

АЛГОРИТМ АДАПТИВНОЙ ПЕРЕДАЧИ В СИСТЕМЕ MOBILE WiMAX С ЧАСТОТНЫМ РАЗНЕСЕНИЕМ

Филин С.А., Моисеев С.Н., Кондаков М.С.

Введение

Стандарты IEEE 802.16–2004 [1] и 802.16e–2005 [2] описывают требования к физическому уровню и уровню управления доступом к среде передачи (MAC – media access control) для беспроводной сети передачи данных Mobile WiMAX, выход которой на рынок планируется в ближайшее время. Стандарты вобрала в себя большинство современных технологий передачи данных, таких как механизмы поддержки качества обслуживания (QoS – quality of service), адаптивное кодирование и модуляция, регулировка мощности, селективная и гибридная повторная передача, передача данных на ортогональных по частоте поднесущих (OFDM – orthogonal frequency division multiplexing), а также множественный доступ с частотно-временным разделением (OFDMA – orthogonal frequency division multiple access). Это даёт широкие возможности для оптимизации беспроводной сети передачи данных Mobile WiMAX.

В системах OFDMA отношение сигнал\шум + помеха (ОСШП) может существенно отличаться на разных поднесущих. Возможно два подхода для учёта этого эффекта, а именно частотное и многопользовательское разнесения. При частотном разнесении поднесущие пользователя псевдослучайно разносятся по всему спектру сигнала OFDM. В этом случае, хотя пользователю выделяют только часть поднесущих, его условия приёма характеризуются значением ОСШП, усреднённым по всему символу OFDM. Это позволяет усреднить частотно-селективные замирания и внутрисистемные помехи. Описание системы Mobile WiMAX, технологии OFDM и множественного доступа OFDMA на русском языке доступно в [3],[4].

Оптимизации характеристик систем OFDMA посвящено много работ. Минимизация суммарного частотно-временного ресурса проведена в [5], а максимизация пропускной способности осуществляется в [6]. Минимизация суммарной излучаемой мощности рассмотрена в [7]. Оптимизации многокритериальной целевой функции посвящена работа [8]. Тем не менее, известные алгоритмы адаптивной передачи имеют следующие недостатки. Во-первых, оптимизация прямого и обратного каналов осуществляется независимо. Однако, совместная оптимизация прямого и обратного каналов с адаптацией положения границы между кадрами прямого и обратного каналов имеет большой практический интерес в системе Mobile WiMAX с временным дуплексом. Кроме того, известные алгоритмы не учитывают обра-

Предложен алгоритм адаптивной передачи для системы Mobile WiMAX с частотным разнесением и временным дуплексом. В алгоритме выбирают положение границы между кадрами прямого и обратного каналов, схемы кодирования и модуляции, а также значения мощности передачи. Целью алгоритма является максимизация ёмкости сектора при условии выполнения требований по качеству обслуживания пользователей. Предложенный алгоритм обладает низкой вычислительной сложностью и имеет выигрыш в спектральной эффективности по сравнению с известными алгоритмами.

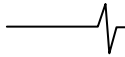
ботку блоков данных на уровне управления доступом к среде передачи (MAC – medium access control) и на физическом уровне. Как следствие, они не могут обеспечивать выполнение требований по качеству обслуживания (QoS – quality of service) пользователей.

В статье рассматривается беспроводная сеть передачи данных Mobile WiMAX на основе технологии OFDMA с временным дуплексом и частотным разнесением. Решается задача адаптивного выбора схемы кодирования и модуляции, а также адаптивного назначения частотно-временного ресурса и мощности передачи для сервисных потоков прямого и обратного каналов, запланированных к передаче. Кроме того, решается задача адаптивного выбора положения границы между кадрами прямого и обратного каналов. В качестве целевой функции оптимизации выбрана ёмкость сектора, под которой понимается его максимально достижимая пропускная способность. При оптимизации учитываются ограничения на доступный частотно-временной ресурс кадров прямого и обратного каналов, на максимальные значения мощности передачи базовой станции и пользователей, а также требования QoS сервисных потоков.

Адаптивная передача в системе Mobile WiMAX требует решения задачи условной оптимизации. Оптимальное решение этой задачи имеет экспоненциальную сложность. Поэтому, вычислительная сложность практических алгоритмов играет большую роль. В данной работе для решения задачи адаптивной передачи применена модель загрузки системы OFDMA [9]. Это позволило разработать очень быстрый и эффективный алгоритм адаптивной передачи.

Постановка задачи

Рассматривается один сектор системы Mobile WiMAX с частотным разнесением и временным дуплексом. Кадр имеет постоянную длительность и включает кадры прямого и обратного каналов. Положение границы между кадрами прямого и обратного каналов может адаптивно меняться. Во временной области кадр состоит из вре-



менных слотов, каждый из которых образован одним или несколькими символами OFDM. Для некоторого положения границы будем обозначать количество символов OFDM в прямом и обратном каналах как: T_{DL} и T_{UL} , где $T_F = T_{DL} + T_{UL}$ – количество символов OFDM в кадре. В частотной области кадр состоит из частотных подканалов, каждый из которых образован несколькими поднесущими. Будем обозначать количество частотных подканалов в прямом и обратном каналах F_{DL} и F_{UL} .

