

А.З. Меликов, Л.А. Пономаренко, Г.М. Велиджанова

Многопараметрические гибридные схемы изолированного разделения каналов в интегральных сотовых сетях связи. I

Предложена многопараметрическая схема изолированного разделения общего пула каналов в интегральной сотовой сети связи, в которой обрабатываются новые и хэндовер-вызовы данных и речи. Выделены две индивидуальные зоны каналов для вызовов данных и речи и общая зона для их совместного использования. Рассмотрены два варианта доступа разнотипных вызовов в общую зону. Приведены результаты численных экспериментов.

Запропоновано багатопараметричну схему ізольованого розподілу загального пулу каналів в інтегральній стільниковій мережі зв'язку, де обробляються нові та хендовер-виклики даних і мови. Виділено дві індивідуальні зони каналів для викликів даних і мови та загальна зона для їх спільного використання. Розглянуто два варіанти доступу різнотипних викликів до загальної зони. Подано результати числових експериментів.

Введение. При исследовании интегральных сотовых сетей связи (ССС) особое место занимают проблемы разработки надлежащих схем распределения общего пула каналов, позволяющие удовлетворить заданные требования к показателям качества обслуживания (*Quality of Service, QoS*) разнотипных вызовов. Они подробно описаны в работах [1–5], где можно найти обширную библиографию по данной тематике.

В этих сетях различают четыре типа вызовов: хэндовер-речевые вызовы (*hv*-вызовы), новые речевые вызовы (*ov*-вызовы), хэндовер-вызовы данных (*hd*-вызовы) и новые вызовы данных (*od*-вызовы). При этом важность этих вызовов уменьшается в указанном порядке. В моделях СССР без очередей зачастую используется наиболее простая полнодоступная схема, согласно которой весь пул каналов соты в равной степени доступен для вызова любого типа. При использовании такой схемы нет возможности удовлетворить заданные требования к показателям *QoS* разнотипных вызовов. Поэтому используются более сложные, многопараметрические схемы распределения каналов. Среди этих схем наиболее популярны – схема резервирования каналов и схема отсечения вызовов.

При использовании схемы *резервирования* каналов весь пул каналов полнодоступен для всех типов вызовов, но при этом доступ вызовов определенного типа ограничивается в зависимости от общего количества занятых каналов в общем пуле. В работе [6] вводятся три

пороговых параметра, ограничивающие доступ разнотипных вызовов, кроме *hv*-вызовов, в зависимости от числа занятых каналов. Указанная схема есть обобщением схемы *DTBR (Dual Threshold Bandwidth Reservation)*, предложенной ранее в работе [7], в которой не делается различия между новыми и хэндовер-вызовами данных. Для расчета показателей *QoS* разнотипных вызовов при использовании предложенной схемы в работе [6] разработан рекурсивный метод, который учитывает специфическую структуру системы уравнений равновесия (СУР) для вероятностей состояний модели.

При использовании схемы *отсечения* вызовов весь пул каналов также полнодоступен для всех типов вызовов, но при этом доступ вызовов определенного типа ограничивается в зависимости от общего количества вызовов того же типа в каналах независимо от общего числа занятых каналов. Подобная стратегия с тремя пороговыми параметрами, которые ограничивают доступ разнотипных вызовов (кроме *hv*-вызовов) в зависимости от числа вызовов того же типа, предложена в работе [8]. В ней показано, что решение соответствующей СУР для вероятностей состояний имеет мультипликативный вид.

Для удовлетворения заданных требований к показателям *QoS* разнотипных вызовов эффективно также использование надлежащих схем разделения всего пула каналов между разнотипными вызовами. Анализ доступной литературы показал, что модели интегральных СССР с такими схемами недостаточно исследованы.

Одна изолированная схема (*Isolated Partitioning, IP*) разделения каналов в интегральных ССС была предложена в работе [7]. В этой схеме общий пул каналов делится на три изолированные зоны: по одной индивидуальной зоне специально для новых и хэндовер-речевых вызовов и вызовов данных (здесь не делается различия между новыми и хэндовер-вызовами данных) и общая зона для совместного использования. Кроме того, в зоне каналов для речевых вызовов ограничивается доступ *ov*-вызовов, т.е. *ov*-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), и для расчета ее стационарного распределения разработан рекурсивный метод. Искомые показатели *QoS* разнотипных вызовов при использовании *DP* схемы разделения каналов находятся как соответствующие маргинальные распределения указанной цепи Маркова (отметим, что для решения этой задачи можно использовать описанный ниже подход).

В работе [9] предложена другая *IP*-схема разделения общего пула каналов. В ней речевые вызовы сначала занимают свободные каналы в своей зоне, и если все каналы этой зоны заняты, то свободный канал только для *hv*-вызовов находится в зоне каналов для вызовов данных; при этом имеется ограничение на максимальное число *hv*-вызовов в этой зоне. Для определения правила доступа *od*-вызовов данных в каналы используется схема, ограничивающая доступ таких вызовов в зависимости от общего числа вызовов данных в соте. Разработан аналитический метод расчета показателей *QoS* предложенной схемы распределения каналов.

Отметим, что *IP*-схемы не всегда эффективны, отчего востребованы и другие схемы разделения. Неизолированные схемы разделения каналов в ССС с одним трафиком (сети второго поколения) были предложены в [10, 11]. Особенность этих схем состоит в том, что в них

разделение каналов не жесткое, т.е. используется схема виртуального разделения каналов (*Virtual Partitioning, VP*).

В работе [12] предложена *VP*-схема разделения каналов в интегральных ССС, где, в отличие от *IP*-схемы, допускается процедура переназначения (переупаковки) канала из одной зоны в другую. Там же разработан аналитический метод расчета характеристик соты при использовании *VP*-схемы распределения каналов.

Отметим, что в предложенных ранее работах [9] и [12], в схемах разделения каналов не допускается возможность организации общей зоны каналов. Вместе с тем организация такой зоны позволит существенным образом улучшить желаемые показатели *QoS* разнотипных вызовов. Исходя из этого, в статье предложены новые гибридные многопараметрические схемы разделения всего пула каналов, в которых, наряду с индивидуальными зонами, также учитывается наличие общей зоны каналов для разнотипных вызовов. Гибридность предложенных схем заключается в том, что в индивидуальных зонах используется правило доступа, основанное на стратегии резервирования каналов, а в общей зоне используется правило отсечения вызовов. Кроме того, рассматриваются изолированные схемы разделения каналов, в которых не допускается переназначение канала из одной зоны в другую. Они называются схемами изолированного разделения с общей зоной (*Isolated Partition with Common Zone, IPwCZ*) и являются обобщением известной схемы [7]. Для исследования этой схемы предложен аналитический подход.

