

УДК 621.396.933.4

Ю.Ю. КОЛЯДЕНКО, Д.Л. ЧЕЧЕТКИН, А.Д. МУСЛИМ

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КЛАСТЕРНОЙ СТРУКТУРЫ И НЕОБХОДИМОГО ЧАСТОТНОГО РЕСУРСА ДЛЯ СОЗДАНИЯ СЕТИ БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА ПО ТЕХНОЛОГИИ WiMAX

Предложена методика решения задачи оценки кластерной структуры построения телекоммуникационной сети с использованием технологии WiMAX и необходимого для этого частотного ресурса. Методика учитывает технические характеристики базовых станций технологии WiMAX и типовые виды трафика потенциальных пользователей телекоммуникационных услуг. Предложенная методика позволяет на начальном этапе проектирования WiMAX сети выполнить оценку необходимого частотного ресурса, количества базовых станций, кластерной структуры сети с учетом предполагаемого трафика пользователей, что позволяет дать предварительную оценку прогнозируемых затрат на строительство сети.

Ключевые слова: сети беспроводного доступа, частотный ресурс, ширина полосы канала связи, переиспользование частотных каналов, кластер, кластерная структура сети, внутрисистемная помеха.

Постановка проблемы в общем виде и анализ публикаций

Потребность в широкополосном беспроводном доступе вызвала широкий интерес операторов телекоммуникационных услуг к построению сетей на основе технологии WiMAX. В настоящее время для Украины характерен этап очагового покрытия с предоставлением абонентам фиксированного доступа [1, 2]. Дальнейшее развитие сетей WiMAX связано с переходом к этапу полной мобильности, что требует построения сотовой структуры сети по типу существующих сотовых систем подвижной связи (ССПС) стандарта GSM.

На этапе проектирования WiMAX сетей возникают задачи с определением оптимальной сотовой структуры сети и оптимизации необходимого частотного ресурса. При этом, учитывая специфику сетей технологии WiMAX, невозможно напрямую использовать аналогичные методики, предложенные для ССПС стандарта GSM [3, 4].

Цель работы: разработка методики расчета оптимальной структуры построения сети по технологии WiMAX и необходимого для этого частотного ресурса.

Постановка задачи и изложение материалов исследований

Необходимый частотный ресурс и тесно связанный с ним вопрос структуры построения сети

напрямую связаны с услугами, которые планируется предоставлять потенциальным абонентам.

Анализ видов услуг в сетях подвижного беспроводного доступа детально представлен в Рекомендации МСЭ-Р М.1651 [5].

Среди услуг, которые с высокой вероятностью будут востребованы и будут предоставляться сетями беспроводного доступа WiMAX, можно выделить три основных класса:

- фиксированный беспроводный доступ для конечных пользователей (домашние пользователи, SME/SOHO и корпоративные пользователи);
- обеспечение транспортных каналов для различных телекоммуникационных нужд;
- мультимедийный сервис – услуги, предоставляемые индивидуальному потребителю (в том числе находящемуся в движении) в основе которых асимметричная передача данных (до 12 Мбайт/с к абоненту и до 500 кбайт/с от абонента), внутри которой телефония, Интернет, видеопередача данных для организации специализированных сетей.

Исходя из этого, реальная практическая задача может стоять следующим образом.

На основе проведенных маркетинговых исследований составлен портрет потенциальных пользователей услуг беспроводного доступа по технологии WiMAX для микрорайона “W” (данные исследований представлены в табл. 1).

Также известны размеры зоны покрытия сети WiMAX (радиус окружности, описывающей микрорайон “W” составляет – R_z [км]).

Таблица 1

Исходные данные по типам пользователей и количеству

Типы пользователей и группы услуг, $b = \overline{1, B}$	Домашние пользователи	Корпоративные пользователи	Радиовещание	...
Количество пользователей в группе, N_b	a_1	a_2	a_3	...

Перед разработчиками стоят следующие задачи:

- рассчитать минимально необходимое количество базовых станций (БС) для покрытия обслуживаемой зоны (территории);
- обосновать выбор оптимальной ширины полосы канала связи для одной БС;
- обосновать выбор оптимальной сотовой структуры сети (размерность кластера – $N_{Кл}$ и количество секторов в соте – M).

Расчет количества БС выполним из предположения, что вся площадь зоны покрытия сети WiMAX ($S_z = \pi R_z^2$) должна быть покрыта БС с площадью обслуживания одной БС, равной

$$S_{БС} = \pi R_{БС}^2,$$

где $R_{БС}$ [км] – радиус зоны обслуживания одной БС.

Радиус зоны обслуживания БС, при заданных значениях канальной скорости передачи и коэффициенте готовности канала связи K_g выбирается из табл. 2, составленной на основе экспериментальных данных, полученных при развертывании сетей WiMAX [2].

