

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИПЕРГРАФОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ МНОГОКАНАЛЬНЫХ MESH-СЕТЕЙ СТАНДАРТА IEEE 802.11

Введение

На сегодняшний день постоянная модернизация протоколов, проводимая в семействе стандартов IEEE 802.11, направлена на повышение производительности беспроводных локальных сетей доступа (Wireless Local Access Networks, WLAN). При этом ведутся активные действия по разработке и внедрению нового стандарта IEEE 802.11ac для построения WLAN. Существенный прирост производительности сетей IEEE 802.11ac достигается за счет использования более широких каналов, повышения эффективности модуляции (способа передачи битов данных с помощью радиочастотных волн) и многопользовательских соединений (Multi-User MIMO).

Наряду с внедрением новых стандартов в технологию WLAN повышения производительности можно добиться использованием многошаговых (multi-hop) беспроводных mesh-сетей (Wireless Mesh Networks, WMN) стандарта IEEE 802.11. Одним из эффективных путей повышения производительности mesh-сети стандарта IEEE 802.11 является использование многоканального (Multi-Channel, MC) многоинтерфейсного (Multi-Radio, MR) режима работы. При этом производительность MR-MC WMN стандарта IEEE 802.11 во многом зависит от используемого механизма распределения частотных каналов (ЧК) [1-4].

Как показал проведенный в работе [4] анализ, качество решения задачи распределения частотных каналов в MR-MC WMN стандарта IEEE 802.11 во многом определяется технологическими и территориальными характеристиками беспроводной mesh-сети. К технологическим характеристикам следует отнести количество используемых неперекрывающихся ЧК, а также число радиointерфейсов, используемых на каждой отдельной станции. В качестве территориальных характеристик могут выступать стационарный размер, степень перекрытия и неоднородность зон устойчивого приема (Transmission Range, TR). Кроме того, при решении задачи распределения ЧК должен выполняться ряд требований к синтезируемой mesh-сети. К основным таким требованиям следует отнести связность беспроводной mesh-сети, а также отсутствие эффекта «скрытой станции» [1-4]. Основной особенностью подходов к решению задачи распределения ЧК в MR-MC WMN стандарта IEEE 802.11, предложенных в [1-4], является то, что все они были получены эмпирически. С целью теоретического обоснования задачи распределения ЧК должен быть использован эффективный математический аппарат, позволяющий произвести описание MR-MC WMN как на этапе постановки задачи, так и при анализе результатов ее решения.

Необходимо заметить, что традиционные подходы к синтезу структурных моделей ТКС базируются на использовании математического аппарата теории графов [5]. 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. Однако графовое представление MR-MC WMN при свойственной ей простоте и наглядности непроизвольно «уравнивает» основные элементы моделируемой системы. Так, например, все станции mesh-сети относятся к одному и тому же множеству вершин, хотя в действительности роль и место той или иной станции в mesh-сети индивидуальны и определяются числом инцидентных к ней радиоканалов (дуг, ребер) графа, количество поддерживаемых радиointерфейсов, используемой технологией беспроводной связи и т.д.

Таким образом при моделировании MR-MC WMN необходимо использовать более эффективные, хотя, возможно, и более сложные, способы представления mesh-сети с использованием топологических идей [6, 7]. В качестве таких подходов может быть использован математический аппарат теории гиперграфов [8-10], позволяющий произвести теоретическое

описание задачи распределения ЧК в MR-МС WMN с учетом стационарного размера, степени перекрытия и неоднородности зон устойчивого приема на этапе постановки задачи, а также анализа стационарных размеров создаваемых доменов коллизий и их связности на этапе анализа результатов решения.

Гиперграфовое представление многоканальных mesh-сетей

На этапе постановки задачи распределения ЧК в MR-МС WMN каждой отдельной взятой станции ставится в соответствие вершина $n_i \in N$ гиперграфа H . По аналогии, каждой отдельно взятой зоне устойчивого приема ставится в соответствие ребро $z_j \in Z$ гиперграфа H . Тогда предикат R , являясь инцидентором гиперграфа H , определяет принадлежит ли i -я станция 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-МС WMN может быть произведено с использованием конечного гиперграфа $H = (N, Z; R)$, состоящего из пары множеств вершин $N = \{n_i / i \in I\}$ и ребер $Z = \{z_j / j \in J\}$ вместе с двуместным предикатом $R \leftrightarrow R(n_i, z_j)$, определенным для всех $n_i \in N$ и $z_j \in Z$. Исходя из этого, принадлежность i -й станции j -й зоне устойчивого приема определяется инцидентностью i -й вершины j -му ребру в гиперграфе H [8-10].

В рамках гиперграфового описания удастся однозначно формализовать правила формирования матрицы зон устойчивого приема (TR-матрицы), введенной в работах [1-4], с помощью матрицы инцидентностей гиперграфа H

$$A(H) \doteq \left\| a_{z_j, n_i} \right\|, \quad (1)$$

где $a_{z_j, n_i} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-я станция входит в состав } j\text{-й TR, т.е. предикат } R(n_i, z_j) = 1; \\ 0, & \text{в противном случае, т.е. предикат } R(n_i, z_j) = 0. \end{cases}$

Исходя из выражения (1) TR-матрица является прямоугольной, количество строк которой соответствует числу зон устойчивого приема J , а число столбцов соответствует общему числу mesh-станций I в сети.

