

УДК 621.391

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ КАНАЛОВ В МНОГОИНТЕРФЕЙСНЫХ МНОГОКАНАЛЬНЫХ MESH-СЕТЯХ СТАНДАРТА IEEE 802.11



[А.В. ЛЕМЕШКО](#),

[С.В. ГАРКУША](#)

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

В статті здійснено огляд існуючих методів розподілу частотних каналів в багатоканальних mesh-мережах стандарту IEEE 802.11. Проведено класифікацію методів за особливостями структурної та функціональної побудови mesh-мереж.

In this paper carried out a review and classification of existing channels frequency distribution methods in multi-channels mesh-network of IEEE 802.11 standard.

В статье осуществлен обзор существующих методов распределения частотных каналов в многоканальных mesh-сетях стандарта IEEE 802.11. Проведена классификация методов в соответствии с особенностями структурного и функционального построения mesh-сетей.

Введение

Развитие и повсеместное внедрение беспроводных mesh-сетей (Wireless Mesh Networks, WMNs), основанных на технологии IEEE 802.11x, определяется их относительной дешевизной и универсальностью с точки зрения предоставления современных, прежде всего, мультимедийных услуг. Mesh-сети стандарта IEEE 802.11x хорошо себя зарекомендовали как в пределах небольших предприятий и отдельных офисов, так и для построения телекоммуникационных сетей в масштабах города. При этом они традиционно успешно работают как на уровне доступа, так и осваивают новые рубежи, например, транспортные радиосети [1, 2]. Однако с точки зрения использования на уровне транспорта mesh-сетей стандарта IEEE 802.11x возникает ряд проблем, связанных с их невысокой (по сравнению с проводными технологиями) производительностью. Причем, увеличение числа пользователей и самих mesh-станций приводит к пропорциональному снижению скоростных показателей качества обслуживания (Quality of Service, QoS). Использование на уровне доступа к среде (Media Access Control, MAC) метода множественного доступа с обнаружением несущей и предотвращением коллизий (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance, CSMA/CA) не решает проблему невысокой производительности [2], а лишь позволяет одновременно нескольким mesh-станциям совместно (равномерно или приоритетно) использовать один и тот же частотный ресурс.

Для повышения производительности mesh-сетей стандарта IEEE 802.11x используется ряд эффективных подходов [3, 4], что уже обеспечило рост пропускной

способности радиоканала (на физическом уровне) в рамках спецификации IEEE 802.11n до 300 Мбит/с. При этом новшества, направленные на повышение пропускной способности радиоканала и производительности mesh-сети в целом, затрагивают протокольные средства практически всех технологически зависимых уровней модели OSI – от физического до транспортного. Среди средств канального и сетевого уровня особого внимания заслуживает подход, основанный на использовании многоканального многоинтерфейсного режима построения и функционирования mesh-сетей (Multi-radio Multi-channel Wireless Mesh Networks, MR-МС WMN). Особенностью сетей MR-МС WMN является наличие на каждой mesh-станции нескольких радиointерфейсов (РИ), которые работают каждый на своем частотном канале (ЧК), полосы частот которых не перекрываются. Вопросы стандартизации решений под сети MR-МС WMN очень широко обсуждаются и освещаются в постоянно обновляемых релизах рабочих документов по спецификации IEEE 802.11s [5].






Использование сетей MR-МС WMN по независимым оценкам специалистов [6-8] позволяет снизить уровень интерференции и, тем самым, повысить производительность mesh-сети от двух до пяти раз в зависимости от числа используемых частотных каналов, плотности mesh-станций (пользователей) и характеристик обслуживаемого трафика. В настоящее время известно множество постановок и методов решения задач распределения ЧК в многоканальных многоинтерфейсных mesh-сетях, отличающихся различным уровнем учета технологических особенностей mesh-сетей и отдельных станций, характеристик обслуживаемого трафика и др., что существенно влияет на искомый конечный результат расчета и определяет область применения того или иного метода. В этой связи актуальной представляется задача, связанная с обзором и классификацией методов распределения ЧК между РИ станций в сетях MR-МС WMN стандарта IEEE 802.11.

I. Классификация методов распределения частотных каналов в многоканальных mesh-сетях стандарта IEEE 802.11

Классификация традиционно основана на систематизации и объединении в группы рассматриваемых объектов в соответствии с их общими признаками. Целью классификации существующих методов распределения частотных каналов является выявление их преимуществ и недостатков, а также определение условий и области их применения в сетях MR-МС WMN стандарта IEEE 802.11.

С целью отображения примеров классификационных групп будем использовать условные обозначения, представленные в табл. 1.

