

УДК 621.391

А.В. Лемешко, М.А. Гоголева, Д.В. Симоненко

Харьковский национальный университет радиотехники, Харьков

## МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ КАНАЛОВ С УЧЕТОМ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ УДАЛЕННОСТИ СТАНЦИЙ В МНОГОКАНАЛЬНЫХ MESH-СЕТЯХ

*Проведен краткий обзор алгоритмов распределения частотных каналов в многоканальных mesh-сетях. Предложена математическая модель распределения каналов в многоканальных mesh-сетях с учетом территориальной удаленности mesh-станций.*

**Ключевые слова:** mesh-сети, распределения частотных каналов.

### Введение

Интенсивное развитие технологий беспроводной связи (ТБС) во многом продиктовано их востребованностью на рынке телекоммуникаций, особенно по причине широкой поддержки услуг, связанных с мобильностью абонентов. При этом ТБС, традиционно занимая важное место в системах радиодоступа, все больше закрепляются на уровне технологий транспортных радиосетей. Примером тому могут служить получающие все большее распространение mesh-сети, функционирующие с использованием стандартов серии IEEE 802.11 [1]. Однако немаловажным сдерживающим фактором в развитии mesh-сетей является их невысокая (по сравнению со стандартами проводной связи IEEE 802.3) пропускная способность. Причем, даже с недавним принятием стандарта IEEE 802.11 n, основанного на поддержке технологий MIMO (Multiple Input – Multiple Output) и расширении полосы сигнала до 40 МГц, данная проблема остается достаточно актуальной. В свою очередь, проблемы со скоростью передачи во многом ограничивают поддержку сервисов, ориентированных на передачу мультимедийной информации – потокового аудио, видео и др. В этой связи важной представляется проблема повышения производительности mesh-сети на основе использования многоканальных решений, когда произвольная mesh-станция оснащена двумя или тремя радиointерфейсами (РИ) и одновременно может работать на нескольких частотных каналах (ЧК). При этом ключевой задачей является определение процедуры закрепления, например, из диапазона 2.4 ГГц (для IEEE 802.11 b/g) одного из 11 (для США) или 13 (для Европы) частотных каналов за каждым РИ. Особые проблемы при этом вызывает перекрываемость соседних ЧК одного диапазона. Поэтому при решении задач распределения ЧК в многоканальных mesh-сетях в качестве неперекрывающихся должны выбираться частотные каналы 1, 6, 11 или 1, 5, 9, 13.

Известно достаточно большое число алгоритмов решения задачи распределения частотных кана-

лов в многоканальных mesh-сетях [2 – 5], основными из которых являются Rate-Adaption Channel Algorithm, C-Huacynth, D-Huacynth, CoMTaC. Однако к основным недостаткам известных решений стоит отнести, прежде всего, отсутствие согласованности в решениях подзадач кластеризации, закрепления радиointерфейсов и выделения им соответствующих частотных каналов; а также недостаточный учет аппаратурных и технологических особенностей построения многоканальных mesh-сетей и территориальной распределенности (удаленности) mesh-станций. В этой связи, целью настоящей работы является разработка математической модели распределения частотных каналов в многоканальных mesh-сетях, направленной на устранение недостатков, присущих известным решениям.

### Основной материал

#### Математическая модель распределения частотных каналов с учетом территориальной удаленности mesh-станций

При разработке искомой модели будет взята за основу ранее предложенная авторами модель распределения частотных каналов между станциями mesh-сети [6], находящимися в одной зоне устойчивого приема (transmission range, TR). С целью учета территориальной удаленности mesh-станций сети введем понятие матрицы зон устойчивого приема или TR-матрицы. TR-матрица, в общем случае, является прямоугольной, количество строк в которой соответствует числу зон устойчивого приема ( $Z$ ), а число столбцов соответствует общему количеству mesh-станций ( $N$ ) в сети, т.е.

$$D = \left\| d_{i,j} \right\|, \quad i = \overline{1, Z}; \quad j = \overline{1, N},$$

где  $d_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-я станция находится в } i\text{-й TR;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$

Пример mesh-сети с указанием зон устойчивого приема ( $z = \overline{1,4}$ ) приведен на рис. 1. Представленной на рис. 1 mesh-сети соответствует следующая TR-матрица:

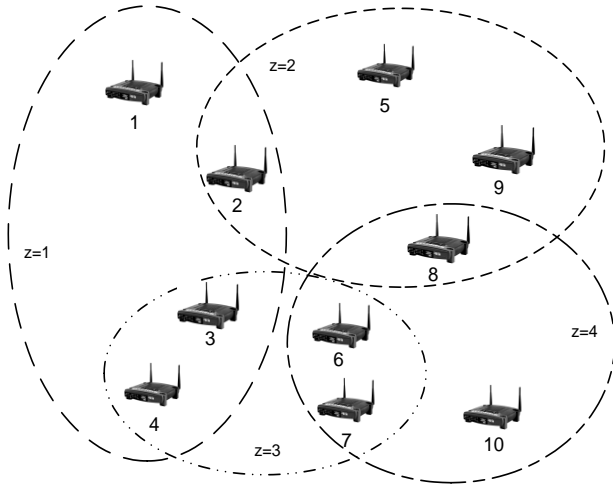


Рис. 1. Пример mesh-сети с указанием зон устойчивого приема  $z = \overline{1,4}$

$$D = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

В рамках предлагаемой модели задача распределения частотных каналов с учетом территориальной удаленности станций представлена в виде оптимизационной задачи балансировки числа mesh-станций по числу создаваемых доменов коллизий с учетом их территориальной удаленности, т.е. зон устойчивого приема. Кроме того, предусматривается, что  $m$  – число радиоинтерфейсов (РИ) на одной mesh-станции;  $K$  – количество неперекрывающихся частотных каналов (ЧК) в mesh-сети. В качестве управляющей выбрана булевая переменная

$$x_{i,j}^k \in \{0,1\} \quad (i = \overline{1,N}; j = \overline{1,m}; k = \overline{1,K}), \quad (1)$$

$$x_{i,j}^k = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-й РИ } i\text{-й станции работает на } k\text{-м ЧК;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

При расчете искомым переменных  $x_{i,j}^k$  в соответствии с физикой решаемой задачи необходимо выполнять ряд важных условий-ограничений:

1. Условие включения  $i$ -й станции в сеть:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^m x_{i,j}^k \geq m^* \quad (i = \overline{1,N}), \quad (2)$$

где  $1 \leq m^* \leq m$  – целочисленный параметр, характеризующий минимально необходимое число включенных РИ на произвольно выбранной mesh-станции.

2. Условие выделения  $j$ -му радиоинтерфейсу  $i$ -й станции не более одного ЧК:

$$\sum_{k=1}^K x_{i,j}^k \leq 1 \quad (i = \overline{1,N}; j = \overline{1,m}). \quad (3)$$

3. Условие закрепления  $k$ -го частотного канала на  $i$ -й станции не более чем за одним радиоинтерфейсом:

$$\sum_{j=1}^m x_{i,j}^k \leq 1 \quad (i = \overline{1,N}; k = \overline{1,K}). \quad (4)$$

4. Условие работы двух mesh-станций друг с другом не более чем на одном ЧК:

$$\sum_{k=1}^K \left[ \sum_{j=1}^m x_{i,j}^k \cdot \sum_{l=1}^m x_{s,l}^k \right] \leq 1 \quad (5)$$

(для каждой  $(i,s)$ -пары mesh-станций одной TR,  $i \neq s$ ), которое вводится для устранения нежелательной структурной избыточности сети.

5. Условие связности сети (связности создаваемых доменов коллизий mesh-станций):

$$p = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^K x_{i,j}^k \geq N + K - 1, \quad (6)$$

выполнение которого совместно с условием (5) в условиях дефицита ЧК ( $K \leq N - 1$ ) гарантирует, что число включенных РИ ( $p$ ) с учетом числа mesh-станций и поддерживаемых в ТБС частотных каналов обеспечит связность сети.

6. Условия балансировки числа mesh-станций по доменам коллизий:

$$\sum_{i=1}^N d_{z,i} \sum_{j=1}^m x_{i,j}^k \leq \alpha$$

$$(i = \overline{1,N}, k = \overline{1,K}), \quad (7)$$

где  $z$  – номер устойчивого приема;  $\alpha$  – верхний динамически управляемый порог числа mesh-станций в произвольно выбранном домене коллизий сети.

