

Системы, сети и устройства телекоммуникаций

УДК 004.725.5

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ЗАМОЩЕНИЯ ПЛОСКОСТИ В ПРИМЕНЕНИИ К ЧАСТОТНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОМУ ПЛАНИРОВАНИЮ СЕТЕЙ IEEE 802.11

Викулов Антон Сергеевич

кандидат технических наук, инженер АО «Белтел»¹.

E-mail: asv012016@gmail.ru

Парамонов Александр Иванович

доктор технических наук, профессор кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича².

E-mail: alex-in-spb@yandex.ru

¹Адрес: 191025, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Маяковского, д. 3Б, лит. А.

²Адрес: 193232, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, пр. Большевиков, д. 22/1.

Аннотация: При частотно-территориальном планировании сетей беспроводного доступа часто нужно решать задачу, в некотором смысле обратную задаче отыскания хроматического числа плоскости, т.е., имея наперёд заданное число цветов, необходимо построить такой способ раскраски графа, который отвечал бы требованиям минимизации различного рода помех, создаваемых размещёнными в узлах графа точками доступа друг для друга. Для этого необходимо рассмотреть практически применимые случаи использования различного числа каналов в свете задачи замощения плоскости. Поскольку задача замощения пространства и плоскости подробно рассматривается в такой области знания, как кристаллография, с применением соответствующих методов описания и исследования, то удобно использовать эти методы и в данном случае. В данной работе рассмотрено частотно-территориальное планирование в сетях IEEE 802.11 с позиции дальнейшего решения задачи замощения плоскости методами комбинаторной геометрии и шаровых упаковок с учётом специфики использования спектра в данных сетях.

Ключевые слова: беспроводная сеть доступа, IEEE 802.11, помеха, мотивная единица, замощение плоскости, раскраска, частотное планирование, проектирование.

Введение

Задача Нелсона — Эрдеша — Хадвигера или иначе — задача о хроматическом числе плоскости является одной из наиболее известных в комбинаторной геометрии [1]. Она заключается в поиске минимального числа цветов, которыми возможно раскрасить плоскость так, чтобы не было двух точек одного цвета, находящихся на единичном расстоянии друг от друга. Задача была сформулирована в 40-е годы XX века, а после публикации Х.Хадвигера в 1961 году приобрела популярность в научном мире.

При столь простой формулировке эта задача по состоянию на 2020 год не решена. С самой

ее постановки было известно, что хроматическое число для плоскости находится в диапазоне $3 < n \leq 7$ [1]. Однако путём построения контрпримера в 2018 году было доказано, что $n > 4$ [2]. Известно множество работ по смежным тематикам, касающихся как хроматического числа для пространств различной размерности, так и большого количества близких задач, например, посвящённых гипотезе Борсука, задаче освещения плоскости и пр. Обзор этих работ приведён в публикациях [1, 3]. Многие из этих задач имеют огромное практическое применение в различных областях знаний.

Особым классом задач являются задачи раскраски планарного графа, т.е. графа с непересекающимися ребрами. Тут необходимо отметить «теорему четырёх красок» [4] и множество других задач. Интересно, что теорема четырёх красок была доказана через доказательство отсутствия контрпримера.

Однако в практике частотно-территориального планирования сетей IEEE 802.11 актуальным является не столько поиск хроматического числа, т.е. числа цветов (каналов), необходимых для выполнения тех или иных условий, сколько наиболее эффективное использование наперёд заданного числа цветов (каналов) с учётом специфики заданного стандарта беспроводной передачи данных. Сюда можно отнести класс задач раскраски с несколькими запрещёнными расстояниями [5] и некоторые другие.

Задача выбора каналов (частот) для различных распределённых радиосетей, например, в сотовой связи, хорошо известна и на практике обычно решается итерационными методами. Однако, при решении конкретной задачи проектирования БЛВС стандарта IEEE 802.11 часто необходимо заранее оценить возможности различных частотных планов с точки зрения достижимых скоростей передачи данных. Это полезно как при оценке применимости того или иного частотного плана для конкретных условий проектирования, так и при анализе режимов работы действующей БЛВС.

В данной работе мы рассмотрим частотно-территориальное планирование в сетях IEEE 802.11 с позиции решения задачи раскраски методами комбинаторной геометрии и шаровых упаковок, а также постараемся учесть специфику использования спектра в данных сетях.