Таблица 1. Условные обозначения элементов mesh-сетей

Условное обозначение	Типы mesh-станций	
	Англоязычное название	Русскоязычное название
 WCG	Wired Connectivity Gateway	Шлюз доступа в проводную сеть
 WMRL	Wireless Mesh Router Leader	Беспроводный mesh-маршрутизатор-лидер
 WMR	Single-radio wireless mesh router	Беспроводный mesh-маршрутизатор с одним радиointерфейсом
 WMR	Dual-radio wireless mesh router	Беспроводный mesh-маршрутизатор с двумя радиointерфейсами
 WMR	Triple-radio wireless mesh router	Беспроводный mesh-маршрутизатор с тремя радиointерфейсами

В общем виде классификация методов распределения ЧК между РИ станций в сетях MR-МС WMN стандарта IEEE 802.11 представлена на рис. 1:

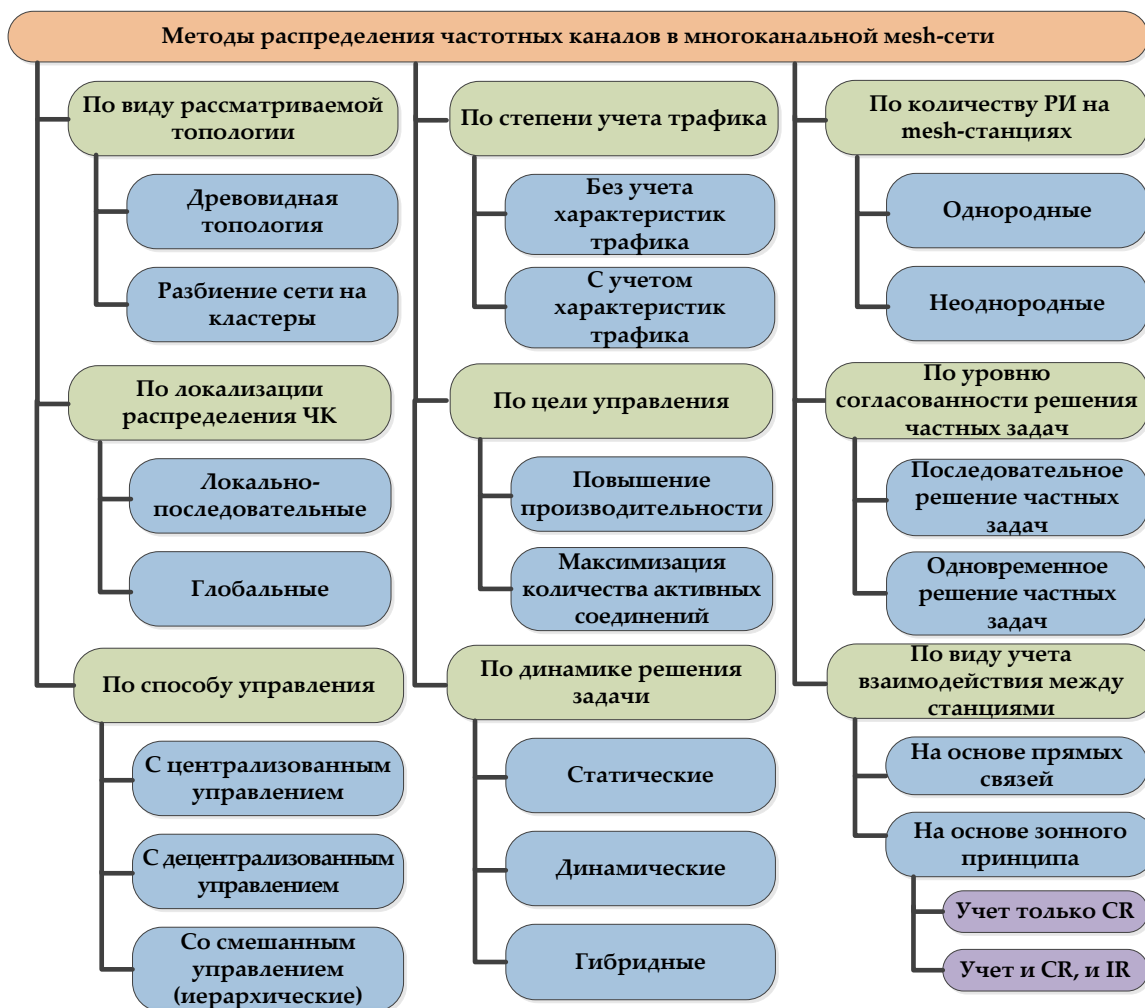


Рис. 1. Классификация методов распределения частотных каналов в беспроводных многоканальных многоинтерфейсных mesh-сетях

По виду рассматриваемой топологии все множество методов распределения ЧК можно разделить на методы, использующие древовидную топологию сети, и методы, разбивающие сеть на кластеры. В методах, использующих древовидную топологию сети [9-12], каждая mesh-станция может работать в двух режимах: станции «родителя» и «дочерней» станции (рис. 2 а). Станция является «родителем», если она расположена в иерархии дерева на один уровень выше от «дочерней» станции и отвечает за назначение ЧК между своими «дочерними» станциями. «Дочерняя» станция может быть подключена лишь к одной станции «родителю».