Расчет искомым переменных (1) и параметра  $\alpha$  в соответствии с условиями-неравенствами (2)–(7), целесообразно осуществить в ходе решения оптимизационной задачи, обеспечивая минимум числа работающих mesh-станций в создаваемых доменах коллизий, что, как известно, способствует повышению общей производительности сети. Тогда в рамках предложенной математической модели (1)–(7) задача распределения ЧК в mesh-сети приобретает вид оптимизационной, в ходе решения которой необходимо обеспечить

$$\min_{x, \alpha} \alpha \quad (8)$$

при выполнении условий (1)–(7). Сформулированная задача с точки зрения физики процессов, протекающих в mesh-сети, относится к классу задач балансировки числа Mesh-станций в доменах коллизий, а с математической точки зрения – это задача смешанного целочисленного нелинейного программирования – MILNP (mixed-integer nonlinear programming), в которой искомые переменные  $x_{i,j}^k$  (1) являются булевыми, минимизируемая переменная  $\alpha$  является целочисленной, а ограничения на искомые переменные носят как линейный (1)–(4), (6) и (7), так и квадратичный (5) характер.

### Пример решения задачи распределения частотных каналов в mesh-сети с учетом территориальной удаленности станций

Результаты решения задачи распределения частотных каналов в mesh-сети для представленных на рис. 1 исходных данных приведены на рис. 2 (при  $K = 3$ ) и на рис. 3 (при  $K = 4$ ).

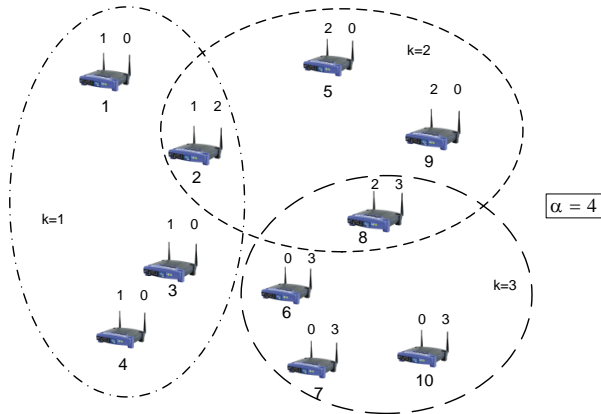


Рис. 2. Распределения частотных каналов в mesh-сети при  $K = 3$

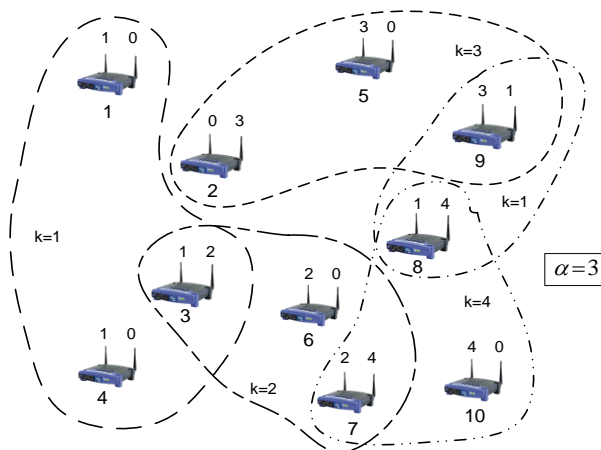


Рис. 3. Распределения частотных каналов в mesh-сети при  $K = 4$

Как видно из полученных результатов (рис. 2), при  $K = 3$  вся mesh-сеть разбивалась на три домена коллизий по четыре станции в каждой. С увеличением числа используемых ЧК (рис. 3), т.е. при  $K = 4$  сеть «распадалась» уже на пять доменов коллизий, в которых максимальное число станций не превосходило трех. При этом в сети уже выделялось два домена коллизий, станции в которых работали одном ЧК ( $k = 1$ ), но эти домены располагались в различных зонах устойчивого приема, поэтому не сливались в один домен большей размерности.