Особенности частотно-территориального планирования сетей IEEE 802.11

Под частотным планированием в широком смысле понимается выбор номеров (центральных частот) и типов (ширины) частотных каналов с целью обеспечения радиопокрытия с заданными в задаче характеристиками [6].

Основная идея частотного планирования состоит в том, чтобы получить сплошное покрытие целевого пространства зонами покрытия точек доступа сети таким образом, чтобы точки доступа (ТД), работающие на одном канале, были максимально далеко разнесены друг от друга в пространстве. Т.е. применяется ячеистый принцип радиопокрытия, хорошо известный в сотовых сетях.

Однако, на практике часто возникают дополнительные условия. Так, например, необходимо учитывать межканальные помехи от формально (по основной части спектральной маски сигнала) непересекающихся каналов. Такие помехи всё существующее на рынке прикладное программное обеспечение для предиктивного радиомоделирования не принимает во внимание, как вносящие негативное влияние на значение отношения сигнал/шум при построении тепловых карт радиопокрытия. Однако, помехи от других точек доступа нельзя исключать из рассмотрения без оценки их влияния на результат проектирования. Кроме того, на практике имеет смысл дополнительно рассматривать возможное влияние каналов, расположенных на соседних частотах [7].

Частотные диапазоны 2,4 ГГц (ISM) и 5 ГГц (UNII) принципиально отличаются доступной шириной электромагнитного спектра, что в значительной степени влияет на частотное планирование сети. Однако, поскольку в долгосрочной перспективе не предполагается отказываться от использования диапазона 2,4 ГГц, в большинстве случаев задача радиопокрытия подразумевает, что все зоны радиопокрытия должны быть многодиапазонными.

В диапазоне 2,4 ГГц имеется только три непересекающихся канала шириной 20 МГц, доступные в большинстве регуляторных доменов: это каналы 1, 6 и 11.

С точки зрения спектрального ресурса, ограничение сверху на совокупную пропускную способность создаёт общая доступная ширина доступного спектра.

Кроме того, в диапазоне 2,4 ГГц с минимальным перекрытием спектральных масок,

возможно применение 4-канальной схемы радиопланирования. Возможность оперировать 4-канальным частотным планом с расчётом эффектов создаваемых межканальных помех рассматривалось в работе [8].

5 ГГц поддиапазоны UNII, доступные в РФ, содержат 16 каналов шириной 20 МГц. Они включают в себя 8 каналов поддиапазонов UNII-1 и UNII-2 (каналы: 36, 40, 44, 48, 52, 56, 60 и 64), а также еще 8 каналов в части поддиапазона UNII-2ext и поддиапазоне UNII-3 (каналы: 132, 136, 140, 149, 153, 157, 161 и 165) [9]. Таким образом, в отличие от диапазона 2,4 ГГц, диапазон 5 ГГц предоставляет гораздо большую полосу спектра для сетей IEEE 802.11. Это облегчает возможно большее удаление ТД, работающих на одном частотном канале и позволяет построить лучший частотный план.

Отметим, что возможна ситуация, при которой необходимо ограничиться использованием только первых 8 каналов 5 ГГц диапазона (UNII-1 и UNII-2). Причиной тому может быть необходимость обеспечить наибольшую универсальность для поддержки клиентских устройств, произведённых в других регуляторных условиях (например, в задаче построения гостиничной БЛВС) [10].

В целом, использование диапазона 5 ГГц в последнее время устойчиво нарастает и в настоящее время большинство устройств поддерживает работу на данных частотах.

Таким образом, с учётом вышесказанного мы можем определить задачи частотно-территориального планирования с позиции доступного числа конкретных каналов различных типов, которые практически имеют место в сетях IEEE 802.11.

Постановка задачи с точки зрения частотно-территориального планирования

Сделаем следующие допущения:

1. Мы имеем возможность использовать все каналы, доступные в регуляторном домене РФ.

2. Зона радиопокрытия каждой ТД на плоскости представляет собой круг.

3. Число доступных для планирования частотных каналов (цветов) равно M .

4. Используются каналы только одного типа (НТ20, VHT20, VHT40 и т. д.)

5. Радиусы R зон покрытия всех ТД равны между собой независимо от частоты и типа используемого канала.

