

## АНАЛИЗ ВИРТУАЛЬНЫХ СХЕМ РАЗДЕЛЕНИЯ КАНАЛОВ В СОТОВЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ БЕЗ ОЧЕРЕДЕЙ И С ШИРОКОПОЛОСНЫМИ ВЫЗОВАМИ ДАННЫХ

<sup>1</sup>Институт системы управления НАН Азербайджана,

<sup>2</sup>Национальная Академия Авиации, Азербайджан

[meri-fattah@mail.ru](mailto:meri-fattah@mail.ru)

[gulnaravelicanova@rambler.ru](mailto:gulnaravelicanova@rambler.ru)

[gamid\\_kadyrov@mail.ru](mailto:gamid_kadyrov@mail.ru)

*Предложены две схемы виртуального разделения каналов в сети сотовой связи с широкополосными вызовами данных. Узкополосные вызовы речи требуют для обработки лишь один канал, а для обработки вызовов данных требуются несколько каналов. В одной схеме индивидуальные зоны и общая зона используются согласно полнодоступной схеме, в другой схеме общая зона используется лишь хэндовер вызовами. Приведены результаты численных экспериментов*

**Ключевые слова:** сотовая сеть, разделения каналов, качества обслуживания, методы расчета

### **Введение**

Проблемы разделения каналов (полосы пропускания) между разнотипными вызовами в интегральных сотовых сетях связи (ССС) изучены в многочисленных работах (см., например, [1-5] и их список литературы). В известных работах различаются два класса схем разделения каналов: изолированное и виртуальное.

При использовании изолированных схем предполагается, что все каналы соты физически разделяются на группы, каждая из которых обслуживает определенный тип вызовов и не разрешается переназначения канала из одной группы в другую. Виртуальное разделение каналов при выполнении определенных условий допускает переназначения канала из одной группы в другую.

В подавляющем большинстве работ изучаются модели интегральных СССР, в которых разнотипные вызовы являются идентичными в смысле требуемой полосы пропускания [6], [7]. Для конкретности изложения в данной статье изучается модель СССР, в которой обслуживаются широкополосные вызовы данных и узкополосные вызовы речи. Это означает, что в

интегральной СССР обрабатываются четыре типа вызовов: хэндовер речевые вызовы (*hv*-вызовы), новые речевые вызовы (*ov*-вызовы), хэндовер вызовы данных (*hd*-вызовы) и новые вызовы данных (*od*-вызовы).

В данной работе предложены две схемы виртуального разделения всего пула каналов в СССР с широкополосными вызовами данных и узкополосными вызовами речи. В обеих схемах наряду с индивидуальными зонами каналов для вызовов данных и речи, также учитывается наличие общей зоны каналов для разнотипных вызовов. Однако, в одной схеме все группы каналов используются равноправно всеми вызовами, а в другой схеме общая зона каналов используется лишь для хэндовер вызовов речи и данных.

Для исследования этих схемы предложен унифицированный аналитический подход и предложены явные формулы для расчета характеристик СССР. На основе найденных формул проведены численные эксперименты.

### Описание схем разделения каналов и постановка задачи

В изучаемой соте, базовой станцией, которая содержит  $N > 1$  радиоканалов, обрабатываются четыре пуассоновских потока вызовов, при этом интенсивность  $x$ -вызовов обозначается  $I_x, x \in \{hv, ov, hd, od\}$ . Вызовы речи (новые и хэндовер) требуют для обработки 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). При этом для эффективного использования  $d$ -зоны каналов принимается, что  $b$  является делителем  $N_d$ .

Предполагается, что в соте принят механизм стягивания канала из одной зоны в другую и за счет этого производится переупаковка каналов. Это означает, что по завершении обработки  $v$ -вызова ( $d$ -вызова) освобожденный канал, находящийся в  $v$ -зоне ( $d$ -зоне), закрепляется за  $vd$ -зоной при наличии там  $v$ -вызова ( $d$ -вызова), при этом одновременно канал в  $vd$ -зоне, осуществляющий обработку  $v$ -вызова ( $d$ -вызова), закрепляется за  $v$ -зоной ( $d$ -зоной).

Во всех зонах функции распределения (ф.р.) времени занятия каналов разнотипными вызовами являются экспоненциальными; при этом среднее время занятия канала для одного речевого вызова (нового или хэндовер) равно  $1/m_v$ , а соответст-

вующий показатель для вызовов данных (новых или хэндовер) равен  $1/m_d$ . Идентичность средних времен занятия каналов новых и хэндовер вызовов обоих типов объясняется отсутствием памяти экспоненциального распределения.

