

Зв'язок, радіотехніка, радіолокація, електроніка

УДК 621.391

С.В. Гаркуша

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

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. Предложенная модель позволяет произвести выбор ширины частотного канала для выполнения требований на скорость передачи пользовательских станций. Выбор различных критериев оптимальности позволяет обеспечить максимальную производительность беспроводной сети при выделении минимума необходимого частотного ресурса на используемом частотном канале, или 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, например, выходом из строя или перегрузкой элементов сети, колебаниями поступающего в сеть трафика, динамикой изменения сигнально-помеховой обстановки и т.д. [3].

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 [3].

Частотная поднесущая является первичной структурной единицей OFDM, логическое объединение которых формирует элемент частотного ресурса, называемый подканалом. Группа подканалов в свою очередь формирует частотный канал [4].

Большинство известных решений по распределению частотного ресурса направленно на решение задачи распределения поднесущих. Количество поднесущих формирующих один частотный канал может быть различно и определяется коэффициентом масштабирования. Выбор того или иного коэффициента масштабирования позволяет определить ширину используемого частотного канала и количество подканалов, формируемых равными наборами поднесущих. В результате этого задача распределения частотного ресурса должна сводиться к задаче распределения подканалов между пользовательскими станциями сети.

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 [4], 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. Учет характеристик масштабируемого варианта OFDMA, по сравнению с известными решениями, позволит производить выбор необходимой ширины частотного канала. Также это сделает

возможным использование данной модели в стандарте IEEE 802.16e. В свою очередь в предложенной модели задача структурной самоорганизации рассматривается как задача распределения подканалов, что позволило произвести учет технологических особенностей беспроводной сети, по сравнению с известными решениями, в которых решается задача распределения поднесущих.

Основной раздел

Анализ известных решений

Анализ известных решений по распределению частотного ресурса между ПС беспроводной сети, использующих технологию WiMAX показал, что в работах [5 – 13] 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.

Также проведенный анализ показал, что большинство известных подходов по распределению частотного ресурса основывается на решении задачи распределения поднесущих между ПС беспроводной сети. Динамическое распределение поднесущих между ПС станциями сети может привести к изменению количества пилотных и защитных поднесущих в используемом канале, учет которых в указанных решениях не производится. Кроме того в проанализированных работах распределение поднесущих производится в рамках предварительно выбранного частотного канала, ширина которого определяется оператором связи или производителем оборудования, т.е. отсутствует возможность масштабирования. Под масштабированием понимают возможность выбора ширины полосы ис-

пользуемого 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 математической модели использующей масштабируемый вариант OFDMA 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 [4]. Однако необходимо заметить, что выбор ширины частотного канала производится оператором связи при проектировании беспроводной сети и не может быть изменен в процессе ее функционирования. Поэтому далее в данной статье будет рассмотрен масштабируемый вариант OFDMA, используемый в стандарте IEEE 802.16e, с целью разработки решения по выбору ширины частотного канала в процессе функционирования системы. Основные параметры масштабируемого варианта OFDMA приведены в табл. 1.

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	≈ 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		

В случае распределенной расстановки поднесущих в спецификации WMAN-OFDMA предусмотрены два подрежима, определяющие способ формирования «частотной структуры» подканалов [4]:

- 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;

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

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) $R_{\text{треб}}^n$ – требуемая скорость передачи данных для обслуживания n -й ПС (Мбит/с).

4) R – пропускная способность одного подканала.

Пропускная способность подканала (R) представляет собой количество переданных бит за единицу времени (секунду), исключая пилотные биты, и может быть рассчитана по формуле [14]:

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

где R_c – скорость кода, используемого при кодировании сигнала (например, для модуляции 16-QAM 1/2 параметр $R_c = 1/2$) [4]; k_b – уровень модуляции (битовая нагрузка 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.

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:

$$N_n = \left\lceil R_{\text{треб}}^n / R \right\rceil, \quad (2)$$

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

где $\left\lceil R_{\text{треб}}^n / R \right\rceil$ – операция поиска наименьшего целого большего или равного $R_{\text{треб}}^n / R$.

Суммарное количество подканалов, необходимое для выполнения требований по скорости передачи для всех ПС, определяется из выражения

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

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

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

В ходе решения задачи распределения подканалов в рамках предлагаемой модели ПС сети необходимо обеспечить расчет булевой управляющей переменной (x_n^1). Порядок распределения подканалов определяется переменной (5):

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

При этом общее число управляющих переменных зависит от количества пользовательских станций в сети, используемых подканалов и, соответственно, будет определяться выражением $N \times L$, где L – количество подканалов в частотном канале, ширина которого соответствует выбранному коэффициенту масштабирования. 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^1 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:

$$R_c k_b K_s \Delta f \sum_{l=1}^L x_n^l \geq R_{\text{треб}}^n. \quad (7)$$

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:

$$\sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^N x_n^l = L. \quad (8)$$

Расчет искомым переменных (1) в соответствии с условиями-ограничениями (6), (7) и (8), целесообразно осуществлять в ходе решения оптимизационной задачи, обеспечивая минимума или максимума 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 переда-

чи 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:

$$\max \sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^N x_n^l, \quad (9)$$

при учете условий-ограничений (6), (7) и (8). Использование данного критерия позволит повысить общую производительность беспроводной сети путем выделения пользовательским станциям всего количества доступных подканалов.