6. Отметим, что зоны покрытия, формируемые смежными точками доступа на плоскости, на практике имеют пересечения площадей. Однако мы не будем учитывать данный факт, поскольку это не влияет на возможные решения обсуждаемой задачи. Потому будем для удобства считать, что смежные зоны покрытия точек доступа только касаются друг друга.

7. Площадь пространства, которую необходимо покрыть, много больше площади покрытия отдельной ТД. Поскольку основные трудности и наибольший интерес вызывает состояние зон покрытия внутри покрываемого пространства, а не на его краях, то будем для удобства считать покрываемое пространство бесконечным.

8. Будем считать, что переотражения сигналов в среде отсутствуют, т.е. будем рассматривать только прямое распространение сигнала.

Для диапазона ISM актуальными являются два случая — с тремя каналами (1, 6 и 11) и четырьмя каналами (1, 5, 9 и 13) [8] при ширине канала равной 20 МГц (НТ20).

В частотах диапазона UNII вариантов значительно больше. В первую очередь — это сценарий с максимальным использованием всех доступных в спектре каналов минимальной ширины. Такая задача может иметь место в случае развёртывания сети с высокой плотностью пользовательских устройств. В этом случае число каналов НТ20/VHT20, доступное в РФ на сегодняшний день, равно шестнадцати: 36, 40, 44, 48, 52, 56, 60, 64, 132, 136, 140, 149, 153, 157, 161, 165.

Обратим также внимание, что доступные в РФ 16 каналов НТ20/VHT20 в спектре 5 ГГц диапазона размещены двумя несмежными группами по 8 каналов. Однако, для случая

Таблица 1. Доступные каналы для различных частотных планов

Число каналов	Номера каналов	Типы каналов	Частотный диапазон
3	1, 6, 11	НТ20	ISM
4	1, 5, 9, 13 36+40, 44+48, 52+56, 60+64,	НТ20	ISM/UNII
7 (4+3)	36+40, 44+48, 52+56, 60+64, 132+136, 149+153, 157+161	НТ40/ВНТ40	UNII
8	36, 40, 44, 48, 52, 56, 60, 64	НТ20/ВНТ20	UNII
15 (5+5+5)	36, 40, 44, 48, 52, 56, 60, 64, 132, 136, 140, 149, 153, 157, 161		UNII
16 (8+8)	36, 40, 44, 48, 52, 56, 60, 64, 132, 136, 140, 149, 153, 157, 161, 165.	НТ20/ВНТ20	UNII

агрегированных НТ40/ВНТ40 каналов их общее число равно 7, а с учётом размещения в спектре они представлены двумя блоками по 4 и 3 канала соответственно.

В таблице 1 приведены основные доступные каналы для различных частотных планов.

Таким образом, полезными на практике будут следующие случаи:

- $M = 3$, соответствующий 3-канальному плану в ISM диапазоне;

- $M = 4$, соответствующий 4-канальному плану в ISM диапазоне, а также четырёхканальному плану с каналами типа НТ40/ВНТ40 в поддиапазонах UNII-1 и UNII-2;

- $M = 4 + 3$ для случая 7-канального плана с каналами типа НТ40/ВНТ40 с использованием всего доступного в 5 ГГц спектра, состоящего из двух несмежных участков.

- $M = 8$ для случая 8-канального плана с каналами типа НТ20/ВНТ20 в поддиапазонах UNII-1 и UNII-2).

- $M = 8 + 8$ для 16-канального плана с каналами типа НТ20/ВНТ20 с использованием всего доступного в 5 ГГц спектра);

- $M = 5 + 5 + 5$ для случая использования 15 каналов НТ20/ВНТ20 с использованием доступного в 5 ГГц спектра, кроме 165 канала;

- кроме того, полезно будет также рассмотреть еще вспомогательный случай для $M = 5$.

Отметим, что случай для $M = 16$ является в некотором роде вырожденным, поскольку с учётом канального разбиения диапазона UNII на два несмежных блока каналов, мы не имеем дела с 16 последовательными каналами.

Потому мы не будем отдельно рассматривать этот случай.

Отметим, что каналы с шириной более чем 40 МГц, т.е. каналы типов ВНТ80, ВНТ80+80 и ВНТ160 мы рассматривать не будем ввиду того, что с одной стороны их сфера применения крайне узка, а с другой — этот случай будет мало отличим на практике от планов с минимальным числом доступных каналов.