Тогда, минимальное количество БС, необходимое для покрытия территории W находим из выражения:

$$N_{БС} \geq \frac{S_z}{S_{БС}} = \left[\frac{R_z}{R_{БС}} \right]^2. \quad (1)$$

Как видно из (1), количество БС зависит от размера зоны обслуживания одной БС, которая в свою очередь существенно зависит от реализуемой

скорости передачи информации V_k и требований к готовности канала связи K_g .

Исходя из количества потенциальных пользователей (табл. 1) и воспользовавшись графиками [2] зависимости требуемой скорости передачи V_b для b -й услуги от количества потенциальных пользователей N_b (рис. 1), найдем требуемые скорости передачи трафика пользователей для каждой планируемой услуги. И суммарную требуемую скорость передачи трафика пользователей:

$$V_{\Sigma} = \sum_b V_b \left[\frac{\text{Мбит/с}}{\text{зона}} \right]. \quad (2)$$

Графики на рис. 1 получены на основе прогнозируемого ассортимента услуг связи по технологии WiMAX и необходимых для этого параметров трафика в предположении линейной зависимости требуемой скорости передачи V_b от количества пользователей N_b .

Рассчитаем плотность трафика потенциальных пользователей приходящуюся на единицу зоны покрытия WiMAX (в предположении равномерной плотности распределения пользователей по зоне W):

$$C = \frac{V_{\Sigma}}{S_{\Sigma}} \left[\frac{\text{Мбит/с}}{\text{км}^2} \right]. \quad (3)$$

В тоже время, удельная плотность обслуживаемого трафика, приходящаяся на единицу площади для стандартного канала шириной $\Delta f_{ст}$:

$$C_{соты} = \frac{\Delta f_{ст} \cdot Q_0}{S_{БС}} \left[\frac{\text{Мбит/с}}{\text{км}^2} \right], \quad (4)$$

Таблица 2

Радиус зоны обслуживания БС при различных значениях V_k и K_g

Канальная скорость передачи V_k , Мбит/с	Суммарное усиление радиолинии, дБ	Максимальный радиус зоны обслуживания БС $R_{БС}$ при коэффициенте готовности K_g , км		
		$K_g = 0,9999$	$K_g = 0,99999$	$K_g = 0,999999$
6	159	20,2	12,7	8,01
24	151	13,9	8,8	5,6
54	142	9,2	5,8	3,7
11	157	18,4	11,7	7,4

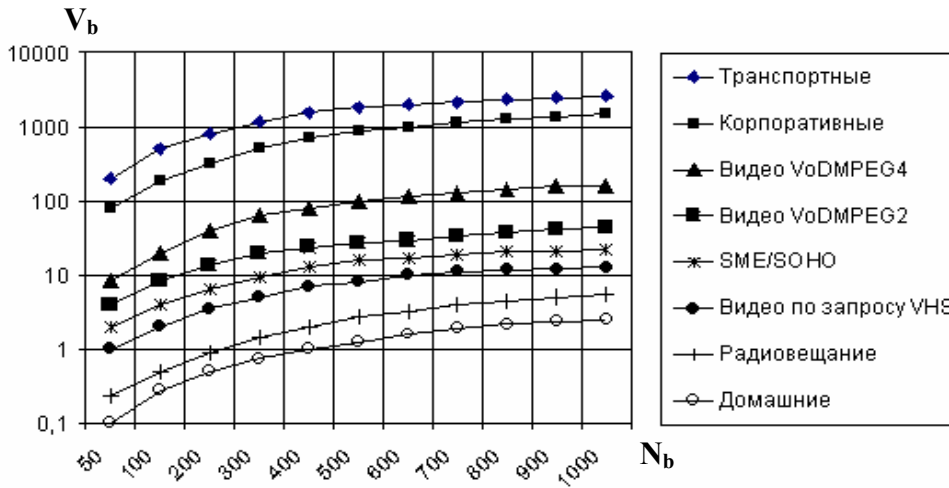


Рис. 1. Залежності вимогової швидкості передачі від виду послуги і кількості потенційних користувачів

де $\Delta f_{ст}$ – стандартна ширина полоси каналу зв'язу. Вибирається з технічних характеристик, плануваного к використанню обладнання БС; $Q_0 = \frac{V_k}{\Delta f_{ст}}$ – спектральна ефективна ємкість обладнання БС; V_k – канална швидкість передачі БС (см. табл. 2).

