

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ МАСШТАБИРУЕМОЙ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОДКАНАЛОВ В СЕТИ СТАНДАРТА IEEE 802.16

В статье представлена математическая модель распределения подканалов в сетях стандарта IEEE 802.16 с применением масштабируемого варианта OFDMA (Scalable OFDMA – SOFDMA). Использование коэффициента масштабирования направлено на выбор минимальной ширины частотного канала, удовлетворяющего требованиям по пропускной способности. Выбор различных критериев оптимальности в первом случае позволяет обеспечить максимальную производительность беспроводной сети при выделении минимума необходимого частотного ресурса на используемом частотном канале, а во втором случае – улучшить сигнально-помеховую обстановку в используемом диапазоне частот. Проведен сравнительный анализ получаемых решений при использовании различных критериев оптимальности.

Ключевые слова: WiMAX, IEEE 802.16, беспроводная сеть, распределение подканалов, самоорганизация, математическая модель, масштабирование.

Введение

С целью повышения производительности и улучшения основных показателей качества обслуживания (Quality of Service, QoS) для систем, использующих технологию WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), основанной на стандарте IEEE 802.16 [1, 2], должны использоваться принципы структурной и функциональной самоорганизации. Использование решений по самоорганизации позволяет эффективно реагировать на изменение состояния и условий функционирования беспроводной сети, которые могут быть продиктованы переменной структуры сети, сигнально-помеховой обстановки, динамикой поступающего трафика и т.д. Высокий уровень самоорганизации может быть достигнут путем усовершенствования сетевых протоколов и механизмов, отвечающих за распределение доступных сетевых ресурсов. Необходимо заметить, что стандарт IEEE 802.16 не определяет механизмы планирования и распределения ресурсов сети, оставляя право выбора за операторами связи и производителями (вендорами) оборудования. К подобного рода ресурсам, прежде всего, относятся сетевой трафик (информационный ресурс), пропускные способности каналов связи (канальный ресурс), очереди (буферный ресурс), а также частотные поднесущие (частотный ресурс), что особенно важно для беспроводных сетей. Частотная поднесущая является первичной структурной единицей OFDM, логическое объединение которых формирует элемент частотного ресурса, называемый подканалом. Группа подканалов в свою очередь формирует частотный канал.

Большинство известных решений по распределению частотного ресурса, направленно на решение задачи распределения поднесущих. Однако в стандарте IEEE 802.16 подканалы формируются

определенным количеством поднесущих, а число подканалов определяется используемой шириной полосы частотного канала. В результате этого задача распределения частотного ресурса должна сводиться к задаче распределения подканалов между пользовательскими станциями сети. Также необходимо заметить, что количество подканалов и поднесущих в них зависит от ширины канала.

Также большинство известных решений по распределению частотного ресурса ограничены условием использования частотного канала с фиксированной шириной. Данный подход эффективен в технологиях IEEE 802.16a и IEEE 802.16d, использующих схему OFDMA. Однако в стандарте IEEE 802.16e доступен масштабируемый вариант OFDMA [3], использование которого в значительной степени может повысить качество решения задачи распределения частотного ресурса.

В этой связи в статье предлагается математическая модель распределения подканалов в сетях с применением масштабируемого варианта OFDMA. При этом распределение частотного ресурса сети будет основываться на периодическом (или по требованию) решении задач выбора необходимой ширины частотного канала и распределения составляющих его подканалов между пользовательскими станциями (ПС) с учетом особенностей используемых режимов.

Анализ известных решений

Проведем анализ существующих моделей распределения частотного ресурса между ПС беспроводной сети, использующих технологию WiMAX.

В работах [4-12] решается задача максимизации скорости передачи данных для каждой из ПС сети. Необходимо заметить, что максимизация скорости передачи данных является

наиболее распространенным критерием оптимальности при решении данного класса задач.

В работах [5, 6, 11] приведены основы решения задачи распределения поднесущих. При этом оптимизационная задача сформулирована в виде задачи смешанного целочисленного нелинейного программирования (Mixed Integer Nonlinear Programming, MINLP).