***IPwCZ*-схемы разделения каналов**

Структурная схема интегральной ССС показана на рис. 1. В ней обрабатываются четыре пуассоновских потока вызовов, при этом интенсивность *x*-вызовов обозначается λ_x , $x \in \{hv, ov, hd, od\}$.

Базовая станция изолированной соты интегральной ССС имеет $N > 1$ радиоканалов. Весь пул каналов разделен на три группы: N_v каналов из общего числа каналов выделяются лишь для речевых вызовов (*v*-вызовов), N_d каналов –

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.

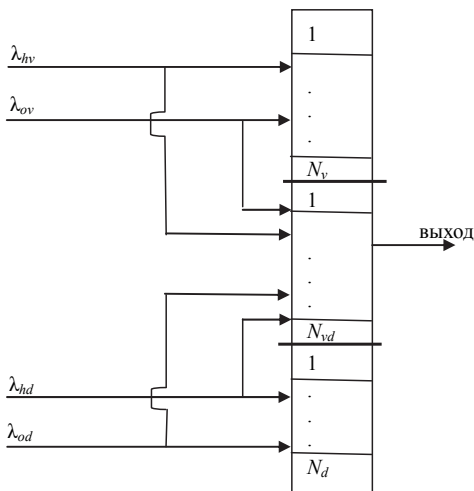


Рис. 1. Структурная схема системы

Функции распределения времени занятости каналов разнотипными вызовами – экспоненциальны, 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 среднего времени занятия каналов новых и хэндовер-вызовов обоих типов объясняется отсутствием памяти экспоненциального распределения.

Здесь предложены два варианта рассматриваемой схемы разделения каналов. В обоих вариантах внутри индивидуальных зон используется стратегия резервирования каналов (*Guard Channels Strategy*) для соответствующих хэндовер-вызовов. Вместе с тем, они отличаются друг от друга стратегией доступа в общую зону каналов. А именно, в первом варианте об-

щая зона используется согласно полнодоступной схеме (*Complete Sharing, CS*), а во втором – используется стратегия отсечения части (*Cutoff Strategy*) новых вызовов.

I вариант

В этом варианте схемы разделения каналов (обозначим ее *IPwCZv1*-схема) доступ v -вызовов осуществляется следующим образом. Если в момент поступления hv -вызова имеется хотя бы один свободный канал в v -зоне, то он занимает его. Если в момент поступления ov -вызова число занятых каналов в этой зоне меньше, чем G_{ov} , $1 \leq G_{ov} \leq N_v$, то он занимает любой свободный канал этой зоны; в противном случае свободный канал может оказаться 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, чем G_{od} , $1 \leq G_{od} \leq N_d$, то он занимает любой свободный канал этой зоны; в противном случае свободный канал находят в vd -зоне.

Отметим, что в данном варианте схемы разделения каналов нет ограничения на максимальное число разнотипных вызовов в общей зоне, т.е. общая зона используется согласно *CS*-схеме. Это означает, что поступивший вызов любого типа принимается в vd -зону, если имеется хотя бы один свободный канал в этой зоне; в противном случае, т.е. если все каналы общей зоны заняты, поступивший в vd -зону вызов любого типа теряется. Отметим, что функция распределения времени занятости канала v -вызовом (d -вызовом) каждого типа в vd -зоне также есть экспоненциальной с тем же средним $1/\mu_v$ ($1/\mu_d$).

Основными показателями *QoS* разнотипных вызовов есть вероятности их потери. Вероятность потери x -вызовов обозначается как P_x , $x \in \{hv, ov, hd, od\}$. Проблема состоит в нахождении этих параметров.

II вариант

В этом варианте схемы разделения каналов (обозначим ее *IPwCZv2*-схема) доступ v -вызо-

вов и d -вызовов в соответствующие индивидуальные зоны осуществляется, как и в $IPwCZv1$ -схеме. Вместе с тем, в этой схеме, в отличие от предыдущей, имеются ограничения на максимальное число новых вызовов в общей зоне, т.е. общая зона не используется согласно CS -схеме. А именно, поступившие hv -вызовы и hd -вызовы принимаются в vd -зону с вероятностью единица, если в моменты их поступления есть хотя бы один свободный канал этой зоны; иначе они теряются. Однако ov -вызов (od -вызов) принимается в vd -зону, если в момент его поступления суммарное число речевых вызовов (вызовов данных) меньше, чем R_{ov} (R_{od}), $1 \leq R_{od} \leq R_{ov} \leq N_{vd}$. Это означает, что если в момент поступления ov -вызова (od -вызова) число вызовов данного типа в vd -зоне равно R_{ov} (R_{od}), то он теряется независимо от числа свободных каналов в vd -зоне. Отметим, что функция распределения времени занятия канала v -вызовом (d -вызовом) каждого типа в vd -зоне также экспоненциальна с тем же средним $1/\mu_v$ ($1/\mu_d$).

Замечание 1. Вариант I – частный случай варианта II, так как если в последнем варианте предположим, что $R_{ov} = R_{od} = N_{vd}$, то получается вариант I.

Методы расчета

Сначала рассмотрим решение задачи для $IPwCZv1$ -схемы разделения каналов. Согласно данной схеме v -вызовы, которые получили отказ в своей (индивидуальной) зоне каналов, поступают в общую зону. Потому интенсивность поступления ov -вызовов ($\tilde{\lambda}_{ov}$) и hv -вызовов ($\tilde{\lambda}_{hv}$) в общую зону определяются так:

$$\tilde{\lambda}_{ov} = \lambda_{ov} P_{ov}^{(i)}, \quad \tilde{\lambda}_{hv} = \lambda_{hv} P_{hv}^{(i)}, \quad (1)$$

где $P_{ov}^{(i)}$ и $P_{hv}^{(i)}$ обозначают соответственно вероятности потери ov -вызовов и hv -вызовов в v -зоне каналов.