В работах [1-4] решением задачи распределения ЧК является расчет булевой переменной x_{n_i, k_t} , характеризующей закрепление частотного канала $k_t \in K$ за mesh-станцией $n_i \in N$, где K – множество неперекрывающихся частотных каналов (табл. 1).

$$x_{n_i, k_t} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й станции выделен } t\text{-й неперекрывающийся ЧК;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (2)$$

Таблица 1

Количество неперекрывающихся ЧК для различных стандартов беспроводных сетей.

Стандарт	Количество неперекрывающихся частотных каналов
IEEE 802.11a/n	12
IEEE 802.11b/g/n	3 или 4
IEEE 802.11ac	25

В результате решения задачи распределения ЧК производится закрепление t -го частотного канала за i -й станцией, принадлежащей j -й зоне устойчивого приема. Таким образом предикат $P(n_i, k_t, z_j)$ может быть рассчитан из выражения:

$$P(n_i, k_t, z_j) = x_{n_i, k_t} R(n_i, z_j). \quad (3)$$

Необходимо заметить, что в результате решения задачи распределения ЧК производится формирование доменов коллизий станциями одной TR, использующими общий частотный канал. Поэтому каждой отдельно взятой станции $n_i \in N$ будет поставлена в соответствие вершина, а каждому домену коллизий $d_u \in D$ ребро гиперграфа $G(N, D; Q)$. В результате этого использование i -й станции при формировании u -го домена коллизий определяется предикатом $Q(n_i, d_u)$. Предикат $Q(n_i, d_u)$ в свою очередь однозначно определяется соответствием

$$Q(n_i, d_u) \Leftrightarrow P(n_i, k_t, z_j). \quad (4)$$

Таким образом в случае если i -й mesh-станции, входящей в состав j -й зоны устойчивого приема выделен t -й неперекрывающийся частотный канал ($P(n_i, k_t, z_j)=1$), то станция участвует в формировании u -го домена коллизий и предикат $Q(n_i, d_u)=1$. В противном случае если i -я mesh-станция не входит в состав j -й зоны устойчивого приема или ей не выделен t -й неперекрывающийся частотный канал ($P(n_i, k_t, z_j)=0$), то предикат $Q(n_i, d_u)=0$. Таким образом предикат $Q(n_i, d_u)$ отображает участвует ли i -я станция в формировании домена коллизий $d_u \in D$ или нет.

В качестве примера рассмотрим MR-МС WMN, представленную на рис. 1, состоящую из восьми станций, которые объединены в три зоны устойчивого приема. Указанной mesh-сети соответствует гиперграф $H = (N, Z; R)$, изображенный на рис. 2, с множеством вершин $N = \{n_1, n_2, \dots, n_8\}$, множеством ребер $Z = \{z_1, z_2, z_3\}$ и предикатом R , определяющим принадлежность той или иной станции к произвольной зоне устойчивого приема. Для приведенного примера предикаты $R(n_1, z_1)$, $R(n_2, z_1)$, $R(n_3, z_1)$, $R(n_3, z_2)$, $R(n_4, z_1)$, $R(n_4, z_2)$, $R(n_4, z_3)$, $R(n_5, z_2)$, $R(n_6, z_1)$, $R(n_6, z_3)$, $R(n_7, z_3)$, $R(n_8, z_3)$ являются истинными, т.е. $a_{z_j, n_i} = 1$, а в остальных случаях предикаты являются ложными, т.е. $a_{z_j, n_i} = 0$.

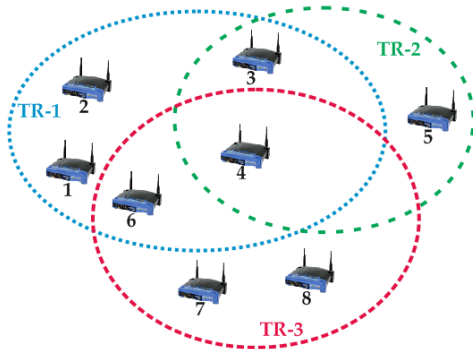


Рис. 1 Возможная конфигурация mesh-сети

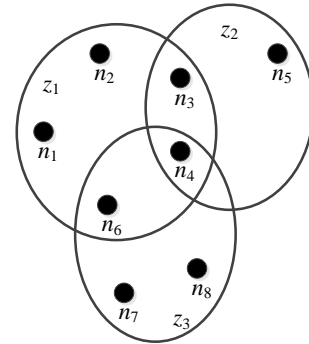


Рис. 2 Гиперграфовое представление mesh-сети

Mesh-сеть, представленная на рис. 1, может быть описана следующей матрицей инцидентий (TR-матрицей):

$$A(H) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

В результате решения задачи распределения трех неперекрывающихся ЧК ($K = \{k_1, k_2, k_3\}$) с использованием модели, выполняющей балансировку количества станций

по создаваемым доменам коллизий [1-4], была получена mesh-сеть, представленная на рис. 3. Mesh-сети, представленной на рис. 3 соответствует гиперграф $G = (N, D; Q)$, изображенный на рис. 4, с множеством вершин $N = \{n_1, n_2, \dots, n_8\}$, множеством доменов коллизий $D = \{d_1, d_2, d_3, d_4\}$ и предикатом $Q(n_i, d_u)$.