Сектор обслуживает K пользователей. Каждый пользователь может иметь несколько сервисных потоков прямого и обратного каналов, где сервисный поток это поток блоков данных некоторого сервиса. Каждый сервисный поток имеет набор требований QoS, включающий минимальную среднюю скорость передачи, максимальную среднюю задержку передачи и максимальную вероятность ошибки. Сектор имеет ограничение на максимальную мощность передачи P_{DL}^{max} , а мощность передачи пользователей ограничена величинами $P_{UL}^{max}(k)$, $k = 1, \dots, K$.

Алгоритм планирования передачи выбирает набор сервисных потоков прямого и обратного каналов, который будет передаваться в текущем кадре. Обозначим количество выбранных сервисных потоков прямого и обратного каналов N_{DL} и N_{UL} . Перед передачей блоки данных этих сервисных потоков преобразуются в пакеты данных на уровне MAC с использованием операций фрагментации и упаковки. Для каждого сервисного потока выбирается схема кодирования и модуляции и мощность передачи (на частотный подканал). Будем обозначать их q_{DL}, q_{UL} и p_{DL}, p_{UL} . После того как схемы кодирования и модуляции выбраны, пакеты данных каждого сервисного потока преобразуются в кодовые блоки на физическом уровне. Кодовые блоки сервисных потоков размещаются в кадре. Для обозначения размера частотно-временного ресурса, занятого сервисными потоками в кадре, будем использовать функции δ_{DL} и δ_{UL} . При этом $\delta_{DL}(n_{DL}, i_{DL}, j_{DL}) = 1$, если сервисный поток n_{DL} занимает временной слот i_{DL} частотного подканала j_{DL} , в противном случае $\delta_{DL}(n_{DL}, i_{DL}, j_{DL}) = 0$. Напомним, что при частотном разнесении поднесущие каждого частотного подканала при передаче псевдослучайно разносятся по всему спектру сигнала OFDM.

Задача максимизации ёмкости сектора формулируется следующим образом.

$$T_{DL} = \arg \max (C_{DL}(\{q_{DL}, p_{DL}\}) + C_{UL}(\{q_{UL}, p_{UL}\})), \quad (1)$$

где

$$\{q_{DL}, p_{DL}\} = \arg \max C_{DL},$$

$$\sum_{n_{DL}=1}^{N_{DL}} \sum_{j_{DL}=1}^{F_{DL}} \alpha_{DL}(n_{DL}, i_{DL}, j_{DL}) \cdot p_{DL}(n_{DL}) \leq P_{DL}^{max}, \quad (2)$$

$$i_{DL} = 1, \dots, T_{DL},$$

$$\{q_{UL}, p_{UL}\} = \arg \max C_{UL},$$

$$\sum_{n_{UL}=1}^{N_{UL}} \sum_{j_{UL}=1}^{F_{UL}} \delta(k, n_{UL}) \cdot \alpha_{UL}(n_{UL}, i_{UL}, j_{UL}) \cdot p_{UL}(n_{UL}) \leq P_{UL}^{max}(k), \quad (3)$$

$$k = 1, \dots, K, \quad i_{UL} = 1, \dots, T_{UL}.$$

В (1) – (3) C_{DL} и C_{UL} обозначают пропускные способности прямого и обратного каналов; $\delta(k, n_{UL}) = 1$, если сервисный поток n_{UL} принадлежит пользователю k , в противном случае $\delta(k, n_{UL}) = 0$. Задачи условной оптимизации (2) и (3) решаются при условии, что удовлетворяются требования QoS пользователей прямого и обратного каналов.

Алгоритм адаптивной передачи

Целевые функции и ограничения в оптимизационной задаче (1) – (3) являются нелинейными функциями параметров оптимизации. Оптимальное решение задачи (1) – (3) это полный перебор, который не применим на практике. Возможны разные неоптимальные алгоритмы, которые осуществляют поиск локальных экстремумов целевой функции. Все они сталкиваются с двумя основными трудностями. Во-первых, целевая функция имеет много локальных экстремумов, многие из которых далеки от глобального экстремума. Во-вторых, вычислительная сложность алгоритмов является очень важной. Чем лучше алгоритм преодолевает эти сложности, тем большую практическую ценность он имеет.

