

ОБЗОР И КЛАССИФИКАЦИЯ ОСНОВНЫХ АЛГОРИТМОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ КАНАЛОВ В МНОГОКАНАЛЬНЫХ MESH-СЕТЯХ

Анализ основных путей повышения производительности Mesh-сетей

Беспроводные сети являются одним из самых перспективных направлений развития современных телекоммуникационных технологий. Перспективы их использования связаны, во-первых, с заменой кабельной инфраструктуры на радиоэфир; во-вторых, с новыми возможностями коммуникаций между различными устройствами. И хотя мобильность является ключевой характеристикой многих из них, рынок этих систем развивается в направлении расширения диапазона предлагаемых пользователю услуг, а не просто улучшения доступности связи для мобильных пользователей. Наибольшей популярностью среди пользователей пользуются технологии беспроводной связи стандарта IEEE 802.11 a/b/g/n, что обусловлено широкой поддержкой этого стандарта в разнообразных сетевых и терминальных устройствах – настольных и портативных компьютерах, коммутаторах и маршрутизаторах, точках доступа и т.д. Наряду с построением централизованных сетей, существенный интерес представляет использование элементов децентрализации, которые присутствуют в Mesh-сетях.

Mesh-сети характеризуются высокой надежностью в связи с избыточностью узлов, большой пропускной способностью (благодаря использованию альтернативных маршрутов) и сниженным энергопотреблением, которое достигается снижением мощности сигналов посредством передачи данных через большее количество узлов, разделенных меньшими расстояниями. Однако вне зависимости от топологии сегодня все чаще сталкиваются с такой серьезной проблемой как поддержание работоспособности и высокой производительности беспроводной сети. Кроме того, в беспроводных сетях постоянно возрастает объем трафика реального времени, чувствительного к изменениям задержек, пропускной способности каналов связи, потере пакетов [1]. Существует ряд методов повышения производительности беспроводных сетей:

1. Использование технологии MIMO (Multiple-Input Multiple-Output). Существенное увеличение пропускной способности (до 300 Мбит/с) дает стандарт 802.11n, который является развитием стандарта 802.11g и также ориентирован на работу в диапазоне 2,4 ГГц (2402–2483 МГц). В основу данного стандарта положены такая технология как MIMO, 40 МГц частотные каналы (Channel Bonding) и объединение пакетов данных (Packet Aggregation) для сокращения накладных расходов. Однако использование данных технологий влечет за собой усложнение антенных систем, что в свою очередь приводит к увеличению габаритных размеров устройств, увеличению числа передатчиков, которое приведет к уменьшению времени работы от батарей портативных устройств. Кроме того, существенное увеличение производительности беспроводных сетей доступно только в диапазоне 5 ГГц.

2. Использование технологии интеллектуальных или фазированных антенных решеток. Все чаще для повышения производительности используют технологии интеллектуальных или фазированных антенных решеток, где используется концепция, известная как формирование диаграммы направленности. Узкая диаграмма направленности позволяет сфокусировать энергию сигнала в определенном направлении, что увеличивает отношение «сигнал/шум». При использовании узкого антенного луча уменьшаются помехи, улучшается отношение «сигнал/помеха», а следовательно, повышается эффективность использования спектра.

3. Объединение частотных каналов (расширение спектра сигнала). Если рассматривать повышение производительности беспроводной сети путем расширения спектра, то следует отметить, что современные беспроводные сети 802.11a/b/g используют частотные каналы шириной 20 МГц. Оборудование сетей 802.11n позволяет объединять два 20 МГц канала в один 40 МГц, что делает спектр сигнала более широкополосным, при этом сохраняя ограничения на излучаемую мощность. Это позволяет пропорционально повысить пропускную способность час-

тотного канала. Однако наиболее эффективно такое объединение в диапазоне 5 ГГц, где может быть организовано до 19 частотных каналов, в то время как в диапазоне 2,4 ГГц только 3.