В работе [7] сформулирована задача совместного использования одних и тех же поднесущих несколькими пользователями. При этом оптимизационная задача сформулирована с целью обеспечения максимальной скорости передачи данных для каждой из ПС.

Решение по распределению частотного ресурса, предложенное в работе [12], сводится к решению задачи линейного целочисленного программирования (Linear Integer Programming, LIP). Использование формы оптимизации LIP позволяет, во-первых, максимизировать общую скорость передачи данных в беспроводной сети, а во-вторых, путем введения необходимых ограничений удовлетворить требования на минимально необходимую скорость передачи для каждого из пользователей.

Использование особой формы выпуклой оптимизации – геометрическое программирование (Geometric Programming, GP) было предложено в работе [10], позволяя произвести взвешенную максимизацию скорости передачи данных в направлении каждого из пользователей. При этом в работе [10] основное внимание направлено на сведение целевой функции и вводимых ограничений к виду совместимому с задачей GP.

Основным недостатком, возникающим при использовании целевой функции максимизации скорости передачи данных, является отсутствие сбалансированного распределения поднесущих между ПС беспроводной сети. В работе [8] приведена задача сбалансированного распределения поднесущих за счет максимизации минимальной скорости передачи данных, выделяемой каждой из ПС.

В работе [9] рассматривается вопрос обеспечения сбалансированного доступа ПС беспроводной сети к частотному ресурсу с использованием технологии OFDMA при максимизации скорости передачи данных. Также в данной работе использован принцип обобщенного обмена [4] в виде ограничений оптимизационной задачи, с целью распределения необходимого количества поднесущих среди ПС.

Проведенный анализ показал, что большинство известных подходов [4-12] основывается на решении задачи распределения поднесущих между ПС беспроводной сети. Однако использование частотных поднесущих для решения задачи распределения частотного ресурса сети не всегда позволяет выполнить требования к структуре частотного канала технологии WiMAX. Также в проанализированных работах распределение поднесущих производится в рамках предварительно выбранного частотного канала, ширина которого определяется оператором связи, т.е. отсутствует

возможность масштабирования. Под масштабированием понимают возможность выбора ширины полосы используемого частотного канала при изменении условий функционирования системы. В результате этого при отсутствии масштабирования отсутствует возможность поиска минимально необходимой ширины частотного канала для решения поставленной задачи. Поэтому основное внимание при дальнейших исследованиях будет направлено на разработку масштабируемой математической модели для решения задачи распределения подканалов между ПС беспроводной сети, позволяющей произвести выбор необходимой ширины частотного канала для решения указанной задачи.

Математическая модель распределения подканалов в беспроводной сети стандарта IEEE 802.16

В стандартах IEEE 802.16a и IEEE 802.16d используется схема OFDMA с фиксированным «окном» быстрого преобразования Фурье (БПФ) размером 2048 поднесущих, используя рабочую полосу канала 20 МГц. В стандарте IEEE 802.16e применяется масштабируемый вариант OFDMA, реализуемый за счет изменения «окна» БПФ, что позволяет варьировать рабочей полосой канала в пределах от 1,25 МГц до 20 МГц [3]. Поэтому далее в данной статье будет рассмотрен масштабируемый вариант OFDMA, используемый в стандарте IEEE 802.16e. Основные параметры масштабируемого варианта OFDMA приведены в табл. 1.

В случае распределенной расстановки поднесущих в спецификации WMAN-OFDMA предусмотрены два подрежима, определяющие способ формирования «частотной структуры» подканалов [3]:

- подрежим OFDMA FUSC (Full Usage of Subcarriers) – полное использование поднесущих;
- подрежим OFDMA PUSC (Partial Usage of Subcarriers) – «порциальное» использование поднесущих.

Порядок распределения поднесущих в нисходящем направлении (Down Load, DL), от БС к пользовательским станциям, для подрежима DL FUSC приведен в табл. 2. Для режима DL PUSC аналогичные данные приведены в табл. 3.