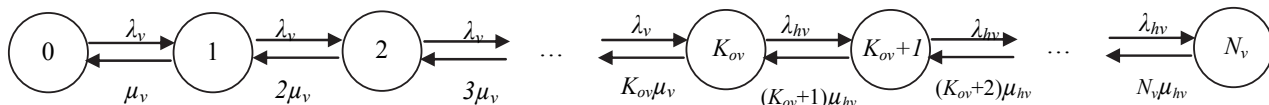


Рис. 2. Граф переходов между состояниями модели v -зоны каналов

Аналогично определяется интенсивность поступления od -вызовов ($\tilde{\lambda}_{od}$) и hd -вызовов ($\tilde{\lambda}_{hd}$) в общую зону:

$$\tilde{\lambda}_{od} = \lambda_{od} P_{od}^{(i)}, \quad \tilde{\lambda}_{hd} = \lambda_{hd} P_{hd}^{(i)}, \quad (2)$$

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

Следовательно, для решения поставленной задачи в первую очередь требуется найти вероятности потери разнотипных вызовов в индивидуальных зонах каналов. Эти величины могут быть найдены следующим образом.

Рассмотрим задачу нахождения вероятностей потери ov -вызовов и hv -вызовов в v -зоне каналов. С этой целью следует исследовать систему обслуживания с двумя типами вызовов, в которой используется схема резервирования каналов для hv -вызовов. Состояние этой системы может быть задано скалярным параметром $i, i = 0, 1, \dots, N_v$, который указывает число занятых каналов системы (или, что то же самое, общее число вызовов в системе). Вероятность состояния i обозначим через $\rho_v(i)$. Согласно принятой стратегии доступа в v -зоне каналов, получаем, что граф переходов между состояниями этой системы имеет вид, показанный на рис. 2. Используя общее решение для одномерных процессов размножения и гибели, имеем:

$$\rho_v(i) = \begin{cases} \frac{v_v^i}{i!} \rho_v(0), & \text{если } 0 \leq i \leq G_{ov}, \\ \left(\frac{v_v}{v_{hv}} \right)^{G_{ov}} \frac{v_{hv}^i}{i!} \rho_v(0), & \text{если } G_{ov} + 1 \leq i \leq N_v, \end{cases} \quad (3)$$

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

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

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

$$P_{ov}^{(i)} = \sum_{i=G_{ov}}^{N_v} \rho_v(i); P_{hv}^{(i)} = \rho_v(N_v). \quad (4)$$

Таким же образом находим вероятности потери od -вызовов и hd -вызовов в d -зоне каналов

$$P_{od}^{(i)} = \sum_{i=G_{od}}^{N_d} \rho_d(i); P_{hd}^{(i)} = \rho_d(N_d). \quad (5)$$

В формулах (5) вероятности $\rho_d(i), i = 0, 1, \dots, N_d$, определяются так:

$$\rho_d(i) = \begin{cases} \frac{v_d^i}{i!} \rho_d(0), & \text{если } 0 \leq i \leq G_{od}, \\ \left(\frac{v_d}{v_{hd}}\right)^{G_{od}} \frac{v_{hd}^i}{i!} \rho_d(0), & \text{если } G_{od} + 1 \leq i \leq N_d, \end{cases} \quad (6)$$

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

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

Потерянные в индивидуальных зонах разнотипные вызовы поступают в общую зону, которая имеет $N_{vd} > 1$ каналов. Поэтому далее нужно исследовать систему обслуживания с четырьмя пуассоновскими потоками; при этом интенсивность x -вызовов равна $\tilde{\lambda}_x, x \in \{hv, ov, hd, od\}$ (1) и (2).

Структурная схема этой системы показана на рис. 3. Поскольку среднее время обработки новых и хэндовер-вызовов каждого типа одинаковы, то состояние данной системы в произвольный 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 в общей зоне. В этом варианте

разнотипные вызовы равноправно используют каналы общей зоны, поэтому фазовое пространство состояний (ФПС) системы определяется так:

$$S = \{ \mathbf{n} : n_d = 0, 1, \dots, N_{vd}, n_v = 0, 1, \dots, N_{vd}; n_d + n_v \leq N_{vd} \}. \quad (7)$$

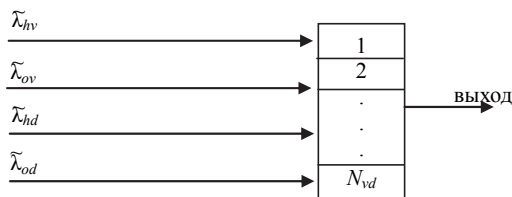


Рис. 3. Структурная схема модели vd -зоны каналов

Неотрицательные элементы производящей матрицы данной двумерной цепи Маркова (ЦМ) обозначим через $q(\mathbf{n}, \mathbf{n}')$. Они определяются из следующих соотношений (рис. 4):

$$q(\mathbf{n}, \mathbf{n}') = \begin{cases} \tilde{\lambda}_d, & \text{если } \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_1, \\ \tilde{\lambda}_v, & \text{если } \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_2, \\ n_d \mu_d, & \text{если } \mathbf{n}' = \mathbf{n} - \mathbf{e}_1, \\ n_v \mu_v, & \text{если } \mathbf{n}' = \mathbf{n} - \mathbf{e}_2, \\ 0 & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (8)$$

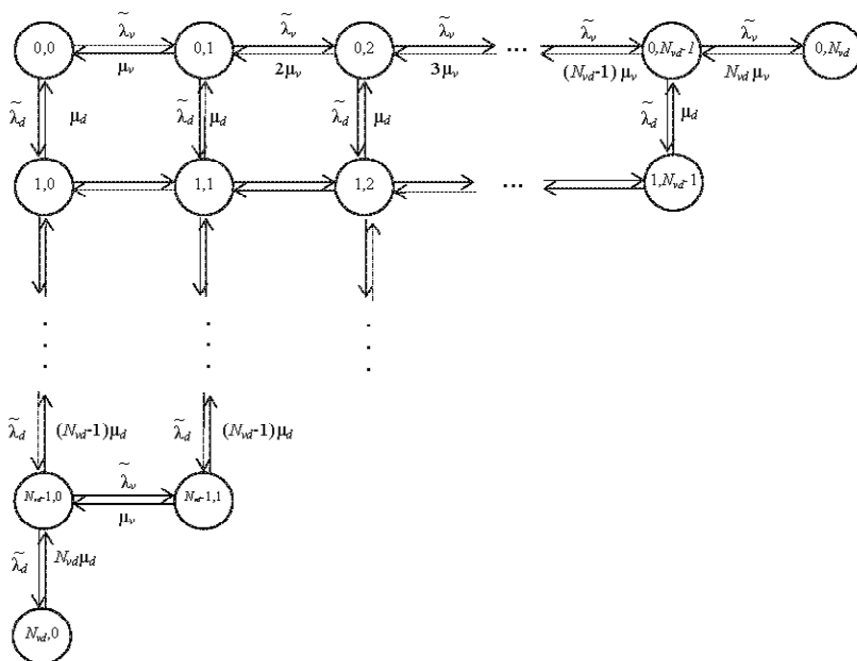


Рис. 4. Граф переходов модели vd -зоны каналов

где

$$\tilde{\lambda}_d = \tilde{\lambda}_{od} + \tilde{\lambda}_{hd}, \tilde{\lambda}_v = \tilde{\lambda}_{ov} + \tilde{\lambda}_{hv}, \mathbf{e}_1 = (1, 0), \mathbf{e}_2 = (0, 1).$$