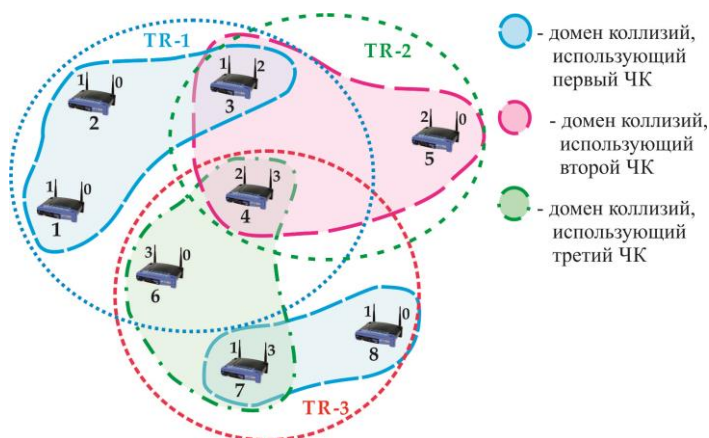


Рис. 3 Пример решения задачи распределения трех неперекрывающихся ЧК

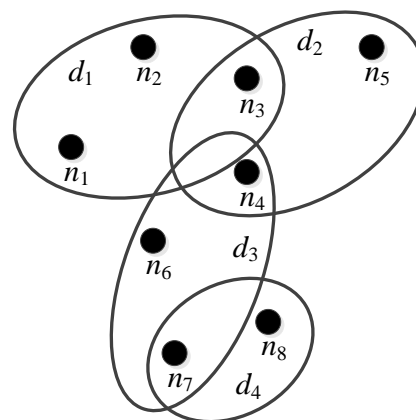


Рис. 4 Гиперграфовое представление решения задачи распределения ЧК

Приведенный подход позволил определить базовую модель описания беспроводной многоканальной mesh-сети с использованием математического аппарата теории гиперграфов. Подобное представление позволит в дальнейшем использовать математический аппарат гиперграфов для анализа структурных и функциональных характеристик mesh-сетей, как на этапе постановки задачи распределения ЧК, так и для анализа результатов.

Использование математического аппарата гиперграфов для анализа характеристик mesh-сети

Как было указано во введении, качество решения задачи распределения частотных каналов MR-МС WMN стандарта IEEE 802.11 во многом определяется технологическими и территориальными характеристиками беспроводной mesh-сети [4]. При этом технологические характеристики, являясь количественными показателями, дают достаточное описание mesh-сети на этапе постановки задачи распределения ЧК. Однако территориальные характеристики, ввиду отсутствия эффективного математического аппарата, не имеют явно выраженных количественных значений, в результате чего результаты решения задачи распределения ЧК описываются лишь качественными показателями.

Как показал проведенный в работе [4] анализ, уменьшение количества станций входящих в состав каждой зоны устойчивого приема (станционного размера зоны устойчивого приема) приводит к повышению производительности mesh-сети в результате решения задачи распределения ЧК. Станционный размер зоны устойчивого приема mesh-сети, с использованием математического аппарата теории гиперграфов, можно оценить путем определения множества вершин, инцидентных каждому ребру $z_j \in Z$ [8-10]:

$$N(z_j) \doteq N_H(z_j) \doteq \{n_i \in N / R(n_i, z_j)\}. \quad (5)$$

Выражение (5) также может быть использовано для анализа результатов решения задачи распределения ЧК. Так для определения числа станций, входящих в состав того или иного домена коллизий, выражение (5) должно быть преобразовано к виду

$$N(d_u) \doteq N_H(d_u) \doteq \{n_i \in N / Q(n_i, d_u)\}. \quad (6)$$

Ввиду использования многоинтерфейсного режима работы, в результате анализа проведенного в [4] установлено, что увеличение количества радиointерфейсов на каждой станции сети, с одной стороны, способствует повышению производительности mesh-сети при решении задачи распределения ЧК, а с другой стороны, увеличивает сложность и стоимость реализации стационарного оборудования. Поэтому количество радиointерфейсов на каждой станции должно определяться ее местом в сети. Так как каждая станция mesh-сети может одновременно входить в состав нескольких зон устойчивого приема, то каждой вершине $n_i \in N$ гиперграфа H можно отнести множество всех инцидентных ей ребер представленного в виде

$$Z(n_i) \doteq Z_H(n_i) \doteq \{ z_j \in Z / R(n_i, z_j) \}. \quad (7)$$

Аналогично выражению (5), выражение (7) может быть использовано при анализе результатов решения задачи распределения частотных каналов. Так для определения числа доменов коллизий, в которых участвует i -я станция необходимо воспользоваться выражением

$$D(n_i) \doteq D_H(n_i) \doteq \{ d_u \in D / Q(n_i, d_u) \}. \quad (8)$$

Таким образом мощности множеств $|Z(n_i)|$ и $|N(z_j)|$ из теории гиперграфов определяют соответственно степень i -й вершины и степень j -го ребра в гиперграфе H , а $|D(n_i)|$ и $|N(d_u)|$ – степень i -й вершины и степень u -го ребра в гиперграфе G [8-10].

