



УДК 004.7.052

М.И. Фаттахова, д-р техн. наук, **Г.М. Велиджанова**

Ин-т систем управления НАН Азербайджана
(Азербайджан, АЗ1141, Баку, ул. Б. Вахабзаде, 9,
тел. +994 12 5392560, e-mail: meri-fattah@mail.ru),

Г.А. Кадыров

Национальная академия авиации Азербайджана
(Азербайджан, АЗ1045, Баку, пр-т Мардакан, 30,
тел. +994 12 4972600)

Анализ схем разделения каналов в сотовых сетях связи без очередей *

Предложены две схемы разделения каналов в интегральных сотовых сетях связи, в которых осуществляется обработка узкополосных речевых вызовов и вызовов данных, являющихся широкополосными. В обеих схемах весь пул каналов изолированно разделен между разнотипными вызовами, имеется общая зона каналов для обслуживания разнотипных вызовов. В одной схеме индивидуальные и общая зоны каналов используются равноправно вызовами любого типа. В другой схеме индивидуальные зоны используются согласно стратегии резервирования каналов для соответствующих хэндовер вызовов и в общей зоне обслуживаются лишь хэндовер вызовы. Разработаны алгоритмы расчета показателей качества обслуживания каждой схемы распределения каналов при заданных значениях числа каналов и нагрузок разнотипных вызовов. Приведены результаты численных экспериментов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: сотовая сеть, разделение каналов, качество обслуживания, методы расчета.

Запропоновано дві схеми розподілу каналів у інтегральних сотових сітках зв'язку, в яких здійснюється обробка нових і хендовер викликів даних та викликів мовлення. У кожній схемі весь пул каналів ізольовано розподілено між різнотипними викликами та є загальна зона каналів для обслуговування різнотипних викликів. У одній схемі індивідуальні та загальна зони використовуються рівноправно викликами будь-якого типу. У другій схемі індивідуальні зони використовуються згідно стратегії резервування каналів для відповідних хендовер викликів, а у загальній зоні обслуговуються лише хендовер виклики. Розроблено алгоритми розрахунку показників якості обслуговування кожної схеми розподілу каналів при заданих значеннях їх кількості та навантажень різнотипних викликів. Наведено результати числових експериментів.

К л ю ч о в і с л о в а: сотова сітка, розподіл каналів, якість обслуговування, методи розрахунку.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Развития Науки при Президенте Азербайджанской Республики. Грант № EIF-RITN-MQM-2-2013-7(13)-29/01/1

© М.И. Фаттахова, Г.М. Велиджанова, Г.А. Кадыров, 2017

Разделение общего пула каналов между разнотипными вызовами является эффективным средством для удовлетворения заданных требований к качеству обслуживания (Quality of Service, QoS) в сетях сотовой связи (ССС). Соответствующие проблемы детально изложены в работах [1—10].

Проблемы распределения общего пула каналов между разнотипными вызовами подробно изучены для моделей с разнотипными вызовами, требующими одинаковых полос пропускания (каналов). Вместе с тем, в СССР для передачи вызовов данных требуется одновременно несколько каналов (т.е. вызовы данных являются широкополосными), а для передачи вызовов речи достаточно лишь одного свободного канала (т.е. вызовы речи являются узкополосными). Анализ доступной литературы показал, что задачи распределения общего пула каналов между разнотипными вызовами в таких моделях недостаточно изучены [11—14].

Оригинальная схема (Dynamic Partition, DP) разделения каналов в СССР предложена в работе [15], согласно которой общий пул каналов делится на три изолированные зоны: по одной индивидуальной зоне для речевых вызовов и вызовов данных и общая зона для совместного использования. В зоне каналов для речевых вызовов ограничивается доступ новых вызовов речи, т.е. такие вызовы принимаются лишь тогда, когда число занятых каналов в соответствующей индивидуальной зоне меньше определенной пороговой величины. Общую зону разнотипные вызовы используют равноправно. В качестве математической модели этой системы используется трехмерная цепь Маркова (ЦМ), для расчета стационарного распределения которой разработан рекурсивный метод. Показатели QoS при использовании DP-схемы разделения каналов находят как соответствующие маргинальные распределения этой цепи.

Предлагаемые схемы изолированного разделения каналов идейно близки к DP-схеме [15], но имеют следующие отличия:

- 1) в них различаются новые и хэндовер вызовы данных;
- 2) предполагается, что общая зона каналов может быть использована лишь хэндовер вызовами данных и речи;
- 3) задается ограничение на максимальное число хэндовер вызовов речи в общей зоне каналов (с целью уменьшения вероятности потери широкополосных вызовов данных).

Главное отличие состоит в том, что для исследования этой схемы предложен аналитический подход, подобный использованному в работе [16], где изучены модели СССР, в которых для разнотипных вызовов требуются одинаковые полосы пропускания. В отличие от [16] здесь получены явные формулы для вычисления показателей QoS сети при использовании обеих схем разделения каналов и проведены численные эксперименты.

Описание моделей и постановка задачи. Базовая станция изолированной соты сети имеет $N > 1$ радиоканалов. В этих каналах обрабатываются четыре пуассоновских потока вызовов: хэндовер речевые вызовы (hv -вызовы), новые речевые вызовы (ov -вызовы), хэндовер вызовы данных (hd -вызовы) и новые вызовы данных (od -вызовы).

Для обработки вызовов речи (новых и хэндовер) требуется лишь один канал, а для обработки вызовов данных (новых и хэндовер) требуются одновременно $b, b > 1$, каналов. Весь пул каналов разделен на три группы: N_v каналов из общего числа N каналов выделяются лишь для речевых вызовов (v -вызовов), N_d каналов из общего числа N каналов выделяются лишь для вызовов данных (d -вызовы), а остальные $N_{vd} = N - N_v - N_d$ каналов используются совместно вызовами речи и данных. Иными словами, весь пул из N каналов делится на три зоны: индивидуальную зону из N_v каналов (v -зона лишь для v -вызовов), индивидуальную зону из N_d каналов (d -зона лишь для d -вызовов) и общую из N_{vd} каналов (vd -зона для v - и d -вызовов). Изолированность распределения каналов означает, что ни один канал не может быть переведен из одной зоны в другую. При этом для эффективного использования d -зоны каналов полагаем, что b является делителем N_d , т.е. $N_d = K_d b$, где K_d — максимально возможное число d -вызовов в указанной зоне каналов.

