

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ

УДК 65.021.56

С.Н. Назаров, Н.А. Касеева

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ПАРОСОЧЕТАНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВЫСОКОМОБИЛЬНЫХ АБОНЕНТОВ

Назаров Сергей Николаевич, кандидат технических наук, окончил Военную академию связи им. С.М. Буденного, адъюнктуру Ульяновского высшего военного инженерного училища связи, докторант УлГТУ, доцент кафедры информатики Ульяновского высшего авиационного училища гражданской авиации (института). Имеет статьи и публикации в области моделирования систем и сетей беспроводной передачи информации. [e-mail:art3456@rambler.ru].

Касеева Наталья Андреевна, курсант Ульяновского высшего авиационного училища гражданской авиации (института). Имеет статьи и публикации в области моделирования систем и сетей беспроводной передачи информации. [e-mail:nat53880735@yandex.ru].

Аннотация

Проведен анализ возможности повышения эффективности обмена информацией за счет использования адаптивных схем модуляции, помехоустойчивого кодирования, многократного повторения управляющих сообщений. Предложены алгоритмы повышения эффективности функционирования мобильной платформы на основе решения оптимизационной задачи определения максимальной пропускной способности системы широкополосного доступа высококомобильных абонентов.

Ключевые слова: высококомобильный абонент, схема модуляции, профиль пакета, вероятность успешного хэндовера, локальная сеть на мобильной платформе, ретранслятор, зональный диспетчер, множество соответствия, вектор мощности, пропускная способность системы, полный нагруженный двудольный граф, макродиверсифицированный хэндовер.

Sergey Nikolaevich Nazarov, Candidate of Engineering; graduated from the Military Communications Academy named after S. Budenny; finished his post-graduate study at Ulyanovsk Higher Military Communications Engineering College; doctoral student at Ulyanovsk State Technical University; Associate Professor at the Informatics Chair of Ulyanovsk Higher Civil Aviation School; author of articles and publications in the field of modeling of systems and networks of wireless data transfer. e-mail: art3456@rambler.ru.

Natalia Andreevna Kaseeva, cadet at Ulyanovsk Higher Civil Aviation School; author of articles and publications in the field of modeling of systems and networks of wireless data transfer. e-mail: nat53880735@yandex.ru.

Abstract

The authors of the article have analyzed a feasibility of enhancing the efficiency of data exchange due to the use of adaptive circuits of modulation, antinoise coding, reiteration of control messages. They also suggest algorithms of efficiency increase for the operation of a mobile platform on the basis of the solution of an optimising task of definition of maximum capacity of broadband access system of highly-mobile subscribers. Keywords: the highly mobile subscriber, the modulation circuit, a packet profile, successful Handover probability, a local area network on a mobile platform, a repeater, the zone dispatcher, set

of conformity, a power vector, transmission capacity of system, a simplex-method, complete weighted bipartite graph, Macro Diversity Handover.

Key words: highly-mobile subscriber, modulation circuit, packet profile, successful handover probability, mobile-platform local area network, repeater, zone dispatcher, set of conformity, power vector, transmission capacity of system, complete weighted bipartite graph, macro Diversity handover.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время вопрос обеспечения эффективности функционирования высокомобильных абонентов в современных инфокоммуникационных сетях беспроводной передачи информации имеет большое значение. к таким абонентам можно отнести пассажиров автомобильного, железнодорожного и воздушного транспорта. Скорость их передвижения значительно превышает ограничения, введенные в существующих стандартах беспроводной связи. Сложность функционирования таких абонентов заключается в том, что предоставление им требуемых инфокоммуникационных услуг затрудняется из-за высокой частоты смены базовых станций, влияния эффекта Доплера, необходимости использовать эффективные антенные системы, значительных энергозатрат [1, 2].

решение данной проблемы предлагается осуществить, применяя технологии mobile hotspot (MHS) [1, 2].

Статья посвящена анализу эффективности функционирования высокомобильных абонентов и разработке методов ее повышения.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

применение MHS в гибридной сети беспроводной передачи информации [1, 2] может быть осуществлено за счет разнесенного приема [1, 2] и реализации технологии широкополосного доступа. Это позволит предоставлять абонентам инфокоммуникационные услуги с требуемым качеством. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ возможности повышения эффективности функционирования высокомобильного абонента посредством повторной передачи управляющих сообщений, использования помехоустойчивого кода, применения различных схем модуляции;
- разработать методы оценки пропускной способности системы предоставления телекоммуникационных услуг высокомобильным абонентам на основе реализации технологии разнесенного приема.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВЫСОКОМОБИЛЬНОГО АБОНЕНТА

