

УДК 004.725.5

М.Э. Яновский

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЯ АДАПТИВНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ ЛОКАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОГО КРИТЕРИЯ ОПТИМУМА

Рассмотрены основные алгоритмы и методы определения количества и координат местоположения точек доступа, формирующих покрытие адаптивных беспроводных локальных компьютерных сетей. Выполнен сравнительный анализ эффективности методов формирования покрытия на основании обобщенного критерия оптимума, включающего частные критерии качества обслуживания, стоимости и энергопотребления. Предложены рекомендации по выбору метода формирования покрытия в зависимости от сценариев расположения абонентов беспроводной локальной компьютерной сети.

Ключевые слова: беспроводные локальные компьютерные сети, адаптация, качество обслуживания, метод статистических испытаний, векторная оптимизация.

Введение

Задача формирования покрытия абонентов беспроводных локальных компьютерных сетей (БЛКС) является одной из наиболее приоритетных на фазе проектирования и внедрения инфраструктуры компьютерной системы. Поскольку беспроводная среда передачи данных динамична по своей природе, сетевые устройства, такие, как точки доступа (ТД), должны адаптивно реагировать на изменение ее характеристик путем регулирования собственных параметров в режиме реального времени. Все подходы в адаптации можно разделить на статические и динамические. Статические изначально основаны на концепции стационарного расположения абонентов и ТД, поэтому относятся к локальной адаптации. В случае применения динамического подхода, учитывается случайное перемещение абонентов, и используются мобильные ТД и/или ТД с динамически изменяющейся диаграммой направленности антенн. При этом ТД должны выбрать наилучшее местоположение относительно абонентов. Для реализации этих концепций в первую очередь необходимо решить проблему определения местоположения абонентов и поиска оптимального размещения ТД.

Существует достаточно большое количество алгоритмов и методов определения количества и координат местоположения точек доступа, формирующих покрытие адаптивных беспроводных локальных компьютерных сетей. Инженеры-разработчики БЛКС применяют метод, основанный на радиочастотном обследовании объекта [1]. Данный метод основан на измерении мощности сигнала и уровня соотношения сигнал/шум. При этом наиболее точные оценки можно получить при многократном воспроизведении измерений. Однако такой подход не позволяет учесть все особенности

планировки здания и расположения абонентов внутри него.

Геометрические и оптимизационные методы решают задачу формирования покрытия с помощью аппарата аналитической геометрии (например, методы Tessellation, RKC, RKC2, Greedy) и математического программирования (например, Discrete Gradient метод). Для определения позиции точек доступа используются дискретные математические модели [2 – 3]. Область покрытия разбивается на прямоугольники либо шестигранники и представляется в виде сетки. ТД помещаются в геометрические центры этих фигур. Чем меньше размер сетки, тем более достоверный результат можно получить на выходе. Однако в этом случае существенно возрастает размерность задачи. Поэтому в некоторых работах [4] отдают предпочтение непрерывным математическим моделям либо комбинации обоих методов [5].

Разработанный метод на основе интегральной оценки степени близости абонентов относительно друг друга (IPM) состоит из двух этапов. На первом этапе определяются первичные значения координат и количества активных точек доступа, формируются списки абонентов, покрываемых каждой ТД. На втором этапе выполняется процесс оптимизации покрытия с помощью алгоритмов балансировки абонентских станций между соседними ТД с учетом их загруженности, критериев качества обслуживания и эффективности потребляемой энергии. Для поиска координат местоположения активных точек на первом этапе необходимо выполнить оценку степени близости абонентов относительно друг друга с помощью интегрального параметра в качестве показателя удаленности каждой отдельно-взятой беспроводной абонентской станции от остальных.

Такое разнообразие методов не позволяет определить единый подход, которым целесообразно

руководствоваться при выборе координат местоположения и количества точек доступа, формирующих покрытие БЛКС. Кроме того, необходимо проанализировать, какой из методов наиболее эффективен для каждого конкретного сценария размещения абонентов в соответствии с заданными критериями.

Целью данной работы является оценка эффективности методов формирования покрытия беспроводной локальной компьютерной сети на основании критериев качества обслуживания, стоимости и энергопотребления, а также разработка рекомендаций по выбору соответствующего метода в зависимости от сценариев размещения абонентов.