Интенсивность x -вызовов равна $\lambda_x, x \in \{hv, ov, hd, od\}$. Функции распределения времени занятия каналов разнотипными вызовами являются экспоненциальными, среднее время занятия канала для одного речевого вызова (нового или хэндовер) равно $1/\mu_v$, а соответствующий показатель для вызовов данных (новых или хэндовер) равен $1/\mu_d$. Идентичность средних времен занятия каналов новых и хэндовер вызовов обоих типов объясняется отсутствием памяти экспоненциального распределения. Функция распределения времени занятия канала v -вызовом (d -вызовом) каждого типа в vd -зоне также является экспоненциальной с тем же средним.

Рассмотрим две схемы доступа вызовов в общую зону каналов.

С х е м а I. В этой схеме нет различий между новыми и хэндовер вызовами обоих трафиков. Разнотипные вызовы используют каналы соответствующих индивидуальных зон согласно полнодоступной схеме (Complete Sharing, CS), т.е. если в момент поступления вызова речи (данных) любого типа имеется хотя бы один свободный канал в соответствующей индивидуальной зоне, то он занимает любой свободный канал этой зоны, иначе — поиск свободного канала осуществляется в общей зоне. Это означает, что поступивший вызов речи (новый или хэндовер) принимается в vd -зону, если в этой зоне имеется хотя бы один свободный канал, в противном случае поступивший в vd -зону вызов речи теряется. Точно

также поступивший вызов данных (новый или хэндовер) принимается в vd -зону, если в этой зоне имеются хотя бы b свободных каналов, в противном случае, т.е. если число свободных каналов в общей зоне меньше b , то поступивший в vd -зону вызов данных теряется.

С х е м а II. В этой схеме внутри индивидуальных зон используется стратегия резервирования каналов для соответствующих хэндовер вызовов. Это означает, что если в момент поступления hv -вызова имеется хотя бы один свободный канал в v -зоне, то он занимает любой свободный канал этой зоны. Если в момент поступления ov -вызова число занятых каналов в этой зоне меньше G_{ov} , $1 \leq G_{ov} \leq N_v$, то он занимает любой свободный канал этой зоны. В противном случае поиск свободного канала происходит в vd -зоне.

Доступ d -вызовов осуществляется следующим образом. Если в момент поступления hd -вызова имеется хотя бы один свободный канал в d -зоне, то он занимает любой свободный канал этой зоны. Если в момент поступления od -вызова число занятых каналов в этой зоне меньше G_{od} , $1 \leq G_{od} \leq N_d$, то он занимает любые b свободных каналов этой зоны. В противном случае поиск свободных каналов осуществляется в vd -зоне. Далее будем полагать, что b является делителем G_d , т.е. $G_{od} = R_{od}b$, при этом $R_{od} < K_d$.

Предположим, что лишь хэндовер вызовы речи и данных могут обрабатываться в общей зоне при ограничении на максимальное число хэндовер речевых вызовов в общей зоне. Это означает, что поступивший хэндовер вызов речи принимается в vd -зону для обслуживания, если имеется хотя бы один свободный канал в этой зоне и число вызовов данного типа в этой зоне меньше, чем некоторый пороговый параметр R_{hv} , $1 \leq R_{hv} \leq N_{vd}$. В остальных случаях, т.е. когда все каналы общей зоны заняты или число вызовов речи равно R_{hv} , поступивший в vd -зону вызов речи теряется. Здесь, как и выше, отсутствует ограничение на число хэндовер вызовов данных в общей зоне.

Основными показателями QoS разнотипных вызовов являются вероятности их потери. Проблема состоит в нахождении параметров P_x , $x \in \{hv, ov, hd, od\}$ и C_u — коэффициента использования каналов общей зоны.

Метод расчета. Согласно схеме I v - и d -вызовы, получившие отказ в своей (индивидуальной) зоне каналов, поступают в общую зону. Интенсивность поступления v -вызовов ($\tilde{\lambda}_v$) и d -вызовов ($\tilde{\lambda}_d$) в общую зону определяются так: $\tilde{\lambda}_v = \lambda_v P_v^{(i)}$, $\tilde{\lambda}_d = \lambda_d P_d^{(i)}$, где $\lambda_v = \lambda_{ov} + \lambda_{hv}$, $\lambda_d = \lambda_{od} + \lambda_{hd}$; $P_v^{(i)}$ и $P_d^{(i)}$ — вероятности потери соответственно ov -вызовов и hd -вызовов в v -зоне каналов. Очевидно, что величины $P_v^{(i)}$ и $P_d^{(i)}$ определяются как

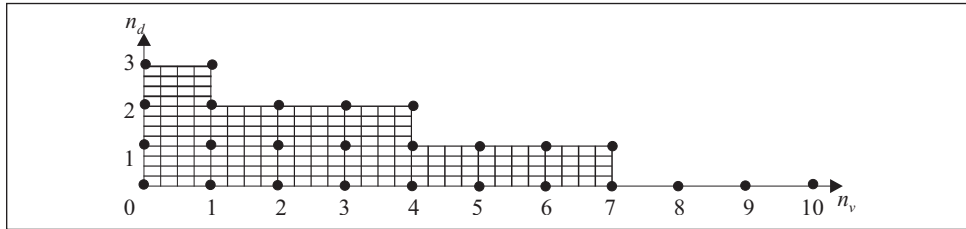


Рис. 1. Вид ФПС модели согласно схеме I при $b = 3, N_{vd} = 10$

вероятности потери в классических моделях Эрланга $M/M/N_v/0$ и $M/M/K_d/0$ с нагрузками соответственно $v_v = \lambda_v / \mu_v$ и $v_d = \lambda_d / \mu_d$, т.е. с помощью B -формулы Эрланга:

$$P_i^{(i)} = \frac{v_v^{N_v} / N_v!}{\sum_{k=0}^{N_v} v_v^k / k!}, \quad P_d^{(i)} = \frac{v_d^{K_d} / K_d!}{\sum_{k=0}^{K_d} v_d^k / k!}.$$