В качестве примера рассмотрим mesh-сеть, представленную на рис. 1, а также ее гиперграфовое представление (рис. 2). Станциям в приведенном примере mesh-сети соответствуют следующие степени вершин гиперграфа: $|Z(n_1)| = 1$, $|Z(n_2)| = 1$, $|Z(n_3)| = 2$, $|Z(n_4)| = 3$, $|Z(n_5)| = 1$, $|Z(n_6)| = 2$, $|Z(n_7)| = 1$, $|Z(n_8)| = 1$. Как видно из приведенного примера, определенные степени вершин гиперграфа позволяют определить место той или иной станции в конфигурации всей mesh-сети. Так станции №1, №2, №5, №7 и №8 имеют значение степени вершины равное единице, станции №3 и №6 – двум, а станция №4 – трем. Степень вершины определяет количество зон устойчивого приема, в состав которых входит станция, а также определяет важность станции при обеспечении связности mesh-сети.

Что касается определения степеней ребер, то для рассматриваемого примера они принимают следующие значения: $|N(z_1)| = 5$, $|N(z_2)| = 3$ и $|N(z_3)| = 4$. Физический смысл степени ребра для mesh-сети заключается в том, что она отображает число станций формирующих ту или иную зону устойчивого приема. Так, например, зона устойчивого приема №1 (TR-1) формируется пятью mesh-станциями, зона устойчивого приема №2 (TR-2) – тремя mesh-станциями, а зона устойчивого приема №3 (TR-3) – четырьмя mesh-станциями. При этом пару mesh-станций, входящих в состав одной зоны устойчивого приема, по аналогии с вершинами гиперграфа, объединенными одним ребром, будем называть смежными [11].

Результат решения задачи распределения трех неперекрывающихся ЧК для примера возможной конфигурации mesh-сети представлен на рис. 3, гиперграфовое представление которого приведено на рис. 4. В приведенном примере решения задачи распределения ЧК станциям mesh-сети соответствуют следующие степени вершин гиперграфа G : $|D(n_1)| = 1$, $|D(n_2)| = 1$, $|D(n_3)| = 2$, $|D(n_4)| = 2$, $|D(n_5)| = 1$, $|D(n_6)| = 1$, $|D(n_7)| = 2$, $|D(n_8)| = 1$. Станции №1, №2, №5, №6 и №8 имеют значение степени вершины равное единице, в результате чего оборудование указанных станций может поддерживать только одноинтерфейсный режим работы. Для станций №3, №4 и №7 значение степени вершины равно двум. Это свидетельствует о том, что указанные станции обеспечивают связность создаваемых доменов коллизий и всей mesh-сети в целом. Оборудование используемое на данных станциях должно поддер-

живать многоинтерфейсный многоканальный режим работы и использовать не менее двух радиointерфейсов.

Степень ребра гиперграфа $G(N,D;Q)$ определяет количество станций, работающих на определенном ЧК в рамках зоны устойчивого приема, и используется для определения производительности как каждого отдельного домена коллизий, так и mesh-сети в целом. Для примера решения задачи распределения ЧК (рис. 4) степени ребер принимали значения $|N(d_1)| = 3$, $|N(d_2)| = 3$, $|N(d_3)| = 3$ и $|N(d_4)| = 2$.

Производительность mesh-сети, синтезируемой в результате решения задачи распределения ЧК, зависит также от сбалансированности количества станций, входящих в состав доменов коллизий, друг относительно друга по всей сети. В работе [4] было показано, что балансировка количества станций, формирующих домены коллизий, зависит от неоднородности зон устойчивого приема. В случае использования однородной mesh-сети, у которой стационарные размеры зон устойчивого приема одинаковы, при решении задачи распределения ЧК [1-4] будут создаваться домены коллизий, стационарные размеры которых будут сбалансированы друг относительно друга по всей mesh-сети. В противном случае, при использовании неоднородной mesh-сети, максимальный стационарный размер домена коллизий будет определяться зоной устойчивого приема наибольшего стационарного размера, в результате чего производительность mesh-сети на различных участках будет значительно отличаться.