Постановка задачи

Рассматриваемые методы позволяют определить количество точек доступа, координаты их расположения, радиусы зон обслуживания, частотные каналы и подмножество точек-абонентов, подключенное к каждой из них, для формирования адаптивного покрытия с учетом требований, предъявляемых к качеству обслуживания. Пусть S_{STA} – ограниченное множество точек-абонентов на плоскости P с координатами X_{STA}^i, Y_{STA}^i , где i – количество абонентов, $1 \leq i \leq M$. Множество S_{AP} зон покрытия $K_j, 1 \leq j \leq N$, образует покрытие множества точек S_{STA} , если каждая точка STA из S_{STA} принадлежит хотя бы одной из этих зон. В соответствии выбранному методу, определяются расположение центров ТД $C_j, 1 \leq j \leq N$, с координатами зон покрытия X_{AP}^j, Y_{AP}^j , частотные каналы F_j , подмножество точек-абонентов S_j^{STA} и радиусы зон обслуживания R_j , где $R_j \in [R_{min}, R_{max}]$, образующих покрытие множества S_{STA} :

$$S_{AP} = \{N, X_j^{AP}, Y_j^{AP}, F_j, S_j^{STA}, R_j\}.$$

В рамках данной работы ставится задача поиска согласованного оптимума при выборе метода формирования покрытия БЛКС для критериев качества обслуживания, стоимости и энергопотребления.

Поставленная задача рассматривается в двумерном пространстве, однако предлагаемый подход может быть адаптирован для n -мерного пространства. Принимается ряд допущений:

1. В качестве беспроводной абонентской станции может выступать персональный компьютер с беспроводной сетевой картой Wi-Fi 802.11 a/b/g/n/ac, ноутбук, смартфон, или любое другое устройство с возможностью подключения к беспроводной сети.

2. Точка доступа имеет всенаправленную антенну с круговой диаграммой направленности и формирует на плоскости зону обслуживания на плоскости в виде круга.

3. Для каждой точки доступа существует ограничение максимального количества $STAMax$ абонентских станций, которое может быть с ней ассо-

цировано. Это ограничение, а также минимально и максимально возможные радиусы зон обслуживания (R_{min}, R_{max}) определяются спецификацией конкретной модели точки доступа и зависят от ее характеристик и мощности сигнала.

Обобщенный критерий для сравнительной оценки методов формирования покрытия

Решение поставленной задачи сводится к оценке конкурирующих решений по частным критериям, что, в свою очередь, реализуется с помощью методов векторной оптимизации [6]. Наиболее рациональное решение выбирается исходя из матрицы векторных оценок по частным критериям и принятой системы предпочтений.

Как описано ранее, в качестве частных критериев выступают следующие:

1. Критерий качества обслуживания (QoS). На основании исследований, описанных в работе [7], данный критерий определяется в соглашении между клиентом и провайдером услуг связи (SLA). Требования к обеспечению заданного уровня качества оказания услуг абонентам можно записать в виде $QoS_{current} \geq QoS_{req}$, где $QoS_{current}$ – уровень оказания предоставляемых услуг, QoS_{req} – уровень, определенный в SLA. В качестве количественного показателя QoS в беспроводных сетях может использоваться уровень соотношения сигнал/шум (SNR). Опираясь на [7], можно выделить общую рекомендацию для минимального значения $SNR = 20$ дБ для каждого подключения и 25 дБ для осуществления аудио-, видео-звонков и работы протокола VoIP через сеть WLAN. Таким образом, критерий QoS для каждого абонента БЛКС можно свести к условию $SNR_{current} \geq 25$ дБ.

Соотношение сигнал/шум зависит от физических характеристик сигнала, который формируется при передаче данных, и параметров приемопередающих устройств. Для расчета SNR используют инженерные формулы, связывающие физические параметры ТД и абонентских станций. По известному расстоянию от ТД до абонента рассчитываются потери в свободном пространстве при передаче:

$$FSL = 33 + 20 (\lg F + \lg d),$$

где F – центральная частота канала в МГц;

d – расстояние от ТД до абонента в км.

Затем определяется мощность принятого сигнала:

$$RSSI = P_t + G_t + G_r - FSL - L,$$

где P_t – мощность передатчика ТД [dBm];

G_t – коэффициент усиления передающей антенны [dBi];

G_r – коэффициент усиления принимающей антенны абонентской станции [dBi];

L – параметр затухания сигнала в закрытом помещении, характеризующий ослабление сигнала при прохождении через препятствия и в результате отражения от стен и предметов [8].