Вероятность состояния (n_d, n_v) обозначим через $p(n_d, n_v)$.

Утверждение 1. Стационарное распределение вероятностей состояний общей зоны при использовании $IPwCZv1$ -схемы разделения каналов имеет следующий вид:

$$p(n_d, n_v) = p(0, 0) \frac{\tilde{v}_d^{n_d} \tilde{v}_v^{n_v}}{n_d! n_v!}, \quad (9)$$

где $\tilde{v}_d = (\tilde{\lambda}_{od} + \tilde{\lambda}_{hd}) / \mu_d$, $\tilde{v}_v = (\tilde{\lambda}_{ov} + \tilde{\lambda}_{hv}) / \mu_v$, $p(0, 0)$ находится из условия нормировки, т.е.

$$\sum_{(n_d, n_v) \in S} p(n_d, n_v) = 1.$$

Доказательство этого факта базируется на том, что данная ЦМ обратима. Действительно, с использованием теоремы Колмогорова [15] об обратимости двумерных цепей Маркова можно показать, что в данной системе существует нулевая циркуляция между ее состояниями, т.е. удовлетворяется условие локального баланса. Тогда удастся 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 (рис. 4). Таким образом, выбирая путь $(0, 0), (1, 0), \dots, (n_d, 0), (n_d, 1), \dots, (n_d, n_v)$, получим, что имеется мультипликативное решение (9) для распределения вероятностей состояний модели.

Вероятность потери в общей зоне каналов $(P_x^{(c)}, x \in \{ov, hv, od, hd\})$ одинакова $(P^{(c)})$ для всех типов вызовов и определяется так [16]:

$$P^{(c)} = E_B(v, N_{vd}), \quad (10)$$

где $E_B(v, N_{vd})$ представляет собой B -формулу Эрланга для системы $M/M/N_{vd}/0$ с общей нагрузкой $v = \tilde{v}_v + \tilde{v}_d$.

Теперь рассмотрим решение аналогичной задачи для $IPwCZv2$ -схемы разделения каналов.

Замечание 2. В дальнейшем в целях упрощения изложения при анализе всех схем разделения каналов, а также их различных вариантов, используются одинаковые обозначения

для ФПС, стационарных вероятностей состояний и показателей QoS разнотипных вызовов. Вместе с тем, из контекста будет ясно, о каких именно схемах и их вариантах будет идти речь.

Здесь вероятности потери разнотипных вызовов в соответствующих индивидуальных зонах определяются согласно формулам (4) и (5); фазовое пространство состояний модели общей зоны каналов задается также с помощью (7). Вместе с тем, в данном варианте неотрицательные элементы производящей матрицы соответствующей двумерной ЦМ определяются так (рис. 5):

$$q(\mathbf{n}, \mathbf{n}') = \begin{cases} \tilde{\lambda}_d, & \text{если } n_d < R_{od}, \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_1, \\ \tilde{\lambda}_{hd}, & \text{если } n_d \geq R_{od}, \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_1, \\ \tilde{\lambda}_v, & \text{если } n_v < R_{ov}, \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_2, \\ \tilde{\lambda}_{hv}, & \text{если } n_v \geq R_{ov}, \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_2, \\ n_d \mu_d, & \text{если } \mathbf{n}' = \mathbf{n} - \mathbf{e}_1, \\ n_v \mu_v, & \text{если } \mathbf{n}' = \mathbf{n} - \mathbf{e}_2, \\ 0 & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (11)$$

где $\tilde{\lambda}_d = \tilde{\lambda}_{od} + \tilde{\lambda}_{hd}$, $\tilde{\lambda}_v = \tilde{\lambda}_{ov} + \tilde{\lambda}_{hv}$.

Утверждение 2. Стационарное распределение вероятностей состояний общей зоны при использовании $IPwCZv2$ -схемы разделения каналов имеет следующий вид:

Случай $R_{od} \leq N_{vd} - R_{ov}$:

$$p(n_d, n_v) = \begin{cases} \frac{\tilde{v}_d^{n_d}}{n_d!} \cdot \frac{\tilde{v}_v^{n_v}}{n_v!} \cdot p(0, 0), & \text{если } (n_d, n_v) \in S_1, \\ \left(\frac{\tilde{v}_v}{\tilde{v}_{hv}}\right)^{R_{ov}} \cdot \frac{\tilde{v}_d^{n_d}}{n_d!} \cdot \frac{\tilde{v}_v^{n_v}}{n_v!} \cdot p(0, 0), & \text{если } (n_d, n_v) \in S_2, \\ \left(\frac{\tilde{v}_d}{\tilde{v}_{hd}}\right)^{R_{od}} \cdot \frac{\tilde{v}_d^{n_d}}{n_d!} \cdot \frac{\tilde{v}_v^{n_v}}{n_v!} \cdot p(0, 0), & \text{если } (n_d, n_v) \in S_3, \\ \left(\frac{\tilde{v}_d}{\tilde{v}_{hd}}\right)^{R_{od}} \cdot \left(\frac{\tilde{v}_v}{\tilde{v}_{hv}}\right)^{R_{ov}} \cdot \frac{\tilde{v}_d^{n_d}}{n_d!} \cdot \frac{\tilde{v}_v^{n_v}}{n_v!} \cdot p(0, 0), & \text{если } (n_d, n_v) \in S_4. \end{cases} \quad (12)$$