В методах, разбивающих все множество станций на кластеры [7, 13], внутри каждого кластера выделяется управляющая станция – лидер, которая и отвечает за распределение ЧК внутри кластера. Таким образом, внутри кластера все станции (за исключением лидера) равноправны (рис. 2 б):

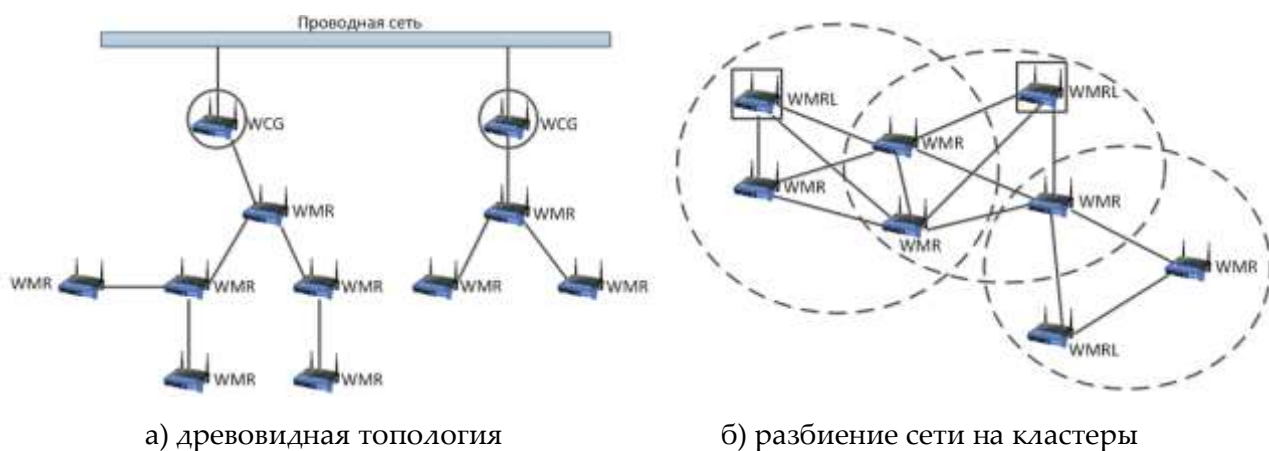


Рис. 2. Варианты топологий mesh-сетей

Также все множество методов по распределению ЧК классифицируются по степени учета трафика, циркулирующего в mesh-сети. Различают методы (рис. 3 а), которые обеспечивают распределение ЧК с учетом характеристик трафика, передаваемого по сети [10, 14], а также методы (рис. 3 б), в рамках которых подобный учет не производится [12, 13, 15, 16].

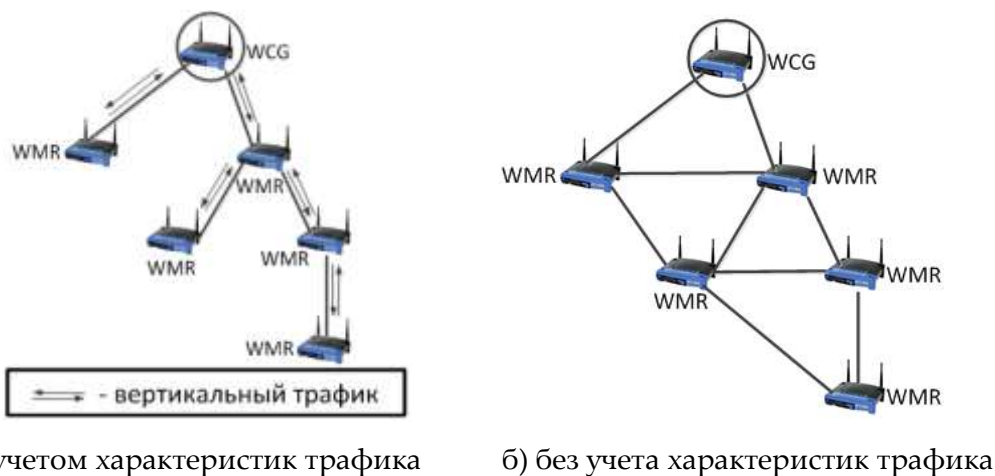


Рис. 3. Варианты учета характеристик трафика в mesh-сети

Помимо этого, методы можно классифицировать по количеству используемых РИ на станциях беспроводной mesh-сети. Можно выделить методы распределения ЧК в однородных mesh-сетях [13, 15], когда количество РИ на всех mesh-станциях сети одинаково (рис. 4 а). Также выделяются методы, применяемые для неоднородных mesh-сетей [13, 17], когда количество РИ на различных mesh-станциях сети может отличаться (рис. 4 б):

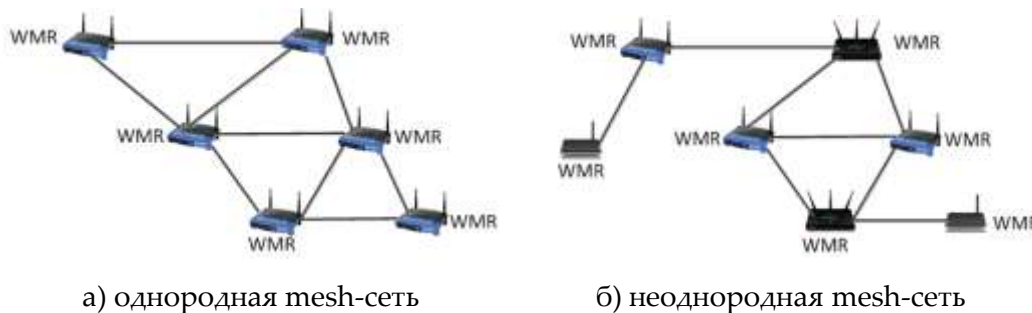


Рис. 4. Варианты типов mesh-сетей

Методы распределения ЧК также отличаются по способу управления (рис. 5):