Конечная формула для расчета соотношения уровня сигнала к уровню шума записывается в следующем виде:

$$SNR_{STA} = RSSI[\text{дБм}] - R_N[\text{дБм}],$$

где R_N – уровень шума.

2. Критерий стоимости. Данный критерий определяется количеством используемых ТД. С точки зрения стоимости, предпочтительнее тот метод, который позволяет сформировать покрытие с наименьшим количеством N точек доступа.

3. Критерий энергопотребления. Данный критерий зависит от мощности излучаемой антенны ТД: чем мощнее передающая антенна, тем больше энергии потребляет ТД. В свою очередь, уровень мощности влияет на радиус R зоны обслуживания ТД. Следовательно, на основании критерия энергопотребления, наиболее предпочтительным является метод, который формирует покрытие с минимальным значением суммы радиусов R_i зон обслуживания всех точек доступа:

$$\sum_{i=1}^N R_i \rightarrow \min.$$

Для свертки частных критериев в обобщенный критерий, предлагается принять систему предпочтений с назначением приоритетов частным критериям в том порядке, в котором они указаны выше. Тогда критерий согласованного оптимума будет определен выражением:

$$\text{opt} = \min \sum_{i=1}^N R_i(\min N(QoS_{\text{current}} \geq QoS_{\text{req}})).$$

Результаты

Для оценки конкурирующих решений по частным критериям используются различные средства: экспертные процедуры, математическое моделирование, натуральные эксперименты. В данном исследовании был применен метод имитационного моделирования с использованием утилиты Mobile Wireless Hotspot Zones Simulator. Симуляция работы БЛКС была воспроизведена десятикратно для количества абонентов $M=100$ с различными сценариями их расположения внутри здания с параметрами, указанными в табл. 1.

Выбранные параметры беспроводного оборудования соответствуют данным спецификаций моделей точек доступа и беспроводных сетевых адаптеров компаний D-Link, TP-Link и Cisco. Уровень шума от внешних источников выбран для условий работы при отсутствии микроволновых печей и радиотелефонов поблизости.

Таблица 1

Параметры симуляции

Параметр	Значение
Стандарт оборудования	802.11 n
Частотный диапазон	2,4-2,483 GHz
Коэффициент усиления антенны ТД (G_t)	5 dBi
Мощность передатчика ТД (P_t)	17 dBm
Максимальный радиус действия ТД	50 м
Максимальное число абонентов, которые могут ассоциироваться с ТД	10
Коэффициент усиления принимающей антенны абонента (G_r)	2 dBi
Коэффициент отражение от стен и предметов (L)	15 dB
Уровень шума (R_n)	90 dBm

Каждый сценарий иллюстрирует один из трех законов распределения точек-абонентов на плоскости:

- Сценарий 1: Равномерное распределение.
- Сценарий 2: Нормальное распределение.
- Сценарий 3: Распределение с использованием генератора псевдослучайных чисел.

Матрицы векторных оценок для каждого сценария представлены в табл. 2 – 4:

Таблица 2

Матрица векторных оценок. Сценарий 1

Метод/Критерий	Greedy	Tessellation	IPM	RKC2
QoS_{cp} (SNR_{cp})	≥ 25 дБ	≥ 25 дБ	≥ 25 дБ	≥ 25 дБ
N_{cp}	14	11	12	15
$(\sum R_i)_{cp}$	470	565	408	439

Таблица 3

Матрица векторных оценок. Сценарий 2

Метод/Критерий	Greedy	Tessellation	IPM	RKC2
QoS_{cp} (SNR_{cp})	≥ 25 дБ	≥ 25 дБ	≥ 25 дБ	≥ 25 дБ
N_{cp}	19	28	19	25
$(\sum R_i)_{cp}$	721	1435	696	1008

Таблица 4

Матрица векторных оценок. Сценарий 3

Метод/Критерий	Greedy	Tessellation	IPM	RKC2
QoS_{cp} (SNR_{cp})	≥ 25 дБ	≥ 25 дБ	≥ 25 дБ	≤ 25 дБ
N_{cp}	26	43	25	40
$(\sum R_i)_{cp}$	993	2200	1012	2810

Исходя из матриц векторных оценок и системы предпочтений, область Парето-оптимальных решений содержит методы:

- Tessellation и IPM для сценария 1,
- IPM для сценария 2,
- Greedy и IPM для сценария 3.