где $\tilde{v}_{hd} = \tilde{\lambda}_{hd} / \mu_d$, $\tilde{v}_{hv} = \tilde{\lambda}_{hv} / \mu_v$. Здесь также приняты следующие обозначения:

$$\begin{aligned} S_1 &= \{(n_d, n_v) \in S : 0 \leq n_d \leq R_{od}, 0 \leq n_v \leq R_{ov}\}, \\ S_2 &= \{(n_d, n_v) \in S : 0 \leq n_d \leq R_{od}, n_v > R_{ov}\}, \\ S_3 &= \{(n_d, n_v) \in S : n_d > R_{od}, 0 \leq n_v \leq R_{ov}\}, \\ S_4 &= \{(n_d, n_v) \in S : n_d > R_{od}, n_v > R_{ov}\}. \end{aligned}$$

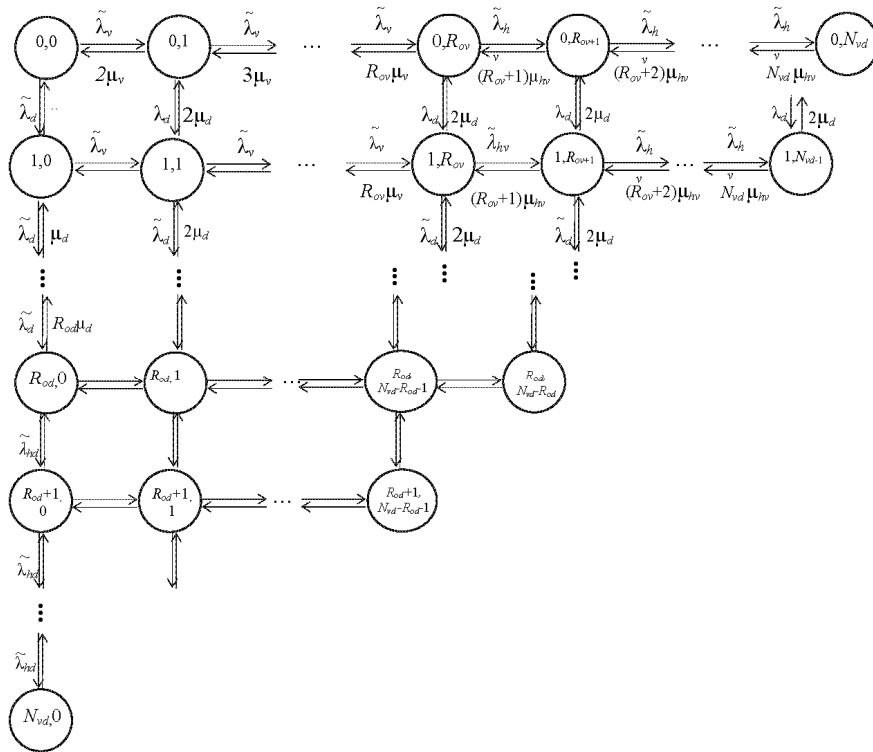


Рис. 5. Граф переходов между состояниями модели в IPwCZv2-схемы разделения каналов

Случай $R_{od} > N_{vd} - R_{ov}$:

$$p(n_d, n_v) = \begin{cases} \frac{\tilde{v}_d^{n_d}}{n_d!} \cdot \frac{\tilde{v}_v^{n_v}}{n_v!} \cdot p(0,0), & \text{если } (n_d, n_v) \in T_1, \\ \left(\frac{\tilde{v}_d}{\tilde{v}_{hd}}\right)^{R_{od}} \cdot \frac{\tilde{v}_{hd}^{n_d}}{n_d!} \cdot \frac{\tilde{v}_v^{n_v}}{n_v!} \cdot p(0,0), & \text{если } (n_d, n_v) \in T_2, \\ \left(\frac{\tilde{v}_v}{\tilde{v}_{hv}}\right)^{R_{ov}} \cdot \frac{\tilde{v}_d^{n_d}}{n_d!} \cdot \frac{\tilde{v}_{hv}^{n_v}}{n_v!} \cdot p(0,0), & \text{если } (n_d, n_v) \in T_3. \end{cases} \quad (13)$$

В данном случае приняты обозначения:

$$T_1 = \{(n_d, n_v) \in S : 0 \leq n_d \leq R_{od}, 0 \leq n_v \leq R_{ov}\},$$

$$T_2 = \{(n_d, n_v) \in S : n_d > R_{od}, 0 \leq n_v \leq N_{vd} - n_d\},$$

$$T_3 = \{(n_d, n_v) \in S : 0 \leq n_d \leq N_{vd} - R_{ov} - 1, n_v > R_{ov}\}.$$

В обоих случаях $p(0,0)$ находится из условия нормировки, т.е. $\sum_{n \in S} p(n) = 1$.

Доказательство этого факта проводится аналогично доказательству предыдущего утверждения. Действительно, выбирая путь $(0,0), (1,0), \dots, (n_d, 0), (n_d, 1), \dots, (n_d, n_v)$, в случае $R_{od} \leq N_{vd} - R_{ov}$ (рис. 6, а) для распределения вероятностей состояний модели получим мультипликативное решение (12); для случая

$R_{od} > N_{vd} - R_{ov}$ (рис. 6, б) распределение вероятностей состояний модели имеет вид (13).

Рассмотрим задачу определения вероятностей потери вызовов в общей зоне каналов при использовании IPwCZv2-схемы разделения каналов. Они определяются как соответствующие маргинальные распределения данной двумерной цепи.

Поскольку hv -вызовы и hd -вызовы теряются, если в моменты их поступления все каналы общей зоны заняты, то имеем

$$P_{hv}^{(c)} = P_{hd}^{(c)} = \sum_{n \in S_d} p(n), \quad (14)$$

где $S_d = \{n \in S : n_d + n_v = N_{vd}\}$ – множество диагональных состояний матрицы исходного пространства состояний (7).

Новые вызовы речи теряются, если в моменты их поступления:

а) количество вызовов данного типа меньше, чем R_{ov} , но при этом все каналы общей зоны заняты;

б) либо уже имеются R_{ov} вызовов данного типа независимо от общего количества занятых каналов общей зоны.

Таким образом, вероятность их потери в общей зоне определяется так:

$$P_{ov}^{(c)} = \sum_{n \in S_d} p(n) I(n_v \leq R_{ov}) + \sum_{n \in S} p(n) I(n_v > R_{ov}), \quad (15)$$

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

В формуле (15) первое слагаемое суммы оценивает вероятность события (а), а второе – вероятность события (б).