Тогда задачу можно сформулировать следующим образом. Необходимо построить такой частотный план, который будет обеспечивать:

1. Максимально плотное заполнение плоскости зонами покрытия ТД.

2. Максимально возможное удаление ТД, работающих на одном канале, друг от друга.

3. При условии выполнения пункта 2, максимально возможное удаление ТД смежных каналов друг от друга.

4. Использование, по возможности, всех доступных в рамках задачи частотных каналов.

Поскольку необходимо обеспечить максимально плотное заполнение целевой плоскости зонами покрытия, имеющими форму круга, для решения этой задачи удобно использовать аппарат шаровых упаковок. Поэтому необходимо рассмотреть ряд вопросов, связанных с плотнейшими шаровыми упаковками [11, 12].

Плотнейшие упаковки шаров в приложении к задаче раскраски плоскости.

Поскольку мы будем рассматривать не всю плоскость, а лишь её единичный элемент, то удобно воспользоваться таким понятием

из области кристаллографии, как мотивная единица.

Мотивная (элементарная) единица структуры — это группа элементов (в нашем случае — зон радиопокрытия точек доступа), связанная с каждым из узлов решетки.

Понятие мотивной единицы (в плоском случае) в некотором роде, родственно понятию покрывающей фигуры плоскости [13].

Для описания замощения плоскости удобно также использовать понятие решётки, состоящей из узлов, связанных между собой векторами трансляции. Решётка обладает трансляционной симметрией в случае, если при сдвиге на вектор трансляции изучаемые свойства остаются неизменными. В таком случае для описания всего покрываемого пространства достаточно задать решётку, определяемую векторами трансляции и состав её мотивных единиц.

Через мотивную единицу связаны понятия решётки и структуры. Решётка состоит из узлов, связанных трансляционной симметрией, а структура — из соответствующих мотивных единиц, размещённых в узлах [14].

Поэтому в дальнейшем мы будем стараться оперировать мотивными единицами, которые при отображении вдоль векторов трансляций дадут замощение плоскости.

Отметим также такое понятие, как координационное (или контактное) число (К.Ч.) — число элементов, находящихся на минимальном расстоянии от рассматриваемого элемента. При представлении структуры в виде графов, близким по смыслу термином является порядок вершины — число рёбер, инцидентных данной вершине.

Рассмотрим плоский случай. Плотнейший гексагональный плоский слой шаров представлен на рис. 1.

В плоском случае (при проекции шарового слоя на плоскость) заметим, что число «лунок» между шарами в два раза превосходит число шаров. Теперь в каждую «лунку» поместим ещё по одному шару двух различных типов, соответствующих проекциям двух дополни-

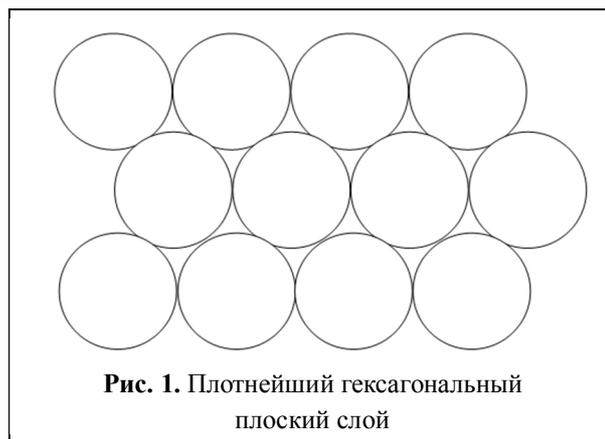


Рис. 1. Плотнейший гексагональный плоский слой

тельных слоёв в трёхмерной структуре. Видно, что получившаяся структура является горизонтальной проекцией трёхслойной плотнейшей гексагональной упаковки шаров. Поэтому, проекции соответствующих слоёв трёхмерной структуры на плоскость будем называть «слоем» (в кавычках). Таким образом, получим пропорционально (в три раза) увеличенный в масштабе плотнейший слой с шарами трёх «слоёв». При этом шары одного «слоя» находятся на максимальном удалении друг от друга.

Если каждую ТД представить вершиной, а через точки касания их зон покрытия провести рёбра между вершинами, то удобно перейти к описанию данных структур в виде графов. В описанном выше случае мы получаем горизонтальную проекцию гексагональной плотнейшей шаровой упаковки. Она приведена на рис. 2, при этом три «слоя» показаны различными цветами.