Здесь предложены две схемы доступа вызовов в каналы.

**Схема I.** В этой схеме доступа нет различий между новыми и хэндовер вызовами обоих трафиков. Разнотипные вызовы используют каналы соответствующих индивидуальных зон согласно полноступенчатой схемы, т.е. если в момент поступления вызова речи (данных) любого типа имеется один свободный канал ( $b$  свободных каналов) в соответствующей индивидуальной зоне, то он занимает любой свободный канал этой зоны; иначе этот свободный канал ищется 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  $b$  свободных каналов; в противном случае, т.е. если число свободных каналов общей зоне меньше, чем  $b$ , то поступивший в  $vd$ -зону вызов данных теряется.

**Схема II.** В этой схеме, в отличие от предыдущей, предполагается, что лишь хэндовер вызовы речи и данных могут обрабатываться в общей зоне. Это означает, что поступивший хэндовер вызов речи (данных) принимается в  $vd$ -зону, если имеется хотя бы один свободный канал ( $b$  свободных каналов) в этой зоне.

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

### Метод расчета

Сначала рассмотрим решение задачи для схемы I. Состояние соты в произ-

вольный момент времени определяется двумерным вектором  $\mathbf{n} = (n_d, n_v)$ , где  $n_d$  и  $n_v$  указывают соответственно суммарное число  $d$ -вызовов и  $v$ -вызовов (безот-

где  $K_d = \left\lfloor \frac{N - N_v}{b} \right\rfloor$ ,  $[x]$  означает целую часть  $x$ .

Поскольку входящие потоки являются пуассоновскими и времена обработки вызовов имеют экспоненциальную ф.р., то математическая модель изучаемой соты является двумерная цепь Маркова (ЦМ) с ФПС (1). Исходя из схемы принятия разнотипных вызовов в каналы и механизма их обработки, для вычисления неотрицательных элементов производя-

$$I_d = I_{od} + I_{hd}, I_v = I_{ov} + I_{hv}, \mathbf{e}_1 = (1, 0), \mathbf{e}_2 = (0, 1).$$

Все состояния этой конечной цепи сообщаются, следовательно, в ней существует стационарный режим. Стационарную вероятность состояния  $\mathbf{n}$  обозначим через  $p_1(\mathbf{n})$ .

Используя результаты работы [7] можно доказать, что данная двумерная цепь Маркова является обратимой, т.е. стационарное распределение вероятностей состояний модели при использовании схемы  $\mathbf{I}$  имеет мультипликативный вид:

$$p_1(n_d, n_v) = p_1(0, 0) \frac{n_d^{n_d} n_v^{n_v}}{n_d! n_v!}, \quad (3)$$

$$P_{ov} = P_{hv} = \sum_{\mathbf{n} \in S} p_1(\mathbf{n}) \left( d(n_v, N_v + N_{vd}) + \bar{d}(n_v, N_v + N_{vd}) d(n_d b + n_v, N) \right), \quad (4)$$

где  $d(i, j)$  – символы Кронекера,  $\bar{d}(i, j) = 1 - d(i, j)$ .

В формуле (4) первое слагаемое определяет вероятность события (а), а второе – вероятность события (б).

Вызовы данных (новые или хэндовер) теряются в следующих случаях: (а) если в момент поступления вызова в ка-

$$P_{od} = P_{hd} = \sum_{\mathbf{n} \in S} p_1(\mathbf{n}) \left( d(n_d, K_d) + \bar{d}(n_d, K_d) I((n_d + 1)b + n_v > N) \right), \quad (5)$$

носителю их распределения в индивидуальных зонах или в общей зоне). Фазовое пространство состояний (ФПС) соты определяется так (см. рис. 1):

$$S = \{ \mathbf{n} : n_d = 0, 1, \dots, K_d, n_v = 0, 1, \dots, N_v + N_{vd}; n_d b + n_v \leq N \}, \quad (1)$$

цей матрицы (Q-матрицы),  $q_1(\mathbf{n}, \mathbf{n}')$ ,  $\mathbf{n}, \mathbf{n}' \in S_1$ , данной ЦМ находим следующие соотношения:

$$q_1(\mathbf{n}, \mathbf{n}') = \begin{cases} I_d, & \text{если } \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_1, \\ I_v, & \text{если } \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_2, \\ n_d m_d, & \text{если } \mathbf{n}' = \mathbf{n} - \mathbf{e}_1, \\ n_v m_v, & \text{если } \mathbf{n}' = \mathbf{n} - \mathbf{e}_2, \\ 0 & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (2)$$

где

где  $p_1(0, 0)$  находится из условия нормировки, т.е.  $\sum_{\mathbf{n} \in S} p_1(\mathbf{n}) = 1$ .