Потерянные в индивидуальных зонах разнотипные вызовы поступают в общую зону, которая имеет $N_{vd} > 1$ каналов. Поэтому необходимо исследовать систему обслуживания с двумя пуассоновскими потоками с интенсивностями $\tilde{\lambda}_v$ и $\tilde{\lambda}_d$. Поскольку средние времена обработки новых и хэндовер вызовов каждого типа одинаковы, состояние данной системы в произвольный момент времени определяется двумерным вектором $\mathbf{n} = (n_d, n_v)$, где n_d и n_v — соответственно суммарное число d -вызовов и v -вызовов в общей зоне. В схеме I разнотипные вызовы равноправно используют каналы общей зоны, поэтому фазовое пространство состояний (ФПС) соты определяется так (рис. 1): $S_1 = \{\mathbf{n} : n_d = 0, 1, \dots, [N_{vd} / b], n_v = 0, 1, \dots, N_{vd}; n_d b + n_v \leq N_{vd}\}$, где $[x]$ — целая часть x .

Элементы производящей матрицы данной двумерной ЦМ обозначим $q_1(\mathbf{n}, \mathbf{n}')$. Эти величины определяются из следующих соотношений (рис. 2):

$$q_1(\mathbf{n}, \mathbf{n}') = \begin{cases} \tilde{\lambda}_d, & \text{если } \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_1, \\ \tilde{\lambda}_v, & \text{если } \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_2, \\ n_d \mu_d, & \text{если } \mathbf{n}' = \mathbf{n} - \mathbf{e}_1, \\ n_v \mu_v, & \text{если } \mathbf{n}' = \mathbf{n} - \mathbf{e}_2, \\ 0 & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (1)$$

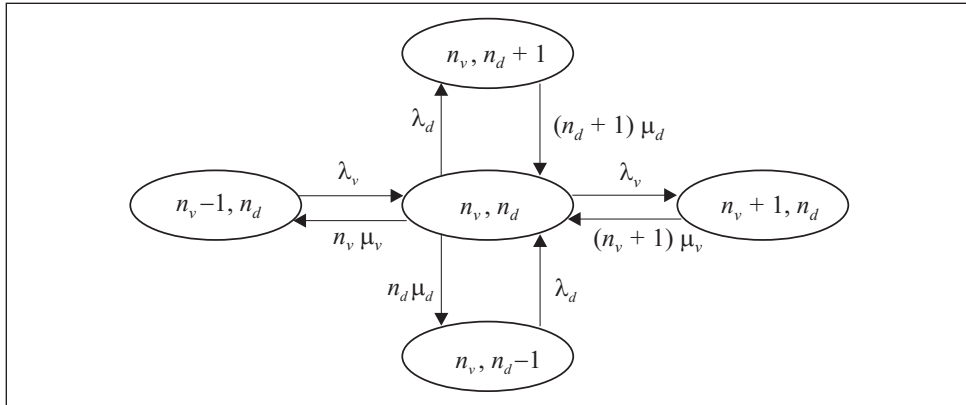


Рис. 2. Диаграмма переходов между состояниями модели

где $\mathbf{e}_1 = (0, 1)$, $\mathbf{e}_2 = (1, 0)$. Вероятность состояния (n_d, n_v) обозначим через $p_1(n_d, n_v)$.

Утверждение 1. Стационарное распределение вероятностей состояний системы при использовании схемы I имеет следующий вид:

$$p_1(n_d, n_v) = p_1(0, 0) \frac{\tilde{\nu}_d^{n_d} \tilde{\nu}_v^{n_v}}{n_d! n_v!}, \quad (2)$$

где $\tilde{\nu}_d = \tilde{\lambda}_d / \mu_d$; $\tilde{\nu}_v = \tilde{\lambda}_v / \mu_v$; $p_1(0, 0)$ находим из условия нормировки, т.е.

$$\sum_{(n_d, n_v) \in S_1} p_1(n_d, n_v) = 1.$$

Доказательство. Из теоремы Колмогорова [17] об обратимости двумерных ЦМ вытекает, что в данной системе существует нулевая циркуляция между ее состояниями, т.е. удовлетворяется условие локального баланса. Тогда можно выразить вероятность любого состояния (n_d, n_v) через вероятность состояния $(0, 0)$. При этом можно выбирать любой путь между этими двумя состояниями в соответствующем графе переходов между состояниями цепи. Таким образом, если выбран путь $(0, 0), (1, 0), \dots, (n_d, 0), (n_d, 1), \dots, (n_d, n_v)$ между состояниями $(0, 0)$ и (n_d, n_v) , то мультипликативное представление (2) справедливо для нахождения вероятностей состояний изучаемой модели.

Поскольку речевые вызовы теряются в случае, когда все каналы общей зоны заняты, вероятности потери таких вызовов вычисляем по следующей формуле:

$$P_v = \sum_{(n_d, n_v) \in S_1} p_1(n_d, n_v) I(n_v + bn_d = N_{vd}),$$

где $I(A)$ — индикаторная функция события A . Вызовы данных теряются, когда число свободных каналов общей зоны меньше b , следовательно, вероятность потери таких вызовов вычисляем по формуле:

$$P_d = \sum_{(n_d, n_v) \in S_1} p_1(n_d, n_v) I(N_{vd} - n_v - bn_d < b). \quad (3)$$

Коэффициент использования каналов общей зоны определяется так:

$$C_u = \left(\sum_{(n_d, n_v) \in S_1} p_1(n_d, n_v)(n_v + bn_d) \right) / N_{vd}. \quad (4)$$