Плотнейшие трёхмерные упаковки шаров есть двух основных видов — кубическая двухслойная плотнейшая шаровая упаковка (гран-

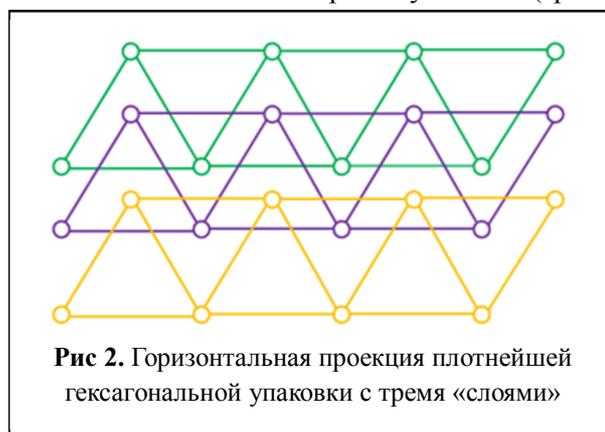


Рис. 2. Горизонтальная проекция плотнейшей гексагональной упаковки с тремя «слоями»

центрированная кубическая — ГЦК) и трёх-слойная гексагональная плотнейшая упаковка [15]. В обоих случаях используется разное чередование плотнейших гексагональных слоёв, с максимальным координационным числом в плоскости, равным 6.

Отметим, что кубическая гранецентрированная упаковка является плотнейшей для трёхмерного случая с плотностью заполнения объема 74% [15], однако соответствующая ему горизонтальная проекция для плоского случая не отвечает условиям задачи — имеет низкую плотность заполнения.

Действительно, заполняя вторым «слоем» шаров только половину из пустот между шарами первого «слоя», получаем группы шаров (отмечены красными овалами на рис. 3) одного «слоя», расположенных в близости друг от друга, не отвечающей постановке задачи.

Если же сохранять требуемые условием равные расстояния между «слоями» одного вида, то не будет выполняться условие максимальной плотности заполнения (пустоты показаны красными кругами на рис. 4).

Все прочие варианты имеют меньшее координационное число и, как следствие имеют низкую плотность заполнения плоскости. Так, например, случай для координационного числа, равного двум приведён на рис. 5.

Таким образом, в нашем случае преимуществом «трёхслойной» гексагональной упаковки является максимальное разнесение одинаковых «слоёв» на расстояние, равное расстоянию внутри «слоя». Кроме того, в данном случае выполняется условие максимальной плотности заполнения: 74% объёма для трёхмерной шаровой упаковки и 82,7% площади для отдельного слоя [15], поскольку координационное число в плоскости максимально и равно 6.

Важным условием построения такой структуры является необходимость оперировать тремя группами цветов. Далее будет показано, что число цветов в группе не имеет решающего значения. Важно лишь, чтоб число цветов во всех трёх группах («слоях») было одинаковым.

Еще одним (но не плотнейшим) важным ва-

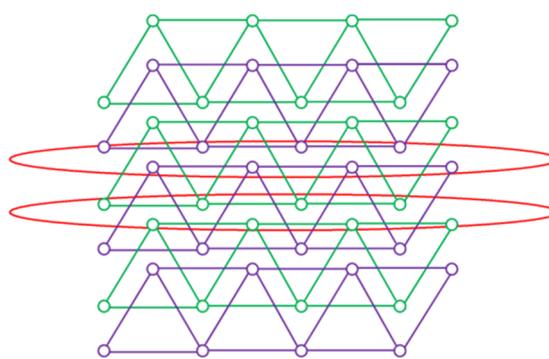


Рис. 3. Горизонтальная проекция плотнейшей ГЦК упаковки с двумя «слоями»

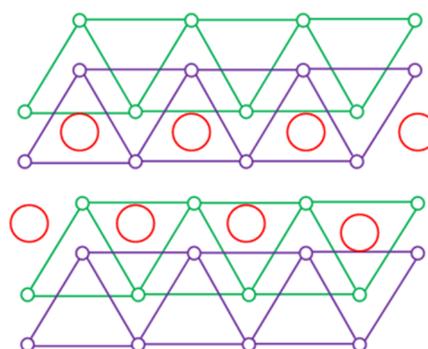


Рис. 4. Пустоты в горизонтальной проекции ГЦК упаковки с двумя «слоями»