Эффективность функционирования высокомобильных абонентов сетей широкополосного доступа во многом определяется успешным выполнением процедуры хэндовера. рассмотрим влияние многократного повторения управляющих сообщений на вероятность успешного хэндовера. пусть i -ое управляющее сообщение может быть повторно передано N_i раз. тогда вероятность успешного хэндовера [1]:

$$P_y = \prod_{i=0}^{M-1} \left[\sum_{j=1}^{N_i} \left(1 - [1 - P_b(\gamma_b)]^{L_i} \right)^{j-1} [1 - P_b(\gamma_b)]^{L_i} \right], \quad (1)$$

где M - число управляющих сообщений;

N_i - число повторов при передаче i -го сообщения хэндовера;

$P_b(\gamma_b)$ - вероятность битовой ошибки при отношении мощности полученного бита к мощности шума в канале на длительности бита, равно γ_b ;

L_i - длина сообщения в битах.

Анализ зависимостей (рис. 1) показывает, что вероятность успешной передачи управляющих сообщений хэндовера P_y уменьшается с увеличением вероятности ошибки в символе $P_b(\gamma_b)$. При использовании повторной передачи значение вероятности успешного хэндовера значительно повышается.

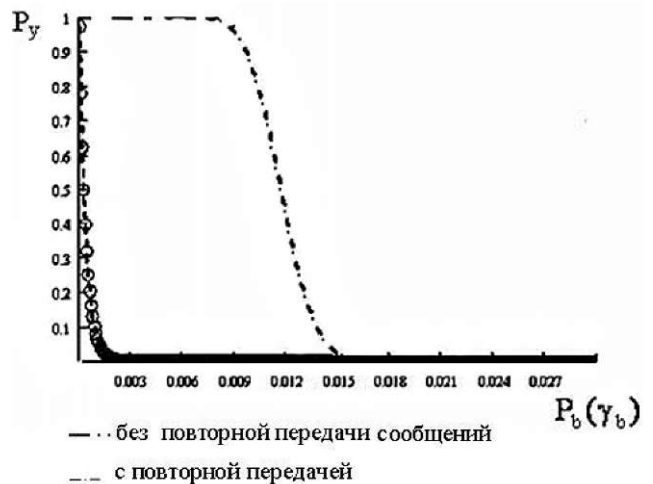


Рис. 1. Зависимости вероятности успешного хэндовера от вероятностей битовых ошибок

Для анализа связи рассмотренных параметров со скоростью передвижения мобильного абонента (МА) предположим, что на передаче сообщения выдаются в канал без задержек. Тогда полное время ожидания, связанное с процедурой хэндовера:

$$T_m = \left(\sum_{i=1}^M EN \right) T + M \cdot T_2, \quad (2)$$

где T - интервал времени между двумя смежными передачами одного сообщения;

T_2 - интервал времени распространения электромагнитной волны между базовой станцией (БС) и МА.

Пусть D - расстояние между двумя соседними БС, которое должен проехать МА при успешном хэндовере, v_m - скорость движения МА. Тогда полное время ожида-

ния, связанное с процедурой хэндовера, должно удовлет-

ворять условию: $L_M \leq \frac{m}{v_m} D$, следовательно, выражение

(1) может быть представлено:

$$P_y = \begin{cases} \prod_{l=0}^{M-1} \left[\sum_{j=1}^{N_l} (1 - [1 - P_b(\gamma_b)]^{L_l})^{j-1} [1 - P_b(\gamma_b)]^{L_l} \right], & \text{если } r p_M < \frac{D}{v_m} \\ 0, & \text{в других случаях.} \end{cases} \quad (3)$$

Из выражения (3) видно, что осуществление процедуры хэндовера ограничено временем передвижения МА между БС. Поэтому применение повторных передач управляющих сообщений не обеспечивает повышение эффективности функционирования высокомобильного абонента в сети широкополосного доступа.