Рассмотрим схему II. Интенсивность поступления ov -вызовов ($\tilde{\lambda}_{ov}$) и hv -вызовов ($\tilde{\lambda}_{hv}$) в общую зону определяется так:

$$\tilde{\lambda}_{ov} = \lambda_{ov} P_{ov}^{(i)}, \quad \tilde{\lambda}_{hv} = \lambda_{hv} P_{hv}^{(i)}, \quad (5)$$

где $P_{ov}^{(i)}$ и $P_{hv}^{(i)}$ — вероятности потери ov -вызовов и hv -вызовов в v -зоне каналов. Аналогично вычисляем интенсивности поступления od -вызовов ($\tilde{\lambda}_{od}$) и hd -вызовов ($\tilde{\lambda}_{hd}$) в общую зону:

$$\tilde{\lambda}_{od} = \lambda_{od} P_{od}^{(i)}, \quad \tilde{\lambda}_{hd} = \lambda_{hd} P_{hd}^{(i)}, \quad (6)$$

где $P_{od}^{(i)}$ и $P_{hd}^{(i)}$ — вероятности потери od - и hd -вызовов в d -зоне каналов.

Рассмотрим задачу нахождения вероятностей потери ov -вызовов и hv -вызовов в v -зоне каналов. Поскольку рассматривается изолированная схема разделения каналов, можно использовать систему обслуживания с двумя типами вызовов, в которой используется схема резервирования каналов для hv -вызовов. Состояние этой системы может быть задано параметром $i, i = 0, 1, \dots, N_v$, который указывает число занятых каналов системы. Эти состояния образуют процесс размножения и гибели, где интенсивность перехода из состояния i в состояние $i + 1$ равна λ_v , если $i < G_{ov}$, иначе — указанная интенсивность равна λ_{hv} . Интенсивность перехода из состояния i в состояние $i - 1$ равна $i\mu_v$.

Вероятность состояния i этого процесса обозначим $\rho_v(i)$. Тогда, используя общее решение для процессов размножения и гибели, получаем

$$\rho_v(i) = \begin{cases} \frac{v_v^i}{i!} \rho_v(0), & \text{если } 0 \leq i \leq G_{ov}, \\ \left(\frac{v_v}{v_{hv}} \right)^{G_{ov}} \frac{v_{hv}^i}{i!} \rho_v(0), & \text{если } G_{ov} + 1 \leq i \leq N_v, \end{cases}$$

где $v_v = (\lambda_{ov} + \lambda_{hv}) / \mu_v$; $v_{hv} = \lambda_{hv} / \mu_v$; $\rho_v(0)$ находим из условия нормировки,

$$\rho_v(0) = \left(\sum_{i=0}^{G_{ov}} \frac{v_v^i}{i!} + \left(\frac{v_v}{v_{hv}} \right)^{G_{ov}} \sum_{i=G_{ov}+1}^{N_v} \frac{v_{hv}^i}{i!} \right)^{-1}.$$

Следовательно, искомые вероятности потери ov -вызовов и hv -вызовов в v -зоне каналов определяются так:

$$P_{ov}^{(i)} = \sum_{i=G_{ov}}^{N_v} \rho_v(i), \quad P_{hv}^{(i)} = \rho_v(N_v). \quad (7)$$

Теперь рассмотрим задачу нахождения вероятностей потери od -вызовов и hd -вызовов в d -зоне каналов. Поскольку d -вызовы требуют для обслуживания одновременно b каналов, состояние d -зоны каналов может быть задано параметром $i, i = 0, 1, \dots, K_d$, который указывает число вызовов в этой зоне. Эти состояния образуют процесс размножения и гибели, где интенсивность перехода из состояния i в состояние $i+1$ равна λ_d , если $i < R_{od}$, иначе указанная интенсивность равна λ_{hd} . Интенсивность перехода из состояния i в состояние $i-1$ равна $i\mu_d$. Тогда вероятности состояний этого процесса вычисляются так:

$$\rho_d(i) = \begin{cases} \frac{v_d^i}{i!} \rho_d(0), & \text{если } 0 \leq i \leq R_{od}, \\ \left(\frac{v_d}{v_{hd}} \right)^{R_{od}} \frac{v_{hd}^i}{i!} \rho_d(0), & \text{если } R_{od} + 1 \leq i \leq K_d, \end{cases}$$

где

$$v_d = (\lambda_{od}d + \lambda_{hd}) / \mu_d; \quad v_{hd} = \lambda_{hd} / \mu_d;$$

$$\rho_d(0) = \left(\sum_{i=0}^{R_{od}} \frac{v_d^i}{i!} + \left(\frac{v_d}{v_{hd}} \right)^{R_{od}} \sum_{i=R_{od}+1}^{K_d} \frac{v_{hd}^i}{i!} \right)^{-1}.$$

Аналогично (7) находим вероятности потери od -вызовов и hd -вызовов в d -зоне каналов:

$$P_{od}^{(i)} = \sum_{i=R_{od}}^{K_d} \rho_d(i), \quad P_{hd}^{(i)} = \rho_d(K_d). \quad (8)$$

Потерянные в индивидуальных зонах новые вызовы речи и данных окончательно теряются. Следовательно, вероятности их потери в данной схеме определяются по формулам (7) и (8). Вместе с тем, в данной схеме

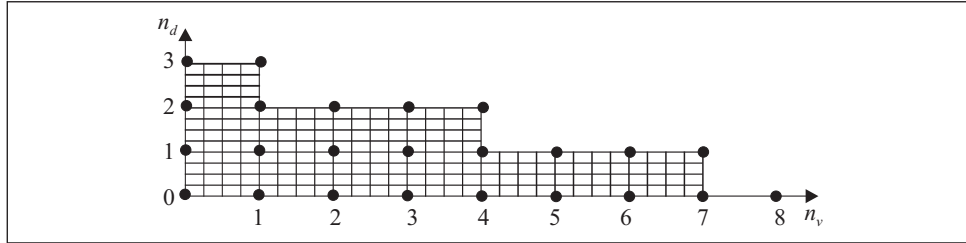


Рис. 3. Вид ФПС модели согласно схеме II при $b = 3, N_{vd} = 10, R_{hv} = 8$

потерянные в индивидуальных зонах хэндовер вызовы поступают в общую зону, которая имеет $N_{vd} > 1$ каналов. Исследуем систему обслуживания с N_{vd} каналами и двумя пуассоновскими потоками при интенсивностях $\tilde{\lambda}_{hv}$ и $\tilde{\lambda}_{hd}$ (см. (5), (6)).