4. Изменение топологии сети (для увеличения «видимости» станций);
5. Увеличение пропускной способности канала связи посредством модуляции;
6. Разнесение сигнала по поляризации для снижения влияния многолучевых отражений и помех;

7. Использование многоканальных ad-hoc и Mesh-сетей. В рекомендациях, касающихся принципов функционирования технологии IEEE 802.11n (Pre-n или Draft-n), для поддержки режима с высокой пропускной способностью (High Throughput Format) сигнал может занимать полосу до 40 МГц [2], что подразумевает объединение двух частотных каналов в один с пропорциональным снижением числа одновременно используемых каналов в ad-hoc или Mesh-сети, что влечет за собой преимущества диапазона частот 5 ГГц.

Ввиду отмеченных особенностей современных технологий беспроводной связи одним из перспективных направлений повышения их производительности при предоставлении широкого спектра мультимедийных услуг является использование многоканальных ad-hoc и Mesh-сетей [3 – 5], в рамках которых связность отдельных станций может обеспечиваться путем использования не одного, а одновременно нескольких частотных каналов, поддерживаемых той или иной технологией беспроводной связи.

Основы частотного планирования в современных беспроводных технологиях

Для минимизации создаваемых различными станциями взаимных помех в стандартах IEEE 802.11 a/b/g/n предусмотрено деление диапазона частот на ряд каналов, причем для IEEE 802.11b/g в полосе частот 2,4 ГГц выделены 14 каналов (channel), центральные частоты (center frequency) которых назначаются преимущественно с интервалом 5 МГц (рис. 1). Однако в связи с тем, что ширина одного канала в технологиях IEEE 802.11 a/b/g составляет около 22 МГц, а спектральная маска, например стандарта IEEE 802.11b, требует, чтобы сигнал был ослаблен, по меньшей мере, на 30 дБ от своего пика энергии в 11 МГц от центральной частоты. Таким образом, между центральными частотами каналов минимальный интервал должен составлять не менее 22 МГц.

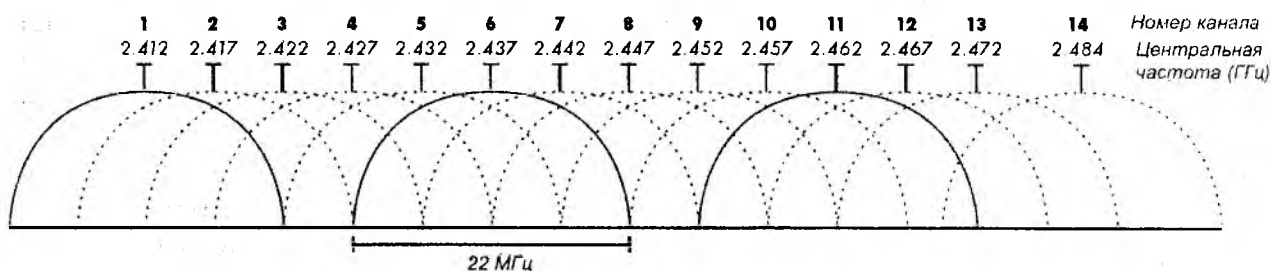


Рис. 1

В Соединенных Штатах и Канаде, где в диапазоне 2,4 ГГц доступны каналы 1–11, к числу неперекрывающихся относятся три канала – 1, 6, 11. Для большинства стран Европы для технологий IEEE 802.11b/g доступны каналы 1–13, что позволяет использовать в качестве неперекрывающихся уже четыре канала – 1, 5, 9 и 13. Каналы распределяются с шагом 5 МГц. В технологии IEEE 802.11a доступны всего 12 неперекрывающихся частотных каналов (ЧК): восемь ЧК в полосе 5.15–5.35 ГГц и четыре ЧК в полосе 5.725–5.825 ГГц. При этом ширина каждого из них также составляет около 22 МГц, но по уровню -20 дБ в соответствии со спектральной маской для данного стандарта.

