

Научная статья

УДК 621.396.49

<https://doi.org/10.25686/2306-2819.2022.3.17>

Методика первоначального планирования беспроводных Wi-Fi сетей связи в помещении

С. В. Козлов, Е. А. Спирина[✉], А. Ш. Хамитова

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ,
Российская Федерация, 420111, Казань, ул. Карла Маркса, д. 10
selenaa_kazan@mail.ru[✉]

Аннотация. В работе проводится разработка критерия, методики и алгоритма первоначального планирования Wi-Fi сетей в помещении с учётом внутрисистемных помех и характеристик помещения, заданных его трёхмерной картой. Разработанный алгоритм позволяет определить необходимое количество точек доступа и их местоположение для обеспечения связью заданного количества мобильных абонентов на обслуживаемой территории. В результате проведённого планирования показано, что параметры сети для рассмотренного случая определены за 400 итераций при коэффициенте покрытия 100 %.

Ключевые слова: беспроводные Wi-Fi сети в помещении; первоначальное планирование; внутрисистемные помехи; соканальные помехи; помехи на соседних каналах

Введение. На сегодняшний день существует ряд алгоритмов первоначального планирования Wi-Fi сетей связи в помещении [1, 2], в которых, как правило, используют упрощённые критерии и модели. В частности, делается допущение о равномерном распределении абонентов, не учитываются их индивидуальные требования, на точках доступа используется одинаковое оборудование с одинаковыми параметрами, не учитывается влияние местных предметов на распространение радиоволн, а также влияние внутрисистемных помех. Беспроводные Wi-Fi сети предполагают полное покрытие обслуживаемой территории и возможность свободного перемещения абонентов внутри этой территории, что приводит к резкому увеличению внутрисистемных помех [3] в этих сетях. В связи с этим канальные скорости передачи данных в этих сетях согласно [4] определяются отношением сигнал/помеха. При этом возникающие в сети помехи могут быть разделены на сока-

нальные помехи и помехи на соседних частотных каналах. Используемые в настоящее время методики планирования Wi-Fi сетей связи учитывают, как правило, только соканальные помехи. Однако приведённые в [5] исследования показывают значимое влияние и помех передаваемых на соседних частотных каналах. Это приводит к тому, что полученный первоначальный частотно-территориальный план сети сильно отличается от реальности, а следовательно, увеличивается нагрузка на следующий этап частотно-территориального планирования – оптимизацию параметров сети. Следовательно, актуальной задачей является разработка критерия, методики и реализующего её алгоритма первоначального планирования этих сетей с учётом вышеуказанных факторов.

Цель работы – разработка критерия, методики и реализующего её алгоритма первоначального планирования Wi-Fi сетей в помещении с учётом внутрисистемных помех и особенностей помещения.

© Козлов С. В., Спирина Е. А., Хамитова А. Ш., 2022.

Для цитирования: Козлов С. В., Спирина Е. А., Хамитова А. Ш. Методика первоначального планирования беспроводных Wi-Fi сетей связи в помещении // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2022. № 3 (55). С. 17-27. DOI: <https://doi.org/10.25686/2306-2819.2022.3.17>

Разработка критерия и методики первоначального планирования Wi-Fi сетей связи в помещении. Исходными данными для проведения первоначального планирования Wi-Fi сетей связи в помещении являются границы обслуживаемой территории S^{net} , количество абонентов (user) сети N^U , виды предоставляемых услуг (IP-телефония, интернет, цифровое телевидение и т. д.), параметры точек доступа (Access Point – AP) (используемый алгоритм приёма, частота $f_{n^{AP}}$, мощность $P_{n^{AP}}$, высота подвеса антенны $h_{n^{AP}}$, коэффициент усиления антенны $G_{n^{AP}}$). Также на обслуживаемой территории могут быть указаны места возможного расположения точек доступа.

Для построения исходного плана сети первоначально на обслуживаемой территории S^{net} необходимо построить координатную сетку с шагом Δ^{net} . Размещение AP и абонентов, а также расчёты потерь при распространении радиоволн, уровней сигналов, отношения сигнал/помеха и канальных скоростей передачи данных осуществляются только в узлах координатной сетки. Общее количество узлов координатной сетки на обслуживаемой территории S^{net} обозначим за N^P .

На основе данных о виде предоставляемых услуг и количестве абонентов необходимо провести расчёт абонентской нагрузки на сеть, определить количество и длину пакетов для каждого вида услуг и вычислить пропускную способность сети C^{net} .

В предположении, что каждая точка доступа в реальных условиях работы будет обеспечивать канальную скорость передачи данных около половины её пропускной способности $C_{n^{AP}}$, заявленной производителем, определяется минимальное количество AP, которые будут размещены на обслуживаемой территории S^{net} :

$$N^{AP} = \left\lceil \frac{2 \cdot C^{net}}{C_{n^{AP}}} \right\rceil. \quad (1)$$

Далее обслуживаемая территория S^{net} разбивается на N^{AP} одинаковых по площади участков, на каждом из которых по случайному закону размещается по одной точке доступа. В случае задания возможных мест размещения точек доступа, последние будут размещаться только в разрешённых местах, попавших в соответствующий участок.