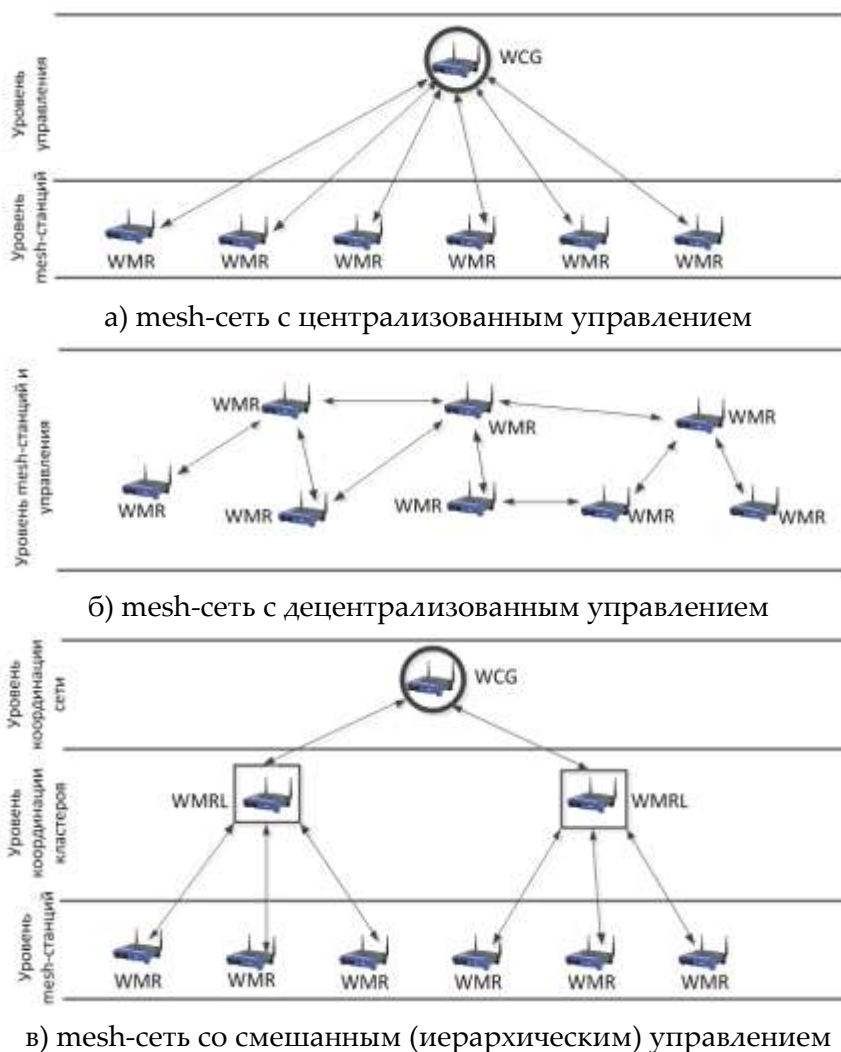


Рис. 5. Варианты mesh-сетей с различными способами управления

Методы распределения ЧК в многоканальной сети можно также разделить по динамике решения задачи распределения ЧК. При этом выделяются методы статического распределения ЧК [9, 10, 13, 15, 16, 18], когда назначение ЧК осуществляется одноразово (рис. 6 а), как правило, на этапе проектирования mesh-сети, или переназначение ЧК за РИ происходит достаточно редко. Также выделяются методы динамического распределения ЧК [12, 19], когда каналы перераспределяются в реальном времени (рис. 6 б) – по требованию или периодически. Необходимо также выделить гибридные методы [20, 21], когда часть ЧК переназначается между РИ через определенный фиксированный период (таймер времени), а часть ЧК переключается по требованию тех или иных станций, например WCG или WMRL (рис. 6 в):