Как и ранее, состояние данной системы в произвольный момент времени определяется двумерным вектором $\mathbf{n} = (n_d, n_v)$, где n_d и n_v — суммарное число d -вызовов и v -вызовов в общей зоне. В схеме II hd -вызовы принимаются при наличии b свободных каналов, а максимальное число hv -вызовов в каналах не должно превышать пороговое значение R_v . Следовательно, ФПС соты в данной схеме имеет вид $S_2 = \{\mathbf{n} : n_d = 0, 1, \dots, [N_{vd} / b], n_v = 0, 1, \dots, R_{hv}; n_d b + n_v \leq N_{vd}\}$ (рис. 3).

Элементы производящей матрицы данной двумерной ЦМ определяются аналогично (1):

$$q_1(\mathbf{n}, \mathbf{n}') = \begin{cases} \tilde{\lambda}_{hd}, & \text{если } \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_1, \\ \tilde{\lambda}_{hv}, & \text{если } \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_2, \\ n_d \mu_d, & \text{если } \mathbf{n}' = \mathbf{n} - \mathbf{e}_1, \\ n_v \mu_v, & \text{если } \mathbf{n}' = \mathbf{n} - \mathbf{e}_2, \\ 0 & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

При использовании схемы II вероятность состояния (n_d, n_v) обозначим через $p_2(n_d, n_v)$.

Утверждение 2. Стационарное распределение вероятностей состояний системы при использовании схемы II имеет следующий вид:

$$p_2(n_d, n_v) = p_2(0, 0) \frac{\tilde{v}_{hd}^{n_d} \tilde{v}_{hv}^{n_v}}{n_d! n_v!},$$

где $\tilde{v}_{hd} = \tilde{\lambda}_{hd} / \mu_d$; $\tilde{v}_{hv} = \tilde{\lambda}_{hv} / \mu_v$; $p_2(0, 0)$ находится из условия нормировки.

Доказательство аналогично доказательству утверждения 1.

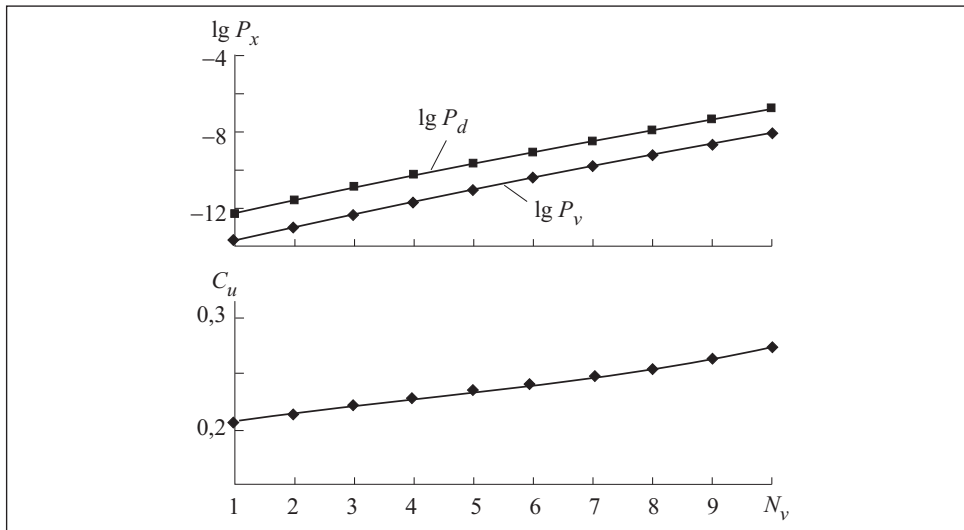


Рис. 4. Зависимости вероятностей потери вызовов речи P_v и данных P_d , а также коэффициента использования каналов C_u от N_v .

При использовании схемы II вероятность потери хэндовер речевых вызовов в общей зоне каналов определяется так:

$$P_{hv} = \sum_{(n_d, n_v) \in S_2} p_2(n_d, n_v) (\delta(n_v, R_{hv}) + \bar{\delta}(n_v, R_{hv}) I(n_v + bn_d = N_{vd})),$$

где $\delta(i, j)$ — символы Кронекера, $\bar{\delta}(i, j) = 1 - \delta(i, j)$. Вероятность потери хэндовер вызовов данных и коэффициент использования каналов в общей зоне определяются аналогично (3) и (4).

Результаты численных экспериментов. Рассмотрим изменения показателей QoS в зависимости от объемов различных зон каналов в каждой схеме. Будем считать нагрузочные параметры модели фиксированными.

С х е м а I. Предположим, что общее число каналов системы N и размер зоны для вызовов данных N_d фиксированы, а размер зоны для вызовов речи и, следовательно, размер общей зоны — регулируемые параметры. Нагрузочные параметры модели следующие [18]: $\lambda_{ov} + \lambda_{hv} = 2,8$ выз/с; $\lambda_{od} + \lambda_{hd} = 5,4$ выз/с; $\mu_v^{-1} = 5$ с; $\mu_d^{-1} = 2$ с.

Положим, что 50% суммарной интенсивности трафика вызовов каждого типа составляют хэндовер вызовы. Система имеет 50 каналов ($N = 50$), из них 12 каналов выделены для d -зоны ($N_d = 12$), а остальные каналы могут быть использованы для v -зоны и vd -зоны. Будем считать, что широкополосные вызовы данных требуют для обслуживания одновременно три канала ($b = 3$), а узкополосные вызовы речи обслуживаются одним каналом.

