагрузках. Такие значения параметров данной стратегии будем называть эффективными значениями.

Возможны различные постановки задач нахождения эффективных значений параметров введенной стратегии. Рассмотрим одну из таких задач. Пусть заданы ограничения на вероятности потерь разнотипных вызовов:

$$P_x \leq \varepsilon_x, \quad x \in \{od, ov, hd, hv\}. \quad (7)$$

Предположим, что общее число каналов соты и нагрузочные параметры разнотипных вызовов являются фиксированными величинами. Иными



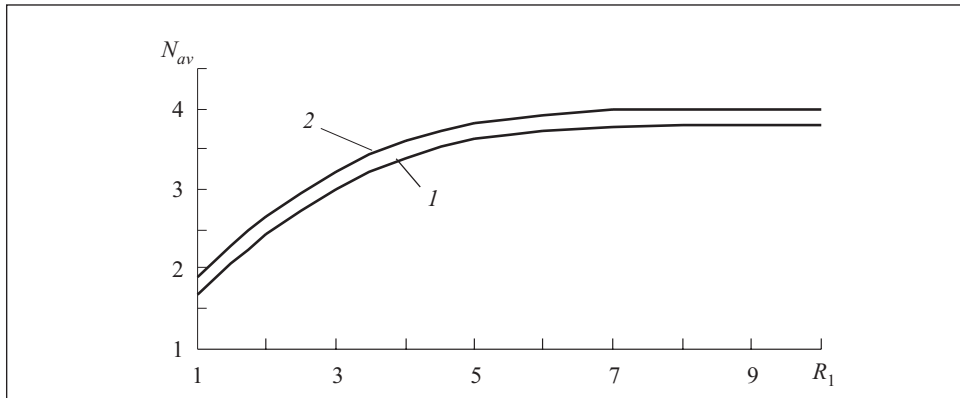


Рис. 2. Зависимость среднего числа занятых каналов от  $R_1$ : 1 —  $\lambda_{ov} = 10$ ; 2 —  $\lambda_{ov} = 12$

словами, только параметры стратегии поддаются регулированию и задача состоит в нахождении таких (эффективных) значений, которые удовлетворяли бы ограничениям (7).

В такой общей постановке решение данной задачи оказывается возможным лишь при малых значениях числа каналов соты. В случае возрастания этих значений при решении задачи вследствие ее комбинаторного характера возникают непреодолимые трудности. Поэтому рассмотрим следующую частную постановку общей задачи (7).

Будем полагать, что параметры  $R_2$  и  $R_3$  — также фиксированные и единственным регулируемым параметром является  $R_1$ . Для удобства изложения далее регулируемый параметр  $R_1$  явным образом указан в записях изучаемых функций (показателей QoS) в качестве их аргумента. Тогда исходная задача переформулируется так: требуется найти такой промежуток изменения параметра  $R_1$  (максимальной длины), чтобы удовлетворялись заданные ограничения (7) на вероятности потерь разнотипных вызовов, или формально: требуется найти такой интервал  $[\underline{R}_1, \overline{R}_1] \subset [1, R_2]$ , на котором

$$\overline{R}_1 - \underline{R}_1 \rightarrow \max, \quad (8)$$

при ограничениях

$$P_x(R_1) \leq \varepsilon_x, \forall R_1 \in [\underline{R}_1, \overline{R}_1], x \in \{ov, hv, od, hd\}. \quad (9)$$

Прежде чем перейти к описанию алгоритма решения задачи (8), (9), укажем следующие неуплощаемые границы изучаемых функций  $P_x$ ,  $x \in \{od, ov, hd, hv\}$ , вытекающие из свойства их монотонности:

$$P_{od}(R_2) \leq P_{od}(R_1) \leq P_{od}(1);$$

$$\begin{aligned} P_{hd}(1) \leq P_{hd}(R_1) \leq P_{hd}(R_2); \\ P_{ov}(1) \leq P_{ov}(R_1) \leq P_{ov}(R_2); \end{aligned} \tag{10}$$

$$P_{hv}(1) \leq P_{hv}(R_1) \leq P_{hv}(R_2) \quad \forall R_1 \in [1, R_2].$$

Соотношения (10) и монотонность изучаемых функций позволяют предложить следующий алгоритм решения задачи (8), (9):

1. Если  $\varepsilon_x < \min_{R_1 \in [1, R_2]} P_x(R_1)$  хотя бы для одного  $x \in \{od, ov, hd, hv\}$ , то задача (8), (9) не имеет решения.

2. Параллельно решаем следующие задачи:

$$R_x := \arg \max_{R_1 \in [1, R_2]} \{P_x(R_1) \leq \varepsilon_x\}, \quad x \in \{ov, hv\}.$$

Полагаем  $R^* := \min\{R_{ov}, R_{hv}\}$ .