### Выводы

В работе предложена математическая модель распределения частотных каналов в многоканальной mesh-сети, представленной выражениями (1) – (7). В рамках модели прикладная задача распределения ЧК была сформулирована как задача оптимальной ба-

лансировки числа mesh-станций по создаваемым доменам коллизий с учетом их территориальной удаленности. Данная задача относится к классу задач смешанного целочисленного нелинейного программирования и может быть решена известными методами, например, методом округления, ветвей и границ, последовательной линеаризации и т.д. Сокращение числа станций в доменах коллизий, на которые условно «распадалась» mesh-сеть, приводит, в общем случае, к пропорциональному росту скорости обмена данными между станциями домена.

В ходе аналитического моделирования были получены результаты распределения ЧК, для примера, в двухканальной mesh-сети с минимизацией максимального числа станций в образуемых доменах коллизий. Показано влияние особенностей ТБС (числа неперекрывающихся ЧК) на характер получаемых результатов расчета. Полученные результаты свидетельствуют в целом об адекватности предложенной модели и ее отдельных условий, т.е. в результате расчетов была сформирована связная структура доменов коллизий, что позволяет обеспечить информационный обмен между произвольной парой станций mesh-сети. С топологической точки зрения домены коллизий образовывали линейную структуру или структуру типа «дерево», т.к. в условии (6), благодаря использованию в качестве критерия оптимальности выражения (8), число включенных радиointерфейсов соответствовало минимальному значению.

### Список литературы

1. Вишневецкий В.М. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G / В.М. Вишневецкий, Л.С. Портной, И.В. Шахнович. – М.: Техносфера, 2009. – 472 с.
2. Ляхов А.И. Многоканальные mesh-сети: анализ подходов и оценка производительности / А.И. Ляхов, И.А. Пустогаров, С.А. Шпилев // Информационные процессы. – 2008. – Том 8, № 3. – С. 173-192.
3. Raniwala A. Centralized channel assignment and routing algorithms for multi-channel wireless mesh networks / A. Raniwala, K. Gopalan, T. Chiueh // ACM Mobile Computing and Communications Review. – 2004. – Vol. 8. – P. 50-65.
4. IEEE P802.11s/D2.0. Draft STANDARD for Information Technology – Telecommunications and information exchange between systems – 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. Naveed A. Topology Control and Channel Assignment in Multi-radio Multi-channel Wireless Mesh Networks / A. Naveed, S. Kanhere Salil, K. Jha. Sanjay // Proc. of MASS '07. – 1975. – Vol. 25, №1. – P. 73-85.
6. Лемешко А.В. Трехиндексная математическая модель распределения частотных каналов в многоканальных MESH-сетях / А.В. Лемешко, М.А. Гоголева // Зб. наук. праць ІПМЕ. ім. Г.С. Пухова.– К., 2009. – № 54. – С. 94-103.

Поступила в редколлегию 16.11.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Поповский, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

**МОДЕЛЬ РОЗПОДІЛУ ЧАСТОТНИХ КАНАЛІВ З УРАХУВАННЯМ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ВІДДАЛЕНОСТІ СТАНЦІЙ  
В БАГАТОКАНАЛЬНИХ MESH-МЕРЕЖАХ**

О.В. Лемешко, М.О. Гоголева, Д.В. Симоненко

*Проведений короткий огляд алгоритмів розподілу частотних каналів в багатоканальних mesh-мережах. Запропонована математична модель розподілу каналів в багатоканальних mesh-мережах з урахуванням територіальної віддаленості mesh-станцій.*

**Ключові слова:** mesh-мережі, розподіли частотних каналів.

**MODEL OF DISTRIBUTING OF FREQUENCY CHANNELS TAKING INTO ACCOUNT TERRITORIAL REMOTENESS  
OF THE STATIONS IN MULTICHANNEL MESH-NETWORKS**

A.V. Lemeszko, M.A. Gogoleva, D.V.. Simonenko

*The brief review of algorithms of distributing of frequency channels is conducted in multichannel mesh-networks. The mathematical model of distributing of channels is offered in multichannel mesh-networks taking into account the territorial remoteness of the mesh-stations.*

**Keywords:** mesh-networks, distributing of frequency channels.