С целью определения неоднородности зон устойчивого приема mesh-сети, представленной с использованием теории гиперграфов, может быть использовано понятие h -однородности. Так если в гиперграфе H степень любого j -го ребра равна h ($|N(z_j)| = h$), то гиперграф H называется h -однородным (h -униформным) [8-10]. Из вышесказанного следует, что если mesh-сеть может быть представлена в виде h -однородного гиперграфа, то такая mesh-сеть также будет h -однородной, в которой параметр h отображает число станций, входящих в состав каждой зоны устойчивого приема. Mesh-сеть, представленная на рис. 1, не является h -однородной (неоднородная mesh-сеть), так как число станций, входящих в состав различных зон устойчивого приема, отличается.

Одним из основных условий к MR-МС WMN на этапе постановки и этапе анализа результатов решения задачи распределения ЧК в mesh-сети, является обеспечение связности зон устойчивого приема и связности создаваемых доменов коллизий [1-4]. Кроме того в работе [4] было показано, что увеличение степени перекрытия (связности) зон устойчивого приема, т.е. количества станций находящихся одновременно в нескольких зонах устойчивого приема, приводит к формированию меньшего количества доменов коллизий и, соответственно, увеличению их стационарных размеров. Увеличение стационарных размеров создаваемых доменов коллизий приводит к снижению производительности mesh-сети в целом [1-4].

Для определения степени перекрытия зон устойчивого приема, а также связности mesh-сети может быть использовано понятие маршрута. Под маршрутом из теории гиперграфов понимается упорядоченное множество чередующихся вершин и ребер инцидентных друг другу [8-10]. При этом в отличие от теории гиперграфов, в которой началом и концом маршрута могут быть независимо друг от друга, как вершина, так и ребро, в mesh-сети в качестве таких элементов могут выступать только станции (вершины гиперграфа).

При оценке связности mesh-сети множества $N \cup Z$ и $N \cup D$ элементов соответствующих гиперграфов $H = (N,Z;R)$ и $G = (N,D;Q)$ могут разбиваться на части, называемые компонентами. Количество компонент будем обозначать как $\chi(H)$ и $\chi(G)$. В случае когда в гиперграфе присутствует лишь одна компонента, например $\chi(H)=1$, гиперграф называется связным [8-10]. В противном случае гиперграф является несвязным. Таким образом если mesh-сеть представлена в виде связного гиперграфа, то она тоже является связной.

С целью оценки степени перекрытия зон устойчивого приема воспользуемся понятием степени связности. Из теории гиперграфов вытекает, что связный гиперграф, сохраняющий

это свойство после удаления m вершин, называется $m+1$ -связным [8-10]. Таки образом $m+1$ -связной называется mesh-сеть, которая сохраняет свойство связности при удалении (выходе из строя, перегрузке и т.д.) любых m станций.

С целью определения связности, рассмотрим возможную конфигурацию mesh-сети, представленную на рис. 1. Mesh-сеть представленная на рис. 1 является 2-связной, так как возникновение нескольких компонент является результатом удаления станции №4, а также любой из станций №3 или №6. В результате удаления станций №4 и №3 образуются две компоненты, первая из которых состоит из станций №1, №2, №6, №7, №8, а вторая компонента из станции №5. В случае удаления станций №4 и №6 образуются две компоненты, одна из которых состоит из станций №1, №2, №3, №5, а вторая из станций №7 и №8.

Более глубокого анализа связности mesh-сети можно достичь путем попарного определения степени перекрытия (связности) зон устойчивого приема. Так как в состав двух отдельно взятых зон устойчивого приема, при $J > 2$, входит лишь часть станций mesh-сети, то воспользуемся понятием подгиперграфа. При этом подгиперграфом, порожденным множеством вершин N' , называется гиперграф $H' = (N', Z'; R')$, где $Z' = \{z_j': z_j' = z_j \cap N' \neq \emptyset, z_j \in Z\}$ [11]. Так как степень перекрытия будет определяться для двух зон устойчивого приема, то подгиперграф может быть представлен в виде $H_{c,v} = (N', Z_{c,v}; R')$, где $c, v \in Z, c \neq v$. По аналогии с определением связности всей mesh-сети, любые две зоны устойчивого приема являются $b+1$ -связными если они сохраняют это свойство в результате удаления b станций.

В качестве примера рассмотрим возможную конфигурацию mesh-сети, представленную на рис. 1. Подгиперграф $H_{1,2} = (N', Z_{1,2}; R')$, где $N' = \{n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6\}$, $Z_{1,2} = \{z_1, z_2\}$, образованный зонами устойчивого приема TR-1 и TR-2 является 2-связным, так как образование нескольких (двух) компонент происходит в случае удаления в mesh-сети станций №3 и №4. По аналогии определим степени связности других пар зон устойчивого приема. Так подгиперграф $H_{1,3} = (N', Z_{1,3}; R')$ является 2-связным, а подгиперграф $H_{2,3} = (N', Z_{2,3}; R')$ – 1-связным.

Анализ результатов решения задачи распределения частотных каналов с использованием теории гиперграфов

В работе был проведен анализ зависимости результатов решения задачи распределения ЧК в MR-МС WMN от исходных данных с использованием примеров возможных конфигураций mesh-сетей представленных на рис. 5 и рис. 7, гиперграфовые представления которых представлены соответственно на рис. 6 и рис. 8.