Согласно работам [1, 2] влияние эффекта Доплера на вероятность битовой ошибки в зависимости от скорости МА показано в модели Кларка-Джейкса. Для анализа этого влияния представим выражение (1) в виде:

$$z = \prod_{i=0}^{M-1} \left[\sum_{j=1}^{N_i} (1 - [1 - Q(\sqrt{2\gamma_b})]^{L_i})^{j-1} \right]^{i-1} \times [1 - Q(\sqrt{2\gamma_b})]^{L_i} \quad (4)$$

где $P_b(\gamma_b) = Q(\sqrt{2\gamma_b})$ - вероятность ошибки на бит для квадратурной фазовой модуляции;

$$\gamma_b = \frac{1}{\log_2 K} \frac{1}{1 - \frac{1}{N^{2j}} v + 271} \frac{N T_s}{\log_2 K} \left(\frac{1}{E_b/N_0} \right)$$

среднее отношение энергии сигнала к мощности шума на длительности бита передаваемой информации;

Kl - число бит, используемых для кодирования символов OFDM;

N_0 - спектральная плотность гауссовского шума;

E_b - энергия сигнала на длительности бита передаваемой информации;

$$Y_{ii} = Y_i(N-i) J_0(2\pi f_m T A),$$

где N - число поднесущих канала OFDM;

J_0 - функция Бесселя нулевого порядка;

T_s - продолжительность символа используемой схемы модуляции, переданного на поднесущей;

$$f_m = \frac{K}{c} \cos(\alpha) \quad (\alpha - \text{частота Доплера,}$$

где c - скорость распространения света;

α - угол между вектором скорости движения МА и направлением связи с БС;

v_m - скорость движения абонента [1, 2, 3].

График зависимости вероятности успешного хэндовера от скорости перемещения МА показан на рисунке 2. Из анализа графика следует, что увеличение числа поднесущих в OFDM-символе со 100 до 300 позволяет обеспечить высокую вероятность успешного хэндовера при увеличении скорости движения МА с 20 до 25 м/с. Таким образом, увеличение скорости МА в 1,25 раза требует увеличения количества используемых для передачи сигнала поднесущих в OFDM-символе в 3 раза.

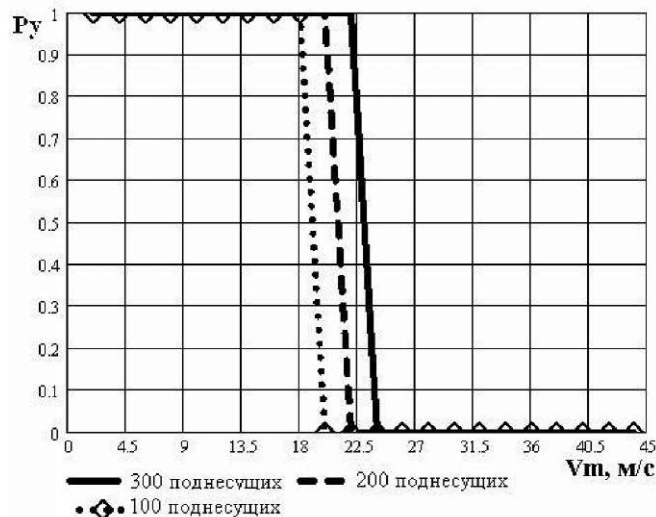


Рис. 2. График значений вероятности успешного хэндовера в зависимости от скорости перемещения МА

Повышение вероятности успешного хэндовера может быть достигнуто за счет применения кодов прямой коррекции ошибок (FEC - Forward Error Correction), которые позволяют получателю обнаруживать и исправлять ошибки, что улучшает качество беспроводного канала. При заданной скорости МА можно определить размер кода FEC, который обеспечит требуемое значение вероятности успешного хэндовера:

$$P_y = \prod_{i=0}^{M-1} \left[\sum_{j=1}^{N_i} (1 - p_i)^{j-1} p_i \right]^{i-1} \approx \prod_{i=0}^{M-1} \left[\sum_{j=1}^{N_i} (1 - p_i)^{j-1} p_i \right]^{i-1} \approx \prod_{i=0}^{M-1} (1 - p_i)^{N_i - 1} p_i \quad (5)$$

где $p_i = \phi^{L_i}$, L_i - вероятность случайного события A_i , заключающегося в том, что i -ое управляющее сообщение успешно получено МА или БС;

$$S = \sum_{l=0}^{M-1} N_l \leq \frac{D}{v_m} - M \cdot 7 L_z \quad T_x$$

вторных передач;

$$\tilde{p} \approx \frac{z^{k-1}}{k(2^{k-1})^2} \sum_{j=r+1}^{2^{k-1}} j \binom{2^{k-1}}{j} P_b(\gamma_b)^j (1 - P_b(\gamma_b))^{2^{k-1}-j}$$

вероятность ошибочного приема кодовой комбинации, которая определяется типом применяемого кода FEC. В [1] рассматривается код Рида-Соломона, где k - длина кодовой комбинации.