Обзор известных алгоритмов распределения частотных каналов в Mesh-сетях

Необходимо отметить, что для поддержки одновременно нескольких ЧК каждая станция многоканальной сети должна быть оснащена двумя и более радиointерфейсами (РИ). Это

позволит уменьшить число станций, работающих на одном частотном канале, что приводит к существенному снижению интерференции и возможных коллизий, а в конечном итоге – минимизировать потери и задержки пакетов, повысив суммарную производительность многоканальной сети (МКС) до 5–7 раз [5].

Для получения приемлемого, но далеко не оптимального результата процесс решения задачи распределения частотных каналов в МКС в целом носит итерационный характер. Итерационность, в данном случае, – это своеобразная плата за придание некоторой согласованности при решении перечисленных подзадач. В случае если к приведенной последовательности двух задач добавляется третья задача – задача маршрутизации, то в способе соответственно растет и число итераций. Таким образом, чем выше требования к согласованности получаемых решений, тем больше итераций необходимо выполнить в ходе расчетов, тем более инерционным становится сам процесс распределения ЧК по РИ.

Существует достаточно обширная классификация алгоритмов (методов) по назначению каналов в Mesh-сети стандарта IEEE 802.11 (рис. 2), например алгоритмы по скорости адаптации каналов (Rate-Adaption Channel Algorithm), алгоритмы эффективной рассылки (Efficient Multicast Algorithms), по способу предоставления каналов (C-Huacynth, D-Huacynth) и т. д.

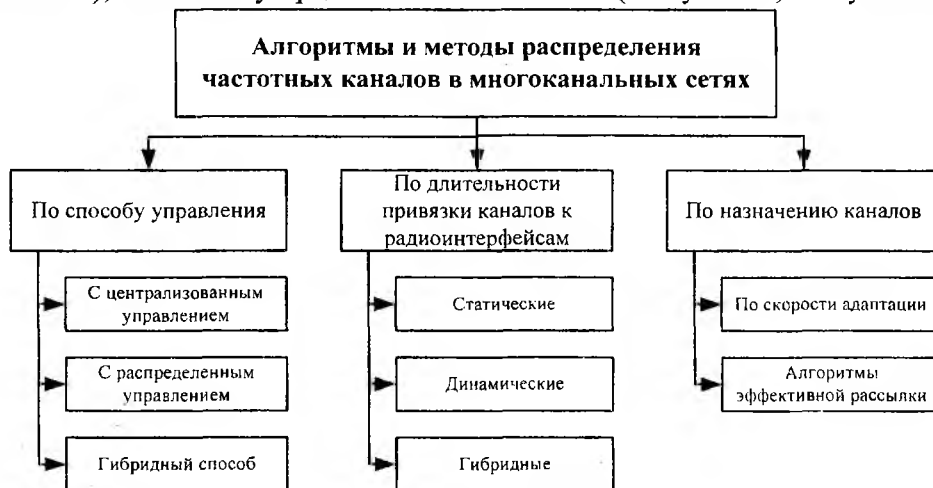


Рис. 2

Алгоритмы назначения каналов можно классифицировать по способу управления. Таким образом, можно выделить способы с централизованным управлением, при котором весь контроль за назначением каналов осуществляется единственной станцией (например, шлюзом), с распределенным управлением, когда каждый из узлов принимает решение о назначении каналов на свои радиоинтерфейсы самостоятельно, а также гибридный способ, при котором за назначение каналов отвечают всего несколько станций сети, например все лидеры кластеров.

Механизмы назначения каналов можно также разделить по длительности привязки каналов к радиоинтерфейсам — на статические, когда каналы переключаются очень редко, динамические, когда каналы переключаются часто, и гибридные, когда часть каналов переключается часто и часть каналов переключается редко.

Но, как показал проведенный анализ [5–8], к сожалению, большинство способов (имеваемых также методами или алгоритмами) распределения ЧК в МКС основаны больше на эвристических схемах, чем на теоретически обоснованных решениях. В основу известных способов, таких как Huacynth (C-Huacynth или D-Huacynth) и CoMТaC, положено последовательное решение для каждой станции следующих подзадач:

- закрепление РИ за соседней станцией с разбивкой сети на кластеры;
- выделение РИ Mesh-станций одного кластера определенного частотного канала.