Затем в каждой точке $n^P = \overline{1, N^P}$ обслуживаемой территории S^{net} проводится расчёт уровней сигналов P_{n^P} и канальных скоростей передачи данных V_{n^P} от всех точек доступа. Для этого передающие узлы помещаются в места расположения AP, а приёмный узел – в каждую точку обслуживаемой территории.

Применяемые в настоящее время Wi-Fi сети используют для передачи информации технологии ортогонально-частотного разделения каналов (OFDMA) и пространственного мультиплексирования за счёт использования каналов с множественным входом и выходом (MIMO). Поэтому для расчёта канальных скоростей передачи данных необходимо провести оценку комплексной матрицы $\dot{H}_{n^P n^{AP}}$ MIMO канала связи, согласно модели, предложенной в [6]. Элементы матрицы $\dot{H}_{n^P n^{AP}}$ рассчитываются на основе электронной карты обслуживаемой территории S^{net} с использованием рекомендаций МСЭ-R P.1238-10 [7] и МСЭ-R P.2040-1 [8].

Далее на основе полученной оценки комплексной матрицы $\dot{H}_{n^P n^{AP}}$, согласно [9], формируется матрица отношения сигнал/шум $\text{SNR}_{n^P n^{AP}} = \frac{1}{\sqrt{P_0}} \cdot \dot{H}_{n^P n^{AP}} \cdot \bar{P}_{n^{AP}}^{0,5}$:

$$\mathbf{SNR}_{n^P n^{AP}} = \begin{pmatrix} \mathbf{SNR}_{n^P n^{AP} 11} & \mathbf{SNR}_{n^P n^{AP} 12} & \dots & \mathbf{SNR}_{n^P n^{AP} 1N^{APA}} \\ \mathbf{SNR}_{n^P n^{AP} 12} & \mathbf{SNR}_{n^P n^{AP} 22} & \dots & \mathbf{SNR}_{n^P n^{AP} 2N^{APA}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{SNR}_{n^P n^{AP} N^{APA} 1} & \mathbf{SNR}_{n^P n^{AP} N^{APA} 2} & \dots & \mathbf{SNR}_{n^P n^{AP} N^{APA} N^{APA}} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где N^{PA} – количество антенн абонента, N^{NPA} – количество антенн точки доступа, $\vec{P}_{n^{AP}}^{0,5} = (\sqrt{P_{n^{AP} 1}}, \dots, \sqrt{P_{n^{AP} N^{APA}}})$ – вектор корней мощностей, подводимых к антеннам n^{AP} -й точки доступа, а P_0 – мощность белого гауссовского шума.

Для определения количества пространственных потоков необходимо определить ранг матрицы $\mathbf{SNR}_{n^P n^{AP}}$ с её одновременным обращением методом Гаусса – Жордана [10]. При этом для обеспечения максимальных отношений сигнал/шум $\rho_{rn^P n^{AP}}^n$ на каждой итерации $r = \overline{1, R}$ исключение Жордана выполняется над элементом матрицы $\mathbf{SNR}_{n^P n^{AP}}^r$ с максимальной нормой:

$$\begin{cases} (n^{PA}, n^{APA})_r = \arg \max_{\substack{n^{PA}=1, N^{PA} \\ n^{APA}=1, N^{APA}}} \left\{ \left\| \mathbf{SNR}_{rn^P n^{AP} n^{PA} n^{APA}} \right\| \right\} \\ \rho_{rn^P n^{AP}}^n = \left\| \mathbf{SNR}_{rn^P n^{AP} n^{PA} n^{APA}} \right\|^2 \end{cases} \quad (3)$$

В связи с наличием в беспроводных Wi-Fi сетях внутрисистемных помех каналные скорости передачи данных в этих сетях определяются отношением сигнал/помеха. Для вычисления отношения сигнал/помеха необходимо учитывать сигналы всех AP, осуществляющих передачу данных. В этом случае отношение сигнал/помеха $\rho_{irn^P n^{AP}}^{RS}$ на i -й поднесущей OFDM сигнала при передаче данных от n^{AP} -й точки доступа до точки возможного расположения абонентов n^P использованием r -го пространственного потока, на котором реализован алгоритм приёма R^S , может быть вычислено как:

$$\rho_{irn^P n^{AP}}^{RS} = \frac{\rho_{rn^P n^{AP}}^n}{1 + K_{in^P}^{NR^S} + \sum_{n'^{AP}=1}^{N^T} \rho_{rn^P n'^{AP}}^n \cdot K_{in^P n'^{AP}}^{\Sigma PR^S}}, \quad (4)$$

где $K_{in^P}^{NR^S}$ – коэффициент шума, учитывающий увеличение шума в канале связи при обработке сигнала, а $K_{in^P n'^{AP}}^{\Sigma PR^S}$ – суммарный коэффициент внутрисистемных помех, создаваемых данными, передаваемыми n'^{AP} -й точкой доступа на квадратные компоненты i -й поднесущей.