На рисунке 3 показана зависимость числа избыточных бит $N_{из}$ необходимых при различных скоростях МА, чтобы достигнуть трех различных вероятностей успешного хэндовера: 0.5, 0.7 и 0.9. Как видно из графиков на рисунке 3, чем выше скорость МА, тем больше избыточных бит необходимо использовать в адаптивной схеме кода FEC для обеспечения требуемой вероятности осуществления хэндовера. Например, чтобы достигнуть вероятности 0.9 в каждое передаваемое сообщение должны быть добавлены 4, 15 и 32 бита, если МА осуществляет движение со скоростью $V_m = 60, 80$ и 90 км/ч, соответственно. Таким образом, при увеличении скорости движения МА в 1,5 раза для поддержания требуемой вероятности успешного хэндовера необходимо увеличение числа избыточных бит в 8 раз в одном сообщении.

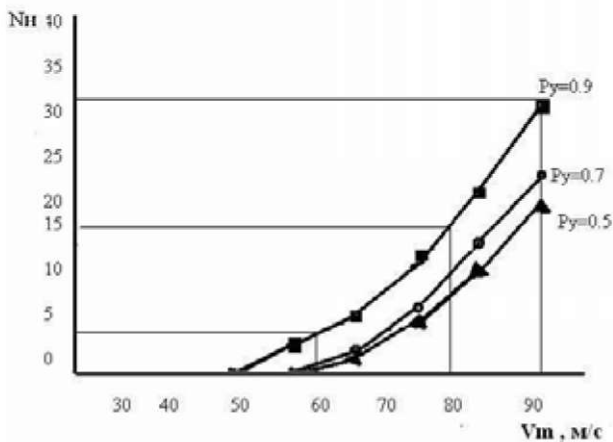


Рис. 3. Зависимость количества избыточных данных от скорости МА

Для поддержки требуемого размера установленного кода FEC могут быть использованы схемы модуляции с высокой спектральной эффективностью [1]. Анализ эффективности применения соответствующих схем модуляции в сетях широкополосного доступа посвящена работа [1]. В данной работе показано, что повышение эффективности функционирования МА возможно посредством выбора профиля пакета передачи данных, оптимально сочетающего режим передачи антенной системы MIMO, схемы модуляции и кодирования, обеспечивающего при данном состоянии канала обслуживание потоков данных с заданным качеством. Согласно результатам анализа значение пропускной способности субканала значительно снижается при удалении МА от БС. Это объясняется тем, что механизм адаптации к изменению условий передачи сигналов в субканале с удалением переключается на схемы модуляции с низкой спектральной эффективностью.

Таким образом, рассмотренные методы не позволяют повысить эффективность функционирования высокоомобильного абонента в сетях широкополосного доступа. Следовательно, необходимо разработать метод, который в сочетании с рассмотренными выше обеспечит обработку потоков данных высокоомобильного абонента с заданным качеством.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВЫСОКОМОБИЛЬНЫХ АБОНЕНТОВ В СЕТИ ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА НА ОСНОВЕ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ РАЗНЕСЕННОГО ПРИЕМА

Для обеспечения подвижности абонента в сетях широкополосного доступа поддерживается режим макродиверсифицированного хэндовера \wedge DHO - rncro Diversity Handover) [1]. В режиме rDHO МА может одновременно работать с несколькими БС (диверсификация). Каждая из них должна передавать МА одинаковые пакеты. Для этого формируется список БС, способных поддерживать такой обмен с заданным МА, - активный набор (Active Set) [1, 3].

Таким образом, предлагается принцип построения сети широкополосного доступа, обеспечивающий обслуживание потоков информации высокоомобильного абонента с заданным качеством. Схема подобного построения сети широкополосного доступа представлена на рисунке 4.

Согласно рисунку 4 общая инфокоммуникационная сеть транспортной системы - совокупность коммутационного оборудования, которое обеспечивает передачу информационных потоков между глобальной сетью и местными информационными центрами - зональными диспетчерами. Зональный диспетчер (ЗД) отвечает за прием и передачу трафика, регистрацию в сети подвижной платформы и ее мобильных абонентов в зоне своей ответственности. Он направляет информационный поток из глобальной сети одновременно на все связанные с ним БС (ретрансляторы). Ретрансляторы передают нагрузку на множество антенн (A_1, \dots, A_n), установленных на мобильной платформе. Все антенны (A_1, \dots, A_n) подключены к станции мобильной платформы (МП), которая передает нагрузку МА локальной беспроводной сети. Предлагаемая система позволяет предоставлять информационные услуги абонентам без перерывов связи [1].