При виборі оптимальної ширини полоси каналу зв'язу $\Delta f_{ст,опт}$ цілесообразно виходити з максимальної густоти трафіку користувачів, приходящогося на одиницю зони покриття і який може передати одна БС при заданих (фіксованих) характеристиках. Тоді критерій оптимальності можна записати:

$$C_{соты}(\Delta f_{ст,опт}) = [C(b, \Delta f, V_k, K_\Gamma) \rightarrow \max]. \quad (5)$$

Виходячи з критерію (5), прирівняв (3) і (4) одержимо:

$$\frac{\Delta f_{ст} \cdot Q_0}{S_{БС}} = \frac{V_\Sigma}{S_\Sigma},$$

откуда
$$\Delta f_{ст,опт} \geq \frac{V_\Sigma}{Q_0} \cdot \left[\frac{R_{БС}}{R_z} \right]^2. \quad (6)$$

В вираженні (6) множитель $\frac{V_\Sigma}{Q_0}$ численно равен максимальному частотному ресурсу, необходимому для передачи информации пользователей объемом V_Σ , при заданных характеристиках БС.

Минимизировать необходимый частотный ресурс можно оптимальным выбором сотовой структуры построения сети за счет переиспользования частотных каналов [2, 3, 6].

Принимая во внимание, что площадь кластера равна сумме площадей входящих в него шестиугольных сот и используя кластеры с размерностью $N_{Кл_i}$ (табл. 3), соответственно, получим площадь кластера:

$$S_{Кл_i} = i \cdot S_{БС},$$

где i – размерность кластера.

Тогда плотность трафика, приходящаяся на единицу площади при сотовой структуре $N_{Кл_i}$ и числе частотных каналов в кластере N_{f_i} :

$$C_{Кл_i} = \frac{N_{f_i} \cdot \Delta f_{ст} \cdot Q_0}{S_{Кл_i}}. \quad (7)$$

Таблица 3

Колличество частотных каналов при различных вариантах кластерной структуры сети

Размерность кластера, $N_{Кл_i}$	Колличество частотных каналов в кластере N_{f_i} при числе секторов в соте M		
	$M=1$	$M=3$	$M=6$
3	3	6	18
4	4	12	24
7	7	21	42

Для решения задачи оптимизации можно воспользоваться критерием (5), дополнив его ограничениями по размерности кластера и числу секторов в соте. Тогда критерий оптимальности можно записать:

$$C_{\text{Кл}}(N_{f_опт}) = [C(b, \Delta f, V_k, K_{\Gamma}, N_f, M) \rightarrow \max]. \quad (8)$$

Воспользовавшись критерием (8) и приравняв (3) и (7) получим:

$$\frac{N_{f_i} \cdot \Delta f_{\text{ст}} \cdot Q_0}{S_{\text{Кл}_i}} = \frac{V_{\Sigma}}{S_{\Sigma}}, \quad (9)$$

откуда, необходимое число частотных каналов N_{f_i} в кластерной структуре $N_{\text{Кл}_i}$ составит

$$N_{f_i} \geq \frac{V_{\Sigma}}{\Delta f_{\text{ст}} \cdot Q_0} \cdot \frac{S_{\text{Кл}_i}}{S_{\Sigma}}. \quad (10)$$

Вместе с тем, выбрать конкретную сотовую структуру и, соответственно, определиться с требуемым частотным ресурсом можно только после расчета внутрисистемных помех. Основными источниками которых можно считать сигналы ближайших сот, использующих одинаковый частотный диапазон, т.е. соты, формирующие так называемый «первый помеховый пояс» [5]. Величина отношения сигнал/внутрисистемная помеха для такой модели может быть рассчитана из выражения [4]:

$$C/I = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{j} \cdot q^{\gamma} \right), \quad [\text{дБ}] \quad (11)$$

где j – количество сот в «первом помеховом поясе»;

$q = \frac{D}{R_{\text{БС}}}$ – коэффициент разноса между БС, работающими в одном частотном диапазоне;

D – расстояние между сотами, работающими в одном частотном диапазоне; γ – показатель потерь на трассе между БС и абонентским терминалом, выбираемый из табл. 4 [4].

На основе анализа технических характеристик выпускаемого оборудования WiMAX, для режима работы OFDM требуемое отношение сигнал/внутрисистемная помеха может находиться в пределах [2]: $-5 \text{ дБ} \leq C/I \leq 10 \text{ дБ}$.

Расчет по (10) и (11) необходимо выполнить по всем возможным структурам построения сотовой сети (по всем $N_{\text{Кл}_i}$) и выбрать наиболее подходящую к стандартной, воспользовавшись табл. 3.

Используя выражение (9) можно найти необходимую ширину канала связи, если задана определенная структура сотовой сети, что может быть полезным при расширении уже существующей сети.

Выводы и направления дальнейших исследований

На основании выполненных расчетов должны быть сделаны выводы и рекомендации:

1. Минимальное необходимое количество БС с заданными: $R_{\text{БС}}$ – радиусом зоны обслуживания БС; Q_0 – спектральной эффективной емкостью оборудования БС; M – количеством секторов в соте.