Речевые вызовы (новые или хэндовер) теряются в следующих случаях: (а) если в момент поступления вызова в каналах уже имеются  $N_v + N_{vd}$  вызовов этого типа независимо от количества свободных каналов; (б) если в момент поступления вызова количество вызовов такого типа в каналах меньше, чем  $N_v + N_{vd}$ , при этом все каналы системы заняты. Следовательно, вероятность потери речевых вызовов определяется так:

налах уже имеются  $K_d$  вызовов этого типа; (б) если в момент поступления вызова количества вызовов такого типа в каналах меньше, чем  $K_d$ , при этом количества свободных каналов меньше, чем  $b$ . Отсюда заключаем, что вероятность потери вызовов данных определяется так:

где  $I(A)$  – индикаторная функция события  $A$ .

Коэффициент использования каналов соты определяется так:

$$C_u = \left( \sum_{n \in S} p_1(\mathbf{n})(n_d b + n_v) \right) / N. \quad (6)$$

$$q_2(\mathbf{n}, \mathbf{n}') = \begin{cases} I_d, & \text{если } n_d < k_d, \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_1, \\ I_{hd}, & \text{если } n_d \geq k_d, \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_1, \\ I_v, & \text{если } n_v < N_v, \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_2, \\ I_{hv}, & \text{если } n_v \geq N_v, \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_2, \\ n_d m_d, & \text{если } \mathbf{n}' = \mathbf{n} - \mathbf{e}_1, \\ n_v m_v, & \text{если } \mathbf{n}' = \mathbf{n} - \mathbf{e}_2, \\ 0 & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (7)$$

где  $k_d = \left\lfloor \frac{N_{vd}}{b} \right\rfloor$ .

Здесь также используя результаты работы [7] можно доказать, что эта цепь Маркова является обратимой, т.е. стационарное

$$p_2(n_d, n_v) = \begin{cases} \frac{n_d^{n_d} \cdot n_v^{n_v}}{n_d! \cdot n_v!} \cdot p_2(0,0), & \text{если } 0 \leq n_d \leq k_d, 0 \leq n_v \leq N_v, \\ \left( \frac{n_d}{n_{hd}} \right)^{k_d} \cdot \frac{n_d^{n_d} \cdot n_v^{n_v}}{n_d! \cdot n_v!} \cdot p_2(0,0), & \text{если } k_d < n_d \leq K_d, 0 \leq n_v \leq N_v, \\ \left( \frac{n_v}{n_{hv}} \right)^{N_v} \cdot \frac{n_d^{n_d} \cdot n_v^{n_v}}{n_d! \cdot n_v!} \cdot p_2(0,0), & \text{если } 0 \leq n_d \leq k_d, N_v < n_v \leq N_v + N_{vd}, \\ \left( \frac{n_d}{n_{hd}} \right)^{k_d} \cdot \left( \frac{n_v}{n_{hv}} \right)^{N_v} \cdot \frac{n_d^{n_d} \cdot n_v^{n_v}}{n_d! \cdot n_v!} \cdot p_2(0,0), & \text{если } k_d < n_d \leq K_d, N_v < n_v \leq N_v + N_{vd}. \end{cases} \quad (8)$$

где  $p_2(0,0)$  находится из условия нормировки.

Рассмотрим проблемы определения вероятностей потери разнотипных вызовов при использовании данной схемы разделения каналов. Эти показатели QoS определяются как соответствующие маргинальные распределения изучаемой двумерной цепи.

Здесь новые вызовы речи теряются, если в момент их поступления в соте уже имеются  $N_v$  вызовов речи независимо от общего количества занятых каналов. Таким образом, вероятность их потери определяется так:

Теперь рассмотрим решения задачи для схемы II. Здесь ФПС модели также задается с помощью (1). Вместе с тем, в данной схеме неотрицательные элементы производящей матрицы соответствующей двумерной ЦМ определяются так:

нарное распределение вероятностей состояний модели при использовании схемы II имеет следующий мультипликативный вид:

$$P_{ov} = \sum_{n \in S} p_2(\mathbf{n}) I(n_v \geq N_v). \quad (9)$$

Вероятность потери новых вызовов данных вычисляется аналогично формулы (9), т.е.

$$P_{od} = \sum_{n \in S} p_2(\mathbf{n}) I(n_d \geq k_d). \quad (10)$$

Вероятности потери  $hv$ -вызовов и  $hd$ -вызовов, а также коэффициент использования каналов определяются аналогично формулам (4), (5) и (6), соответственно, где вероятности  $p_1(\mathbf{n})$  заменяются на вероятности  $p_2(\mathbf{n})$ .