Для используемого в выпускаемом на сегодняшний день оборудовании алгоритма приёма на базе быстрого преобразования Фурье (БПФ) $R^S = F$, согласно [4] коэффициент шума $K_{in^P}^{NF} \equiv 0$, а суммарный коэффициент внутрисистемных помех $K_{in^P n'^{AP}}^{\Sigma PF}$ может быть определён как:

$$K_{in^P n'^{AP}}^{\Sigma PF} = \frac{2 \left\lfloor \frac{I^A}{2} \right\rfloor}{\pi^2} \sum_{i'=0} \frac{1}{(2 \cdot i' + c_{in^P n'^{AP}})^2}, \quad (5)$$

где

$$c_{in^P n'^{AP}} = \begin{cases} (f_{n'^{AP}} - f_{n^P}) \cdot T^S - i + 1, \\ \text{при } ((f_{n'^{AP}} - f_{n^P}) \cdot T^S + i) \bmod 2 = 0 \\ (f_{n'^{AP}} - f_{n^P}) \cdot T^S - i, \\ \text{при } ((f_{n'^{AP}} - f_{n^P}) \cdot T^S + i) \bmod 2 \neq 0 \end{cases},$$

$f_{n'^{AP}}$ – несущая частота n'^{AP} -й точки доступа, f_{n^P} – несущая частота приёмного узла в точке n^P , равная частоте $f_{n^{AP}}$ n^{AP} -й точки доступа, с которой осуществляется передача данных, а T^S – длительность OFDM символа без циклического префикса.

Канальные скорости передачи данных в условиях воздействия внутрисистемных помех согласно [9] могут быть определены на основе вычисленных по формуле (4) отношений сигнал / помеха $\rho_{irn^p n^{AP}}^F$ как:

$$V_{n^p n^{AP}} \leq \sum_{r=1}^{\min(N^{PA}, N^{APA})} \sum_{i=1}^{I^u} 2 \cdot V^{mex} \times \log_2 \left(\frac{\sqrt{\rho_{irn^p n^{AP}}^F}}{2 \cdot \text{Erf}^{-1}(P_{\max}^{Er}/2)} + 1 \right), \quad (6)$$

где $V_{n^p n^{AP}}$ – канальная скорость передачи данных n^{AP} -й точки доступа в n^p -й точке возможного расположения абонента, V^{mex} – техническая скорость передачи данных, определяемая длительностью OFDM символа T^{OFDM} , I^u – количество поднесущих, используемых для передачи данных, $\text{Erf}^{-1}(\bullet)$ – функция, обратная

функции ошибки $\text{Erf}(\rho) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_0^\rho e^{-\frac{x^2}{2}} dx$, а

P_{\max}^{Er} – максимально допустимая вероятность ошибки, равная 10^{-6} .

Для минимизации нагрузки на сеть абонент должен подключаться к точке доступа, обеспечивающей максимальное значение канальной скорости передачи данных. Номер этой точки доступа n_p^{AP} и соответствующие значения отношения сигнал/шум ρ_{n^p} и канальной скорости передачи данных V_{n^p} определяются как:

$$n_p^{AP} = \arg \max_{n^{AP}=1, N^{AP}} \{V_{n^p n^{AP}}\}, \quad (7)$$

$$P_{n^p} = P_{n^p n_p^{AP}}, \quad (8)$$

$$\rho_{n^p} = \sum_{r=1}^{\min(N^{PA}, N^{APA})} \rho_{rn^p n_p^{AP}}^n. \quad (9)$$

Если канальная скорость передачи данных V_{n^p} больше нуля, то считается, что точка возможного расположения абонентов n^p является покрытой, а если $V_{n^p} = 0$ – то нет. На основе этой информации рассчитывается коэффициент покрытия K :

$$K = \frac{N^S}{N^P}, \quad (10)$$

где N^S – количество покрытых точек возможного расположения абонентов.

Если коэффициент покрытия K равен 100 %, то считается, что задача первоначального планирования выполнена. В противном случае критерием выбора наилучшего размещения точек доступа будет лексикографический максимум величины

$$\left(K, \min_{n^p=1, N^P} (\rho_{n^p}) \right).$$

Алгоритм методики первоначального планирования бесшовных Wi-Fi сетей связи в помещении приведён на рис. 1.

Первоначально в блоке 1 осуществляется ввод исходных параметров Wi-Fi сети: границ обслуживаемой территории S^{net} , количества абонентов N^U , заданных видов предоставляемых услуг, параметров точек доступа $f_{n^{AP}}, P_{n^{AP}}, h_{n^{AP}}, G_{n^{AP}}$ и абонентов $f_{n^p}, P_{n^p}, h_{n^p}, G_{n^p}$, а также пороговое значение коэффициента покрытия K^{\min} .

В блоке 2 выполняется расчёт пропускной сети C^{net} , необходимой для предоставления абонентам заданных видов услуг.

Далее в блоке 3 согласно формуле (1) вычисляется количество точек доступа N^{AP} .

В блоках 4, 5 максимальное значение коэффициента покрытия K^{\max} и максимальное значение минимального уровня сигнала P приравниваются нулю.

Далее в блоке 6 запускается процедура разделения обслуживаемой территории S^{net} на N^{AP} одинаковых участков.

В блоке 7 переменной i , соответствующей номеру текущей итерации, присваивается значение единицы.