Рассуждая аналогичным образом, находим, что вероятность потери od -вызовов в общей зоне определяется так:

$$P_{od}^{(c)} = \sum_{n \in S_d} p(n) I(n_d \leq R_{od}) + \sum_{n \in S} p(n) I(n_d > R_{od}). \quad (16)$$

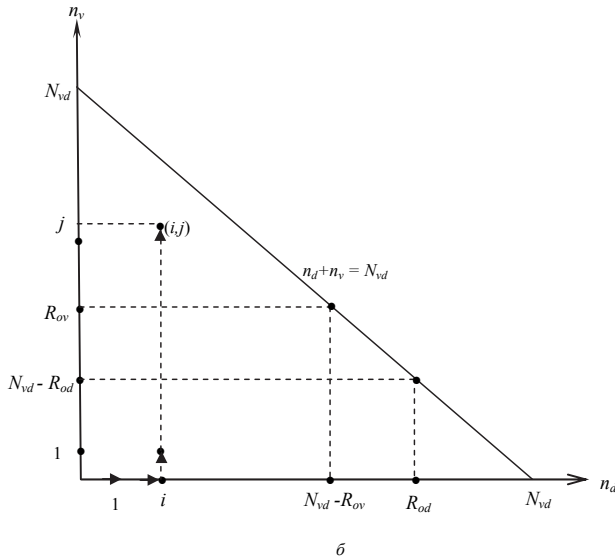
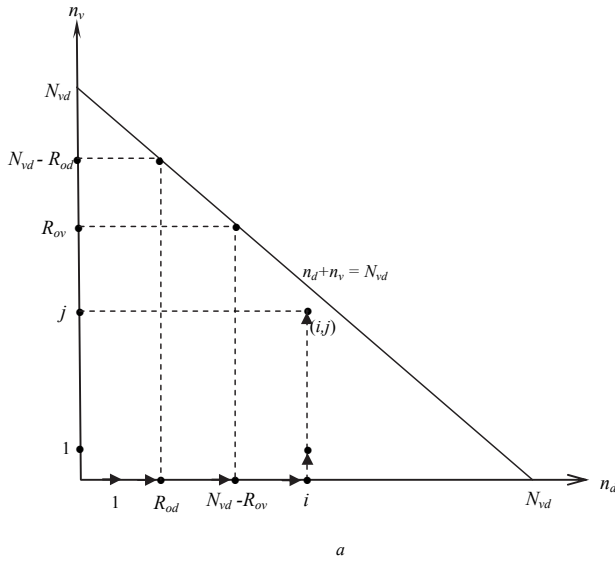


Рис. 6. Вид ФПС модели vd -зоны каналов в случае: $a - R_{od} < N_{vd} - R_{ov}$; $b - R_{od} \geq N_{vd} - R_{ov}$

Таким образом, с использованием соотношений (12) – (16) находим следующие явные формулы для вычисления вероятности потери разнотипных новых вызовов при использовании $IPwCZv2$ -схемы разделения каналов:

$$P_{hv}^{(c)} = P_{hd}^{(c)} = \sum_{n_d=0}^{N_{vd}} p(n_d, N_{vd} - n_d); \quad (17)$$

$$P_{ov}^{(c)} = \sum_{n_v=0}^{R_{ov}-1} p(N_{vd} - n_v, n_v) + \sum_{n_v=R_{ov}}^{N_{vd}} \sum_{n_d=0}^{N_{vd}-n_v} p(n_d, n_v); \quad (18)$$

$$P_{od}^{(c)} = \sum_{n_d=0}^{R_{od}-1} p(n_d, N_{vd} - n_d) + \sum_{n_d=R_{od}}^{N_{vd}} \sum_{n_v=0}^{N_{vd}-n_d} p(n_d, n_v). \quad (19)$$

Замечание 3. Ранее было отмечено, что (замечание 1), вариант I – частный случай варианта II. Действительно, если в (12) – (19) предположим, что $R_{ov} = R_{od} = N_{vd}$, то получаются соответствующие формулы расчета (9) – (11) для варианта I.

Численные результаты

Разработанные алгоритмы позволяют изучить поведение показателей QoS относительно изменения структурных и нагрузочных параметров модели соты при использовании каждой схемы разделения каналов.

Вначале обсудим результаты для $IPwCZv1$ -схемы разделения каналов. Поскольку эта схема содержит достаточно большое число структурных параметров ($N_v, N_d, N_{vd}, G_{ov}, G_{od}$), то изучение поведения показателей QoS относительно изменения каждого из них оказывается достаточно сложной технической проблемой. Она еще больше усложняется, если допустить одновременное изменение этих параметров. Поэтому предполагается, что нагрузочные параметры модели считаются заданными и количество каналов в каждой зоне фиксированы, варьируются лишь параметры G_{ov} и G_{od} .

Нагрузочные параметры гипотетической модели выбирались следующим образом [17]: $\lambda_{ov} + \lambda_{hv} = 2,8$ вызов/с, $\lambda_{od} + \lambda_{hd} = 5,4$ вызов/с, $\mu_v^{-1} = 5$ с, $\mu_d^{-1} = 2$ с. Предполагается, что примерно 50 процентов суммарной интенсивности трафика вызовов каждого типа составляют хэндовер-вызовы. Система имеет 35 каналов ($N = 35$), из них 12 выделены для v -зоны ($N_v = 12$) и восемь каналов – для d -зоны ($N_d = 8$).

На рис. 7 показано поведение вероятности потери разнотипных вызовов (которые есть одинаковыми всех типов вызовов) относительно изменения параметра G_{ov} , где рассматриваются два варианта: в первом варианте принимается, что $G_{od} = 2$, а во втором – $G_{od} = 6$. Отметим, что в этой схеме разделения каналов не следует ожидать монотонности функции

$P^{(c)}$ относительно изменения параметра G_{ov} , так как с увеличением этого параметра уменьшается лишь вероятность потери новых вызовов речи в индивидуальной зоне (т.е. $P_{ov}^{(i)}$), а все остальные три вероятности потери (т.е. $P_{hv}^{(i)}, P_{od}^{(i)}, P_{hd}^{(i)}$) увеличиваются. Иными словами, с ростом параметра G_{ov} уменьшается интенсивность поступления новых вызовов речи в общую зону, но при этом растут интенсивности поступления вызовов других типов в общую зону. Поскольку при постоянном значении количества каналов общей зоны (N_{vd}) значение функции $P^{(c)}$ определяется суммарной нагрузкой разнотипных вызовов в общей зоне каналов (см. формулы (10)), то невозможно гарантировать монотонность указанной функции, т.е. ее поведение полностью определяется изменением суммарной нагрузки в общую зону. Отметим, что для выбранных исходных данных функция $P^{(c)}$ монотонно убывающая при первом варианте ($G_{od} = 2$), а во втором – ($G_{od} = 6$) она сначала убывает, а далее представляет собой выпуклую функцию (рис. 7).