### Численные результаты

Разработанные выше алгоритмы позволяют проводить численных экспери-

менты с целью изучения поведения показателей QoS соты относительно изменения его параметров. Из-за ограниченности объема работы здесь рассматриваются зависимости указанных показателей относительно изменения количества каналов в различных зонах в каждой схеме разделения каналов, при этом считается, что нагрузочные параметры модели являются фиксированными.

Как и в работе [7], предположим, что общее число каналов системы и размер зоны для вызовов данных фиксированы, а размер зоны для вызовов речи, следовательно, и размер общей зоны, являются регулируемыми параметрами. Последнее означает, что размер общей зоны также является переменной величиной.

Нагрузочные параметры модели выбирались также как выбираются из работы [7]:  $I_{ov} + I_{hv} = 2.8$  вызовов/сек,  $I_{od} + I_{hd} = 5.4$  вызовов/сек,  $m_v^{-1} = 5$  сек,  $m_d^{-1} = 2$  сек. Предполагается, 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 ( $N_d = 12$ ) и остальные каналы могут быть использованы для  $v$ -зоны и  $vd$ -зоны. При этом широкополосные вызовы данных требуют для обслуживания одновременно три канала ( $b = 3$ ), а узкополосные вызовы речи обслуживаются лишь одним каналом.

Сначала рассмотрим результаты для схемы **I**. Вид зависимости вероятности потери вызовов речи от  $N_v$  показан на рис. 2. Как и следовало ожидать, эта функция является невозрастающей, при этом скорость ее уменьшения является достаточно низкой. Абсолютные значения этого показателя изменяется в интервале [0.0770; 0.0853]. Из рис. 3 видно, что с ростом параметра  $N_v$  вероятность потери вызовов данных не уменьшается. Как и выше, эта функция также очень медленно изменяется в интервале [0.2506; 0.2604]. Коэффициент использования каналов яв-

ляется невозрастающая функция от параметра  $N_v$ , и значения этого показателя меняется в интервале [0.8576; 0.8606] (см. рис. 4). Иными словами, все три показателя QoS в достаточно большом диапазоне изменения параметра  $N_v$  изменяют свои значения приблизительно на 0.01.

Теперь рассмотрим результаты для схемы **II**. Эти результаты приведены на рис. 5-7.

Из рис. 5 видно, что для выбранных исходных данных вероятность потери новых вызовов речи ( $P_{ov}$ ) является достаточно высокая величина (очень близка к 1) и является почти постоянной. Интересным является зависимость вероятности потери хэндовер вызовов речи ( $P_{hv}$ ) от  $N_v$ , т.е. в точках типа  $N_v = 3k$ , где  $k$  натуральное число, ее значения резко уменьшаются по сравнению с предыдущей точкой  $N_v = 3k - 1$ . Такое поведение этой функции имеет следующее объяснение: при значениях  $N_v$ , кратных 3, появляется дополнительная возможность для широкополосных  $hd$ -вызовов быть принятыми на обслуживание в  $vd$ -зоне, чем ухудшается возможность для узкополосных  $hv$ -вызовов, т.е. следовало бы ожидать увеличение значений этой функции. Однако, поскольку в этих экспериментах интенсивность обслуживания  $hd$ -вызовов в 2.5 раза больше, чем интенсивность обслуживания  $hv$ -вызовов, то увеличивается число каналов, которые стягиваются в  $v$ -зону (при завершении обслуживания  $hd$ -вызова одновременно освобождаются 3 канала).

Зависимость вероятности потери новых ( $P_{od}$ ) и хэндовер вызовов данных ( $P_{hd}$ ) от  $N_v$  показана на рис. 6. Как и для функции  $P_{hv}$ , здесь также увеличение значений параметра  $N_v$  на 1 и 2 единицы почти не влияет на значений этих функций, т.е. здесь также скачки происходят лишь в точках типа  $N_v = 3k$ . Увеличения значений функции  $P_{od}$  объясняется тем,

что с увеличением значений  $N_v$  (т.е. с уменьшением число каналов  $vd$ -зоны) уменьшается число каналов, стягиваемых в  $d$ -зону. Уменьшения значений функции  $P_{hd}$  объясняется тем, что с увеличением значений  $N_v$  также увеличивается шансов  $hv$ -вызовов быть принятыми на обслуживание в собственной  $v$ -зоне, и тем самым, уменьшается вероятность потери хэндовер вызовов данных.