Задача условной оптимизации (1) – (3) упрощается тем, что для заданного положения границы между кадрами прямого и обратного каналов оптимизация может проводиться независимо для прямого и обратного каналов, как в оптимальном, так и в неоптимальном алгоритмах. Как следствие, алгоритм адаптивной передачи включает две процедуры: оптимизацию положения границы и оптимизацию прямого и обратного каналов. Для обеих этих процедур предлагается использовать модель загрузки системы OFDMA [9]. Это приводит к очень быстрому и эффективному алгоритму адаптивной передачи.

Загрузку системы определяют следующим образом [9]. Загрузка системы равна минимальной величине нормированных общих ресурсов системы, необходимых пользователям. Величина необходимых ресурсов системы нормируется на общую величину ресурсов системы и определяется при условии, что требования QoS выполняются для всех пользователей системы.

В обратном канале системы Mobile WiMAX единственным общим ресурсом является частотно-временной ресурс кадра обратного канала. Мощности передачи пользователей – это их индивидуальные ресурсы. Соответственно, загрузка обратного канала u_{UL} равна

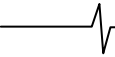
$$u_{UL} = \min s_{UL}, \quad s_{UL} = S_{UL} / S_{UL}^{max},$$

где S_{UL} – частотно-временной ресурс обратного канала, потребляемый всеми пользователями, S_{UL}^{max} – общий размер частотно-временного ресурса обратного канала.

В прямом канале общими ресурсами системы являются частотно-временной ресурс прямого канала и мощность передачи сектора. Величины нормированных потребляемых частотно-временного и мощностного ресурсов прямого канала s_{DL} и c_{DL} равны

$$s_{DL} = S_{DL} / S_{DL}^{max}, \quad c_{DL} = P_{DL} / P_{DL}^{max},$$

где S_{DL} – частотно-временной ресурс прямого канала, потребляемый всеми пользователями, S_{DL}^{max} – общий



размер частотно-временного ресурса прямого канала, P_{DL} – мощность передачи сектора, потребляемая всеми пользователями.

Для получения загрузки прямого канала u_{DL} необходимо объединить два разнородных ресурса прямого канала, а именно частотно-временной ресурс s_{DL} и мощностной ресурс c_{DL} . Для этих целей будем использовать функцию $\max(s_{DL}, c_{DL})$ [9]. Следовательно, загрузка прямого канала u_{DL} равна

$$u_{DL} = \min(\max(s_{DL}, c_{DL})).$$

Для выбора положения границы между кадрами прямого и обратного каналов предлагается алгоритм прямого поиска, состоящий из следующих шагов. На первом шаге положение границы выбирается так, чтобы величины частотно-временного ресурса кадров прямого и обратного каналов были пропорциональны величинам суммарного трафика прямого и обратного каналов

$$T_{DL}^{(0)} = T_F \cdot \left\{ \frac{\sum_{n_{DL}=1}^{N_{DL}} x_{DL}(n_{DL})}{\left[\sum_{n_{DL}=1}^{N_{DL}} x_{DL}(n_{DL}) + \sum_{n_{UL}=1}^{N_{UL}} x_{UL}(n_{UL}) \right]} \right\}, \quad (4)$$

$$T_{UL}^{(0)} = T_F - T_{DL}^{(0)},$$

где $x_{DL}(n_{DL})$ и $x_{UL}(n_{UL})$ – суммарные размеры блоков данных сервисных потоков n_{DL} и n_{UL} .

Положение границы (4) не учитывает разные условия приёма пользователей. Для этого положения границы рассчитывают загрузки прямого и обратного каналов на втором шаге. Загрузка прямого канала равна

$$u_{DL} = \min[\max(s_{DL}, c_{DL})],$$

$$s_{DL} = \frac{1}{T_{DL}^{(0)} F_{DL}} \sum_{n_{DL}=1}^{N_{DL}} \sum_{i_{DL}=1}^{T_{DL}^{(0)}} \sum_{j_{DL}=1}^{F_{DL}} \delta_{DL}(n_{DL}, i_{DL}, j_{DL}),$$

$$c_{DL} = \frac{1}{T_{DL}^{(0)} P_{DL}^{\max}} \sum_{n_{DL}=1}^{N_{DL}} \sum_{i_{DL}=1}^{T_{DL}^{(0)}} \sum_{j_{DL}=1}^{F_{DL}} \delta_{DL}(n_{DL}, i_{DL}, j_{DL}) \cdot P_{DL}(n_{DL}).$$

Она рассчитывается при условии, что требования QoS выполняются для всех сервисных потоков прямого канала. Отметим, что ограничение на максимальную мощность передачи (2) включено в загрузку прямого канала. Если оно не выполняется, то $c_{DL} > 1$ и, следовательно, $u_{DL} > 1$, что означает перегрузку прямого канала.

Загрузка обратного канала равна

$$u_{UL} = \min s_{UL}, \quad s_{UL} = \frac{1}{T_{UL}^{(0)} F_{UL}} \sum_{n_{UL}=1}^{N_{UL}} \sum_{i_{UL}=1}^{T_{UL}^{(0)}} \sum_{j_{UL}=1}^{F_{UL}} \delta_{UL}(n_{UL}, i_{UL}, j_{UL})$$

Она вычисляется при условии, что требования QoS выполняются для всех сервисных потоков обратного канала, а также с учётом ограничений на максимальные мощности передачи пользователей (3).