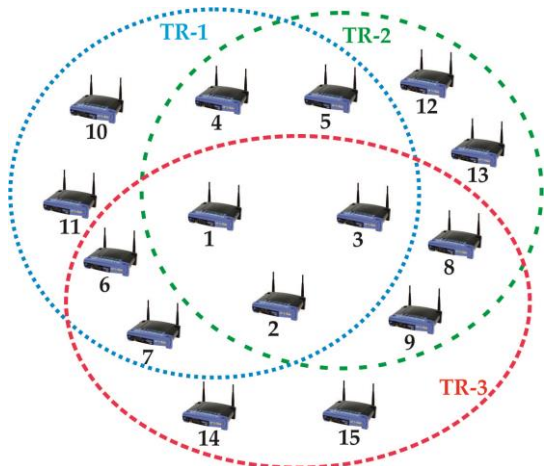


Рис. 5 Возможная конфигурация mesh-сети №2

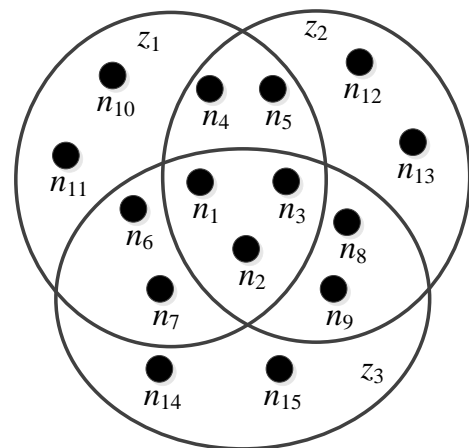


Рис. 6 Гиперграфовое представление mesh-сети №2

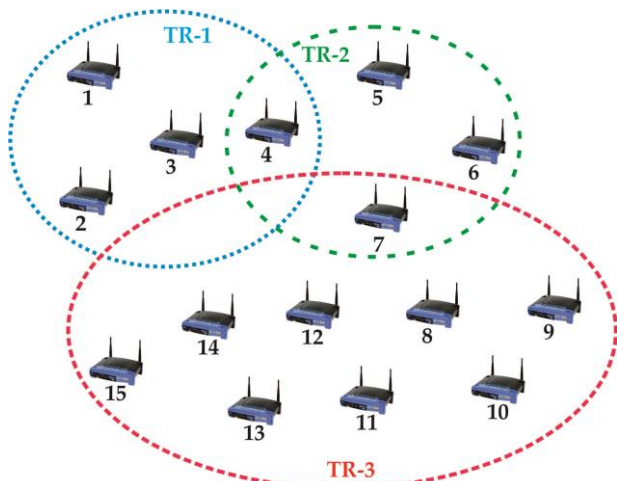


Рис. 7 Возможная конфигурация mesh-сети №3

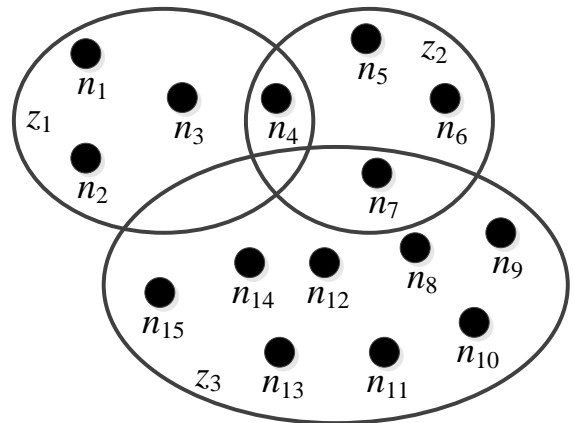


Рис. 8 Гиперграфовое представление mesh-сети №3

На рис. 9 и рис. 11 приведены результаты решения задачи распределения четырех неперекрывающихся ЧК для примеров конфигураций mesh-сетей №2 и №3 соответственно, а на рис. 10 и рис. 12 приведены гиперграфовые представления их структур. Для решения задачи распределения ЧК была использована модель балансировки числа станций по создаваемым доменам коллизий, предложенная в [1-4].