Зависимость коэффициента использования каналов от  $N_v$  показана на рис. 7. Как и на рис. 6, здесь также в точках типа  $N_v = 3k$  его значения резко уменьшаются по сравнению с предыдущей точкой  $N_v = 3k - 1$ . Этот результат является логичным, так как при значениях  $N_v$ , кратных 3, появляется дополнительная возможность для широкополосных  $hd$ -вызовов быть принятыми на обслуживание в  $vd$ -зоне, чем ухудшается возмож-

ность занятия каналов общей зоны узкополосным  $hv$ -вызовам. Поскольку в этих экспериментах время обслуживания  $hd$ -вызовов в 2.5 раза меньше, чем время обслуживания  $hv$ -вызовов, то в этих точках уменьшается коэффициент использования каналов.

В конце этого раздела сравним значения показателей QoS изучаемой соты при различных схемах разделения каналов с соответствующими значениями этих показателей при полнодоступной схеме (Complete Sharing, CS) использования каналов. Напомним, что при CS-схеме не осуществляется разделения каналов на группы, т.е. вызов любого типа принимается, если в момент его поступления имеются достаточное число свободных каналов.

При использовании CS-схемы ФПС модели задается так:

$$S_{cs} = \{n : n_d = 0, 1, \dots, K_d, n_v = 0, 1, \dots, N; n_d b + n_v \leq N\},$$

где  $K_d = \left\lceil \frac{N}{b} \right\rceil$ ,  $[x]$  означает целую часть  $x$ .

Используя предложенный здесь подход можно показать, что стационарные вероятности состояний для этой схемы определяются так:

$$p_{cs}(n_d, n_v) = p_{cs}(0, 0) \frac{n_d^{n_d} n_v^{n_v}}{n_d! n_v!}, \quad (11)$$

где  $p_{cs}(0, 0)$  находится из условия нормировки, т.е.  $\sum_{n \in S} p_{cs}(n) = 1$ .

Вероятность потери речевых вызовов при использовании CS-схемы определяется так:

$$P_{ov} = P_{hv} = \sum_{n \in S} p_{cs}(n) d(n_d b + n_v, N), \quad (12)$$

Вероятность потери вызовов данных при использовании CS-схемы определяется так:

$$P_{od} = P_{hd} = \sum_{n \in S} p_{cs}(n) I(N - (n_d b + n_v) < b). \quad (13)$$

Коэффициент использования каналов соты определяется аналогично (6).

Вычисления по формулам (11–13) показало, что при использовании CS-схемы показатели QoS при выбранных исходных данных имеют следующие значения:

$P_v = 0.0853, P_d = 0.2506, C_u = 0.8606$ .

Сравнения этих результатов с результатами, полученными выше для двух схем разделения каналов показывают, что для выбранных исходных данных показа-

тели QoS для схемы *I* и CS-схемы почти совпадают. Однако, при использовании схемы *II* почти 4 раза уменьшается вероятность потери *lv*-вызовов, 6 раз уменьшается вероятность потери *od*-вызовов и 10 раз уменьшается вероятность потери *hd*-вызовов, но при этом почти 10 раз увеличивается вероятность потери *ov*-вызовов. Отметим, что при обеих схемах разделения каналов, а также при CS-схеме коэффициент использования каналов почти совпадают. Эти результаты показывают, что с помощью надлежащего выбора схемы разделения каналов можно учитывать и удовлетворить заданные ограничения на показатели QoS разнотипных вызовов. Такие задачи являются предметами специальных исследований.

### **Выводы**

В работе предложены две схемы виртуального разделения каналов в интегральных сотовых сетях связи, в которых осуществляется обработка узкополосных речевых вызовов и широкополосных вызовов данных. Предложенные схемы предполагают использование процедуры стягивания каналов из одной зоны в другую. В одной схеме индивидуальные зоны и общая зона каналов используется равноправно вызовами любого типа; в другой схеме общая зона используется исключительно хэндовер вызовами речи и данных. Разработаны алгоритмы расчета показателей QoS каждой схемы разделения каналов и с их помощью проводился сравнительный анализ характеристик системы при различных схемах разделения 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. *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.

7. *Меликов А.З., Пономаренко Л.А., Велиджанова Г.М.* Многопараметрические гибридные схемы виртуального разделения каналов в интегральных сотовых сетях связи // Управляющие системы и машины. – 2016. N 2. – С. 69-75.

Статью принято к печати 30.04.2017