

**С.В. Гаркуша, Е.В. Гаркуша**

**КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ КАНАЛОВ И ПОТОКОВОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ В MESH-СЕТЯХ СТАНДАРТА IEEE 802.11, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В ВИДЕ ГИПРЕГРАФА**

Полтавский университет экономики и торговли, г. Полтава, Украина

Ключевые слова: многоканальная многоинтерфейсная mesh-сеть, потоковая маршрутизация, распределение частотных каналов, гиперграф, граф Кенига.

Предложен подход к использованию гиперграфов и графов Кенига при моделировании многоканальных многоинтерфейсных mesh-сетей стандарта IEEE 802.11. Это, в свою очередь, позволило более полно и детально описать возможные конфигурации как всей mesh-сети в целом, так и отдельных ее элементов при решении задачи распределения неперекрывающихся частотных каналов в виде гиперграфа, а также в виде разнородных вершин графа Кенига при решении задачи маршрутизации. Основываясь на гиперграфовом, а также плоском кениговом представлении mesh-сети, в работе выполняется согласованное решение задач распределения неперекрывающихся частотных каналов и потоковой маршрутизации.

**S.V. Garkusha, E.V. Garkusha**

**DEVELOPING A MODEL OF CONSISTENT SOLUTION THE DISTRIBUTION OF NONOVERLAPPING FREQUENCY CHANNELS AND FLOW ROUTING IN MULTICHANNEL MULTIRADIO MESH-NETWORK IEEE 802.11**

Poltava University of Economics and Trade, Poltava, Ukraine

Keywords: multichannel multiradio mesh-network, flow routing, distribution of frequency channels, hypergraph, graph Koenig.

An approach to the use of hypergraphs and graphs Koenig for modeling multichannel multiradio mesh-networking standard IEEE 802.11. This, in turn, allowed for a fuller and describe in detail all the possible configurations of mesh-network as a whole and its individual elements in solving the problem of distribution of non-overlapping frequency channels in the form of a hypergraph as well as dissimilar vertices of Koenig in solving the problem of routing. Based on hypergraph and flat koenigs representation of multi- multichannel multiradio mesh-network in the work performed consistent solution of problems of distribution of non-overlapping frequency channels and stream routing.

Одним из наиболее эффективных средств повышения производительности беспроводных mesh-сетей (Wireless Mesh Network, WMN) стандарта IEEE 802.11 является подход, основанный на использовании многоканального многоинтерфейсного режима ее построения и функционирования (Multi-Radio Multi-Channel Wireless Mesh Networks, MR MC WMN) с эффективным решением задач распределения неперекрывающихся частотных каналов [1; 2] и маршрутизации. В результате анализа известных решений топологического описания MR MC WMN стандарта IEEE 802.11 установлено, что все они базируются на использовании графового представления. Использование теории графов обеспечивает максимальную наглядность при моделировании MR MC WMN, так как множеству станций ставится в однозначное соответствие множество вершин графа, а множеству радиоканалов – множество ребер (дуг) графа. Использование графового представления MR MC WMN целесообразно в случае использования на mesh-станциях направленных антенн, так как между ними формируется радиоканал, который может быть

представлен в виде ребра графа. Однако в случае использования на mesh-станции не направленных антенн, графовое представление MR MC WMN не обеспечивает адекватный учет их особенностей, с учетом формирования кластерной структуры.

Таким образом, при моделировании MR MC WMN необходимо использовать более эффективные, хотя, возможно, и более сложные, способы представления mesh-сети с использованием топологических идей. В качестве таких подходов предложено использовать математический аппарат теории гиперграфов, что позволяет провести теоретическое описание задач распределения частотных каналов и маршрутизации в MR MC WMN с учетом стационарного размера, степени перекрытия и неоднородности зон устойчивого приема на этапе постановки задач, а также анализа стационарных размеров создаваемых доменов коллизий и их связности на этапе анализа результатов решения.