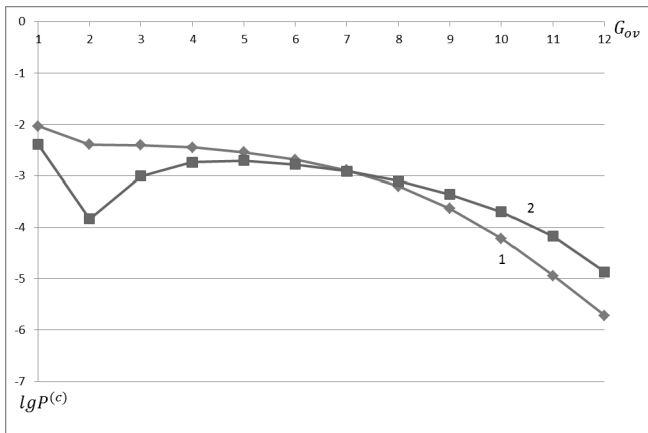


Рис. 7. Зависимость вероятности потери разнотипных вызовов от параметра G_{ov} при $IPwCZv1$ -схеме разделения каналов

Аналогичным образом изучено поведение вероятности потери разнотипных вызовов относительно изменения параметра G_{od} , где также рассматриваются два варианта: в первом варианте принимается, что $G_{ov} = 2$, а во втором – $G_{ov} = 10$. Соответствующие результаты

показаны на рис. 8. Как и выше, здесь также не следовало ожидать монотонности функции $P^{(c)}$ относительно изменения параметра G_{od} , так как с увеличением этого параметра в данном случае уменьшается лишь вероятность потери новых вызовов данных в индивидуальной зоне (т.е. $P_{od}^{(i)}$), а все остальные три вероятности потери (т.е. $P_{hv}^{(i)}, P_{ov}^{(i)}, P_{hd}^{(i)}$) увеличиваются. Отметим, что для выбранных исходных данных функция $P^{(c)}$ также монотонно убывающая при первом варианте ($G_{ov} = 2$), а во втором – ($G_{ov} = 10$) она сначала убывает, а далее представляет собой вогнутую функцию (рис. 8).

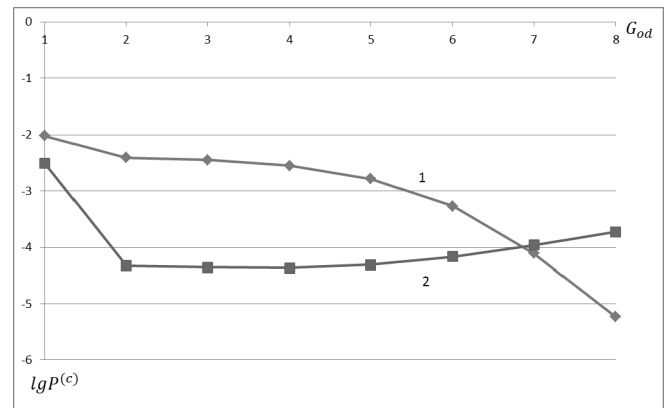


Рис. 8. Зависимость вероятности потери разнотипных вызовов от параметра G_{od} при $IPwCZv1$ -схеме разделения каналов

Теперь рассмотрим результаты численных экспериментов для $IPwCZv2$ -схемы разделения каналов. Данная схема имеет больше степеней свободы, чем $IPwCZv1$ -схема разделения каналов.

Структурные и нагрузочные параметры модели выбирались, как и ранее. Здесь также предполагается, что нагрузочные параметры модели считаются заданными и число каналов в каждой зоне фиксировано. Кроме того, предположим, что параметры $G_{ov} = 6$ и $G_{od} = 4$ фиксированы, а варьируются лишь параметры R_{ov} и R_{od} .

Для краткости изложения рассматривается лишь зависимость вероятности потери разнотипных вызовов относительно изменения параметра R_{od} , так как зависимость от параметра R_{ov} имеет аналогичный характер.

Результаты численных экспериментов показаны на рис. 9. Здесь принято, что $R_{ov} = 12$, $G_{ov} = 6$, $G_{od} = 6$. Из приведенных графиков видно, что лишь функция $P_{od}^{(c)}$ убывающая относительно параметра R_{od} , а остальные функции монотонно растут с увеличением указанного параметра. Эти результаты логичны, так как увеличение параметра R_{od} приводит к увеличению шансов принятия новых вызовов данных в общую зону каналов и одновременно при этом уменьшаются шансы вызовов других типов на получение обслуживания в общей зоне. Отметим, что авторами выполнен большой объем численных экспериментов для различных комбинаций значений параметров G_{ov} и G_{od} . Эти результаты показали, что вероятности потери разнотипных вызовов достаточно плавно изменяются относительно этих параметров; так, например, почти те же результаты получаются и при $R_{ov} = 12, G_{ov} = 6, G_{od} = 4$.

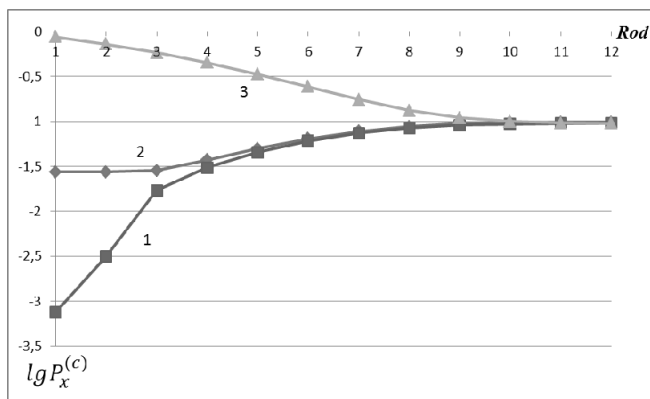


Рис. 9. Зависимость вероятности потери разнотипных вызовов от параметра R_{od} при $IPwCZv2$ -схеме разделения каналов, 1 – $\lg P_{hv}^{(c)}$ ($\lg P_{hd}^{(c)}$); 2 – $\lg P_{ov}^{(c)}$; 3 – $\lg P_{od}^{(c)}$