С учетом вышесказанного, в предлагаемой модели предполагаются известными следующие исходные данные:

- 1) N – общее количество ПС в сети;
- 2) K – множество возможных значений числа подканалов в зависимости от ширины частотного канала. Для режима DL FUSC $K = \{2,8,16,32\}$, а для режима DL PUSC $K = \{3,15,30,60\}$. Используется в качестве коэффициента масштабирования;
- 3) $R_{треб}^n$ – требуемая скорость передачи данных для обслуживания n -й ПС (Мбит/с).
- 4) R – пропускная способность одного подканала.

Таблица 1

Параметры масштабируемого варианта OFDMA

Ширина полосы канала F_{BW} (МГц)	Частота дискретизации $F_s = (8/7)F_{BW}$ (МГц)	Период дискретизации $1/F_s$ (нс)	Размер окна БПФ N_{FFT}	Частотный разнос между поднесущими $\Delta f = F_s / N_{FFT}$ (КГц)	Длительность полезной части символа T_B (мс)
1,25	1,429	700	128	$\approx 11,16$	89,6
2,5	2,857	350	256		
5	5,714	175	512		
10	11,429	88	1024		
20	22,857	44	2048		

Таблица 2

Порядок распределения поднесущих подрежима DL FUSC для масштабируемого варианта OFDMA

Ширина полосы канала (МГц)	1,25	2,5	5	10	20
Количество поднесущих	128	256	512	1024	2048
Число поднесущих для передачи данных на один подканал	48	Не используется	48	48	48
Количество подканалов (коэффициент масштабирования)	2		8	16	32
Общее количество поднесущих, используемых для передачи данных	96		384	768	1536
Общее количество пилотных поднесущих	10		42	82	166
Количество поднесущих в нижнем защитном интервале	11		43	87	173
Количество поднесущих в верхнем защитном интервале	10		42	86	172

Таблица 3

Порядок распределения поднесущих подрежима DL PUSC для масштабируемого варианта OFDMA

Ширина полосы канала (МГц)	1,25	2,5	5	10	20
Количество поднесущих	128	256	512	1024	2048
Число поднесущих для передачи данных на один подканал	24	Не используется	24	24	24
Количество подканалов (коэффициент масштабирования)	3		15	30	60
Общее количество поднесущих, используемых для передачи данных	72		360	720	1440
Общее количество пилотных поднесущих	12		60	120	240
Количество поднесущих в нижнем защитном интервале	11		46	92	184
Количество поднесущих в верхнем защитном интервале	10		45	91	183

4) R – пропускная способность одного подканала.

С учетом вышесказанного, в предлагаемой модели предполагаются известными следующие исходные данные:

1) N – общее количество ПС в сети;
 2) K – множество возможных значений числа подканалов в зависимости от ширины частотного канала. Для режима DL FUSC $K = \{2,8,16,32\}$, а для режима DL PUSC $K = \{3,15,30,60\}$. Используется в качестве коэффициента масштабирования;

3) R_{mp}^n – требуемая скорость передачи данных для обслуживания n -й ПС (Мбит/с).

Пропускная способность подканала (R) представляет количество переданных бит за единицу времени (секунду), исключая пилотные биты, и может быть рассчитана по формуле [13]:

$$R = R_c k_b K_s \Delta f, \quad (1)$$

где R_c – скорость кода, используемого при кодировании сигнала (например, для модуляции 16-QAM 1/2 параметр $R_c = 1/2$) [3]; k_b – уровень модуляции (битовая загрузка символа), значения

которой приведены в табл. 4; K_s – число поднесущих для передачи данных в одном подканале; $\Delta f \approx 11,16$ КГц – частотный разнос между поднесущими.

Таблица 4
Значения битовой загрузки символа для различных видов модуляции

Вид модуляции	Битовая нагрузка символа (бит/с/Гц)
BPSK	1
QPSK	2
8-PSK	3
16-QAM	4
32-QAM	5
64-QAM	6
256-QAM	8

Определение ширины частотного канала производится в соответствии с коэффициентом масштабирования. В свою очередь определение коэффициента масштабирования производится в результате расчета необходимого количества подканалов с целью выполнения требований по скорости передачи для каждой из ПС. Необходимое количество подканалов для n -ой ПС определяется из выражения:

$$H_n = \left\lceil \frac{R_{mpb}^n}{R} \right\rceil, \quad (2)$$

где $\left\lceil \frac{R_{mpb}^n}{R} \right\rceil$ – операция поиска наименьшего целого

большого или равного $\frac{R_{mpb}^n}{R}$.