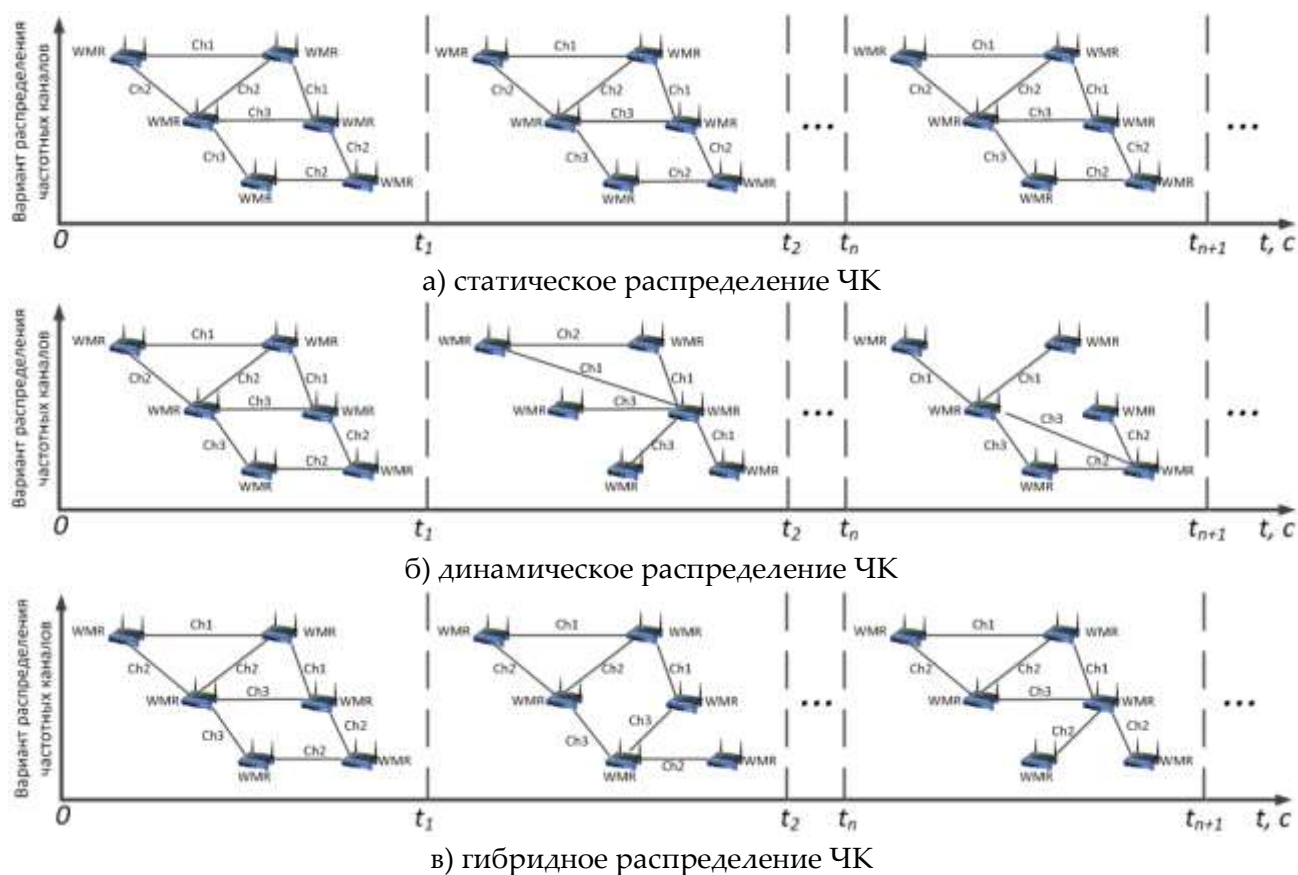


Рис. 6. Распределение частотных каналов по длительности их привязки к РИ (где $Ch1, Ch2, Ch3$ – номера каналов 1, 2 и 3 соответственно, t_1, t_2, \dots, t_n – моменты времени)

Методы распределения ЧК можно классифицировать по цели управления. При этом выделяются методы (рис. 7 а), ориентированные на максимизацию количества активных двунаправленных соединений между станциями mesh-сети [15].

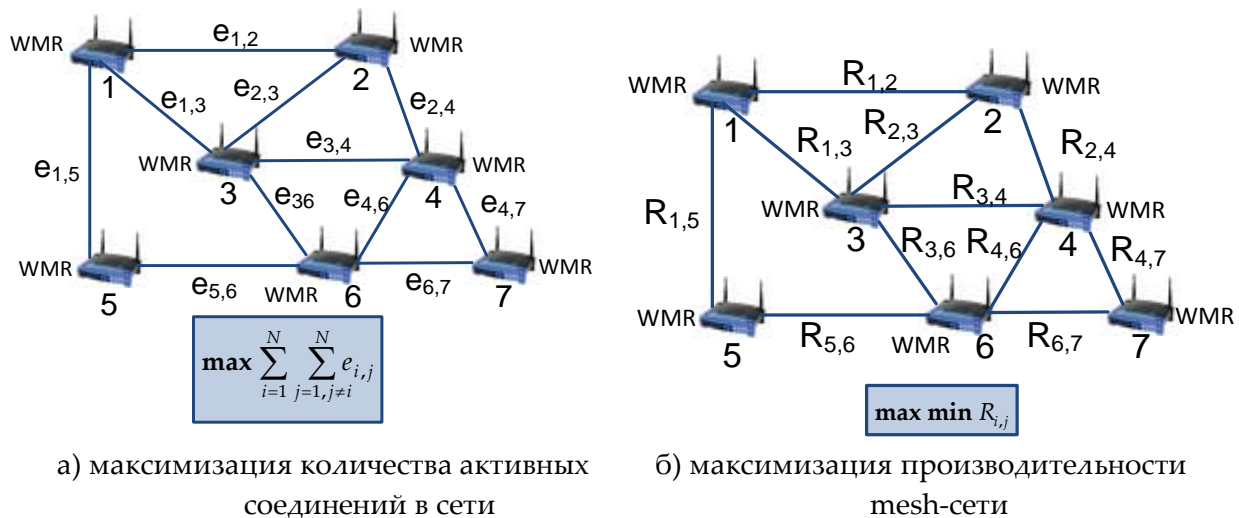
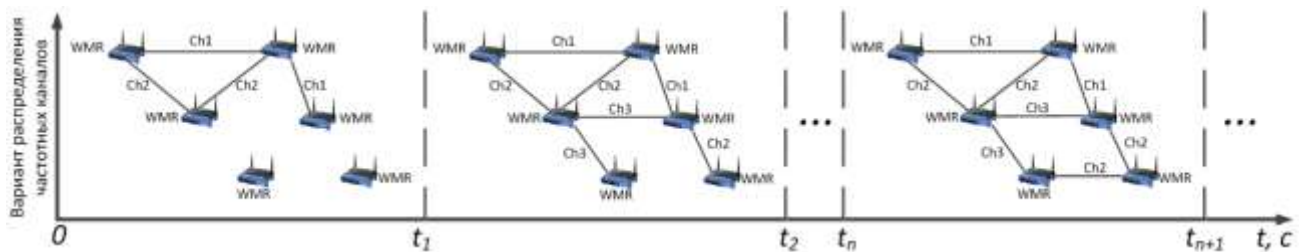