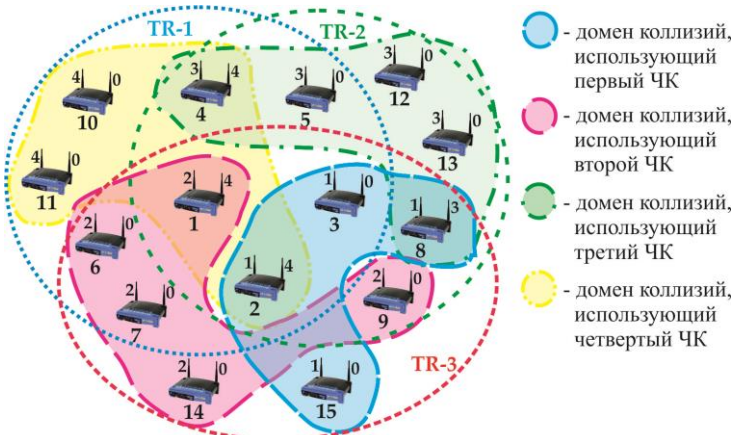


Рис. 9 Пример решения задачи распределения ЧК для mesh-сети №2

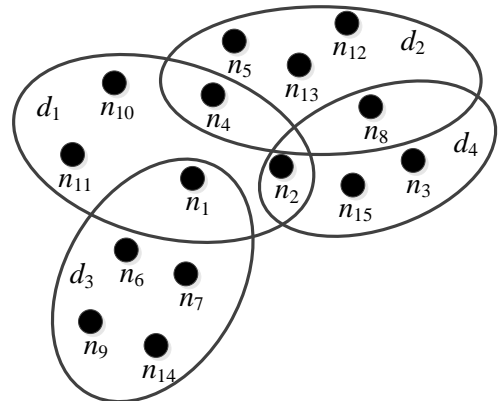


Рис. 10 Гиперграфовое представление результатов решения задачи распределения ЧК в mesh-сети №2

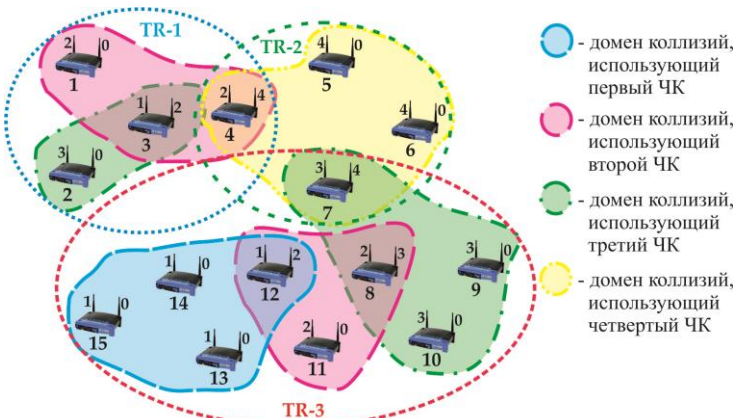


Рис. 11 Пример решения задачи распределения ЧК для mesh-сети №3

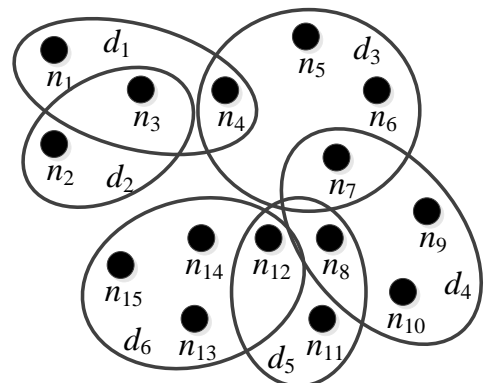


Рис. 12 Гиперграфовое представление результатов решения задачи распределения ЧК в mesh-сети №3

С использованием математического аппарата теории гиперграфов были получены характеристики конфигурируемых mesh-сетей на этапе постановки задачи распределения ЧК, а также характеристики структур mesh-сетей после решения указанной задачи. В ходе решения задачи использовались четыре неперекрывающихся ЧК. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики гиперграфов mesh-сетей на этапах постановки и решения задачи распределения ЧК

№ конфигурации mesh-сети	Характеристики гиперграфа				
	Степени ребер (зон устойчивого приема)	Степени вершин (станций)	Однородность гиперграфа (mesh-сети)	Связность гиперграфа (mesh-сети)	Связность подграфов (любых пар зон устойчивого приема)
Характеристики гиперграфа $H = (N, Z; R)$, соответствующего возможным конфигурациям mesh-сетей №2 и №3					
№2	$ N(z_1) = 9;$ $ N(z_2) = 9;$ $ N(z_3) = 9$	$ Z(n_1) = Z(n_2) = Z(n_3) = 3;$ $ Z(n_4) = Z(n_5) = Z(n_6) =$ $ Z(n_7) = Z(n_8) = Z(n_9) = 2;$ $ Z(n_{10}) = Z(n_{11}) = Z(n_{12}) =$ $ Z(n_{13}) = Z(n_{14}) = Z(n_{15}) = 1$	9-однородный	7-связный	$H_{1,2}$ – 5-связный; $H_{1,3}$ – 5-связный; $H_{2,3}$ – 5-связный
№3	$ N(z_1) = 4;$ $ N(z_2) = 4;$ $ N(z_3) = 9$	$ Z(n_4) = Z(n_7) = 2;$ $ Z(n_1) = Z(n_2) = Z(n_3) =$ $ Z(n_5) = Z(n_6) = Z(n_8) =$ $ Z(n_9) = Z(n_{10}) = Z(n_{11}) =$ $ Z(n_{12}) = Z(n_{13}) = Z(n_{14}) =$ $ Z(n_{15}) = 1$	неоднородный	1-связный	$H_{1,2}$ – 1-связный; $H_{1,3}$ – несвязный; $H_{2,3}$ – 2-связный
Характеристики гиперграфа $G = (N, D; Q)$, соответствующего результатам решения задачи распределения ЧК в mesh-сетях №2 и №3					
№2	$ N(d_1) = 5;$ $ N(d_2) = 5;$ $ N(d_3) = 5;$ $ N(d_4) = 4$	$ D(n_1) = D(n_2) = D(n_4) =$ $ D(n_8) = 2;$ $ D(n_3) = D(n_5) = D(n_6) =$ $ D(n_7) = D(n_9) = D(n_{10}) =$ $ D(n_{11}) = D(n_{12}) = D(n_{13}) =$ $ D(n_{14}) = D(n_{15}) = 1$	неоднородный	1-связный	$G_{1,2}, G_{1,3}, G_{1,4},$ $G_{2,4}$ – 1-связные; $G_{2,3}, G_{3,4}$ – не- связные
№3	$ N(d_1) = 3;$ $ N(d_2) = 2;$ $ N(d_3) = 4;$ $ N(d_4) = 4;$ $ N(d_5) = 3;$ $ N(d_6) = 4$	$ D(n_3) = D(n_4) = D(n_7) =$ $ D(n_8) = D(n_{12}) = 2;$ $ D(n_1) = D(n_2) = D(n_5) =$ $ D(n_6) = D(n_9) = D(n_{10}) =$ $ D(n_{11}) = D(n_{13}) = D(n_{14}) =$ $ D(n_{15}) = 1$	неоднородный	1-связный	$G_{1,2}, G_{2,3}, G_{3,4},$ $G_{4,5}, G_{5,6}$ – 1- связные; все остальные под- гиперграфы не связные