Определение общего количества подканалов, необходимого для выполнения требований по скорости передачи для всех ПС, производится согласно выражению

$$H = \sum_{n=1}^N H_n. \quad (3)$$

Определение коэффициента масштабирования производится путем поиска минимальной ширины канала с количеством подканалов, превышающим значение H . Для этого может быть использовано выражение

$$L = \min\{s \in K | s \geq H\}. \quad (4)$$

В ходе решения задачи распределения подканалов в рамках предлагаемой модели ПС сети необходимо обеспечить расчет булевой управляющей переменной. Порядок распределения подканалов определяется переменной (5).

$$x_n^l = \begin{cases} 1, & \text{если } l\text{-й подканал выделен } n\text{-ой ПС;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (5)$$

При этом их общее число управляющих переменных зависит от количества пользовательских станций в сети, используемых подканалов и, соответственно, будет определяться выражением $N \times L$. Результат расчета переменных (5) позволит произвести закрепление подканалов за пользовательскими станциями, по которым будут передаваться данные в нисходящем направлении от БС. Кроме того, при расчете искомым переменных x_n^l необходимо выполнить ряд важных условий-ограничений:

1) Условие того, что l -й подканал выделен только одной пользовательской станции:

$$\sum_{n=1}^N x_n^l \leq 1 \quad (l = \overline{1, L}); \quad (6)$$

2) Условие того, что n -й пользовательской станции будет гарантирована требуемая скорость обслуживания:

$$r_n \geq R_{mpb}^n, \quad (7)$$

где r_n – скорость передачи, выделяемая n -й пользовательской станции в результате решения задачи распределения подканалов.

Скорость передачи n -й пользовательской станции (r_n) зависит от количества выделенных подканалов и будет рассчитываться с использованием следующего выражения:

$$r_n = R \sum_{l=1}^L x_n^l \quad (n = \overline{1, N}), \quad (8)$$

Используя выражения (1) и (8) условие-ограничение (7) может быть представлено в виде:

$$R_c k_b K_s \Delta f \sum_{l=1}^L x_n^l \geq R_{mpb}^n. \quad (9)$$

Целесообразно, чтобы в процессе решения задачи распределения подканалов между пользовательскими станциями сети также существовала возможность решения частных задач, связанных с увеличением производительности беспроводной сети, или экономией частотного ресурса. С этой целью введем условие-ограничение позволяющие решить эти частные задачи.

3) Условие обеспечения максимальной производительности беспроводной сети в рамках выделенного частотного диапазона:

$$\sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^N x_n^l = L \quad (10)$$

Расчет искомым переменных (1) в соответствии с условиями-ограничениями (6) и (9), а также для

повышения производительности и (10), целесообразно осуществлять в ходе решения оптимизационной задачи, обеспечивая минимум или максимум предварительно выбранного критерия качества решения задачи распределения подканалов в беспроводной сети стандарта IEEE 802.16. К основным требованиям к критерию оптимальности стоит отнести, с одной стороны, соответствие физике решаемой задачи, т.е. задачи распределения подканалов, а с другой, возможности получения на его основе практически реализуемых решений (результатов). Таким образом, постановка самой задачи не должна быть излишне усложнена, а для ее решения должен быть известен, или разработан, эффективный метод.

При выборе критерия оптимальности необходимо, например, обеспечить максимизацию скорости передачи в направлении к каждой из пользовательских станций в рамках выбранного коэффициента масштабирования. Так, с целью повышения общей производительности беспроводной широкополосной сети, критерий оптимальности может быть представлен в виде:

$$\max \sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^N x_n^l, \quad (11)$$

при учете условий-ограничений (6), (9) и (10). Использование данного критерия позволит повысить общую производительность беспроводной сети путем выделения пользовательским станциям всего количества доступных подканалов. Использование критерия оптимальности (9) вносит в математическую модель избыточность, которая выражается в выделении подканалов, которые могли бы и не использоваться.