Рис. 7. Распределение частотных каналов по цели управления

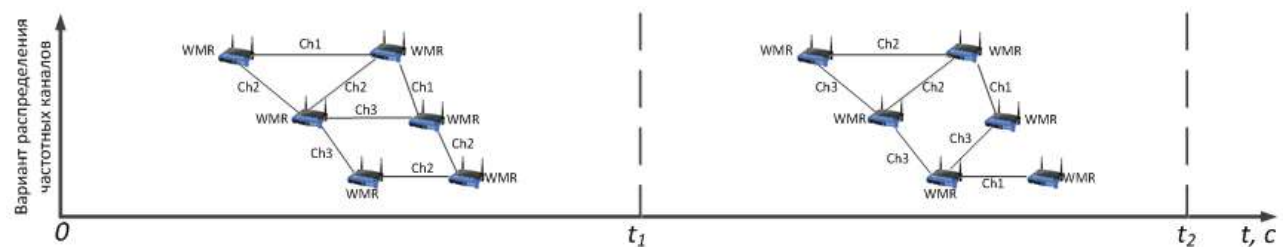
($e_{i,j}$ и $R_{i,j}$ – соединение и скорость передачи между i -й и j -й станциями ($i, j \in \overline{1, N}$, $i \neq j$), N – число станций в mesh-сети)

Также существуют методы (рис. 7 б), реализующие распределение ЧК с целью повышения производительности беспроводной mesh-сети в целом [10-14, 16]. В ходе распределения ЧК могут использоваться и другие критерии.

Кроме того, анализируемые методы подразделяются по локализации распределения ЧК, выделяя два типа методов (рис. 8):



а) локально-последовательное решение задачи распределения ЧК для mesh-станций сети



б) глобальное решение задачи распределения ЧК для mesh-станций сети

Рис. 8. Распределение частотных каналов по способу решения задачи

(Ch1, Ch2, Ch3 – номера каналов 1, 2 и 3 соответственно, t_1, t_2, \dots, t_n – моменты времени)

Первые, локально-последовательные методы (рис. 8 а), находят решение по распределению ЧК последовательно для каждой отдельно взятой станции или

группы станций mesh-сети [9-12, 14, 15, 18]. Вторые, т.н. глобальные методы [13, 16], производят распределение ЧК между всеми mesh-станциями сети в целом (рис. 8 б).

Наконец, все множество анализируемых методов можно классифицировать по уровню согласованности решения частных задач распределения ЧК. При этом частными могут выступать следующие задачи [13, 18]:

- 1) разбиение mesh-сети на кластеры;
- 2) распределение РИ mesh-станций между кластерами;
- 3) закрепление ЧК за каждым из РИ mesh-станций.

Выделяются методы, в которых решение общей задачи распределения ЧК осуществляется путем последовательного решения перечисленных частных задач [18]. Также известны решения, в рамках которых задача распределения ЧК решается в целом, обеспечивая одновременное и максимально согласованное решение подобных частных задач [13].

Методы распределения частотных каналов допускают классификацию по виду учета взаимодействия между станциями. При этом выделяется множество методов [20, 21], регламентирующих распределение ЧК на основе учета прямых связей (рис. 9 а). Кроме того, можно выделить ряд методов, которые обеспечивают учет взаимодействия по зонному принципу (рис. 9 б). В качестве таких зон могут выступать коммуникационная зона или область (Communication Range, CR) и интерференционная зона (Interferention Range, IR).