Выводы

В соответствии с критерием согласованного оптимума, наиболее рациональным является метод формирования покрытия адаптивных беспроводных локальных компьютерных сетей на основе интегральной степени близости абонентов для сценария их нормального распределения.

Методы Greedy и Tessellation эффективны, если сценарии размещения абонентов соответствуют их распределению с использованием генератора псевдослучайных чисел и равномерному распределению соответственно.

Направлением дальнейших исследований является расширение списка исследуемых методов и сценариев размещения абонентов для уточнения рекомендаций по выбору наиболее подходящего метода формирования покрытия беспроводных локальных компьютерных сетей.

Список литературы

1. Лисецкий Ю. Особенности построения современной беспроводной корпоративной сети [Текст] / Ю. Лисецкий, Н. Каревина // *International Journal "Information Technologies & Knowledge"*. – 2014. – Т. 8, № 2. – С. 141-146.
2. *Covering moving points with anchored disks [Text]* / С. Bautista-Santiago, J.M. Diaz-Banez, R. Fabila-Monroy,

D. Flores-Penaloza, et al. // European Journal of Operational Research. – 2012. – V. 216, No. 2. – P. 278-285.

3. *Kamenetsky M. Coverage Planning for Outdoor Wireless LAN Systems [Text]* / M. Kamenetsky, M. Unbehau // *IEEE International Zurich Seminar on Broadband Communications*. – 2002. – P. 491-496.

4. *Wise Design of Indoor Wireless System: Practical Computation and Optimization [Text]* / S. Fortune, D. Gay, B. Kernigban, O. Landron, et al. // *IEEE Computational Science and Engineering*. – 1995. – P. 58-68.

5. *D-Model: A New Perspective for Modeling Radio Signal Propagation in Indoor Environment [Text]* / S. Latif, B. Li, C. Rizos, A. Memon, et al. // *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. – 2011. – V. 5, No. 10. – P. 1398-1405.

6. *Лекции и учебные пособия по системному анализу – Лекция 19: Системный анализ и проектирование [Электронный ресурс]* / Е.Н. Живицкая. – Режим доступа к ресурсу: <http://victor-safronov.narod.ru/systems-analysis/lectures/zhivickaya/21.html>.

7. Яновский М.Э. Модели готовности беспроводных локальных компьютерных сетей со стационарными и мобильными точками доступа [Текст] / М.Э. Яновский, В.С. Харченко // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України*. – X.: ХНТУСГ. – 2014. – Вип. 154. – С. 89-91.

8. *A Study of Indoor Distributed Calculation Model of Mobile Communication [Text]* / Y. Zhang, W. Fang, S. Yanchun, H. Wenfeng // *Communications in Computer and Information Science*. – Springer. – 2011. – V. 243, No. 1. – P. 458-465.

Поступила в редколлегию 21.10.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.В. Горбенко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ ФОРМУВАННЯ ПОКРИТТЯ АДАПТИВНИХ БЕЗДРОТОВИХ ЛОКАЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ УЗАГАЛЬНЕНОГО КРИТЕРІЮ ОПТИМУМУ

М.Е. Яновський

Розглянуто основні алгоритми і методи визначення кількості та координат місця розташування точок доступу, що формують покриття адаптивних бездротових локальних комп'ютерних мереж. Виконано порівняльний аналіз ефективності методів формування покриття на підставі узагальненого критерію оптимуму, що включає окремі критерії якості обслуговування, вартості та енергоефективності. Запропоновано рекомендації щодо вибору методу формування покриття залежно від сценаріїв розташування абонентів бездротової локальної комп'ютерної мережі.

Ключові слова: бездротові локальні комп'ютерні мережі, бездротові точки доступу, адаптація, якість обслуговування, векторна оптимізація.

EVALUATION OF THE METHODS FOR FORMING COVERAGE OF ADAPTIVE WIRELESS LOCAL AREA NETWORKS, BASED ON THE OPTIMUM GENERALIZED CRITERION

M.E. Yanovsky

This paper discusses the basic algorithms and methods that determine the number and the location's coordinates corresponding to the access points, which form the adaptive wireless local area networks coverage. A comparative analysis was completed in order to assess the effectiveness of forming coverage methods, based on the optimum generalized criterion, which includes the criteria of quality of service, cost and energy efficiency. A number of recommendations are suggested regarding the selection of a method of forming coverage, which depend on the subscribers' placement scenarios in the wireless local area networks.

Keywords: wireless local area networks, wireless access points, adaptation, quality of service, vector optimization.