На рис. 4 представлена зависимость вероятности потери разнотипных вызовов от изменения параметра N_v . Как видим, с увеличением размера v -зоны увеличиваются вероятности потери вызовов обоих типов. Этого следовало ожидать, так как с увеличением числа каналов в v -зоне уменьшается число каналов в vd -зоне. Из графика следует, что вероятность потери вызовов данных всегда больше, чем вероятность потери вызовов речи. Этот результат имеет логическое объяснение: для обслуживания вызовов данных требуется как минимум три свободных канала, в то время как вызовы речи обслуживаются при наличии одного свободного канала. Из рис. 4 также видно, что коэффициент использования каналов C_u в общей зоне с увеличением размера v -зоны увеличивается. Это объясняется тем, что с уменьшением числа каналов увеличивается коэффициент их использования.

Полученные результаты позволяют также решить задачу выбора размеров каждой зоны в данной схеме. Рассмотрим следующую задачу. Пусть заданы ограничения (сверху) на вероятности потери разнотипных вызовов и на коэффициент использования каналов общей зоны (снизу), т.е. требуется выполнение следующих ограничений:

$$P_d \leq \varepsilon_d, \quad (9)$$

$$P_v \leq \varepsilon_v, \quad (10)$$

$$C_u \geq \sigma, \quad (11)$$

где $\varepsilon_d, \varepsilon_v, \sigma$ — заданные величины. Требуется найти такие значения N_v , при которых удовлетворялись бы ограничения (9)—(11). Эта задача может быть решена с помощью следующего алгоритма.

Шаг 1. Найти такое максимальное значение параметра N_v , при котором удовлетворялись бы ограничения (9) и (10). Обозначим его через N_v^1 .

Шаг 2. Найти такое максимальное значение параметра N_v , при котором удовлетворялось бы ограничение (11). Обозначим его через N_v^2 .

Шаг 3. Если $N_v^1 < N_v^2$, то эта задача не имеет решения; иначе — решением задачи является отрезок $[N_v^2, N_v^1]$.

С учетом монотонности функций P_d, P_v и C_u относительно параметра N_v для решения задачи в шагах 1 и 2 может быть использован, в частности, метод дихотомии. Очевидно, что при определенных значениях величин $\varepsilon_d, \varepsilon_v, \sigma$ задача не будет иметь решения. Так, например, если ε_d и ε_v меньше, чем минимальные значения P_d и P_v , то эта задача не имеет решения.

Некоторые результаты решения задачи (9)—(11) для указанных выше исходных данных приведены в таблице, где символ \emptyset означает, что задача не имеет решения.

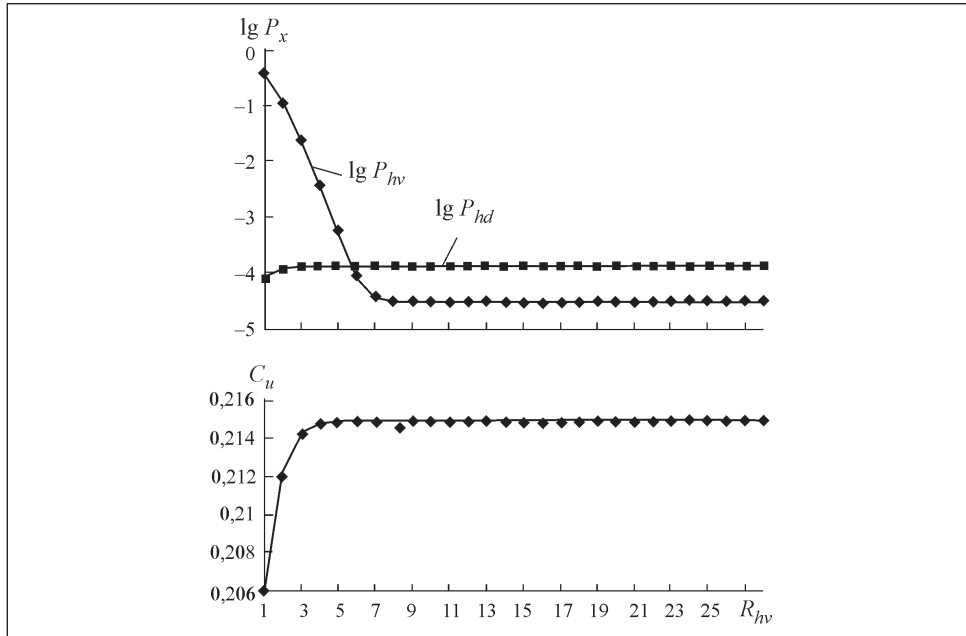


Рис. 5. Зависимость вероятностей потери хэндовер вызовов речи P_{hv} и данных P_{hd} , а также коэффициента использования каналов C_u общей зоны от R_{hv} .

Результаты решения задачи							
(9)—(11)				(12)—(14)			
ε_d	ε_v	σ	$[N_v^2, N_v^1]$	ε_{hd}	ε_{hv}	σ_h	$[R_{hv}^2, R_{hv}^1]$
10^{-12}	10^{-10}	0,26	\emptyset	10^{-4}	10^{-2}	0,21	\emptyset
10^{-7}	10^{-9}	0,24	[7, 8]	$1,35 \cdot 10^{-4}$	0,2	0,2	[2, 3]
10^{-9}	10^{-10}	0,22	[4, 6]	$1,36 \cdot 10^{-4}$	0,4	0,2	[1, 4]
10^{-9}	10^{-11}	0,2	[1, 5]	$1,37 \cdot 10^{-4}$	10^{-4}	0,21	[6, 28]
10^{-6}	10^{-8}	0,235	[6, 10]	$1,37 \cdot 10^{-4}$	0,4	0,2	[1, 28]
10^{-6}	10^{-8}	0,21	[2, 10]				

С х е м а II содержит большое число регулируемых параметров ($N_v, N_d, N_{vd}, G_{ov}, G_{od}, R_{hv}$), поэтому изучение изменения показателей QoS при изменении всех параметров — достаточно трудоемкая задача. Будем предполагать, что число каналов во всех зонах фиксировано, а варьируется лишь параметр R_{hv} . Нагрузочные параметры модели сохраняются без изменений, а другие параметры следующие: $N = 50, N_v = 10, N_d = 12, G_{ov} = 5, G_{od} = 6$.