Когда кадр прямого канала перегружен, т.е., невозможно разместить в него все сервисные потоки, используют следующую процедуру. Сначала размещают как можно больше сервисных потоков в кадр прямого канала при условии, что $u_{UL} \leq 1$. Затем условно добавляют второй кадр прямого канала, такой же как и первый кадр, под первым кадром прямого канала. Размещают как можно больше сервисных потоков во второй кадр

прямого канала при условии, что $u_{DL} \leq 1$. Это условие проверяется отдельно для второго кадра. Данная процедура продолжается до тех пор, пока все сервисные потоки не будут размещены. После этого вычисляют загрузку прямого канала по всем использованным кадрам прямого канала. При этом, суммируют размеры занятого частотно-временного ресурса всех кадров прямого канала для получения s_{DL} . Кроме того, суммируют использованную мощность передачи всех кадров прямого канала для получения c_{DL} (поэтому новые кадры размещаются под старыми кадрами).

Когда кадр обратного канала перегружен, т.е., невозможно разместить в него все сервисные потоки, используют следующую процедуру. Размещают как можно больше сервисных потоков в первый кадр обратного канала. Условно добавляют второй кадр обратного канала, такой же как и первый, справа от первого, и опять размещают в нём как можно больше сервисных потоков. Эту процедуру продолжают до тех пор, пока все сервисные потоки обратного канала не будут размещены. После этого суммируют весь занятый частотно-временной ресурс использованных кадров обратного канала для нахождения s_{DL} .

На втором шаге начальное положение границы между кадрами прямого и обратного каналов выбирают так, чтобы частотно-временной ресурс кадра делился между кадрами прямого и обратного каналов пропорционально их загрузкам

$$T_{DL}^{(1)} = T_F \cdot \left(\frac{[T_{DL}^{(0)} \cdot u_{DL}]}{[T_{DL}^{(0)} \cdot u_{DL} + (T_F - T_{DL}^{(0)}) \cdot u_{UL}]} \right),$$

$$T_{UL}^{(1)} = T_F - T_{DL}^{(1)}.$$

После этого осуществляют прямой поиск локального максимума целевой функции (1). Для начального положения границы в кадрах прямого и обратного каналов размещают соответствующие сервисные потоки, используя процедуры, описанные далее. Если возможно разместить все сервисные потоки в кадр и $\max(u_{DL}, u_{UL}) \leq 1$, то задача условной оптимизации (1) решена. В этом случае выбранное положение границы, выбранные схемы кодирования и модуляции, а также мощности передачи используют при передаче в текущем кадре. В противном случае итеративно ищут ближайший локальный максимум целевой функции (1).

Предлагается следующая процедура оптимизации в прямом канале. Сервисные потоки последовательно размещают в кадр прямого канала, начиная с сервисных потоков с наилучшими условиями приёма. При размещении каждого сервисного потока минимизируют загрузку прямого канала.

Среди всех сервисных потоков прямого канала выбирают один сервисный поток с максимальным нормированным на мощность передачи значением ОСШП

$$n_{DL}^{(1)} = \arg \max z(n_{DL}).$$

Для сервисного потока $n_{DL}^{(1)}$ выбирают схему кодирования и модуляции и соответствующее значение мощности передачи так, чтобы минимизировать загрузку прямого канала

$$q_{DL}^{(1)}(n_{DL}^{(1)}) = \arg \min [\max(s_{DL}, c_{DL})]. \quad (5)$$

Отметим, что загрузка прямого канала в (5) рассчитывается при условии, что только один сервисный поток $n_{DL}^{(1)}$ размещён в кадре прямого канала.

Сервисный поток $n_{DL}^{(1)}$ размещают в кадре прямого канала со схемой кодирования и модуляции $q_{DL}^{(1)}(n_{DL}^{(1)})$ и мощностью передачи $p_{DL}^{(1)}(n_{DL}^{(1)})$. Сервисные потоки в кадре прямого канала размещают слева направо, т.е. сначала полностью заполняют первый частотный подканала, затем – второй и т.д. После этого, сервисный поток $n_{DL}^{(1)}$ исключают из дальнейшего рассмотрения.