В основу централизованной версии Huacynth (C-Huacynth) [6] в рамках процедуры назначения каналов на РИ Mesh-станций вдоль того или иного соединения положено простейшее правило: соединению назначается неиспользуемый (при свободных ресурсах) или исполь-

зуемый (в противном случае) канал с наименьшей степенью интерференции, которая пропорциональна числу станций и (или) ожидаемой нагрузке в области интерференции (домене коллизий). По сравнению с одноканальным решением, даже с использованием всего двух интерфейсов пропускная способность сети возрастает в 6–8 раз.

Основной проблемой распределенного способа назначения каналов (D-Hyacinth) [7] является отсутствие координации в работе отдельных станций, что при переназначении частотных каналов вдоль одного соединения в условиях дефицита канального ресурса влечет перераспределение каналов (не всегда желаемое) и вдоль других соединений.

В алгоритме CoMТaC [8] сохраняется последовательное решение задач разбивки на кластеры и распределение за ними частотных каналов. Причем процесс кластеризации сам по себе уже носит итерационный характер ввиду эвристической процедуры выделения т.н. лидера кластера, обладающего полной информацией о состоянии станций своего кластера. Уже после разбивки на кластеры решается задача распределения частотных каналов по отдельным кластерам (для т.н. default-интерфейсов Mesh-станций), а далее и задача выделения частотных каналов для т.н. non-default-интерфейсов, использующихся для связи станций разных кластеров.

При анализе недостатков известных способов можно сделать вывод о том, что ключевой источник роста эффективности распределения частотных каналов в МКС кроется, во-первых, в повышении согласованности решений частных задач кластеризации, закрепления радиоинтерфейсов и выделения им соответствующих частотных каналов, во-вторых, в учет аппаратных и технологических особенностей построения МКС: специфики используемой технологии беспроводной связи, т.е. числа поддерживаемых ЧК, возможной дальности связи и реализуемого алгоритма маршрутизации, интенсивности поступающего в сеть абонентского трафика, т.е. «активности» самих Mesh-станций и количества РИ на них.

Особенности решения задачи распределения частотных каналов в Mesh-сети продемонстрированы на рис. 3.

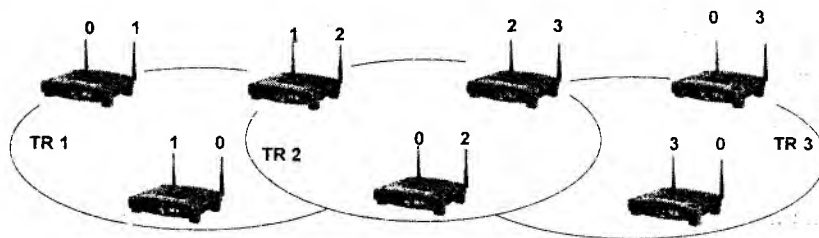


Рис. 3

Учесть эти и другие важные требования и обеспечить высокую согласованность при решении данного класса задач можно, лишь располагая комплексной математической моделью [9] распределения частотных каналов в многоканальных Mesh-сетях. Которая, с одной стороны, достаточно полно описывала МКС как объект исследований, а с другой – позволяла получать искомые результаты необходимой точности с приемлемыми временными и вычислительными затратами.

В рамках предложенной модели минимизируется количество Mesh-станций, которые изначально находятся в одной области уверенного приема. При этом должны выполняться следующие условия-ограничения, составляющие структуру предлагаемой модели:

- каждая Mesh-станция должна быть включена в сеть, т.е. должен быть включен хотя бы один ее радиоинтерфейс;
- за каждым радиоинтерфейсом может быть закреплено не более одного частотного канала;
- на каждой станции один частотный канал должен быть закреплен не более чем за одним радиоинтерфейсом;
- две Mesh-станции должны работать друг с другом не более чем на одном частотном канале;

- условие связности Mesh-сети с точки зрения связности между собой создаваемых доменов коллизий, с помощью которого можно определять необходимый тип доменной структуры сети – линейная, кольцевая и др.;
- условие балансировки числа mesh-станций по доменам коллизий.