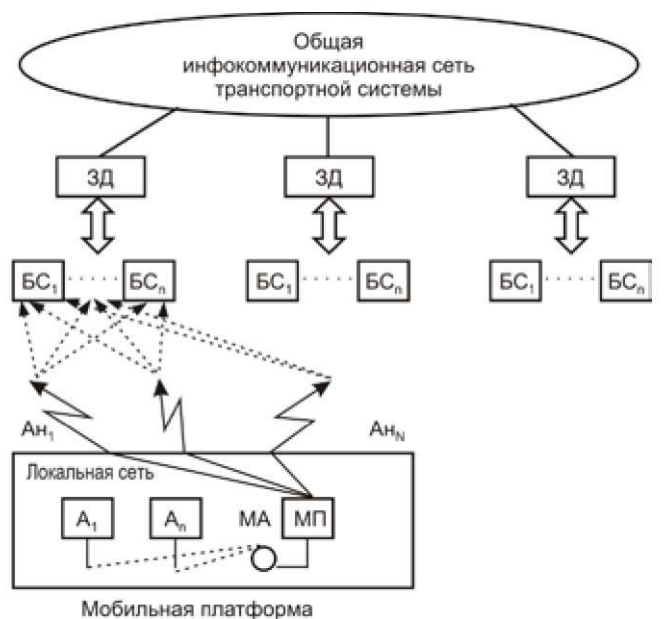


Рис. 4. Схема функционирования высокоомобильного абонента в сети широкополосного доступа

Модель передачи информации от зонального диспетчера к станции транспортного средства показана на рисунке 5. Ретрансляторы размещены вдоль маршрута движения транспортного средства и удалены друг от друга на расстояние d^{\wedge} превышающее расстояние пространственной корреляции между образуемыми каналами "ретранслятор - антенна" на мобильной платформе. Антенны транспортного средства размещены на расстоянии d_a друг от друга. Самое короткое расстояние между ретранслятором и антенной подвижного объекта - d_v . Предположим, что все возможное количество подканалов ($W = M \wedge N$) подвержено быстрым и медленным замираниям, но коэффициенты передачи подканалов G_{ij} остаются постоянными на длительности одного фрейма. В подканалах присутствует аддитивный, белый, гауссовский шум со спектральной плотностью N_0 . Коэффициент передачи j -го канала описывается выражением:

$$G_{ij} = a_{ij}^2 \chi_0 \left(\frac{d_v}{d_0} \right), \quad (6)$$

где a_{ij} - значение огибающей, имеющее распределение Райса;

L_0 - уровень затухания сигнала на удалении d_0 для заданного типа передающей антенны;

d_j - расстояние между ретранслятором i и антенной j ;

κ - образец потери тракта [1, 2].

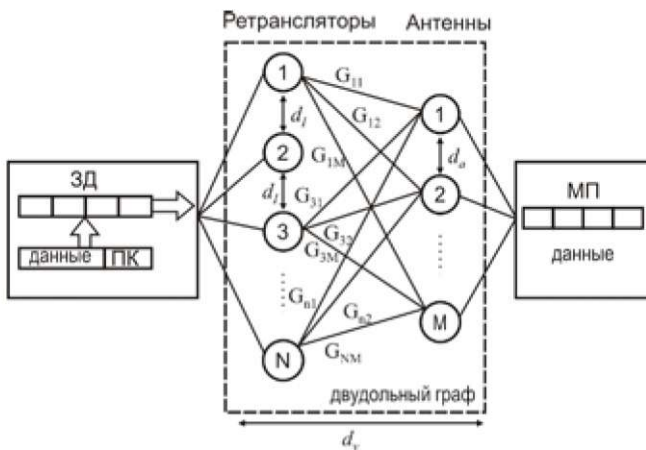


Рис. 5. Схема передачи информации от зонального диспетчера к станции транспортного средства

Каждый i -й ретранслятор характеризуется мощностью передаваемого сигнала P_i и скоростью передачи r_i . Если $P_i = 0$, $r_i = 0$, то ретранслятор неактивен. Для множества ретрансляторов определяются вектор мощности $P = [P_i]_{1 \leq i \leq M}$ и вектор скорости передачи информации $r = [r_i]_{1 \leq i \leq M}$. Отношение мощности сигнала к мощности помехи на приеме в (ij) линии определяется выражением:

$$\gamma_{ij} = \left(\frac{W}{r_i} \right) * \left(\frac{G_{ij} P_i}{\sum_{(k,l) \in X, k \neq i} G_{kl} P_k} \right), \quad (7)$$

где W - полоса пропускания системы;

r_i - пропускная способность (или скорость передачи) линии (i,j) из множества X ;

P_i - мощность сигнала ретранслятора i ;

N_0 - мощность шума в канале [1].