Среди оставшихся сервисных потоков опять выбирают один сервисный поток с максимальным нормированным на мощность передачи значением ОСШП

$$n_{DL}^{(2)} = \arg \max z(n_{DL}).$$

Для сервисного потока $n_{DL}^{(2)}$ выбирают схему кодирования и модуляции и соответствующее значение мощности передачи так, чтобы минимизировать загрузку прямого канала

$$q_{DL}^{(2)}(n_{DL}^{(2)}) = \arg \min [\max(s_{DL}, c_{DL})]. \quad (6)$$

Отметим, что загрузка прямого канала в (6) рассчитывается при условии, что сервисный поток $n_{DL}^{(1)}$ уже был размещён в кадре прямого канала со схемой кодирования и модуляции $q_{DL}^{(1)}(n_{DL}^{(1)})$ и мощностью передачи $p_{DL}^{(1)}(n_{DL}^{(1)})$, а сервисный поток $n_{DL}^{(2)}$ дополнительно размещается в кадре прямого канала.

Сервисный поток $n_{DL}^{(2)}$ размещают в кадре прямого канала со схемой кодирования и модуляции $q_{DL}^{(2)}(n_{DL}^{(2)})$ и мощностью передачи $p_{DL}^{(2)}(n_{DL}^{(2)})$. После этого, сервисный поток $n_{DL}^{(2)}$ исключают из дальнейшего рассмотрения.

Затем выбирают новый сервисный поток, используя тот же критерий, и т.д. Если все сервисные потоки удалось разместить в кадре прямого канала и $\max(s_{DL}, c_{DL}) \leq 1$, то процедура оптимизации прямого канала завершена. Если в процессе размещения сервисных потоков в кадре прямого канала наступила перегрузка, т.е. $\max(s_{DL}, c_{DL}) > 1$, то размещают последний сервисный поток при условии $\max(s_{DL}, c_{DL}) \leq 1$ и завершают процедуру оптимизации.

Предлагается следующая процедура оптимизации в обратном канале. Напомним, что единственным общим системным ресурсом обратного канала является частотно-временной ресурс кадра обратного канала. Поэтому, необходимо минимизировать использование частотно-временного ресурса кадра обратного канала. Кроме того, ограничения на максимальную мощность передачи пользователей (3) независимы для разных пользователей. Предлагается размещать пользователей в кадр обратного канала последовательно, начиная с пользователей с наилучшими условиями приёма. Для каждого пользователя будем размещать все его сервисные потоки, а затем переходить к следующему пользователю. Отметим, что условия приёма одинаковы для всех сервисных потоков одного пользователя.

Сначала выбираем один сервисный поток с максимальным нормированным значением ОСШП

$$n_{UL}^{(1)} = \arg \max z_{UL}(n_{UL}).$$

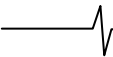
Первый выбранный пользователь $k^{(1)}$ – это пользователь, которому принадлежит сервисный поток обратного канала $n_{UL}^{(1)}$. Размещаем все сервисные потоки этого пользователя в кадр обратного канала и убираем их из дальнейшего рассмотрения. Затем среди оставшихся пользователей выбираем ещё один сервисный поток с наилучшими условиями приёма. Как следствие, имеем следующего пользователя $k^{(2)}$. Размещаем все сервисные потоки этого пользователя в кадр обратного канала и убираем их из дальнейшего рассмотрения. Эта процедура продолжается до тех пор, пока в кадр обратного канала не будут размещены все сервисные потоки всех пользователей или пока не закончится частотно-временной ресурс кадра обратного канала.

Для некоторого пользователя k его сервисные потоки размещают в кадр обратного канала, используя следующую процедуру. Сначала назначают схему кодирования и модуляции Q_{UL} с максимальной скоростью передачи всем сервисным потокам обратного канала пользователя k и размещают их в кадре обратного канала. При этом выбирают мощность передачи так, чтобы выполнялись требования QoS сервисных потоков. Если после размещения сервисных потоков пользователя k в кадре обратного канала ограничение на максимальную мощность передачи для этого пользователя выполняется, то переходят к следующему пользователю. В противном случае, если в кадре обратного канала не осталось свободного частотно-временного ресурса, то выбирают один сервисный поток, исключают его из передачи и заново проверяют условие на максимальную мощность передачи пользователя k . Если в кадре обратного канала остался свободный частотно-временной ресурс, то выбирают один сервисный поток, понижают его скорость передачи, что соответствует меньшему значению требуемой мощности передачи для этого сервисного потока, и заново проверяют условие на максимальную мощность передачи пользователя k . Так как эта итеративная процедура осуществляется для сервисных потоков только одного пользователя, то она не требует больших вычислительных ресурсов.

При размещении сервисных потоков в кадрах прямого и обратного каналов, каждой схеме кодирования и модуляции соответствует минимальное значение мощности передачи, при котором выполняются требования QoS этих сервисных потоков [10 - 13]. Напомним, что набор требований QoS сервисного потока включает минимальную среднюю скорость передачи, максимальную среднюю задержку передачи и максимальную вероятность ошибки. Все эти требования QoS могут быть удовлетворены, если мощность передачи сервисного потока выше некоторого значения. Алгоритмы расчёта минимального значения мощности передачи, при котором выполняются требования QoS сервисного потока, зависят от способа обработки сервисного потока на уровне MAC и на физическом уровне. Для системы Mobile WiMAX они приведены в [10 - 13].