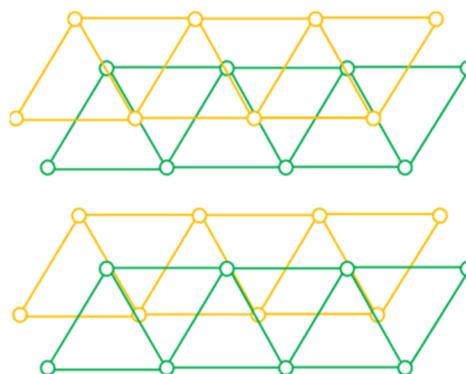


Рис. 5. Горизонтальная проекция двух «слоёв» при К.Ч. = 2

риантом упаковок является двухслойная кубическая объёмноцентрированная упаковка (ОЦК) с координационным числом в плоскости, равным 4. Соответствующий ОЦК упаковке, плоский плотный тетрагональный слой приведён на рис. 6.

Видно, что число «лунок» равно числу шаров. Тогда, если в плоском случае (при проек-

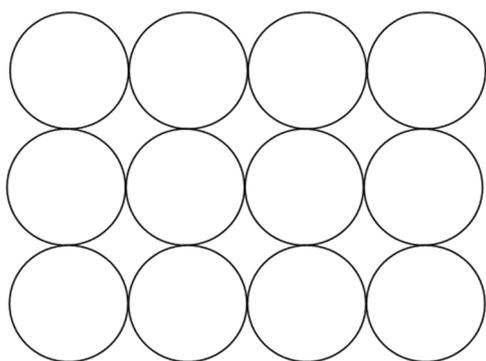


Рис 6. Плотный тетрагональный плоский слой

ции шарового слоя на плоскость) в каждую «лунку» поместить ещё по одному шару второго «слоя», то мы получим пропорционально (в два раза) увеличенную в масштабе структуру с шарами двух «слоёв». При этом шары одного «слоя» будут находиться на максимальном удалении друг от друга.

В данном случае аналогичным образом получаем структуру с двумя «слоями». Преимуществом «двухслойной» кубической упаковки является удобство построения, поскольку разбиение исходной группы каналов (цветов) на два несмежных блока удобно, и логично следует из фактического размещения каналов в частотном спектре.

Недостатком такого решения является более низкое координационное число в плоскости, равное 4. Вследствие этого данная плоская структура не является плотнейшей — трёхмерная плотность составляет 68%, а двумерная —

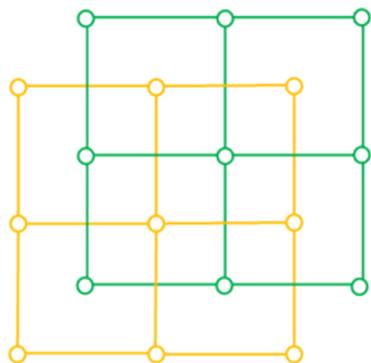


Рис. 7. Горизонтальная проекция ОЦК упаковки

78,5 % [15]. Т.е. плотность замощения на плоскости на 4,2% ниже, чем для гексагонального случая.

Таким образом, плоские решения задачи, отвечающие максимальному заполнению плоскости, могут быть двух типов:

- Проекция кубических решений в ОЦК (два «слоя») (К.Ч. = 4);
- Проекция гексагональных решений (три «слоя») (К.Ч. = 6)

Задача построения мотивных единиц ячеек

Теперь можно сформулировать требования к решению задачи построения мотивных единиц. Решение должно содержать следующие элементы:

1. Тип решётки с указанием базиса.
2. Координационное число структуры.
3. Число «слоёв» в структуре.
4. Мотивная единица для «слоя», представленная в виде графа. При этом:
 - вершинами графа являются точки доступа, формирующие соответствующие зоны покрытия;
 - число вершин графа соответствует числу имеющихся в частотном плане каналов;
 - рёбра графа соответствуют геометрически смежным зонам покрытия ТД;
 - граф должен учитывать трансляционную симметрию на плоскости и тем самым показывать взаимное влияние с аналогичными ТД соседних мотивных единиц.
5. Критерий, определяющий степень негативного влияния между точками доступа в распределённой сети.