Предложенная топологическая модель MR MC WMN стандарта IEEE 802.11, которая позволила более полно и подробно описать возможные конфигурации как всей mesh-сети в целом, так и отдельных ее элементов представленных в виде вершин и ребер гиперграфа. В рамках гиперграфового представления, как было показано в работах [3], MR MC WMN ставится в соответствие гиперграф  $H(I, J; R)$ , где  $I$  – множество вершин,  $J$  – множество ребер,  $R$  – предикат, определяющий смежность станций с зонами устойчивого приема (Transmission Range, TR).  $I = \{n_i, i = \overline{1, N}\}$ , где  $n_i$  – элемент множества  $I$ , моделирующий mesh-станции MR MC WMN,  $N$  – их общее количество в mesh-сети.  $J = \{z_j, j = \overline{1, Z}\}$ , где  $z_j$  – элемент множества  $J$ , моделирующий зону устойчивого приема,  $Z$  – их общее количество в MR MC WMN. Предикат  $R$ , являясь инцидентором гиперграфа  $H$ , определяет принадлежность  $i$ -й станции  $j$ -й зоне устойчивого приема. Так в случае, если  $i$ -я mesh-станция участвует в формировании  $j$ -й зоны устойчивого приема, то предикат  $R(n_i, z_j)$  – истинный, т.е. равный единице, в противном случае  $R(n_i, z_j)$  – ложный, т.е. равный нулю. В результате этого описание MR MC WMN может быть произведено с использованием конечного гиперграфа  $H(I, J; R)$ , состоящего из пары множеств вершин  $I = \{n_i, i = \overline{1, N}\}$  и ребер  $J = \{z_j, j = \overline{1, Z}\}$  вместе с двуместным предикатом  $R \Leftrightarrow R(n_i, z_j)$ , определенным для всех  $n_i \in I$  и  $z_j \in J$  [4; 5].

Приобрела новую формализацию задача определения связности. По сравнению с использованием графового представления возможной конфигурации WMN, нет необходимости проводить поиск независимых путей между всеми парами вершин графа. При использовании гиперграфового подхода решения задачи связности сводится к поиску максимального числа станций, удаление которых приведет к разделению WMN на несколько несвязных компонент. Использование гиперграфов также позволяет определить место той или иной станции в составе WMN, в отличие от графового представления, невольно «уравнивающего» основные элементы системы.

Также предложена модель комплексного решения задач распределения неперекрывающихся частотных каналов и потоковой маршрутизации в MR MC WMN стандарта IEEE 802.11 с использованием гиперграфов и графов Кенига. Если в приведенных ранее решениях задача распределения неперекрывающихся частотных каналов была ориентирована на получение связной сбалансированной по пропускной способности структуры mesh-сети, то в рамках предложенной модели решение указанных задач подчинено единой общей цели – повышению межконцевого качества обслуживания по показателям производительности за счет согласованного использования сетевых ресурсов многоканальных многоинтерфейсных mesh-сетей, что особенно проявлялось при увеличении степени перекрытия зон устойчивого приема, числа радиointерфейсов на mesh-станциях и количества поддерживаемых частотных каналов в сети. На рис. 1 приведен пример mesh-сети, которая была получена в результате комплексного решения

задач распределения неперекрывающихся частотных каналов и потоковой маршрутизации, а на рис. 2 и рис. 3 ее представление в виде гиперграфа и графа Кенига.

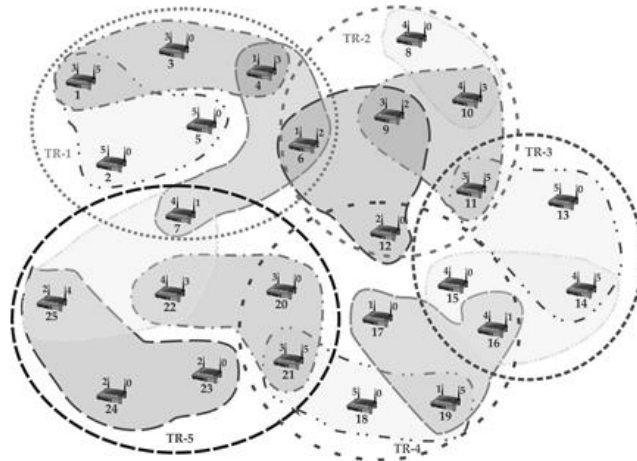


Рисунок 1. Пример MR MC WMN, полученной в результате согласованного решения задач распределения неперекрывающихся частотных каналов и потоковой маршрутизации