Поскольку в данной схеме вероятности потери новых вызовов данных и речи не зависят от параметра R_{hv} , на рис. 5 представлены зависимости вероятностей потери хэндовер вызовов данных и речи относительно изменения указанного параметра. Как и следовало ожидать, при увеличении параметра R_{hv} увеличиваются шансы хэндовер вызовов речи быть принятыми для обслуживания. Однако это одновременно приводит к уменьшению шансов хэндовер вызовов данных для поступления в общую зону каналов. Поэтому P_{hv} является убывающей функцией, а P_{hd} , наоборот, возрастает относительно параметра R_{hv} . Из рис. 5 также видно, что при увеличении параметра R_{hv} увеличивается значение коэффициента использования каналов общей зоны. Данный факт объясняется тем, что с увеличением значения параметра R_{hv} возрастает шанс узкополосных хэндовер вызовов речи быть принятыми для обслуживания и поэтому увеличивается коэффициент использования каналов общей зоны.

Сформулируем и решим задачу выбора надлежащих значений параметра R_{hv} для удовлетворения заданных ограничений на показатели качества обслуживания, используя схему П. Пусть, как и выше, заданы ограничения на вероятности потери разнотипных хэндовер вызовов и на коэффициент использования каналов в общей зоне:

$$P_{hd} \leq \varepsilon_{hd}, \quad (12)$$

$$P_{hv} \leq \varepsilon_{hv}, \quad (13)$$

$$C_u \geq \sigma_h, \quad (14)$$

где ε_{hd} , ε_{hv} и σ_h — заданные величины. Требуется найти такие значения R_{hv} , при которых удовлетворялись бы ограничения (12)—(14). Эта задача может быть решена с помощью следующего алгоритма.

Шаг 1. Найти такое максимальное значение параметра R_{hv} , которое удовлетворяло бы ограничение (12). Обозначим его через R_{hv}^1 .

Шаг 2. Найти такое минимальное значение параметра R_{hv} , которое удовлетворяло бы ограничение (13). Обозначим его через R_{hv}^2 .

Шаг 3. Если $R_{hv}^1 < R_{hv}^2$, то эта задача не имеет решения, иначе — перейти к следующему шагу.

Шаг 4. Найти такое максимальное значение параметра R_{hv} , которое удовлетворяло бы ограничение (14). Обозначим его через R_{hv}^3 . Если $R_{hv}^2 \leq R_{hv}^3 \leq R_{hv}^1$, то решением задачи является отрезок $[R_{hv}^3, R_{hv}^1]$, иначе — задача не имеет решения.

Некоторые результаты решения этой задачи приведены в таблице.

Выводы

Предложенные схемы разделения каналов в интегральных сотовых сетях связи позволяют более детально учитывать различия в механизмах обслуживания узкополосных речевых вызовов и широкополосных вызовов данных. Отличительной их особенностью является то, что в обеих схемах весь пул каналов изолированно разделен между разнотипными вызовами, при этом имеется общая зона каналов для обслуживания разнотипных вызовов. Введение пороговых параметров для разнотипных вызовов позволяет учитывать заданные ограничения на показатели QoS и выбирать оптимальные схемы разделения каналов. Эффективность предложенного подхода к анализу различных схем разделения каналов в сотовых сетях состоит в том, что он может быть использован для анализа сотовых сетей с произвольным числом каналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Chen H., Huang L., Kumar S., Kuo C.C.* Radio resource management for multimedia QoS supports in wireless networks. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004.
2. *Yue W., Matsumoto Y.* Performance analysis of multi-channel and multi-traffic on wireless communication networks. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002.
3. *Stasiak M., Glabowski M., Wishniewski A., Zwierzykowski P.* Modeling and dimensioning of mobile networks: From GSM to LTE. New York: John Wiley, 2011.
4. *Ponomarenko L., Kim C.S., Melikov A.* Performance analysis and optimization of multi-traffic on communication networks. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer, 2010, 208 p.
5. *Melikov A., Ponomarenko L.* Multidimensional queueing models in telecommunication networks. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer, 2014, 202 p.
6. *Ahmed M., Yanikomeroglu H.* Call admission control in wireless networks // *IEEE Communications Surveys*, 2005, Vol. 7, N 1, p. 50—69.
7. *Beigy H., Meybody M.R.* Used-based call admission control policies for cellular mobile systems: A survey // *J CSI Comput Sci Eng*, 2003, Vol. 10, p. 45—58.
8. *Ghaderi M., Boutaba R.* Call admission control for voice/data integration in broadband wireless networks // *IEEE Trans Mobile Comput.*, 2006, Vol. 5, N 3, p. 193—207.
9. *Schneps-Schneppe M., Iversen V.B.* Call admission control in cellular networks // *In Mobile Networks* (Ed. Ortiz J.H.). Intech, 2012, p. 111—136.
10. *Das Bit S., Mitra S.* Challenges of computing in mobile cellular environment. A survey // *Computer Communications*, 2006, Vol. 26, p. 2090—2105.
11. *Ogbonmwan S.E., Wei L.* Multi-threshold bandwidth reservation scheme of an integrated voice/data wireless network // *Ibid*, 2006, Vol. 29, N 9, p. 1504—1515.
12. *Меликов А.З., Фаттахова М.И., Велиджанова Г.М.* Метод расчета параметров интегральной сотовой сети связи с изолированным разделением каналов // *Электрон. моделирование*, 2014, **36**, N 5, с. 37—48.
13. *Melikov A.Z., Ponomarenko L.A., Velidzanova G.M.* Analysis of integrated cellular network model with virtual partitioning of channels // *Cybernetics and System Analysis*, 2014, Vol. 50, N 6, p. 884—890.