Для обеспечения требуемого качества связи необходимо, чтобы выполнялось условие

$$\gamma_{ij} > \gamma_{don}. \quad (8)$$

Тогда пропускная способность системы [1] определяется выражением:

$$R_{system} = \frac{\gamma_{don}}{W} \sum_{(i,j) \in X, \gamma_{ij} \geq \gamma_{don}} r_i. \quad (9)$$

Эффективность функционирования системы MHS в основном определяется пропускной способностью R . Следовательно, для любых $(ij) \in X$, $P_i \in P$ необходимо определить пропускную способность линии r_i при условии $\gamma_{ij} > \gamma_{don}$.

Учитывая (6) и (8), можно представить (9) в виде:

$$R_{system} = \frac{\gamma_{don}}{W} \sum_{(i,j) \in X} r_i = \sum_{(i,j) \in X} \frac{\gamma_{don}}{N_0 + \sum_{(k,l) \in X, k \neq i} G_{kl} P_k} P_i. \quad (10)$$

Как видно из выражения (10), пропускная способность системы зависит от значения P_i . Тогда задачу определения максимальной пропускной способности сформулируем следующим образом. На основе поиска максимального значения функции:

$$R_{system} \wedge \max \quad (11)$$

при ограничениях:

$$\sum_{i=1}^M \gamma_{ij} = 0 \text{ или } 1, \quad \sum_{j=1}^N \chi_{ij} = 0 \text{ или } 1;$$

$$\chi_{ij} \in \{0, 1\}, \quad (1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N);$$

$$\frac{G_{ij} P_i}{N_0 + \sum_{(k,l) \in X, k \neq i} G_{kl} P_k} \leq \gamma_{don},$$

$$0 \leq P_i \leq P_{max}, \quad \gamma_{ij} > \gamma_{don}.$$

где $\chi_{ij} = 1$, если для j -го подканала, образуемого между i -м ретранслятором и j -ой антенной мобильной платформы, выполняется условие $\gamma_{ij} > \gamma_{don}$, $\gamma_{ij} = \max_{v} \frac{\gamma_{ij}}{\gamma_{don}}$ для $j = 1 \dots N$;

P_{max} - мощность сигнала, передаваемого контроллером зоны;

P_i - мощность сигнала, передаваемого i -м ретранслятором.

Сумма по i в ограничениях показывает, что i -ый ретранслятор может обеспечивать эффективную связь только с одной антенной из j ($j = 1 \dots N$) антенн мобильной платформы. Если он активен, тогда сумма равна 1; если i -ый ретранслятор неактивен, сумма будет равна 0. Выделяемая мощность i -ому ретранслятору P_i не должна превышать P_{max} .

Решение задачи (11) состоит из двух подзадач: формирования множества X и распределения мощности передачи сигнала по (ij) из X . Первая подзадача носит комбинаторный характер, вторая - является вычислительной

задачей. Одновременное решение задач вызывает большие затруднения. Поэтому предлагается сначала получить множество $X = \{x_{ij} | 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N\}$, а затем осуществить распределение мощности по данному множеству [2].

Для учета реального воздействия на (ij) линию других линий в работе используем эффективный коэффициент линии $G'_{ij} = \frac{G_{ij}}{P_{max} + \sum_{k \in S, k \neq i} G_{kj}}$,

$$G'_{ij} = \frac{G_{ij}}{P_{max} + \sum_{k \in S, k \neq i} G_{kj}}$$

$S \subset \{1, 2, 3, \dots, M\}$ - множество активных ретрансляторов, мощность излучения которых равна P_{max} .

Тогда задачу определения множества соответствия $X = \{x_{ij} | 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N\}$ представим в виде целевой функции (12) и ограничений (13):

$$\sum_{i \in S} \sum_{j=1}^N x_{ij} \rightarrow \max. \quad (12)$$

$$\begin{aligned} & x_{ij} \in \{0, 1\} \text{ или } 0; \\ & 1 \leq j \leq N; \sum_{j=1}^N x_{ij} = 1 \text{ или } 0; \\ & i \in S; x_{ij} \in \{0, 1\}; 1 \leq j \leq N, j \in S. \end{aligned} \quad (13)$$

Решение первой подзадачи будем искать на основе теории графов и теории паросочетаний.