При этом необходимо заметить, что использование условия-ограничения (10) гарантирует распределение между пользовательскими станциями всех доступных подканалов, при выполнении требования на минимально необходимую скорость передачи. Однако подканалы, выделяемые пользовательским станциям, будут распределены не равномерно, т.е. не сбалансировано. С целью устранения данного недостатка критерий оптимальности (11) примет вид:

$$\min \max \left\{ \sum_{l=1}^L x_1^l - H_1; \sum_{l=1}^L x_2^l - H_2; \dots; \sum_{l=1}^L x_N^l - H_N \right\} \quad (12)$$

Использование условий-ограничений (6), (9) и (10), а также критерия оптимальности (12) позволяет найти сбалансированное решение задачи распределения доступного количества подканалов, обеспечивая максимальную производительность беспроводной сети.

Кроме того задача распределения подканалов может быть решена с использованием критерия оптимальности направленного на улучшение сигнально-помеховой обстановки в используемом диапазоне частот, а также обеспечивающего

экономии частотного ресурса. Для этого необходимо минимизировать число выделяемых подканалов. В результате этого критерий оптимальности примет вид:

$$\min \sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^N x_n^l. \quad (13)$$

Использование критерия оптимальности (12) при учете условий-ограничений (6), (9) и (10) позволяет максимизировать производительность беспроводной сети в рамках выделенного частотного ресурса. Соответственно, использование условий-ограничений (6) и (9) совместно с критерием оптимальности (13), обеспечивает каждому из пользователей только требуемую скорость передачи.

Сформулированная задача с математической точки зрения является задачей целочисленного линейного программирования – LIP. В модели искомые переменные x_n^l (5) являются булевыми, переменная, используемая в критериях оптимальности (12) и (13), является целочисленной, а ограничения (6), (9), и (10) на искомые переменные носят линейный характер.

Анализ решений задачи при использовании различных критериев оптимальности

С целью оценки качества получаемых решений при распределении подканалов, в рамках предложенной модели (5), (6), (9), (10) рассмотрим различные варианты постановки и решения оптимизационной задачи. Для решения задачи распределения подканалов использовались два различных критерия оптимальности:

- в первом случае – максимум выделяемых подканалов пользовательским станциям беспроводной сети (12);
- во втором случае – минимум выделяемых подканалов пользовательским станциям беспроводной сети (13).

При этом были сформулированы два варианта математической модели:

1) распределение подканалов с целью выделения доступного частотного ресурса и обеспечения максимальной производительности беспроводной сети на используемом частотном канале (управляющая переменная (5), условия ограничения (6), (9) и (10), критерий оптимальности (12));

2) распределение подканалов с целью выделения минимально необходимого частотного ресурса и улучшения сигнально-помеховой обстановки в используемом диапазоне частот (управляющая переменная (5), условия ограничения (6) и (9), критерий оптимальности (13)).

Для анализа результатов решения задачи распределения подканалов в широкополосной беспроводной сети стандарта IEEE 802.16 при использовании различных вариантов математической модели в качестве примера была использована конфигурация беспроводной сети, представленная на рис. 1.

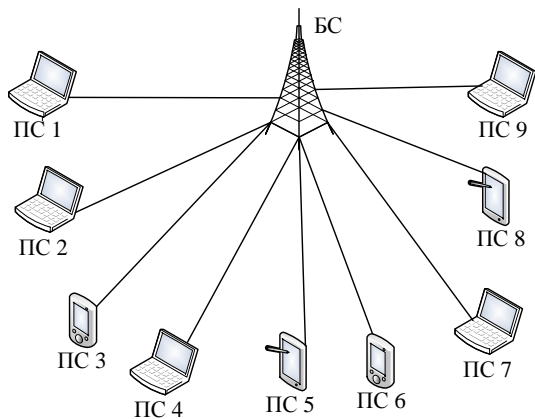


Рис. 1. Пример конфигурации беспроводной сети стандарта IEEE 802.16

При решении задачи распределения подканалов в качестве исходных данных были использованы следующие:

- количество пользовательских станций, одновременно участвующих в соединении $N=9$;
- используемый подрежим масштабируемого OFDMA – DL FUSC;
- количество подканалов в одном канале выбирается в соответствии с вариантом масштабирования – $K = \{2, 8, 16, 32\}$ (определяется подрежимом масштабируемого OFDMA);
- количество поднесущих для передачи данных на один подканал выбирается в соответствии с вариантом масштабирования – $K_s=48$ (определяется подрежимом масштабируемого OFDMA);
- частотный разнос между поднесущими – $\Delta f \approx 11,16$ КГц;
- уровень модуляции (битовая нагрузка символа) – $k_b=4$ (определяется видом модуляции из табл. 4);
- скорость кода используемого при кодировании сигнала – $R_c=1/2$ (определяется видом модуляции);
- вид модуляции сигнала – 16-QAM 1/2;
- требуемая скорость передачи необходимая для обслуживания n -го пользователя (Мбит/с) – $R_{mpb}^1=1$; $R_{mpb}^2=1,5$; $R_{mpb}^3=0,3$; $R_{mpb}^4=0,5$; $R_{mpb}^5=0,4$; $R_{mpb}^6=0,5$; $R_{mpb}^7=3$; $R_{mpb}^8=1$; $R_{mpb}^9=2$.

Представим результат решения задачи распределения подканалов, для рассматриваемого примера возможной конфигурации беспроводной сети (рис. 1), при использовании критерия оптимальности (12). Результат решения представлен на рис. 2.

	Номер подканала																Скорость передачи получаемая в результате решения задачи (Мбит/с)	Требуемая скорость передачи (Мбит/с)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
Номер пользовательской станции	1	■															1,05	1
	2		■														2,09	1,5
	3			■													1,05	0,3
	4				■												1,05	0,5
	5					■											2,09	0,4
	6						■										2,09	0,5
	7							■									4,19	3
	8								■								1,05	1
	9										■						2,09	2

Рис. 2. Пример решения задачи распределения подканалов в беспроводной сети стандарта IEEE 802.16 с использованием второго варианта математической модели

Как видно из полученного результата (рис. 2), для обеспечения требуемой скорости передачи данных пользовательским станциям в приведенном примере (рис. 1) достаточно 16 подканалов. Это свидетельствует о том, что в результате масштабирования был выбран частотный канал с шириной полосы 10 МГц. Скорости передачи данных для большинства пользовательских станций превышают требуемые лишь незначительно. Такой результат получен в результате выбора минимально допустимого значения ширины полосы частотного канала с использованием критерия оптимальности (12). При этом значительное превышение требуемой скорости передачи для некоторых пользовательских станций (№5, №6, №7) вызвано использованием условия-ограничения (10), гарантирующего распределение всех доступных подканалов между пользовательскими станциями сети. Так для обеспечения требуемой скорости передачи понадобилось 13 подканалов, оставшиеся же три были случайным образом распределены между пользовательскими станциями. Необходимо заметить, что распределение оставшихся подканалов производилось сбалансировано, пользовательским станциям выделялось только по одному дополнительному подканалу. Использование критерия оптимальности (12) позволяет задействовать все подканалы с целью использования доступной пропускной способности канала.

Также приведем результаты анализа решения задачи распределения подканалов, с использованием критерия оптимальности (13). Результаты решения задачи представлены на рис. 3.

Номер пользовательской станции	Номер подканала																Скорость передачи получаемая в	Требуемая скорость
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
1	■																1,05	1
2		■															2,09	1,5
3			■														1,05	0,3
4				■													1,05	0,5
5					■												1,05	0,4
6						■											1,05	0,5
7							■										3,14	3
8								■									1,05	1
9									■								2,09	2

Рис. 3. Пример решения задачи распределения подканалов в беспроводной сети стандарта IEEE 802.16 с использованием третьего варианта математической модели

В полученном результате (рис. 3), как и в предыдущем случае, использовано всего 16 подканалов. Это свидетельствует о том, что в результате масштабирования был выбран частотный канал с шириной полосы 10 МГц. При этом каждой пользовательской станции выделено лишь то количество подканалов, которое необходимо для выполнения требований по запрашиваемой скорости передачи. Так для обеспечения требуемой скорости передачи понадобилось 13 подканалов. Оставшиеся же три подканала не используются позволяя тем самым произвести экономию частотного ресурса и улучшить сигнально-помеховую обстановку в используемом диапазоне частот в пределах зоны действия БС.