14. Melikov A.Z., Ponomarenko L.A. Analysis of models of the integral cellular communication network with different schemes of channel partitioning // Automation and Remote Control, 2016, Vol. 77, N 5, p. 802—816.
15. Li B., Li L., Li B., Sivalingam K.M., Cao X.R. Call admission control for voice/data integrated cellular networks: Performance analysis and comparative study // IEEE Journal of Selected Areas on Communications, 2004, Vol. 22, N 4, p. 706—718.
16. Меликов А.З., Пономаренко Л.А., Велиджанова Г.М. Многопараметрические гибридные схемы изолированного разделения каналов в интегральных сотовых сетях связи // Управляющие системы и машины, 2016, N 1, с. 62—72.
17. Kolmogorov A. Zum theorie der Markoffschen ketten // Mathematische Annalen, 1936, Vol. B112, p. 155—160.
18. Carvalho G.H.S., Martins V.S., Frances C.R.L. et al. Performance analysis of multi-service wireless network: An approach integrating CAC, scheduling, and buffer management // Computers and Electrical Engineering, 2008, Vol. 34, p. 346—356.

Поступила 27.04.17

REFERENCES

1. Chen, H., Huang, L., Kumar, S. and Kuo, C.C. (2004), Radio resource management for multimedia QoS supports in wireless networks, Kluwer Academic Publishers, Boston, USA.
2. Yue, W. and Matsumoto, Y. (2002), Performance analysis of multi-channel and multi-traffic on wireless communication networks, Kluwer Academic Publishers, Boston, USA.
3. Stasiak, M., Glabowski, M., Wishniewski, A. and Zwierzykowski, P. (2011), Modeling and dimensioning of mobile networks: From GSM to LTE, John Wiley, New York, USA.
4. Ponomarenko, L., Kim, C.S. and Melikov, A. (2010), Performance analysis and optimization of multi-traffic on communication networks, Springer, Heidelberg, Dordrecht, London, New York.
5. Melikov, A. and Ponomarenko, L. (2014), Multidimensional queuing models in telecommunication networks, Springer, Heidelberg, Dordrecht, London, New York.
6. Ahmed, M. and Yanikomeroglu, H. (2005), Call admission control in wireless networks, *IEEE Communications Surveys*, Vol. 7, no. 1, pp. 50-69.
7. Beigy, H. and Meybody, M.R. (2003), Used-based call admission control policies for cellular mobile systems: A survey, *Journal CSI Comput. Sci. Eng.*, Vol. 10, pp. 45-58.
8. Ghaderi, M. and Boutaba, R. (2006), Call admission control for voice/data integration in broadband wireless networks, *IEEE Trans. Mobile Comput.*, Vol. 5, no. 3, pp. 193-207.
9. Schneps-Schneppe, M. and Iversen, V.B. (2012), Call admission control in cellular networks, *In mobile networks*, Ed. Ortiz J.H., Intech., p. 111-136.
10. Das Bit, S. and Mitra, S. (2006), Challenges of computing in mobile cellular environment. A survey, *Computer Communications*, Vol. 26, pp. 2090-2105.
11. Ogbonmwan, S.E. and Wei, L. (2006), Multi-threshold bandwidth reservation scheme of an integrated voice/data wireless network, *Computer Communications*, Vol. 29, no. 9, pp. 1504-1515.
12. Melikov, A.Z., Fattakhova, M.I. and Velidzhanova, G.M. (2014), "Method of calculation of parameters of the integral cellular communication network with isolated partition of channels, *Elektronnoe modelirovanie*, Vol. 36, no. 5, pp. 37-48.
13. Melikov, A.Z., Ponomarenko, L.A. and Velidzhanova, G.M. (2014), Analysis of integrated cellular network model with virtual partitioning of channels, *Cybernetics and System Analysis*, Vol. 50, no. 6, pp. 884-890.
14. Melikov, A.Z. and Ponomarenko, L.A. (2016), Analysis of models of the integral cellular communication network with different schemes of channel partitioning, *Automation and Remote Control*, Vol. 77, no. 5, pp. 802-816.

15. Li, B., Li, L., Li, B., Sivalingam, K.M. and Cao, X.R. (2004), Call admission control for voice/data integrated cellular networks: Performance analysis and comparative study, *IEEE Journal of Selected Areas on Communications*, Vol. 22, no. 4, pp. 706-718.
16. Melikov, A.Z., Ponomarenko, L.A. and Velidzhanova, G.M. (2016), "Multiparameter hybrid schemes of isolated partition of channels in the integral cellular communication systems", *Upravlyayushchie sistemy i mashiny*, no. 1, pp. 62-72.
17. Kolmogorov, A. (1936), Zum theorie der Markoffschen ketten, *Mathematische Annalen*, Vol. B112, pp. 155-160.
18. Carvalho, G.H.S., Martins, V.S., Frances, C.R.L., et al. (2008), Performance analysis of multi-service wireless network: An approach integrating CAC, scheduling, and buffer management, *Computers and Electrical Engineering*, Vol. 34, pp. 346-356.

Received 27.04.17

M.I. Fattakhova, G.M. Velidzhanova, H.A. Kadyrov

ANALYSIS OF SCHEMES FOR PARTITION OF CHANNELS IN CELLULAR NETWORKS WITHOUT QUEUE

Two isolated schemes for partition of common pool of channels in integral cellular network are proposed. In this network narrow-band voice calls and wideband data calls are handled. In both schemes the whole pool of channels is partitioned between various types of calls in accordance with isolated rule and there is a common pool of channels for complete sharing. In one scheme, individual zones and a common zone of channels are used in accordance with the complete sharing rule. In the other scheme, the individual zones are used for the corresponding handover calls due to the strategy of channel change-over, and a common zone is used for handover calls only. The algorithms have been developed to calculate the service quality factors in the both schemes under the given values of the number of channels and loads of the calls of different types. Results of numerical experiments are demonstrated.

Keywords: cellular network, channels partition, service quality, calculation methods.

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

ВЕЛИДЖАНОВА Гюльнара Мамедага кызы, науч. сотр. Ин-та системы управления НАН Азербайджана. В 1993 г. окончила Азербайджанский инженерно-строительный университет. Область научных исследований — теория систем и сетей массового обслуживания, теория телетрафика.

КАДЫРОВ Гамид Акиф оглы, магистрант Национальной академии авиации Азербайджана. Область научных исследований — теория систем и сетей массового обслуживания, теория телетрафика.