Сформируем матрицу коэффициентов передачи в образах каналов системы согласно (6), затем сформируем матрицу эффективных коэффициентов $G' = \|G'_{ij}\|$. Для каждого элемента матрицы G' определим значение y_{ij} . Обнулیم те элементы матрицы G' , для которых не выполняется условие $y_{ij} > Y_{don}$. Построим двудольный граф $GI(A, P, E)$, где A - подмножество вершин графа $G1$ - антенны на мобильной платформе; P - подмножество вершин графа $G1$ - ретрансляторы, подключенные к зональному контроллеру ЗД; E - множество ребер графа $G1$ - радиоканалы, которые образуются между ретрансляторами и антеннами при нахождении мобильной платформы в зоне ответственности ЗД. Согласно определению полного двудольного графа: $GI(A, P, E) = A \cup P; A \cap P = \emptyset$; ребра графа инцидентны только вершинам разных наборов вершин; коэффициент передачи j -го канала G_{ij} - ненулевой вес ребра (ij) из матрицы G' [2, 3].

В графе $GI(A, P, E)$ можно выделить подмножества ребер $n \subset E$, не имеющих общих вершин. Такие подмножества определяются как паросочетания. Паросочетания позволяют установить однозначное соответствие между ретранслятором и антенной подвижной платформы. Для построения паросочетания на графе $GI(A, P, E)$ выделим первый элемент i в подмножестве A , определим незанятый элемент подмножества P , соответствующий $\max(G'_{ij})$ для $j=1..N$, соединим ребром выбранные элементы, а j -ый номер столбца пометим как неиспользуемый в дальнейшем рассмотрении. Для других элементов A выполняются те же действия, $\max(G'_{ij})$ выбирается из элементов i -ой строки, для которых j -е номера столбцов ранее не были рассмотрены. Построение паросочетания

заканчивается, если во множестве P не осталось свободных элементов, достижимых для элементов множества A . Построим матрицу Z , элементы которой $z_{ij} = 1$, если ребро (ij) включено в паросочетание, иначе $z_{ij} = 0$. Используя значения элементов матриц G' и Z , проверим выполнение ограничений (13) и вычислим значения целевой функции задачи (12). Если в графе $G1$ имеются незанятые элементы подмножества A , то проверяем возможность построения нового паросочетания с большим числом ребер [2]. После построения нового паросочетания вычисляем значение целевой функции (12). Построение паросочетаний заканчивается, если построено максимальное паросочетание. Из полученных значений целевой функции определяются максимальное значение и соответствующая ему матрица соответствия $X = \{(i, j)\}$. Таким образом, решена первая подзадача определения множества соответствия.

Решение задачи распределения мощности между ретрансляторами осуществим на основе ранее полученного множества соответствия X . Целевую функцию и систему ограничений представим в виде [2]:

$$R = \sum_{(i,j) \in X} E_{ij} \left[\frac{< W ?}{|лг|} \right] \rightarrow \max; \quad (14)$$

$$\frac{G_{ij} P_i}{N_0 + \sum_{(k,l) \in X} G_{kl} P_k} \leq Y_{don}; 0 < P_i \leq P_2 \rightarrow \max \quad (15)$$

Решение оптимизационной задачи (14) при ограничениях (15) выполним методом динамического программирования посредством поэтапного определения максимума целевой функции (14), i -м этапом является выделение мощности i -му ретранслятору, а общее число этапов равно числу каналов из множества соответствия.

Определим последовательность решения задачи: сначала выполним условную поэтапную оптимизации распределения мощности, начиная с L -го канала и заканчивая первым. Затем на основе обратного поэтапного процесса оптимизации определим искомый вектор распределения мощности, соответствующий максимальному значению (14).

Зададим начальное распределение мощности $N_{Над}^i = P_i$, где $(i = 1..N)$ - подмножество ретрансляторов. Тогда дополнительный пространственный ресурс, подлежащий распределению между каналами:

$$S = P_{max} - \sum_{i=1}^L N_i \text{ Мач.з.} \quad (16)$$

На каждом i -м этапе будем рассматривать u возможных вариантов дополнительного ресурса, выделяемого для i -го, $i+1, \dots, L$ -го канала:

$$\begin{aligned} N_i^{(u)} &= S, \quad N_{i+1}^{(u)} = S-1, \dots, \\ N_j^{(k)} &= S-k+, \dots, \quad N_j^{(u)} = 0. \end{aligned}$$

Для каждого k -го варианта ($k = 1..u$) распределения дополнительного ресурса решаем функциональные уравнения:

$$F_{iM}(N^{(k)}) = \max \left\{ \begin{aligned} & \left[\sum_{k=1}^L \frac{V_i}{|x_i|} + \sum_{k=1}^L G_{ki} P_k \right] + \\ & + F_{i+1,M} \left(N_i^{(k)} - \Delta P_i^{(k)} \right) \end{aligned} \right\},$$

где $(N^{(k)})^j$ - максимальная пропускная способность системы при условии, что дополнительная мощность ΔP_i для i -го канала не превосходит $N_i^{(k)}$, а для $(i+1) \dots L$ -го канала общее количество дополнительно выделенных ресурсов равно $N^j - \Delta P_i$.