В блоке 8 запускается процедура размещения N^{AP} точек доступа на обслуживаемой территории по случайному закону.

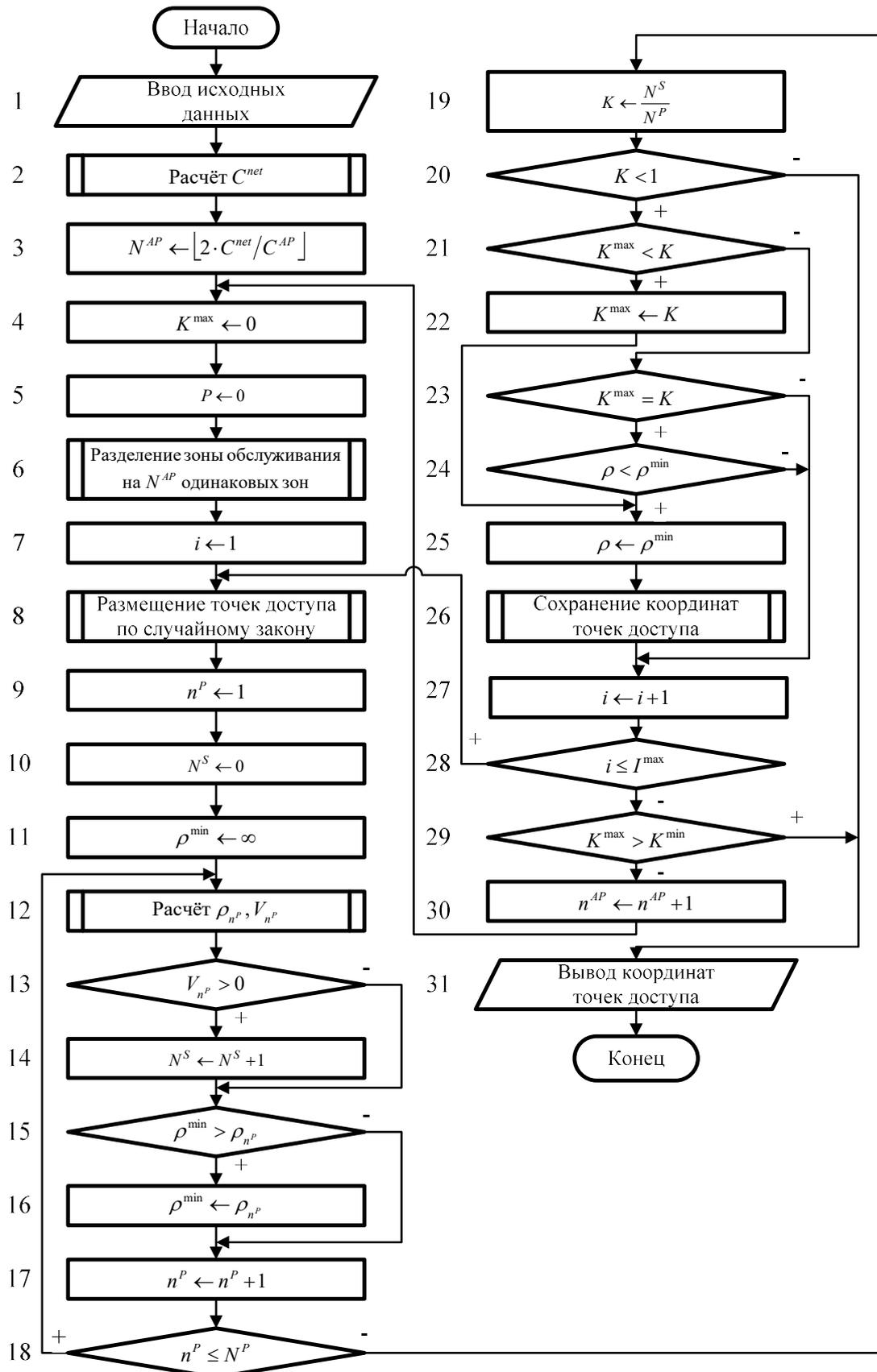


Рис. 1. Алгоритм первоначального планирования бесшовных Wi-Fi сетей связи в помещении
 Fig. 1. Initial planning algorithm for seamless indoor Wi-Fi networks

Далее для сгенерированного варианта размещения точек доступа в блоках 9 – 18 определяется количество покрытых точек N^S обслуживаемой территории S^{net} и минимальное значение отношения сигнал/шум ρ^{\min} . Для этого в каждом узле сетки на обслуживаемой территории S^{net} в блоке 12 по описанной методике с использованием выражений (2) – (10) вычисляются значения отношения сигнал/шум $\rho_{n,p}$ и канальной скорости передачи данных $V_{n,p}$.

В блоке 19 согласно выражению (10) рассчитывается коэффициент покрытия K .