В результате, с помощью предложенной математической модели можно решать задачу распределения частотных каналов как при проектировании новой многоканальной сети, так и при наращивании существующей Mesh-сети.

Выводы

Таким образом, несмотря на большое количество предложенных механизмов распределения частотных каналов в многоканальных сетях, все они используют в качестве основы некоторые эвристики, следовательно, назначение каналов не является оптимальным, что оставляет большое пространство для дальнейшего исследования. Кроме того, механизмы назначения каналов, анализ которых проведен, носят универсальный характер без учета сценария использования Mesh-сети, что приводит к высокой сложности алгоритма. Это, в свою очередь, влечет низкую эффективность при его реализации.

С целью обеспечения адаптивности процессу распределения ЧК в МКС порядок закрепления частотных каналов за радиоинтерфейсами Mesh-станций может быть изменен (периодически или по требованию) в зависимости от динамики изменения исходных данных для решения поставленной задачи: общего числа Mesh-станций в сети, их характеристик, требований к связности МКС и т.д.

Развитие предложенной модели видится в учете возможной территориальной распределенности МКС, когда Mesh-станции будут в результате расчетов образовывать домены коллизий не только с учетом номера ЧК, но и с учетом расстояний между собой, т.е. согласно области суверенного приема каждой из станций. Кроме того, важной остается задача, связанная с приданием согласованности задач распределения ЧК и маршрутизации в многоканальных Mesh-сетях.

Список литературы: 1. *IEEE Std 802.11-2007. Revision of IEEE Std 802.11-1999. IEEE Std 802.11-2007. IEEE Standard for Information Technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area network. Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications.* IEEE Computer Society, June 2007. 2. *IEEE Unapproved Draft Std P802.11n/D4.00. Draft STANDARD for Information Technology // Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks. Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Amendment 4: Enhancements for Higher Throughput // IEEE Unapproved Draft Std P802.11n/D4.00, Mar 2008.* 3. *IEEE P802.11s/D1.0. Draft STANDARD for Information Technology // Telecommunications and information exchange between systems. Local and metropolitan area networks. Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment: Mesh Networking [Electronic resource] // IEEE Standards Activities Department. [USA]: IEEE, 2006.* 4. *IEEE P802.11s/D2.0. Draft STANDARD for Information Technology // Telecommunications and information exchange between system. Local and metropolitan area networks. Specific requirements . 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment: Mesh Networking [Electronic resource] / IEEE Standards Activities Department.[USA]: IEEE, 2008.* 5. *Ляхов А.И., Пустогаров И.А., Шпилев С.А. Многоканальные mesh-сети: анализ подходов и оценка производительности // Информационные процессы. 2008. Т. 8, № 3. С. 173-192.* 6. *Raniwala A., Gopalan K., Chiueh T. Centralized channel assignment and routing algorithms for multi-channel wireless mesh networks // ACM Mobile Computing and Communications Review. 2004. Vol. 8. PP. 50-65.* 7. *Raniwala, A. Tzi-cker Chiueh. Architecture and algorithms for an IEEE 802.11-based multi-channel wireless mesh network // Proc. of INFOCOM '05. Vol. 3. P. 2223- 2234.* 8. *Naveed A., Salil S. Kanhere, Sanjay K. Jha. Topology Control and Channel Assignment in Multi-radio Multi-channel Wireless Mesh Networks // Proc. of MASS '07. PP. 1-9.1975. Vol. 25, №1. P.73-85.* 9. *А.В. Лемешко, М.А. Гоголева. Трехиндексная математическая модель распределения частотных каналов в многоканальных MESH-сетях.// Зб. наук. праць. НАУ ІПМЕ. ім. Г.С.Пухова. № 54. Львов, 2009.С.94-103.*