На основе поэтапного решения определяется максимальное значение целевой функции (14) и проверяется выполнение ограничений (15). Нахождение оптимального значения мощности, выделяемой дополнительно i -му ретранслятору, определяется с помощью обратной поэтапной процедуры. В результате решения получаем вектор $|P_i|$ оптимального распределения мощности между ретрансляторами зоны.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Полученные решения подзадач определения множества соответствия и распределения мощности передачи среди выделенных линий на основе исходных данных, представленных в [2], позволили решить задачу оценки пропускной способности системы. Алгоритм поиска максимальной пропускной способности системы на основе методов паросочетаний и динамического программирования за счет того, что оптимизационные решения принимаются на отдельных этапах без учета принятых ранее решений, обеспечивает выполнение задачи с более низкими затратами вычислительных и временных ресурсов. Полученные решения позволяют осуществить моделирование доступа gHNS к базовой сети согласно исходным данным, представленным в работе [2], и определить влияние на пропускную способность системы скорости передачи в канале.

На рисунке 6 показан график значений пропускной способности системы в зависимости от скорости пере-

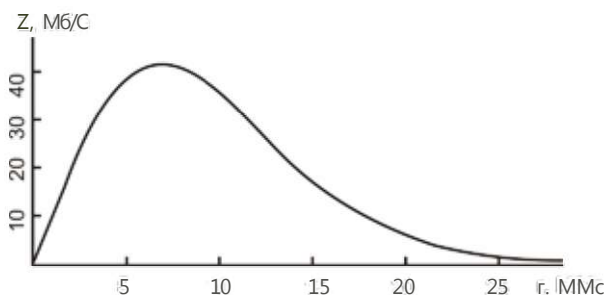


Рис. 6. Пропускная способность системы в зависимости от скорости передачи данных в линии связи

дачи данных в линии связи. Ретрансляторы осуществляют передачу с максимально допустимой мощностью P_{max} для снижения влияния внешних воздействий. Поэтому в ЗД должна определяться оптимальная скорость передачи данных в образуемых линиях для обеспечения максимальной пропускной способности системы. На рисунке 6 обозначены: Z - пропускная способность системы; r - скорость передачи данных в линии связи. Как видно из графика на рисунке 6, предлагаемый метод позволяет получить максимум пропускной способности системы 7 Мб/с.

Выводы

Таким образом, проблема обеспечения связью мобильных абонентов, передвигающихся с высокой скоростью, находит решение в виде технологии mobile hotspot.

Использование данной технологии позволяет:

- исключить зависимость скорости передачи данных МА от скорости его передвижения;
 - свести к минимуму влияние эффекта Доплера.
- Данная технология позволяет исключить замирания в канале, возникающие вследствие взаимного влияния подканалов, за счет:
- эффективного распределения зональным диспетчером мощности передачи между ретрансляторами;
 - взаимной удаленности ретрансляторов;
 - определения оптимальной скорости передачи информации в образуемых линиях;
 - определения количества антенн, используемых на подвижной платформе.

Кроме того, применение технологии mobile hotspot и разнесенного приема позволяет исключить необходимость многократного переключения МА между БС.

Снижение частоты переключения между базовыми станциями происходит из-за того, что множество ретрансляторов, подключенных к зональным диспетчерам, осуществляет одновременно передачу одинаковых сообщений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назаров, С.Н. Анализ методов повышения эффективности обработки данных высокомобильных абонентов в сети широкополосного доступа /С.Н. Назаров и др. // Вестник СибГАУ. - 2011. - № 5 (38). - С. 65-70.
2. Назаров, С.Н. Применение венгерского метода при решении задач распределения телекоммуникационных ресурсов для локальных сетей на подвижных платформах /С.Н. Назаров, Е.С. Аверьянов, Н.А. Касеева // ИКТ. - 2011. - Т.9, № 4. - С. 27-32.
3. Назаров, С.Н. Методы повышения эффективности функционирования высокомобильных абонентов в сети широкополосного доступа на основе реализации технологии разнесенного приема и мобильных платформ /С.Н. Назаров, Г.В. Ковалев // Вестник СибГАУ. - 2012. - № 1 (41). - С. 43-48.