Моделирование

Проанализируем эффективность предложенного алгоритма адаптивной передачи методом моделирования в системе Mobile WiMAX. Топология моделируемой системы включает семь сот, каждая из которых содержит три сектора, при этом шесть сот окружают центральную соту.



мы включает семь сот, каждая из которых содержит три сектора, при этом шесть сот окружают центральную соту. Результаты снимаются только для центральных секторов, а остальные сектора служат источниками внутрисистемных помех. Коэффициент повторного использования частоты равен трём, радиус соты равен 1000 м. Частота несущей равна 2.4 ГГц, полоса частот равна 10 МГц в каждом секторе.

Каждый сектор имеет максимальное значение мощности передачи, равное 10 Вт, и секторную антенну с шириной диаграммы направленности 120° . Каждый пользователь имеет максимальное значение мощности передачи, равное 1 Вт, и всенаправленную антенну. В качестве модели канала распространения взята модель Vehicular B из [14]. Она включает коэффициенты усиления передающей и приёмной антенн, средние потери при распространении, логнормальные замирания и быстрый фединг.

В каждом помеховом секторе псевдослучайно распределяется 10 пользователей, каждый из которых имеет один сервисный поток прямого канала и один сервисный поток обратного канала. Скорость трафика этих сервисных потоков подбирается таким образом, чтобы помеховые сектора были практически полностью загружены. В каждом центральном секторе псевдослучайно распределяют 5, 10 ... пользователей, каждый из которых имеет 8 сервисных потоков прямого канала и 2 сервисных потока обратного канала. Каждый сервисный поток передаёт видео трафик [15] со средней скоростью поступления блоков данных 32 кб/с. Для этих сервисных потоков установлены следующие параметры QoS: максимальная средняя задержка 200 мс и вероятность ошибки 0.001.

Для анализа эффективности предложенного алгоритма будем использовать пропускную способность сектора, а для анализа вычислительной сложности – время моделирования. При этом будем сравнивать предлагаемый алгоритм с разработанными ранее алгоритмами адаптивной передачи для системы Mobile WiMAX с временным дуплексом и частотным разнесением [10], [12]. Целевой функцией алгоритма [10] является минимизация суммарного занятого частотно-временного ресурса кадра, а целевой функцией алгоритма [12] – минимизация суммарной излучаемой за кадр мощности. Постановка задачи в этих двух алгоритмах отличается от постановки задачи этой статьи только целевыми функциями. Сами алгоритмы отличаются тем, что в них не использована модель загрузки системы OFDMA при оптимизации.

Рис. 1 показывает пропускную способность сектора как функцию от величины трафика, поступающего для передачи в сектор. Пропускная способность сектора для алгоритмов минимизации ресурса и мощности достигает значений 9.6 Мб/с и 11.2 Мб/с соответственно и затем остаётся приблизительно постоянной при дальнейшем увеличении трафика. Эти критические значения пропускной способности соответствуют ситуации, когда сектор практически полностью загружен, но требования QoS всё ещё выполняются для всех сервисных потоков всех пользователей. С дальнейшим ростом трафика, требования QoS не выполняются для части сервисных потоков. Соответственно, эти значения пропускной способности

соответствуют ёмкости сектора, полученной при заданных параметрах сети Mobile WiMAX. Алгоритм адаптивной передачи, предложенный в этой статье, достигает ёмкости сектора 14.4 Мб/с, т.е. имеет выигрыш в спектральной эффективности порядка 0.3 б/с/Гц.

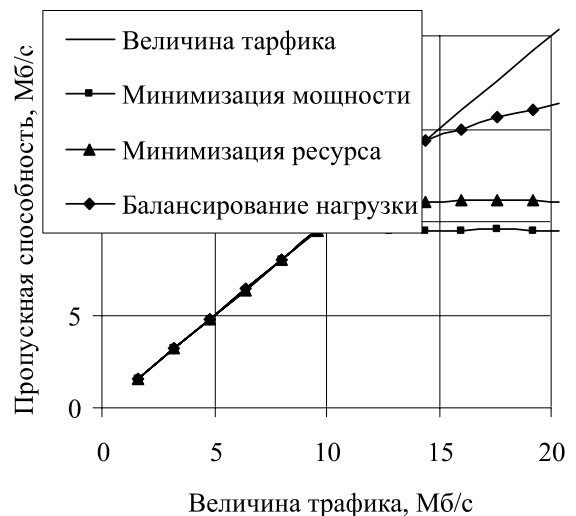


Рис. 1. Пропускная способность сектора.