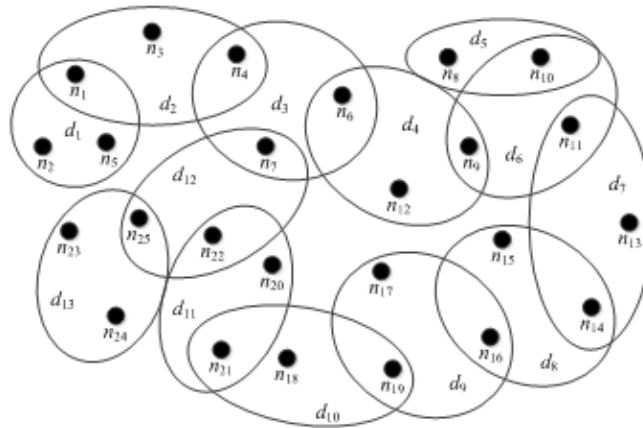


Рисунок 2. Гиперграфовое представление MR MC WMN, приведенной на рис. 1

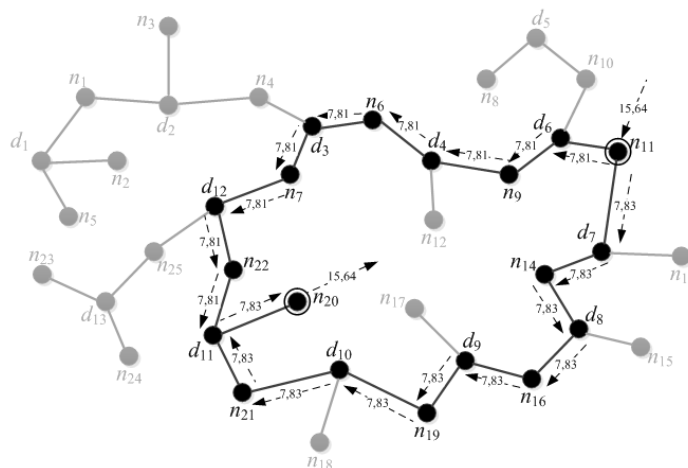


Рисунок 3. Кенигово представление MR MC WMN, приведенной на рис. 1

В результате сравнительного анализа установлено, что в случае использования MR MC WMN с уровнем связности равным единице (1-связная mesh-сеть) выигрыш при использовании согласованного решения задач распределения неперекрывающихся ЧК и потоковой маршрутизации отсутствует. В случае использования 3-связной MR MC WMN выигрыш составил 75-100%, а для 7-связной mesh-сети – 80-100% (табл. 1).

Таблица 1. Результаты сравнительного анализа согласованного и последовательного решения задач распределения неперекрывающихся ЧК и потоковой маршрутизации

Пример конфигурации MR MC WMN	Связность гиперграфа (MR MC WMN)	Количество используемых неперекрывающихся ЧК	Выигрыш по производительности, %
№1	1-связный	3	0
		4	0
		5	0
№2	3-связный	3	85-100
		4	80-100
		5	75-100
№3	7-связный	3	85-100
		4	83-100
		5	80-100

Также в результате сравнительного анализа установлено, что повышению производительности MR MC WMN способствует увеличение количества радиointерфейсов на станциях mesh-сети. Это вызвано тем, что mesh-станция источник может производить передачу данных одновременно по нескольким доменам коллизий, количество которых соответствует количеству радиointерфейсов на ней.

Проанализированы характеристики возможных конфигураций mesh-сетей, а также характеристики их структур, на основе чего определены условия, влияющие на производительность MR MC WMN при согласованном решении задач распределения неперекрывающихся частотных каналов и потоковой маршрутизации: уменьшение размера зоны устойчивого приема приводит к увеличению количества формирующихся доменов коллизий, а также уменьшению числа станций, входящих в состав каждого из них, что способствует повышению общей производительности mesh-сети; использование однородной MR MC WMN позволяет сбалансированные друг относительно друга домены коллизий; уменьшение степени перекрытия зон устойчивого приема, а также увеличение количества неперекрывающихся частотных каналов приводит к формированию большего количества доменов коллизий, способствует уменьшению их размеров, а также повышению производительности mesh-сети в целом; увеличение числа радиointерфейсов на mesh-станциях способствует формированию большего количества независимых маршрутов.

#### Литература

1. Гаркуша С.В. Разработка и анализ двухиндексной модели распределения частотных каналов в многоканальной mesh-сети стандарта IEEE 802.11 [Электронный ресурс] // Проблемы телекоммуникаций, 2011, № 3 (5), С. 38-57. – Режим доступа к журн.: [http://pt.journal.kh.ua/2011/3/1/113\\_garkusha\\_mesh.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2011/3/1/113_garkusha_mesh.pdf).
2. Лемешко А.В., Гаркуша С.В. Классификация методов распределения частотных каналов в многоинтерфейсных многоканальных mesh-сетях стандарта IEEE 802.11 [Электронный ресурс] // Проблемы телекоммуникаций. – 2011. – № 2 (4). – С. 139–149. – Режим доступа к журн.: [http://pt.journal.kh.ua/2011/2/1/112\\_lemeshko\\_classification.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2011/2/1/112_lemeshko_classification.pdf).
3. Гаркуша С.В. Разработка потоковой модели маршрутизации в многоканальных многоинтерфейсных mesh-сетях стандарта IEEE 802.11, представленных в виде графа Кенига [Электронный ресурс] / С.В. Гаркуша // Проблемы телекоммуникаций. – 2014. – № 1 (13). – С. 20-34. – Режим доступа до журн.: [http://pt.journal.kh.ua/2014/1/1/141\\_garkusha\\_routing.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2014/1/1/141_garkusha_routing.pdf).
4. Berge C. Graphs and Hypergraphs. – New York: Elsevier, 1973. – 528 p.
5. Berge C. Hypergraphs: The Theory of Finite Sets. – Amsterdam, Netherlands: North-Holland, 1989. – 256 p.