Выводы и дальнейшая работа

В результате можно отметить, что в работе:

1. Проанализированы часто используемые каналные режимы и приведены актуальные в проектной практике сетей IEEE 802.11 частотные планы. Они характеризуются числом каналов, равным 3, 4, 7, 8 и 16. При этом важным является разделение каналов в спектре на несмежные группы.
2. Показано, что задача частотно-

территориального планирования распределённых сетей беспроводного доступа IEEE 802.11 может быть решена с позиции задачи замощения плоскости.

3. Доказана возможность описания задачи замощения плоскости с помощью аппарата шаровых упаковок и методов, применяемых при исследовании кристаллических структур.

4. Приведён анализ основных шаровых упаковок и показаны плоские решения для максимально плотного замощения плоскости для случаев координационного числа в плоскости, равного 4 и 6. Таким образом получены два основных способа решения задачи замощения, которые подлежат дальнейшему исследованию.

5. Проведённый анализ показал, что для замощения плоскости необходимо учитывать число плоских проекций слоёв трёхмерной структуры («слоёв»), а также число цветов (каналов) в их раскраске.

6. Сформулирована задача построения элементов (мотивных единиц) замощения плоскости, решения которой будут рассмотрены в дальнейшей работе.

Литература

1. Райгородский А.М. Хроматические числа. М.: Издательство Московского центра непрерывного математического образования, 2003. 52 С.
2. De Grey, Aubrey D.N.J. The Chromatic Number of the Plane Is at least 5 // *Geombinatorics*. 2018. No. 28: Pp. 5–18.
3. Райгородский А.М. Вокруг гипотезы Борсука // *Геометрия и механика*, РУДН. М. СМФН. 2007. Т. 23. С. 147–164.
4. Самохин А.В. Проблема четырех красок: неоконченная история доказательства // *СОЖ*. 2000. № 7. С. 91–96.

5. Бердников А.В. Хроматические числа графов расстояний с несколькими запрещенными расстояниями без клик заданного размера // *Проблемы передачи информации*. 2018. Т.54. № 1. С. 78–92

6. Викулов А.С., Парамонов А.И. Частотно-территориальное планирование сетей Wi-Fi с высокой плотностью пользователей // *Информационные технологии и телекоммуникации*. 2018. Т. 6. № 2. С. 35–48.

7. Aruba High Density Wireless networks for Auditoriums. VRD // *Aruba Networks*. 2010. 122 p.

8. Викулов А.С., Парамонов А.И. Исследования модели межканальной интерференции в сетях IEEE 802.11 для оценки пропускной способности // *Труды учебных заведений связи*. 2019. № 2. С. 43–48.

9. IEEE Std 802.11 – 2016. IEEE 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. Взамен IEEE Std. 802.11-2012. Введ. 2016. – Нью Йорк: Институт IEEE. 3534 с.

10. Aerohive Networks. High Density Wi-Fi Design Principles // *Aerohive Networks White Paper*. 2012. 23 p.

11. Урусов В.С., Еремин Н.Н. Кристаллохимия (краткий курс). Часть 1. М.: Издательство Московского Государственного Университета, 2004. 210 с.

12. Богдан Т.В. Описание кристаллических структур металлов в терминах шаровых упаковок и кладок. М.: Издательство Московского Государственного Университета. 2015. 29 с.

13. Бончковский Р.Н. Покрытие плоскости правильными многоугольниками // *Сборник статей по элементарной и началам высшей математики*. Матем. Просв. 1935. Вып. 3. С. 15–21.

14. Nesse D.W. Introduction to Mineralogy. Oxford University Press. 2000. 442 p.

15. Греков Ф.Ф., Рябенко Г.Б., Смирнов Ю.П. Структурная кристаллография. СПб.: Издательство Политехнического университета. 2006. 106 с.

Поступила 4 декабря 2020 г.

English

PROBLEM STATEMENT OF TILING THE PLANE FOR FREQUENCY AND AREA PLANNING OF IEEE 802.11 NETWORKS

Anton Sergejevich Vikulov — PhD, Engineer of JSC «Beltel»¹.
E-mail: asv012016@gmail.ru

Alexander Ivanovich Paramonov — Grand Dr. in Engineering, Professor, Department of Communication Networks and Data Transmission, The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications².
E-mail: alex-in-spb@yandex.ru

¹Address: 191025, Russian Federation, St. Petersburg, Mayakovskogo St., 3B, building A.