3. Параллельно решаем следующие задачи:

$$R_{od} := \arg \min_{R_1 \in [1, R_2]} \{P_{od}(R_1) \leq \varepsilon_{od}\}; \quad R_{hd} := \arg \max_{R_1 \in [1, R_2]} \{P_{hd}(R_1) \leq \varepsilon_{hd}\}.$$

4. Если  $R_{od} > R_{hd}$ , то задача (8), (9) не имеет решения, иначе решение данной задачи определяется так:

$$[\underline{R}_1, \overline{R}_1] = [R_{od}, R_{hd}] \cap [1, R^*].$$

Следует заметить, что в шагах 2 и 3 данного алгоритма для решения указанных задач с учетом монотонности соответствующих функций может быть использован метод дихотомии (деления пополам). Некоторые результаты решения задачи (8), (9) приведены в таблице, где символ  $\emptyset$

$\varepsilon_{ov}$	$\varepsilon_{hv}$	$\varepsilon_{hd}$	$\varepsilon_{od}$	$[\underline{R}_1, \overline{R}_1]$
$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	$\emptyset$
$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	$\emptyset$
$10^{-3}$	$10^{-7}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	$\emptyset$
$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	[5, 10]
$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	[5, 10]
$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	[5, 10]
$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-2}$	$10^{-2}$	[8, 10]
$10^{-4}$	$10^{-6}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$\emptyset$
$10^{-3}$	$10^{-5}$	$10^{-3}$	$10^{-1}$	$\emptyset$
$10^{-3}$	$10^{-5}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	[5, 7]

означает, что задача не имеет решения (исходные данные выбирались также, как и при построении графиков на рис. 1 и 2).

Выше было принято допущение о том, что параметры  $R_2$  и  $R_3$  являются фиксированными величинами. Вместе с тем, заметим, что сформулированная задача может быть решена при каждом допустимом значении параметра  $R_2$  (при фиксированных значениях  $N$  и  $R_3$ ), и в результате этого итеративного процесса определяют множество эффективных значений двух параметров ( $R_1$  и  $R_2$ ) введенной стратегии. Выполнение этой процедуры одновременно для трех параметров связано с техническими трудностями.

Следует заметить, что определенный интерес представляет сравнительный анализ показателей QoS предложенной стратегии и стратегии, основанной на схеме резервирования каналов [4]. Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующее заключение: при одних и тех же значениях числа каналов соты, нагрузок и желаемых диапазонов изменения значений показателей QoS первая из этих стратегий удовлетворяет им, а вторая — нет. Поскольку обе стратегии имеют одинаковую степень сложности при реализации, то в каждом конкретном случае необходимо провести серьезные исследования по выбору соответствующей стратегии доступа.

**Выводы.** Предложенный метод численного исследования модели беспроводных мультисервисных сетей связи позволяет исследовать многоскоростные модели, в которых один широкополосный вызов данных требует одновременно  $b > 1$  каналов. Этот метод может быть также использован для исследования моделей мультисервисных сетей, в которых допускается образование очереди (конечной или бесконечной) разнотипных вызовов, что является предметом дальнейших исследований.

A new multi-parametric access strategy in multi-service cellular wireless networks is proposed. It is based on restriction of the number of new and handover calls from different traffics in channels. A method to investigate service metrics quality in such networks is proposed. The problem of finding the effective values of the parameters of the given strategy is solved. Results of numerical experiments are shown.

1. *Katzela I, Naghshineh M.* Channel assignment schemes for cellular mobile telecommunication systems // *IEEE Personal Communications*. — 1996. — June. — P. 10—31.
2. *Haring G., Marie R., Puigjaner R., Trivedi K.* Loss formulas and their application to optimization for cellular networks // *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. — 2001. — Vol. 50, No 3. — P. 664—673.
3. *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. — Vol. 29, No 8. — P. 1386—1392.

4. *Ogbonmwan S. E., Wei L.* Multi-threshold bandwidth reservation scheme of an integrated voice / data wireless network // *Computer Communications*. — 2006. — Vol. 29, No 9. — P. 1504—1515.
5. *Chen H., Huang L., Kumar S., Kuo C. C.* Radio resource management for multimedia QoS support in wireless networks. — Boston : Kluwer Academic Publishers, 2004.
6. *Yue W., Matsumoto Y.* Performance analysis of multi-channel and multi-traffic on wireless communication networks. — Boston : Kluwer Academic Publishers, 2002.
7. *DasBit S., Mitra S.* Challenges of computing in mobile cellular environment — a survey // *Computer Communications*. — 2003. — Vol. 26, No 8. — P. 2090—2105.
8. *Фаттахова М. И.* Расчет модели обслуживания вызовов в мультисервисных сетях сотовой связи с ограниченным доступом // *Материалы междунар. науч. конф. «Современные математические методы анализа и оптимизации информационно-телекоммуникационных сетей»*. — Минск, 2009. — С. 67—72.
9. *Wolff R.W.* Poisson arrivals see time averages // *Operations Research*. — 1992. — Vol. 30, No 2. — P. 223—231.
10. *Kelly F. P.* Reversibility and stochastic networks. — New York : John Wiley & Sons, 1979.
11. *Tijms H. C.* A first course in stochastic models. — London : John Wiley & Sons, 2003.

Поступила 08.04.09

*ФАТТАХОВА Мехрибан Иса кызы, канд. техн. наук, доцент, вед. науч. сотр. Ин-та кибернетики НАН Азербайджана. В 1991 г. окончила Бакинский госуниверситет. Область научных исследований — коммуникационные сети, теория телетрафика, численные методы.*