Также необходимо заметить, что в решениях, представленных на рис. 2 и рис. 3 подканалы для отдельных пользовательских станций выделены последовательно. Однако это является частным решением. Подканалы отдельному пользователю могут быть выделены как последовательно, так и случайным образом, что никаким образом не влияет на качество решения задачи распределения подканалов.

Выводы

Установлено, что одной из основных задач в широкополосных беспроводных сетях стандарта IEEE 802.16 является задача распределения подканалов между пользовательскими станциями. В связи с этим проанализированы существующие модели и методы распределения частотного ресурса в широкополосных беспроводных сетях стандарта IEEE 802.16. На основе проведенного анализа установлено, что в большинстве известных работ решение задачи распределения частотного ресурса не учитывает возможность использования масштабированного варианта OFDMA, который доступен в стандарте IEEE 802.16e. На основе установленных недостатков было принято решение о необходимости разработки математической модели, способствующей их устранению.

На основании требований, выдвигаемых к перспективным решениям в области распределения подканалов в широкополосных беспроводных сетях

стандарта IEEE 802.16, предложена математическая модель, представленная рядом линейных условий-ограничений. Новизна модели состоит в использовании масштабированного варианта OFDMA, а также формулировке задачи распределения частотного ресурса как задачи распределения подканалов с жестко закрепленным числом поднесущих в каждом из них. Кроме того, в ходе распределения подканалов гарантируется требуемая скорость передачи данных для каждой из пользовательских станций, путем выделения необходимого количества подканалов.

Сформулированная задача с математической точки зрения является задачей целочисленного линейного программирования – ILP (Integer Linear Programming). В модели искомые переменные x_n^l (5) являются булевыми, переменная, используемая в критериях оптимальности (12) и (13), является целочисленной, а ограничения (6), (9) и (10) на искомые переменные носят линейный характер.

В статье был проведен анализ решений оптимизационной задачи распределения подканалов в рамках двух вариантов предложенной модели:

- максимум производительности беспроводной сети в рамках доступного частотного ресурса (управляющая переменная (5), условия ограничения (6), (9) и (10), критерий оптимальности (12));
- минимум используемого частотного ресурса (управляющая переменная (5), условия ограничения (6) и (9), критерий оптимальности (13)).

В ходе анализа было установлено, что использование первого варианта математической модели позволяет максимизировать общую производительность беспроводной сети в рамках используемого коэффициента масштабирования, обеспечивая при этом сбалансированное решение задачи распределения подканалов. В свою очередь использование второго варианта математической модели позволяет выполнить требования, выдвигаемые к скорости передачи пользовательских станций, а также произвести экономию частотного ресурса, путем устранения нежелательной избыточности. Избыточность решения заключается в выделении количества подканалов превышающего их необходимое число для обеспечения требуемой скорости передачи. Использование предложенной математической модели позволяет улучшить сигнально-помеховую обстановку в используемом диапазоне частот в зоне действия беспроводной сети путем масштабирования ширины полосы частотного канала.

Список литературы:

1. IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, IEEE Std 802.16-2004, Oct. 1, 2004.
2. IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile

Broadband Wireless Access Systems, IEEE Std 802.16e-2005, Feb. 28, 2006.

3. Гепко И.А., Олейник В.Ф., Чайка Ю.Д., Бондаренко А.В. *Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития.* – К.: «ЕКМО», 2009. – 672 с.

4. Niyato D., Hossain E. *Adaptive fair subcarrier/rate allocation in multirate OFDMA networks: Radio link level queuing performance analysis // IEEE Transactions on Vehicular Technology.* – 2006. – Vol. 55, № 6. – P. 1897-1907.