При этом необходимо заметить, что использование условия-ограничения (8) гарантирует распределение между пользовательскими станциями всех доступных подканалов, при выполнении требований на минимально необходимую скорость передачи. Однако подканалы, выделяемые пользовательским станциям, будут распределены не равномерно. С целью устранения данного недостатка критерий оптимальности (11) примет вид:

$$\min \max \left\{ \sum_{l=1}^L x_1^l - H_1; \sum_{l=1}^L x_2^l - H_2; \dots; \sum_{l=1}^L x_N^l - H_N \right\} \quad (10)$$

Использование условий-ограничений (6), (7), (8) и критерия оптимальности (10) позволяет обеспечить максимальную производительность беспроводной сети, а также обеспечить равномерное распределение подканалов между пользовательскими станциями 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 экономию частотного ресурса. Для этого необходимо минимизировать число выделяемых подканалов. В результате этого критерий оптимальности примет вид:

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

С целью улучшения сигнально-помеховой обстановки в используемом диапазоне частот задача распределения подканалов будет сформулирована в виде условий-ограничений (6) и (7) совместно с критерием оптимальности (11). Данный подход к решению указанной задачи обеспечивает каждой из пользовательских станций только требуемую скорость передачи.

Сформулированная задача с математической точки зрения является задачей целочисленного линейного программирования – LIP. В модели искомым переменные x_n^1 (5) являются булевыми, переменная, используемая в критериях оптимальности (10) и (11), является целочисленной, а ограничения (6), (7), и (8) на искомым 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), (7), (8) рассмотрим различные варианты постановки и решения оптимизационной задачи. 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), (7) и (8), критерий оптимальности (10));

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 (7), критерий оптимальности (11)).

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.

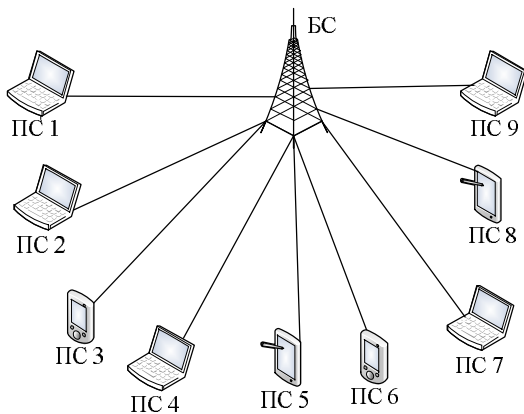


Рис. 1. Пример конфигурации беспроводной сети стандарта IEEE 802.16

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

- количество пользовательских станций $N = 9$;
- 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 – $K_s = 48$ (определяется подрежимом);
- частотный разнос между поднесущими – $\Delta f \approx 11,16$ КГц;

– уровень модуляции (битовая загрузка 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) –

$$R_{\text{треб}}^1 = 1; R_{\text{треб}}^2 = 1,5; R_{\text{треб}}^3 = 0,3; R_{\text{треб}}^4 = 0,5; R_{\text{треб}}^5 = 0,4; \\ R_{\text{треб}}^6 = 0,5; R_{\text{треб}}^7 = 3; R_{\text{треб}}^8 = 1; R_{\text{треб}}^9 = 2.$$

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.

Как видно из полученного результата (рис. 2), для обеспечения требуемой скорости передачи данных пользовательскими станциями 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. Такой результат получен в результате выбора минимально допустимого значения ширины полосы частотного канала с использованием критерия оптимальности (10). При этом незначительное превышение требуемой скорости передачи для некоторых пользовательских станций (№5, №6, №7) вызвано использованием условия-ограничения (8), 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. Использование критерия оптимальности (10) позволяет задействовать все подканалы с целью использования доступной пропускной способности канала.

Результаты решения задачи с использованием критерия оптимальности (11) представлены на рис. 3.

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.