Если полученное значение коэффициента покрытия K меньше единицы, что проверяется в блоке 20, то данные доставляются не до всех точек возможного расположения абонентов. В этом случае полученный коэффициент покрытия в блоке 21 сравнивается с максимальным значением K^{\max} . Если значение коэффициента покрытия K улучшилось, то его значение в блоке 22 записывается в переменную K^{\max} , в блоке 25 обновляется значение ρ , а в блоке 26 запускается процедура сохранения координат AP. В противном случае, если коэффициент покрытия K равен максимальному значению K^{\max} , что проверяется в блоке 23, то в блоке 24 значение ρ^{\min} сравнивается со значением переменной ρ . Если минимальное отношение сигнал/шум увеличилось, то в блоке 25 переменной ρ присваивается найденное значение ρ^{\min} и осуществляется переход к

блоку 26. В противном случае осуществляется переход к следующей итерации (блок 27).

Далее в блоке 28 проверяется количество выполненных итераций. Если количество итераций меньше или равно максимальному значению I^{\max} , то осуществляется переход к блоку 8. В противном случае максимальное значение коэффициента покрытия K^{\max} в блоке 29 сравнивается с порогом K^{\min} .

Если значение K^{\max} больше или равно порогу, то в блоке 31 осуществляется вывод координат AP. В противном случае количество точек доступа N^{AP} увеличивается на единицу в блоке 30 и осуществляется переход к блоку 4.

Анализ эффективности методики первоначального планирования Wi-Fi сетей связи в помещении. Анализ эффективности методики первоначального планирования Wi-Fi сетей связи в помещении проведём на примере сегмента бесшовной Wi-Fi сети стандарта IEEE 802.11ax на первом этаже 4-го общежития КНИТУ–КАИ. План этажа приведён на рис. 2.

Считается, что на этаже находится до 20 абонентов, мобильные телефоны которых поддерживают стандарт IEEE 802.11ax [11] и MIMO 2x2. Абонентам предоставляются услуги IP-телефонии и интернет. Требуемая скорость передачи данных до каждого абонента составляет 2 Мб/с. Места возможного расположения абонентов выделены на плане светло-серым цветом.

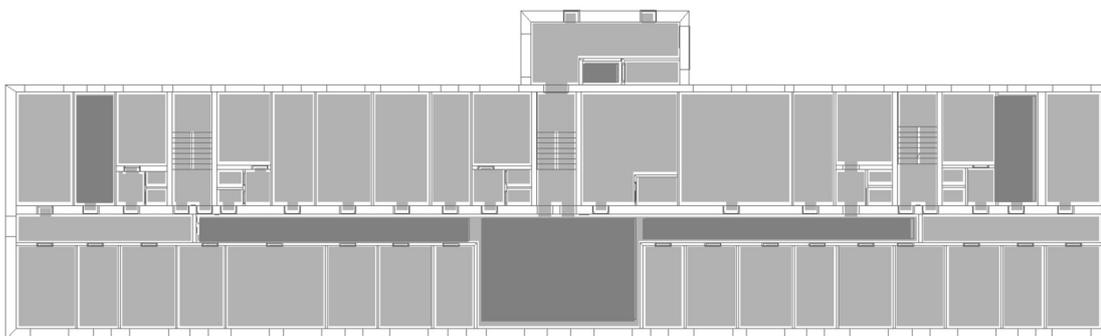


Рис. 2. План первого этажа 4-го общежития КНИТУ–КАИ
Fig. 2. Plan of the first floor of the KNRTU-KAI campus

В качестве точек доступа используется оборудование Eltex WEP-3ax [12]. Места возможного расположения AP обозначены на плане тёмно-серым цветом. Точки доступа могут использовать три частотных канала 36, 40 и 44 с полосой в 20 МГц.

Разработанный алгоритм был реализован в программном комплексе OFDM Planning [13]. В рассматриваемом примере максимальное количество итераций было задано $I^{\max}=100$, а минимальное значение коэффициента покрытия – $K^{\min} = 0,99$.

На основе данных о виде предоставляемых услуг и пропускной способности AP Eltex WEP-3ax, заявленной производителем, было получено, что для обеспечения требований абонентов по нагрузке достаточно одной точки доступа. Однако после выполнения 100 итераций, в связи

с малым значением коэффициента покрытия K^{\max} , количество AP было последовательно увеличено до четырёх.

Полученный первоначальный план сегмента Wi-Fi сети связи приведён на рис. 3. Места расположения точек доступа обозначены на рисунке белыми квадратами, а направление их секторов – чёрными линиями.

Значение коэффициента покрытия $K^{\max}= 100\%$ при минимальной канальной скорости передачи данных 8 Мб/с.

Карта канальных скоростей передачи данных представлена на рис.4.

При размещении абонентов в точках с минимальной скоростью передачи данных, согласно [2], нагрузка на сеть составит 1,87, а её пропускная способность по сети в целом 38 Мб/с.