Рис. 2 показывает время моделирования как функцию от величины трафика, поступающего для передачи в сектор. Прежде всего, заметим, что время моделирования растёт экспоненциально с ростом трафика. Это связано с тем, что при моделировании трафик увеличивается за счёт увеличения количества сервисных потоков, участвующих в задаче оптимизации. Также заметим, что алгоритм, предложенный в этой статье, требует существенно меньше вычислительных ресурсов, чем ранее предложенные алгоритмы. Это достигнуто за счёт использования модели загрузки системы OFDMA, что позволило отказаться от трудоёмких итеративных процедур оптимизации.

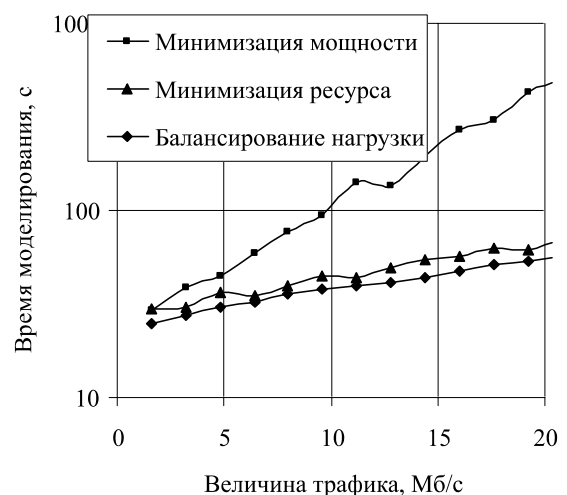


Рис. 2. Время моделирования.

Таким образом, алгоритм адаптивной передачи в системе Mobile WiMAX с временным дуплексом и частотным разнесением, предложенный в этой статье, имеет большую практическую ценность. Он позволяет достигать высоких значений ёмкости сектора при выпол-

Литература

1. IEEE Standard 802.16-2004 ; IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks. Part 16 : Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, Oct. 1, 2004.
2. IEEE Standard 802.16e-2005 ; Amendment to IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks. Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems – Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands, Dec. 7, 2005.
3. Гармонов А.В., Савинков А.Ю., Филлин С.А., Моисеев С.Н., Кондаков М.С. Технический обзор стандарта IEEE 802.16. // Мобильные системы. 2005. № 11. С. 16–24.
4. Гармонов А.В., Савинков А.Ю., Филлин С.А., Моисеев С.Н., Кондаков М.С. Технология OFDM и варианты множественного доступа на ее основе. // Мобильные системы. 2005. № 10. С. 12–18.
5. Koutsopoulos I., Tassiulas L. Carrier assignment algorithms in wireless broadband networks with channel adaptation. // IEEE International Conference on Communications : ICC 2001. 2001. N. 1. P. 1401–1405.
6. Zhang Y.J., Letaief K.B. Multiuser adaptive subcarrier-and-bit allocation with adaptive cell selection for OFDM systems. // IEEE Trans. Wireless Commun. 2004. Vol. 3, N. 5. P. 1566–1575.
7. Wong C.Y. et al. Multiuser OFDM with adaptive subcarrier, bit, and power allocation. // IEEE J. Select. Areas Commun. 1999. Vol. 17, N. 10. P. 1747–1758.
8. Song G., Li Y.G. Cross-layer optimization for OFDM wireless networks – part II: algorithm development. // IEEE Trans. Wireless Commun. 2005. Vol. 4, N. 2. P. 625–634.
9. Moiseev S.N., Filin S.A., Kondakov M.S., Garmonov A.V., Savinkov A.Y., Park Y.S., Yim D.H., Lee J.H., Cheon S.H., Han K.T. System load model for the OFDMA network. // IEEE Communications Letters, vol. 10, pp. 620–622, Aug. 2006.
10. Filin S.A., Moiseev S.N., Kondakov M.S., Garmonov A.V., Yim D.H., Lee J., Chang S., Park Y.S. QoS-guaranteed cross-layer adaptive transmission algorithms for the IEEE 802.16 OFDMA system. // IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2006), vol. 2. pp. 964–971. Apr. 2006.
11. Filin S.A., Moiseev S.N., Kondakov M.S., Garmonov A.V., Yim D.H., Lee J., Chang S., Park Y.S. QoS-guaranteed cross-layer transmission algorithms with adaptive frequency subchannels allocation in the IEEE 802.16 OFDMA system. // IEEE International Conference on Communications (ICC 2006), Jun. 2006.
12. Filin S.A., Moiseev S.N., Kondakov M.S., Garmonov A.V., Savinkov A.Y., Park Y.S., Yim D.H., Lee J.H., Cheon S.H., Han K.T. QoS-guaranteed cross-layer adaptive transmission algorithms with selective ARQ for the IEEE 802.16 OFDMA system. // IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2006 Fall), Sep. 2006.
13. Moiseev S.N., Filin S.A., Kondakov M.S., Garmonov A.V., Savinkov A.Y., Park Y.S., Yim D.H., Lee J.H., Cheon S.H., Han K.T. Optimal average number of data block transmissions for the ARQ mechanism in the IEEE 802.16 OFDMA system. // IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Communications (PIMRC 2006), Sep. 2006.
14. Recommendation ITU-R M.1225 ; Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT–2000, 1997.
15. 3GPP2 Contribution C.P1002-C-0 ; cdma2000 Evaluation Methodology, Sep. 23, 2004.