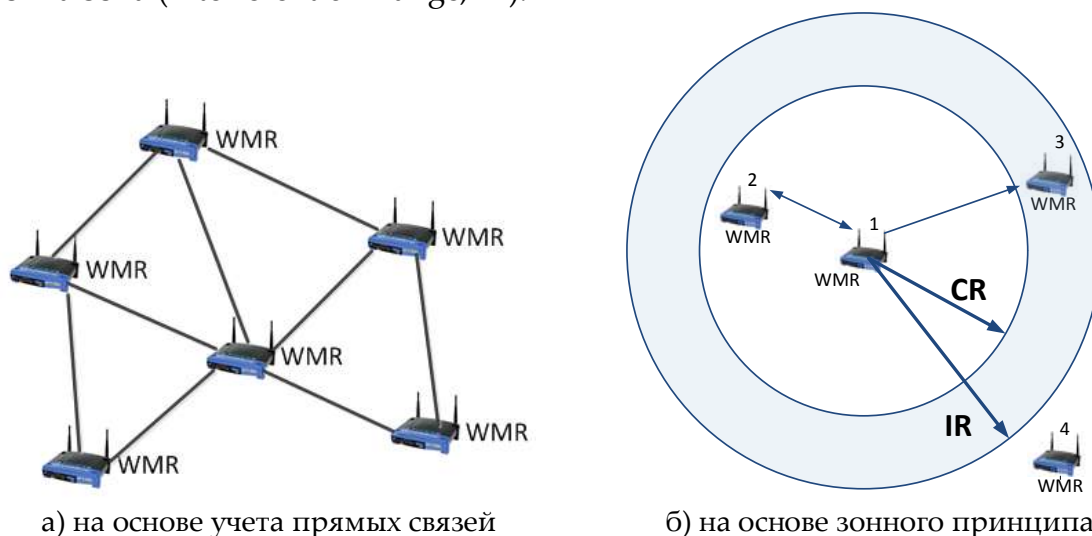


Рис. 9. Распределение частотных каналов по виду учета взаимодействия между станциями

Коммуникационная зона, образуемая вокруг каждой mesh-станции, содержит множество других mesh-станций, с которыми первая станция может вести обмен информацией. В рамках данной зоны избежать возможных коллизий в передаче можно за счет использования многоканальных решений или применением метода CSMA/CA при работе станций на одном и том же ЧК. Примером сему может служить вариант взаимодействия mesh-станций WMR 1 и 2 (рис. 9 б), т.е. вторая станция находится в CR-зоне первой станции.

Если же две mesh-станции, например WMR 1 и 3 (рис. 9 б), не находятся на пересечении своих CR-зон, но размещаются в пределах общей интерференционной зоны, то устойчивый информационный обмен между этими станциями невозможен, а при работе на одном ЧК с другими станциями они (WMR 1 и 3) будут создавать друг другу помехи. И в случае, когда две mesh-станции, например WMR 1 и 4 (рис. 9 б), не входят ни в CR-зону, ни в IR-зону друг друга, устойчивая связь между ними по-прежнему невозможна, но, в отличие от предыдущего случая, они (WMR 1 и 4) смогут, не мешая друг другу, работать с другими станциями на одном и том же частотном канале.

Учитывая перечисленные нюансы, можно сделать вывод о том, что чем больше особенностей беспроводной сети (число и тип mesh-станций, характеристики CR и IR зон) учитывает метод, тем более эффективное решение относительно распределения ЧК можно получить с его помощью. Под эффективным решением понимается порядок распределения ЧК, гарантирующий более высокие показатели производительности сети, минимизацию интерференционного влияния и возникновения эффекта «скрытой станции». Метод распределения частотных каналов, использующий данные только о коммуникационных зонах mesh-станций, рассмотрен в работе [13]. Методы распределения ЧК, учитывающие в ходе расчетов как CR-зоны, так и IR-зоны каждой mesh-станции, представлены в работах [9, 16].

Выводы

Приведенная классификация методов (рис. 1) позволила констатировать наличие достаточно широкого спектра подходов к постановке и решению задачи распределения частотных каналов в многоканальных многоинтерфейсных mesh-сетях стандарта IEEE 802.11. Данные методы в зависимости от условий функционирования mesh-сети и используемых исходных данных могут найти и уже находят свою прикладную реализацию. В рамках данной классификации и приведенной библиографии публикаций по данной тематике [1-21] можно отследить всевозрастающее внимание к задачам распределения частотных каналов в многоканальных многоинтерфейсных mesh-сетях стандарта IEEE 802.11, а также к способам их решения.

Важно понимать, что эффективность того или иного метода во многом определяется типом положенной в его основу математической модели, максимально адекватно описывающей процесс распределения частотных каналов. В соответствии с проведенным обзором в качестве основных можно сформулировать следующие требования к структуре и содержанию математической модели распределения ЧК в mesh-сетях, дополняющие перечень требований, приведенных в работе [13]:

- инвариантность к рассматриваемой топологии mesh-сети;
- ориентация на преимущественно динамический характер решения задачи распределения ЧК;
- учет типа и характера циркулирующего в mesh-сети трафика;
- учет неоднородности современных mesh-сетей ввиду использования оборудования различных модификация, серий и фирм-производителей;

- ориентация на максимизацию производительности mesh-сети в целом и на улучшение других показателей качества обслуживания;
- обеспечение согласованного решения задач кластеризации, выделения РИ на mesh-станциях и закрепления за ними неперекрывающихся ЧК;
- учет технологических особенностей сети, которые определяют интенсивность поступающего в сеть абонентского трафика, количество используемых неперекрывающихся ЧК и т.п.;
- обеспечение минимизации вероятности возникновения эффекта «скрытой станции» и возможных коллизий при обмене информацией;
- учет территориальной удаленности mesh-станций, их активности, мощности, количества поддерживаемых mesh-станцией РИ и т.д.