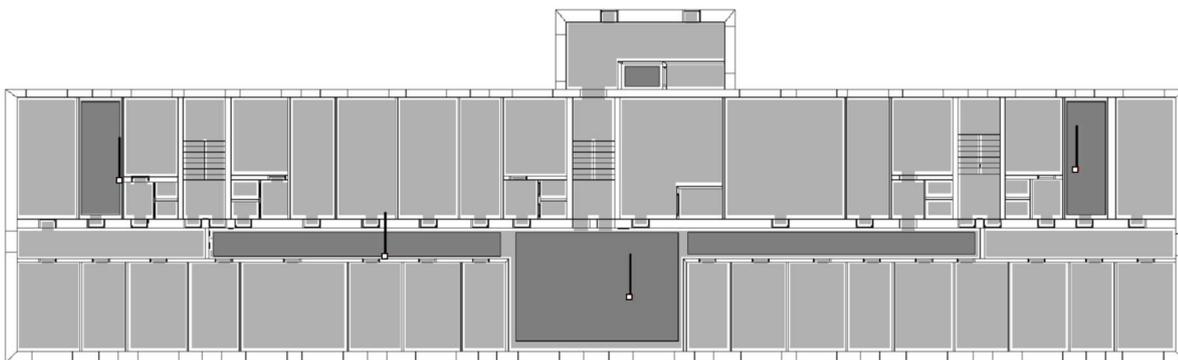


Рис. 3. Первоначальный план сегмента Wi-Fi сети связи
Fig. 3. The initial plan of the Wi-Fi communication network segment

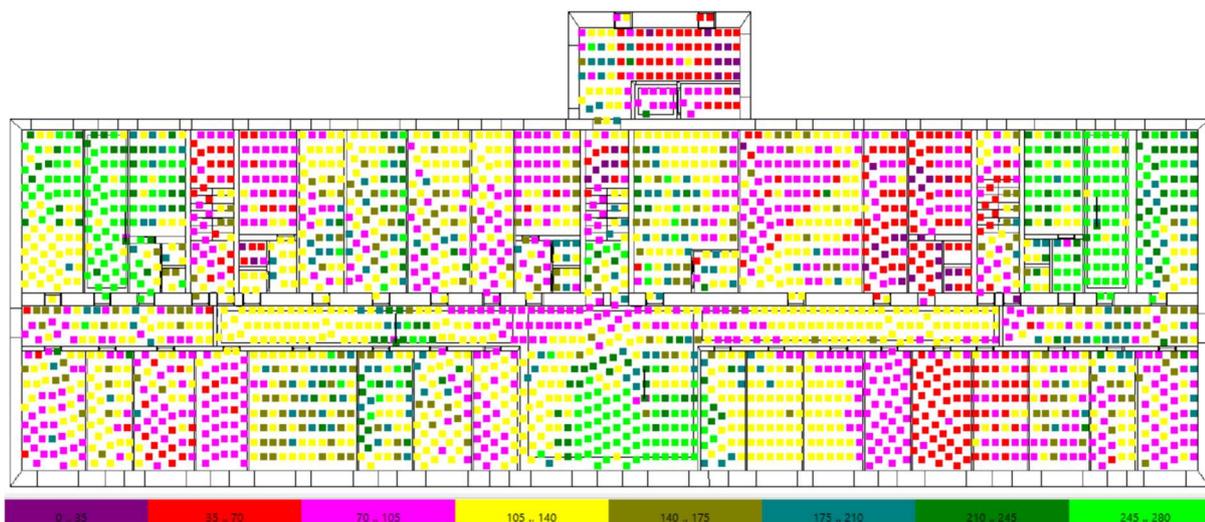


Рис. 4. Карта канальных скоростей передачи данных
Fig. 4. Data rates distribution map

Выводы. Разработаны новые критерии, методика и алгоритм первоначального планирования бесшовных Wi-Fi сетей в помещении, учитывающие внутрисистемные помехи и особенности помещения. Работоспособность разработанной мето-

дики была проверена на примере первоначального планирования сегмента Wi-Fi сети стандарта IEEE 802.11ax, для выполнения которого потребовалось 400 итераций алгоритма (8 часов компьютерного времени).

Список источников

1. Aparecium Wi-Fi Planner using Enhanced Indoor Propagation Model / A. Ghandour, J. Haydar, A. Hariri and J. Chahine // 2020 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC). 2020. Pp. 1106-1111. doi: 10.1109/IWCMC48107.2020.9148272.
2. Спирина Е.А., Козлов С.В. Анализ эффективности применения процедуры частотно-территориального планирования метода комплексной оптимизации на сегменте WI-FI сети // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2019. Т. 10. № 4. С. 42–47.
3. Гуреев А.В., Тай Зар Линн, Миронов Ю.Б. Повышение производительности мобильной беспроводной сети путем адаптации ее частотного плана // Естественные и технические науки. 2012. № 2. С. 308–310.
4. Козлов С.В. Метод оценки скорости передачи данных в каналах WI-FI сетей связи в условиях воздействия внутрисистемных помех // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов, 2020. Т. 11. № 1. С. 13–19.
5. Vintenkova Y. S., Kozlov S. V., Spirina E. A. The estimation of data transfer rates in the roadband radio access networks with collective dynamic routing // 2017 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SINKHROINFO). 2017. Pp. 1-4. doi: 10.1109/SINKHROINFO.2017.7997510.
6. Зиганшин А.А., Козлов С.В., Спирина Е.А. Оценка эффективности модели трассировки лучей при планировании MIMO систем // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2022. Т. 13. № 1. С. 18–23.
7. Рекомендация МСЭ-R P.1238-10 Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования для планирования систем радиосвязи внутри помещений и локальных зонных радиосетей в диапазоне частот 300 МГц – 450 ГГц. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1238-10-201908-S!!PDF-R.pdf
8. Рекомендация МСЭ-R P.2040-1 Влияние строительных материалов и структур на распространение радиоволн на частотах выше приблизительно 100 МГц. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.2040-1-201507-S!!PDF-R.pdf
9. Козлов С.В. Метод оценки скорости передачи данных в MIMO каналах WI-FI сетей связи // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2022. Т. 13. № 1. С. 24–30
10. Numerical Recipes in C. 2nd edition. / William H. Press, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling et al. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 994 p.
11. A Tutorial on IEEE 802.11ax High Efficiency WLANs / Evgeny Khorov, Anton Kiryanov, Andrey Lyakhov et al. // IEEE Communications Surveys and Tutorials. Firstquarter. 2019. Vol. 21, Iss. 1. Pp. 197 – 216, doi: 10.1109/COMST.2018.2871099
12. Беспроводная точка доступа WEP-3ax, техническое описание. URL: https://eltexcm.ru/assets/files/products/1357/wep-3ax_datasheet_1.6.0.pdf
13. Козлов С.В., Спирина Е.А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018617214. Программный комплекс OFDM Planning. Заявка № 2018612208; Зарегистрирован: 21.06.2018.