5. Letaief K., Zhang Y. *Dynamic multiuser resource allocation and adaptation for wireless systems // IEEE Wireless Communications Magazine.* – 2006. – Vol. 13, № 4. – P. 38–47.

6. Ergen M., Coleri S., Varaiya P. *QoS aware adaptive resource allocation techniques for fair scheduling in OFDMA based broadband wireless access systems // IEEE Transactions on Broadcasting.* – 2003. – Vol. 49, № 4. – P. 362–370.

7. Jang J., Lee K. *Transmit power adaptation for multiuser OFDM systems // IEEE Journal on Selected Areas in Communications.* – 2003. – Vol. 21, № 2. – P. 171–178.

8. W. Rhee and J. Cioffi, *Increase in capacity of multiuser OFDM system using dynamic subchannel allocation // Proceeding of IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2000).* – 2000. – Vol. 2. – P. 1085-1089.

9. Cai J., Shen X., Mark J. *Downlink resource management for packet transmission in OFDM wireless*

communication systems // IEEE Transactions on Wireless Communications. – 2005. – Vol. 4, № 4. – P. 1688-1703.

10. Seong K., Yu D., Kim Y., Cioffi J. *Optimal resource allocation via geometric programming for OFDM broadcast and multiple access channels // Proceeding of IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM '06).* – 2006. – P. 1-5.

11. Mehrjoo M., M.K. Awad, X.S. Shen *Resource Allocation in OFDM-Based WiMAX // CRC Press, Wireless Networks and Mobile Communications: WiMAX network planning and optimization.* – 2009. – P. 113 - 131.

12. Zhang Y., Letaief K. *Multiuser adaptive subcarrier-and-bit allocation with adaptive cell selection for OFDM systems // IEEE Transaction on Wireless Communications.* – 2004. – Vol. 3, № 5. P. 1566-1575.

13. Ермолаев В.Т. Флакман А.Г. *Теоретические основы обработки сигналов в системах мобильной радиосвязи.* Нижний Новгород: НГУ им. И.Н. Лобачевского, 2010. – 107 с.

Поступила в редколлегию

Рецензент: д.т.н., доц. Лемешко А.В., Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

Автор: ГАРКУША Сергей Владимирович

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, кандидат технических наук, докторант кафедры телекоммуникационных систем.

Роб. тел. – (057) 702-55-92, дом. тел. – (0532) 569-769, E-mail – sv.garkusha@mail.ru.

Розробка та аналіз масштабованої моделі розподілу підканалів в мережі стандарту IEEE 802.16

С.В. Гаркуша

У статті представлена математична модель розподілу підканалів в мережах стандарту IEEE 802.16 із застосуванням масштабованого варіанту OFDMA (Scalable OFDMA - SOFDMA). Використання коефіцієнта масштабування направлено на вибір мінімальної ширини частотного каналу, яка задовольняє вимогам щодо пропускної спроможності. Вибір різних критеріїв оптимальності в першому випадку дозволяє забезпечити максимальну продуктивність безпроводової мережі при виділенні мінімуму необхідного частотного ресурсу на використовуваному частотному каналі, а в другому випадку - поліпшити сигнально-завадову обстановку у використовуємому діапазоні частот. Проведено порівняльний аналіз одержуваних рішень при використанні різних критеріїв оптимальності.

Ключові слова: WiMAX, IEEE 802.16, безпроводова мережа, розподіл підканалів, самоорганізація, математична модель, масштабування.

Design and analysis of scalable model sub-channel allocation in the network standard IEEE 802.16

S.V. Garkusha

The paper presents the mathematical model of the distribution of subchannels in the IEEE 802.16 networks using a scalable version of OFDMA (Scalable OFDMA – SOFDMA). The proposed model allows us to produce a self-organizing network structure within the range of a base station using the following optimality criteria: maximizing the performance of wireless networks in the allocation of the minimum required frequency resource on used frequency channel, the minimum frequency resource allocation to improve the signal-noise conditions in the used frequency band. A comparative analysis of the solutions obtained by using different optimality criteria.

Keywords: WiMAX, IEEE 802.16, wireless network, the distribution of sub-channel, self-organization, the mathematical model, scaling.