²Address: 193232, Russian Federation, St. Petersburg, Bolshhevikov Ave., 22/1.

Abstract: Frequently the problem that needs to be solved is in a way the inverse problem then finding the plane chromatic number in case of frequency and area planning of wireless access networks. I.e., having a prescribed number of colors it is necessary to work out such a graph coloring method, which would meet the requirements to minimize effects of various kinds of interference produced by access points to each other and located in graph nodes. Practicable cases of using a different number of channels for the purpose of tiling the plane should be regarded for this task. Since the problem of tiling space and plane is covered in depth in such knowledge domain as crystallography using appropriate description and research methods, it is convenient to use these methods here as well. This research paper examines frequency and area planning in IEEE 802.11 networks with regard to further solving the problem of tiling the plane using combinatorial geometry and sphere-packing methods as well as with consideration of band usage specifics in these networks. The problem of channel selection (frequencies) for various distributed radio networks, for example, in cell communications, is well known and practically is usually solved by iterative methods. However, when solving a specific problem of designing IEEE 802.11 WLAN, it is often necessary to evaluate capabilities of different frequency plans in advance in relation to attainable data transfer rates. This is useful both when evaluating applicability of particular frequency plan for specific design tasks and when analyzing operating modes of existing distributed wireless access network. This research paper considers frequency and area planning in IEEE 802.11 networks with regard to solving the problem of coloring by methods of combinatorial geometry and sphere-packing on plane, band usage specifics in these networks is taken into account as well. This research paper poses the problem of covering the plane with coverage areas of access points of IEEE 802.11 networks as particular instances of horizontal projections of sphere-packings.

Keywords: wireless access network, IEEE 802.11, interference, unit cell, tiling of the plane, coloring, frequency planning, designing.

References

1. Raigorodsky A.M. Chromatic numbers. Moscow: Publishing House of the Moscow Center for Continuous Mathematical Education, 2003. 52 p.
2. De Grey, Aubrey D.N.J. The Chromatic Number of the Plane Is at least 5. *Geombinatorics*. 2018. No. 28: Pp. 5–18.
3. Raigorodsky A.M. Around the Borsuk hypothesis. *Geometry and mechanics, RUDN*. Moscow: SMFN. 2007. Vol. 23. Pp. 147–164.
4. Samokhin A.V. The problem of four colors: the unfinished history of proof. *SOZh*. 2000. No. 7. Pp. 91–96.
5. Berdnikov A.V. Chromatic numbers of distance graphs with several forbidden distances without cliques of a given size. 2018. Vol. 54. No. 1. Pp. 78–92
6. Vikulov A.S., Paramonov A.I. Frequency-territorial planning of Wi-Fi networks with high user density. *Information Technologies and Telecommunications*. 2018. Vol. 6. No. 2. Pp. 35–48.
7. Aruba High Density Wireless networks for Auditoriums. VRD. Aruba Networks. 2010. 122 p.
8. Vikulov A.S., Paramonov A.I. Investigation of the model of interchannel interference in IEEE 802.11 networks for assessing throughput. *Proceedings of Educational Institutions of Communications*. 2019. No. 2. Pp. 43–48.
9. IEEE Std 802.11-2016. IEEE 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. Instead of IEEE Std. 802.11-2012. Introduction. 2016. New York: IEEE Institute. 3534 p.
10. Aerohive Networks. High Density Wi-Fi Design Principles. Aerohive Networks White Paper. 2012. 23 p.
11. Urusov V.S., Eremin N.N. Crystal chemistry (short course). Part 1. Moscow: Moscow State University Press, 2004. 210 p.
12. Bogdan T.V. Description of the crystal structures of metals in terms of ball packages and masonry. Moscow: Moscow State University Press. 2015. 29 p.
13. Bonchkovsky R.N. Covering the plane with regular polygons. *Collection of articles on elementary and elementary higher mathematics. Math. Pros.* 1935. Vol. 3. Pp. 15–21.
14. Nesse D.W. Introduction to Mineralogy. Oxford University Press. 2000. 442 p.
15. Grekov F.F., Ryabenko G.B., Smirnov Yu.P. Structural Crystallography. St. Petersburg: Polytechnic University Press. 2006. 106 p.