Статья поступила в редакцию 04.08.2022; одобрена после рецензирования 30.08.2022; принята к публикации 12.09.2022

Информация об авторах

КОЗЛОВ Сергей Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры радиоэлектронных и телекоммуникационных систем, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ. Область научных интересов – методы маршрутизации, алгоритмы обработки информации. Автор 143 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4564-0883>

СПИРИНА Елена Александровна – доктор технических наук, профессор кафедры радиоэлектронных и телекоммуникационных систем, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ. Область научных интересов – широкополосный радиодоступ, методы маршрутизации, геоинформационные технологии. Автор 117 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7547-8143>

ХАМИТОВА Ангелина Шамилевна – магистрант кафедры радиоэлектронных и телекоммуникационных систем, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ. Область научных интересов – планирование сетей связи. Автор одной научной публикации.

Вклад авторов:

Козлов С. В. – программная реализация алгоритмов; интерпретация данных.

Спирина Е. А. – концепция работы; написание и коррекция текста.

Хамитова А. Ш. – разработка алгоритма; сбор и анализ данных.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 621.396.49

<https://doi.org/10.25686/2306-2819.2022.3.17>

Initial Planning Method for Seamless Indoor Wi-Fi Networks

S. V. Kozlov, E. A. Spirina, A. Sh. Khamitova

Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI,
10, K.Marx St., Kazan, 420111, Russian Federation
selenaa_kazan@mail.ru

Key words: *seamless indoor Wi-Fi networks; initial planning; intra-system interference; co-channel interference; adjacent channel interference*

ABSTRACT

Introduction. To date, existing algorithms for the initial planning of indoor Wi-Fi networks use simplified criteria and models that do not take into account the influence of local objects on the radio waves propagation, as well as the effect of intra-system interference. This results in differences between the initial network plan and reality, and, consequently, increases the load on the next stage of planning – optimization of network parameters. Since planning indoor Wi-Fi networks requires adequate throughput estimates, the topical task is to develop a criterion, method and algorithm for initial planning, taking into account the above factors. The aim of the research was to develop a criterion, method and an algorithm for the initial planning of indoor Wi-Fi networks, taking into account intra-system interference and room's features. **The development of a criterion and method for the initial planning of indoor Wi-Fi networks.** A method is being developed for the initial planning of indoor Wi-Fi networks, according to which the network throughput is calculated based on data on the provided services type and the number of subscribers. The minimum number of access points is determined based on load requirements. The serviced territory is divided into equal sections. In each section places one access point according to a random law. To take into account intra-system interference at each service area point, an MIMO channel complex matrix is calculated, taking into account the room's characteristics, the signal-to-noise ratio matrix is formed, the number of spatial streams is determined, the signal-to-interference ratio, signal levels and channel data rates are calculated, taking into account the all access points that transmit data. To minimize the network load, the subscriber connects to an access point that provides the maximum channel data rate. The criterion for choosing the best access points placement is the coverage ratio. It is calculated as the number of possible subscribers location points, the channel data rate in which is greater than zero, to the total number of possible subscribers location points. If the coverage ratio is 100%, then the initial planning task is considered to be completed. Otherwise, the criterion for choosing the best access points placement would be the lexicographic maximum of the coverage ratio and the minimum signal-to-noise ratio. Based on the above method, an algorithm for the initial planning of seamless indoor Wi-Fi networks has been developed, which is implemented in the "OFDM Planning" software package. An analysis of efficiency of the method for the initial planning of indoor Wi-Fi networks was carried out with the use of the seamless IEEE 802.11ax network segment example on the first floor of the KNRTU-KAI campus. **Conclusions.** In this paper the criterion, method and algorithm for the initial planning of indoor Wi-Fi networks, taking into account intra-system interference and room's features were developed. Using the first floor of the KNRTU-KAI campus for testing, the initial plan of the IEEE 802.11ax network segment was completed in 400 algorithm iterations. According to this plan four access points provides the required services at all possible subscribers location points. Channel data rates distribution map has been obtained.