Кроме того, стоит учесть, что чем больше особенностей и закономерностей в построении и функционировании mesh-сети опишет математическая модель, тем более эффективным будет технологическое решение, направленное на решение задачи распределения частотных каналов. «Недочеты» в математическом описании, как правило, сопровождаются усложнением соответствующего протокола. Например, если в рамках математической модели и метода при решении задачи распределения ЧК не предотвратить возникновение эффекта «скрытой станции», для борьбы с этим явлением нужно будет привлекать дополнительные средства, но уже технологического уровня – CSMA/CA и RTS/CTS (Request To Send / Clear To Send), основанных на таймерах и временных отказах от передачи, что сопровождается снижением эффективности функционирования mesh-сети в целом.

Список литературы:

1. Hossain E., Leung K. Wireless Mesh Networks: Architectures and Protocols. – Springer, 2008. – 333 p.
2. Плуас М. The handbook of ad hoc wireless networks. – CRC Press, 2003. – 547 p.
3. Рошан П., Лиэри Д. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11: пер. с англ.– Пер. с англ. – М.: Издат. дом «Вильямс», 2004. – 304 с.
4. Aggielou G. Wireless Mesh Networking / G. Aggielou, B. Eng. – Athens, 2009. – 548 p.
5. IEEE P802.11 – TASK GROUP S – MEETINGS UPDATE // Status of Project IEEE 802.11s. Mesh Networking. – Режим доступа: http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/tgs_update.htm.
6. Акылдиз И.Ф., Ванг Х., Ванг В. Wireless mesh networks: a survey // Computer Networks. – 2005. – Vol. 47, No.2. – P.445–487.
7. Пустогаров И.А., Ляхов А.И., Шпилев С.А. Многоканальные mesh-сети: анализ подходов и оценка производительности [Электронный ресурс] // Информационные процессы (Information processes). – 2008. - Том 8 (3). – С. 173-192. – Режим доступа к журн.: <http://www.jip.ru/2008/173-192-2008.pdf>.
8. Гоголева М.А., Гаркуша С.В., Ахмед Х. Абед. Экспериментальное исследование математической модели распределения каналов в многоканальных mesh-сетях стандарта IEEE 802.11 // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2010. – Вып. 163. – С. 99-107.
9. Raniwala A., Tzi-cker Chiueh. Architecture and algorithms for an IEEE 802.11-based multi-channel wireless mesh network // Proc. of INFOCOM. – 2005. – Vol.3. – P. 2223- 2234.

10. Valarmathi K., Malmuruga N. Joint design of congestion control routing with distributed multi channel assignment in wireless mesh networks // International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS). – 2010. – Vol.7, No.3.– P. 261–266.
11. Petroulakis N., Delakis M., Genetzakis M., Dionysiou T., Papadakis S., Siris V. Demonstration of Channel Assignment in a Wireless Metropolitan MESH Network // IEEE International Symposium on a World of Wireless Mobile and Multimedia Networks Workshops (WOWMOM). – 2009.– P. 1–3.
12. Marcel Rocha Da Silva M., Ferreira De Rezende J. TDCS: A new mechanism for automatic channel assignment for independent IEEE 802.11 networks // 8th IFIP Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop. – 2009.– P. 27–33.
13. Лемешко А.В., Гоголева М.А. Модель структурной самоорганизации многоканальной mesh-сети стандарта IEEE 802.11 [Электронный ресурс] // Проблемы телекоммуникаций. – 2010. – № 1 (1). – С. 83–95. – Режим доступа к журн.: http://pt.journal.kh.ua/2010/1/1/101_lemeshko_mesh.pdf.
14. Naveed A., Salil S. Kanhere, Sanjay K. Jha. Topology control and channel assignment in multi-radio multi-channel wireless mesh networks // Proc. of MASS. – 2007. – P. 1-9.
15. Das A.K, Alazemi H.M.K., Vijayakumar R., Roy S., Optimization models for fixed channel assignment in wireless mesh networks with multiple radios // IEEE SECON. – 2005. – P. 463–474.
16. Haidar M., Al-Rizzo H., Chan Y., Akl R., Bouharras M. Throughput validation of an advanced channel assignment algorithm in IEEE 802.11 WLAN // International Conference on Communication Software and Networks. – 2009. – P. 801–806.
17. Ko B., Misra V., Padhye J., Rubenstein D. Distributed channel assignment in multi-radio 802.11 mesh networks // WCNC. – 2007. - P. 58–72.
18. 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. – P. 50–65.
19. Bahl P., Chandra R., Dunagan J. SSCH: slotted seeded channel hopping for capacity improvement in IEEE 802.11 Ad-Hoc wireless networks // Proc of ACM Mobicom. – 2004. – P. 216–230.
20. Kyasanut P., Vaidya N. Routing and interface assignment in multi-channel multi-interface wireless networks // Proc of IEEE Conf. Wireless Commun. – 2005. – Vol.4. – P. 2051–2056.
21. Kyasanut P., Vaidya N. Routing and link-layer protocols for multi-channel multi-interface Ad Hoc wireless networks // Mobile Comp. and Commun. Rev. – 2006. – Vol.10, No.1. – P. 31–43.