2. Минимальная необходимая ширина полосы канала связи приходящаяся на одну БС (один сектор БС – при секторной структуре) и обеспечивающая гарантированную передачу трафика пользователей.

3. Рекомендованный размер кластерной структуры построения сети и необходимый для построения сети полный частотный ресурс в абсолютной величине и в количестве планируемых каналов.

Предложенная методика, благодаря своей простоте, может быть использована на начальном этапе проектирования для выполнения предварительной оценки прогнозируемых затрат на строительство сети, а также в учебных целях.

Необходимо учесть, что предложенная методика не учитывает неравномерность плотности распределения пользователей в зоне проектирования W , а также влияние рельефа местности учитывается косвенно (путем наложения ограничений на спектральную эффективную емкость оборудования БС и величиной отношения сигнал/внутрисистемная помеха), поэтому задача нахождения оптимальной структуры сети в реальности является многокритериальной, что и обуславливает направления дальнейших исследований.

Таблица 4

Показатель потерь на трассе базовая станция – абонентский терминал в зависимости от характера трассы

Характеристика трассы	Условия плотной городской застройки	Пригород	Открытая местность
γ	4	3,5	3

Литература

1. Вишнеvский В.М. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G / В.М. Вишнеvский, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. – М.: Техносфера, 2009. – 472 с.
2. WiMAX – технология беспроводной связи: основы теории, стандарты, применение / В.С. Сюваткин, В.И. Есипенко, И.П. Ковалев, В.Г. Сухоробров, под общ. ред. В.В. Крылова. – СПб.: БВХ-Петербург, 2005. – 368 с.
3. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи / Ю.А. Громаков. – М.: Эко-Трендз, 1998. – 240 с.
4. Обзор системы GSM / Корпоративный тренинг. – Вымпелком, 2004. – 125 с.
5. Recommendation ITU-R M.1645. Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000 [Электронный ресурс]. – ITU-R, 2003. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.itu.int/rec/R-REC-M.1645-0-200306-I/en>.
6. Активные фазированные антенные решетки / Под ред. Д.И. Воскресенского и А.И. Канащенкова. – М.: Радиотехника, 2004. – 488 с.

Поступила в редакцию 31.05.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. сетей связи В.М. Безрук, Харьковский национальный университета радиоэлектроники, Харьков, Украина

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ КЛАСТЕРНОЇ СТРУКТУРИ ТА НЕОБХІДНОГО ЧАСТОТНОГО РЕСУРСУ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МЕРЕЖІ БЕЗДРОТОВОГО ДОСТУПУ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ WiMAX

Ю.Ю. Коляденко, Д.Л. Чечоткин, А.Д. Муслім

Запропоновано методику рішення задачі оцінки кластерної структури побудови телекомунікаційної мережі з використанням технології WiMAX та необхідного для цього частотного ресурсу. Методика враховує технічні характеристики базових станцій технології WiMAX і типові види трафіку потенційних користувачів телекомунікаційних послуг. Запропонована методика дозволяє на початковому етапі проектування WiMAX мережі виконати оцінку необхідного частотного ресурсу, кількості базових станцій, кластерної структури мережі з урахуванням передбачуваного трафіку користувачів, що дозволяє дати попередню оцінку прогнозованих витрат на будівництво мережі.

Ключові слова: мережі бездротового доступу, частотний ресурс, ширина смуги каналу зв'язку, перевищення частотних каналів, кластер, кластерна структура мережі, внутрісистемна завада.

CALCULATION PROCEDURE OF CLUSTER STRUCTURE AND NECESSARY FREQUENCY RESOURCES FOR DEVELOPING WIMAX WIRELESS NETWORK

U.U. Kolyadenko, D.L. Chechotkin, A.J. Muslim

Calculation procedure of cluster structure and necessary frequency resources for developing WiMAX wireless network is suggested. This procedure takes into account base station specification and typical kind of users traffic. The offered procedure allows on the initial stage planning of WIMAX network to carry out the estimation of necessary frequency resource, amounts of the base stations and cluster structure, that allows to give the preliminary costs estimate on network building.

Key words: wireless network, frequency resource, channel bandwidth, reuse frequency channel, cluster, network cluster structure, intersystem interference.

Коляденко Юлія Юрьевна – д-р техн. наук, професор кафедри ТКС Харьковского национального университета радиоэлектроники, Харьков, Украина. e-mail: kolyadenko.home@rambler.ru.

Чечоткин Дмитрий Леонидович – канд. техн. наук, доц. каф. ТКС Харьковского национального университета радиоэлектроники, Харьков, Украина. e-mail: chechotkin@list.ru.

Муслим Ахмед Джамиль – аспирант каф. ТКС Харьковского национального университета радиоэлектроники, Харьков, Украина. e-mail: ahmed_j_muslim@yahoo.com.