В работе были проанализированы характеристики возможных конфигураций mesh-сетей, а также характеристики их структур, получаемые в результате решения задачи распределения ЧК (табл. 2). По результатам анализа были сформулированы факторы, определяющие качество решения задачи распределения ЧК:

- уменьшение размера зоны устойчивого приема приводит к уменьшению размеров создаваемых доменов коллизий, что способствует повышению общей производительности mesh-сети;

- использование однородной mesh-сети позволяет сформировать сбалансированные друг относительно друга домены коллизий;

- уменьшение степени перекрытия зон устойчивого приема приводит к формированию большего количества доменов коллизий, что способствует уменьшению их размеров, а также повышению производительности mesh-сети в целом.

Выводы

В работе предложен подход к использованию гиперграфов при моделировании многоканальных многоинтерфейсных mesh-сетей стандарта IEEE 802.11, как на этапе постановки задачи распределения частотных каналов, так и при анализе ее структуры. Это, в свою очередь, позволило более полно и детально описать возможные конфигурации как всей mesh-сети в целом, так и отдельных ее элементов представленных в виде вершин и ребер гиперграфа. Также приобретает новую формализацию задача определения связности. По сравнению с использованием графового представления возможной конфигурации mesh-сети, нет необходимости производить поиск независимых путей между всеми парами вершин графа. При использовании гиперграфового подхода решение задачи связности сводится к поиску максимального числа станций удаление которых приведет к делению mesh-сети на несколько несвязных компонент. Использование гиперграфов также позволяет определить роль и место той или иной станции в составе mesh-сети, в отличие от графового представления, которое непроизвольно «уравнивает» основные элементы системы. Предложенный математический аппарат должным образом может быть использован на этапе постановки задачи распределения неперекрывающихся частотных каналов, с целью оценки характеристик исходных конфигураций mesh-сетей, а также при сравнительном анализе результатов ее решения.

Список литературы:

1. 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 до журн.: http://pt.journal.kh.ua/2011/2/1/112_lemeshko_classification.pdf.
2. 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.
3. 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 до журн.: http://pt.journal.kh.ua/2011/3/1/113_garkusha_mesh.pdf.
4. Гаркуша С.В. Анализ результатов распределения частотных каналов в многоканальных многоинтерфейсных mesh-сетях стандарта IEEE 802.11 // Цифрові технології: Зб. наукових праць. – 2011. – Вып. 10. – С. 27-42.
5. Зыков А.А. Основы теории графов. – М.: Наука, 1987. – 384 с.
6. Поповский В.В., Лемешко А.В., Евсеева О.Ю. Симплициальная модель оценки структурной сложности телекоммуникационных систем // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2003. – Вып 5 (5). – С. 48-51.
7. Лемешко А.В. Оценивание структурного разнообразия телекоммуникационных систем, представленных симплициальными моделями, по информационным показателям // Праці УНДІРТ. Випуск №2 (38). – Одеса: Видання УНДІРТ, 2004. – С. 77-79.
8. Зыков А.А. Гиперграфы // Успехи математических наук. – № 6 (180) – 1974. – С. 86-154.
9. Berge C. Graphs and Hypergraphs. – New York: Elsevier, 1973. – 528 p.
10. Berge C. Hypergraphs: The Theory of Finite Sets. – Amsterdam, Netherlands: North-Holland, 1989. – 256 p.
11. Емеличев В. А., Мельников О. И., Сарванов В. И., Тышкевич Р. И. Лекции по теории графов. – М.: Наука, 1990. – 384 с.