НОВЫЕ КНИГИ

Штарк Г.-Г. Применение вейвлетов для ЦОС. – М.: Техносфера, 2007. – 192 с.: ил.

Даны основные принципы и важные приложения вейвлет-преобразований. Многочисленные примеры демонстрируют как потенциал, так и границы применения вейвлет-методов, распространяя обычную трактовку за пределы дискретного вейвлет-преобразования на непрерывное преобразование. Текст книги сопровождается упражнениями в конце каждой главы, текстами (листингами) программ в среде MATLAB и кратким введением в MATLAB Wavelet Toolbox.

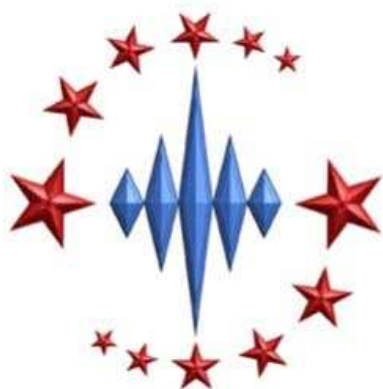
Студентам технических специальностей и инженерам, работающим в промышленности, будут полезны примеры реальных приложений.

Литюк В.И., Литюк Л.В. Методы цифровой многопроцессорной обработки ансамблей радиосигналов. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2007. – 592 с.: ил.- (Серия «Библиотека инженера»).

Монография посвящена вопросам обработки на цифровых многопроцессорных вычислительных системах ансамблей радиосигналов, полоса которых превышает быстродействие используемых цифровых функциональных узлов в заданное число раз. С единых позиций рассматриваются вопросы обработки ансамблей сложных сигналов, поступающих с выходов линейных трактов радиоприемных устройств различного назначения. Дается математическое описание радиосигналов, подлежащих цифровой обработке. Представлены методы синтеза цифровых многопроцессорных фильтров и анализаторов спектра, осуществляющих обработку и анализ в режимах работы «скачущее» и «скользящее» окно. Описываются методы синтеза и анализа устройств измерения параметров радиосигналов при различных формах их цифрового представления.

Монография рассчитана на научных работников, преподавателей, инженеров, аспирантов и студентов старших курсов радиотехнических специальностей, работающих в области цифровой обработки сложных радиосигналов.

Открытое акционерное общество «Концерн «Созвездие»



В целях сохранения и развития научно-производственного потенциала предприятий радиоэлектронной промышленности, концентрации ресурсов для создания единой системы и средств управления войсками (силами) и оружием в тактическом звене Вооруженных Сил Российской Федерации и других воинских формирований, также разработки и производства продукции гражданского назначения **Указом Президента Российской Федерации от 29 июля 2004 г.**

№ 993 создано ОАО «Концерн «Созвездие» с 100% участием государства в его уставном капитале. В состав ОАО «Концерн Созвездие» включены 12 ФГУПов (преобразованных в ОАО) и 4 открытых акционерных общества.

В рамках интегрированной структуры сформированы необходимые условия для диверсификации производства, расширения внешнеэкономической деятельности и обеспечения необходимого уровня мобилизационных мощностей.

Основной задачей ОАО «Концерн «Созвездие» является внедрение новой организационно-правовой системы управления процессом создания производства и обеспечения эксплуатации средств единой системы управления тактического звена путем оптимизации кооперационных связей и объединения предприятий различных форм собственности в мощную интегрированную структуру, адаптированную к условиям рыночной экономики и имеющую возможность за счет собственных и привлеченных ресурсов быстро и эффективно решать вопросы выпуска продукции, отвечающей требованиям национальной безопасности и оборонной достаточности страны.

ОАО «Концерн «Созвездие» предлагает своим потенциальным партнерам проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по основным направлениям деятельности:

- создание и производство автоматизированных систем управления и связи тактического звена;
- создание и производство автоматизированных систем управления и средств телекодовой и речевой связи комплексов противовоздушной обороны обороны;
- создание и производство автоматизированных систем управления и средств радиоэлектронного подавления радиосвязи;
- создание и производство автоматизированных систем связи и управления специального назначения;
- создание и производство систем и средств связи для народного хозяйства.

Стремительное развитие сектора инфокоммуникационных услуг в экономике России сегодня занимает достойное место. В ближайшее время мы сможем увидеть богатейшую палитру новых персонализированных услуг – от передачи речи, данных, видеоизображения до передачи сигнальной (охранные функции), навигационной, медико-биологической информации. Универсальная телекоммуникационная услуга, в конечном счете, войдет в потребительскую корзину каждого человека.