Заключение. Предложены новые схемы разделения каналов в интегральных сотовых сетях связи, в которых осуществляется обработка речевых вызовов и вызовов данных. Согласно этим схемам весь пул каналов изолированно разделен между разнотипными вызовами, при этом имеется общая зона каналов для обслуживания разнотипных вызовов. В индивидуальной зоне каналов используется стратегия резервирования каналов для соответствующих хэндовер-вызовов. Для использования общей

зоны каналов предлагается две схемы: в одной из них она используется равноправно вызовами любого типа, а в другой – вводятся пороговые параметры для новых вызовов обоих типов, зависящие от суммарного числа вызовов соответствующего типа в общей зоне. Предложены явные формулы для расчета показателей QoS каждой схемы распределения каналов при заданных значениях числа каналов и нагрузок разнотипных вызовов. Эти формулы позволяют проводить сравнительный анализ характеристик системы при различных схемах распределения каналов и выбирать надлежащие схемы. Эти задачи могут быть предметом специальных исследований.

1. Daigle J.N. Queueing theory with applications to packet telecommunication. – Boston: Springer, 2005. – 316 p.
2. Modeling and dimensioning of mobile networks: From GSM to LTE / M. Stasiak, M. Glabowski, A. Wishniewski et al. – New York: John Wiley, 2011. – 340 p.
3. Lakatos L., Szeidl L., Telek M. Introduction to queueing systems with telecommunication applications. – New York; Heidelberg; Dordrecht; London: Springer, 2013. – 385 p.
4. Melikov A., Ponomarenko L. Multidimensional queueing models in telecommunication networks. – Ibid: Springer, 2014. – 202 p.
5. Schneps–Schneppe M., Iversen V.B. Call admission control in cellular networks // In Mobile Networks (Ed. Ortiz J.H.). – Intech. – 2012. – P. 111–136.
6. Ogbonmwan S.E., Wei L. Multi-threshold bandwidth reservation scheme of an integrated voice/data wireless network // Comp. Communications. – 2006. – 29, N 9. – P. 1504–1515.
7. Call admission control for voice/data integrated cellular networks: Performance analysis and comparative study / B. Li, L. Li, K.M. Sivalingam et al. // IEEE J. of Selected Areas on Communications. – 2004. – 22, N 4. – P. 706–718.
8. Numerical analysis of multi-parameter strategy of access in multiservice cellular communication networks Y. Oh, C.S. Kim, A.Z. Melikov et al. // Automation and Remote Control. – 2010. – 71, N 12. – P. 2558–2572.
9. Меликов А.З., Фаттахова М.И., Велиджанова Г.М. Метод расчета параметров интегральной сотовой сети связи с изолированным разделением каналов // Электронное моделирование. – 2014. – Т. 36, № 5. – С. 37–48.
10. Melikov A.Z., Fattakhova M.I., Babayev A.T. Investigation of cellular communication networks with private channels for service of handover calls // Auto-

- matic Control and Computer Sciences. – 2005. – **39**, N 3. – P. 61–69.
11. 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.
 12. 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. – **50**, N 6. – P. 884–890.
 13. Kamoun F., Kleinrock L. Analysis of shared finite storage in a computer network node environment under general traffic conditions // IEEE Transactions on Communication. – 1980. – **28**, N 7. – P. 992–1003.
 14. Kelly F.P. Reversibility and stochastic networks. – New York: John Wiley & Sons, 1979. – 233 p.
 15. Kolmogorov A. Zum theorie der Markoffschen ketten // Mathematische Annalen. – 1936. – **B112**. – P. 155–160.
 16. Меликов А.З., Пономаренко Л.А., Паладюк В.В. Теле-трафик: Модели, методы, оптимизация. – К.: ИПК Политехника, 2007. – 256 с.
 17. Performance analysis of multi-service wireless network: An approach integrating CAC, scheduling, and buffer management / G.H.S. Carvalho, V.S. Martins, C.R.L. Frances et al. // Comp. and Electr. Engin. – 2008. – **34**. – P. 346–356.

Поступила 09.04.2015

E-mail: laponomarenko@ukr.net

© А.З. Меликов, Л.А. Пономаренко, Г.М. Велиджанова,
2016

UDC 519.872:621.394.74

Melikov A.Z., Ponomarenko L.A., Velidzanova G.M.

Multi-parametric Hybrid Isolated Schemas to Partition of Channels in Integrated Cellular Networks

Keywords: cellular network, channels partition schemas, quality of service, multiplicative solution

Introduction. In Integrated Cellular Network (ICN) four type of calls are distinguished: handover voice calls (hv-calls), new voice calls (ov-calls), handover data calls (hd-calls) and new data calls (od-calls). The indicated calls have the different quality of service (QoS) requirements. To satisfy these requirements of heterogeneous calls in the available literature several channels partition schemas are proposed.

Purpose. New two schemas to partition of common channels in Integrated Cellular Network (ICN) are proposed. The indicated schemas allow to satisfy the different requirement of heterogeneous calls to quality service (QoS) metrics. Both schemas are based on the idea of Isolated Partition with Common Zone (IPwCZ). In both schemas in individual zone the guard channels scheme for handover calls is used. In one of them (IPwCZv1) the common zone of channels is used by Complete Sharing (CS) scheme; in another scheme (IPwCZv2) in common zone of channels the cutoff scheme is used. The effective methods to calculate the QoS metrics of heterogeneous calls is developed.

Method. The functioning of the investigated model is described by two-dimensional Markov Chain (2-D MC). Infinitesimal matrix of appropriate 2-D MC in both schemas are developed. It is shown that stationary distribution of indicated 2-D MC in both cases have multiplicative form and explicit formulas are developed. The algorithms to calculate QoS metrics of the different types of calls are proposed.

Results. The results of numerical experiments for both schemas of channels partitions are demonstrated. In order to be concrete only dependencies of QoS metrics on parameters of channels partition schemas are shown. These results allow to perform detailed analysis of QoS metrics behavior in wide area of the different models.

Conclusion. Simple algorithms to calculate QoS metrics in ICN are developed. Complexities of the algorithms are very low and they allow to select the optimal partition scheme in the investigated networks. The last problems will be studied in the future works.