Также необходимо заметить, что в решениях, представленных на рис. 2 и 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 одним из основных направлений повышения производительности и улучшения основных показателей качества обслуживания в широкополосных беспроводных сетях стандарта IEEE 802.16 является задача распределения частотного ресурса между пользовательскими станциями. В связи с этим были рассмотрены известные решения данной задачи анализ которых показал, что большинство известных подходов по распределению частотного ресурса основывается на решении задачи распределения поднесущих между пользовательскими станциями беспроводной сети, без учета количества пилотных и защитных поднесущих. Также, в рассмотренных работах 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 распределе-

Номер пользовательской станции	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		
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 первого варианта математической модели

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 второго варианта математической модели

ния 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^1 (5) являются булевыми, переменная, используемая в критериях оптимальности (10) и (11), является целочисленной, а ограничения (6), (7) и (8) 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), (7) и (8), критерий оптимальности (10));

– минимум используемого частотного ресурса (управляющая переменная (5), условия ограничения (6) и (7), критерий оптимальности (11)).

В ходе анализа было установлено, что использование первого варианта математической модели позволяет максимизировать общую производительность беспроводной сети в рамках используемого коэффициента масштабирования. В свою очередь использование второго варианта математической модели позволяет выполнить требования, выдвигаемые к скорости передачи пользовательских станций, а также произвести экономию частотного ресурса. Избыточность решения заключается в выделении количества подканалов превышающего их необходимое число для обеспечения требуемой скорости передачи. Использование предложенной математической модели позволяет улучшить сигнално-помеховую обстановку в используемом диапазоне частот 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. Лемешко А.В. Модель структурной самоорганизации многоканальной mesh-сети стандарта IEEE 802.11 / А.В. Лемешко, М.А. Гоголева // Проблемы телекоммуникаций. – 2010. – № 1 (1). – С. 83-95. – [Электрон. ресурс]. – Режим доступа к журн.: http://pt.journal.kh.ua/2010/1/1/101_lemeshko_mesh.pdf.
4. Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития / Гепко И.А., Олейник В.Ф., Чайка Ю.Д., Бондаренко А.В. – К.: «ЕКМО», 2009. – 672 с.
5. 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.
6. Letaief K., Zhang Y. Dynamic multiuser resource allocation and adaptation for wireless systems // IEEE Wireless Communications Magazine. – 2006. – Vol. 13, № 4. – P. 38-47.
7. Ergen M. QoS aware adaptive resource allocation techniques for fair scheduling in OFDMA based broadband wireless access systems / M. Ergen, S. Coleri, P. Varaiya // IEEE Transactions on Broadcasting. – 2003. – Vol. 49, № 4. – P. 362-370.
8. Jang J. Transmit power adaptation for multiuser OFDM systems / J. Jang, K. Lee // IEEE Journal on Selected Areas in Comm. – 2003. – Vol. 21, № 2. – P. 171-178.
9. 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.
10. Cai J. Downlink resource management for packet transmission in OFDM wireless communication systems / J. Cai, X. Shen, J. Mark // IEEE Transactions on Wireless Communications. – 2005. – Vol. 4, № 4. – P. 1688-1703.
11. Seong K. Optimal resource allocation via geometric programming for OFDM broadcast and multiple access channels / K. Seong, D. Yu, Y. Kim, J. Cioffi // Proceeding of IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM '06). – 2006. – P. 1-5.
12. Mehrjoo M. Resource Allocation in OFDM-Based WiMAX / M. Mehrjoo, M.K. Awad, X.S. Shen // CRC Press, Wireless Networks and Mobile Communications: WiMAX network planning and optimization. – 2009. – P. 113-131.
13. Zhang Y. Multiuser adaptive subcarrier-and-bit allocation with adaptive cell selection for OFDM systems / Y. Zhang, K. Letaief // IEEE Transaction on Wireless Communications. – 2004. – Vol. 3, № 5. – P. 1566-1575.
14. Ермолаев В.Т. Теоретические основы обработки сигналов в системах мобильной радиосвязи / В.Т. Ермолаев, А.Г. Флакман. – Нижний Новгород: НГУ им. И.И. Лобачевского, 2010. – 107 с.

Поступила в редколлегию 23.08.2012

Рецензент: д-р техн наук, доц. А.В. Лемешко, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ МАСШТАБУЄМОЇ 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. Запропонована модель дозволяє провести вибір ширини частотного каналу для виконання вимог на швидкість передачі користувачьких станцій. Вибір різних критеріїв оптимальності дозволяє забезпечити максимальну продуктивність безпроводової мережі при виділенні мінімуму необхідного частотного ресурсу на використовуємому частотному каналі, або поліпшити сигнално-завадову обстановку у використовуємому діапазоні частот. Проведено порівняльний аналіз одержуваних рішень при використанні різних критеріїв оптимальності.

Ключові слова: WiMAX, IEEE 802.16, безпроводова мережа 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 sub-channels in the IEEE 802.16 networks using a scalable version of OFDMA. The proposed model enables you to choose the width of the frequency channel to meet the requirements on the speed of user stations. The choice of different optimality criteria to ensure maximum network capacity when allocating the required minimum frequency resource on used frequency channel, or to improve 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.