REFERENCES

1. Ghandour A., Haydar J., Hariri A. and Chahine J. Aparecium Wi-Fi Planner using Enhanced In-door Propagation Model. *2020 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)*. 2020. Pp. 1106-1111. doi: 10.1109/IWCMC48107.2020.9148272.
2. Spirina E.A., Kozlov S.V. Analiz jeffektivnosti primeneniya procedury chastotno-territorial'nogo planirovaniya metoda kompleksnoj optimizacii na segmente WI-FI seti [Application Efficiency Analysis of the Integrated Optimization Method Frequency-Territorial Planning Procedure on the Wi-Fi Network Segment]. *Sistemy sinhronizacii, formirovaniya i obrabotki signalov* [Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing]. 2019. Vol. 10. No 4. Pp. 42-47. (In Russ.).
3. Gureev A.V., Taj Zar Linn, Mironov Yu.B. Povyshenie proizvoditel'nosti mobil'noj besprovodnoj seti putem adaptacii ee chastotnogo plana [Improving the mobile wireless network performance by adapting its frequency plan]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and technical sciences]. 2012. No 2. Pp. 308–310. (In Russ.).
4. Kozlov S.V. Metod ocenki skorosti peredachi dannyh v kanalah WI-FI setej svyazi v usloviyah vozdeystviya vnutrisistemnyh pomeh [Data Rate Estimation Method For Wi-Fi Networks Operating Under Intra-system Interference Influence]. *Sistemy sinhronizacii, formirovaniya i obrabotki signalov* [Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing]. 2020. Vol. 11. No 1. Pp. 13-19. (In Russ.).
5. Vintenkova Y. S., Kozlov S. V., Spirina E. A. The estimation of data transfer rates in the roadband radio access networks with collective dynamic routing. *2017 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SINKHROINFO)*. 2017. Pp. 1-4. doi: 10.1109/SINKHROINFO.2017.7997510.
6. Ziganshin A.A., Kozlov S.V., Spirina E.A. Ocenka jeffektivnosti modeli trassirovki lucej pri planirovanii MIMO sistem [Assessing the Effectiveness of the Ray Tracing Model in Planning MIMO Systems]. *Sistemy sinhronizacii, formirovaniya i obrabotki signalov* [Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing]. 2022. Vol. 13. No 1. P. 18-23. (In Russ.).
7. Rekomendaciya MSE-R P.1238-10 Dannye o rasprostraneni radiovoln i metody prognozirovaniya dlya planirovaniya sistem radio-svyazi vnutri pomeshchenij i lokal'nyh zonovyh radiosetey v diapazone chastot 300 MGc – 450 GGc [Reccomendation ITU-R P. 1238-10 Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 450 GHz]. Available at: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1238-10-201908-S!!PDF-E.pdf (In Russ.).
8. Rekomendaciya MSE-R P.2040-1 Vliyanie stroitel'nyh materialov i struktur na rasprostranenie radiovoln na chastotah vyshe priblizitel'no 100 MGc. [Reccomendation ITU-R P. 2040-1 Effects of building materials and structures on radiowave propagation above about 100 MHz]. Available at: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.2040-1-201507-S!!PDF-E.pdf (In Russ.).
9. Kozlov S.V. Metod ocenki skorosti peredachi dannyh v MIMO kanalah WI-FI setej svyazi [Method for Estimating Data Rate in MIMO Channels of Wi-Fi Communication Networks]. *Sistemy sinhronizacii, formirovaniya i obrabotki signalov* [Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing]. 2022. Vol. 13. No 1. Pp. 24-30. (In Russ.).
10. William H. Press, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling et al. Numerical Recipes in C. 2nd edition. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 994 p.
11. Evgeny Khorov, Anton Kiryanov, Andrey Lyakhov et al. A Tutorial on IEEE 802.11ax High Efficiency WLANs. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*. Firstquarter 2019. Vol. 21, Iss. 1. Pp. 197 – 216. doi: 10.1109/COMST.2018.2871099
12. Eltex WEP-3ax user manual. URL: <https://docs.eltex-co.ru/display/en/WEP-3ax%2C+WEP-3ax-Z.+User+manual> (In Russ.).
13. Kozlov S.V., Spirina E.A. Programmyj kompleks OFDM Planning. Patent RF, no. 2018617214, 2018. (In Russ.).

The article was submitted 04.08.2022; approved after reviewing 30.08.2022; accepted for publication 12.09.2022

For citation: Kozlov S. V., Spirina E. A., Khamitova A. Sh. Initial Planning Method for Seamless Indoor Wi-Fi Networks. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Radio Engineering and Infocommunication Systems*. 2022. No 3 (55). Pp. 17–27. DOI: <https://doi.org/10.25686/2306-2819.2022.3.17>

Information about the authors

Sergey V. Kozlov – Doctor of Technical Sciences, professor at the Department of Radioelectronic and Telecommunication Systems of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI. Research interests – routing methods, data processing algorithms. The author of 143 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4564-0883>

Elena A. Spirina – Doctor of Technical Sciences, professor at the Department of Radioelectronic and Telecommunication Systems of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI. Research interests – wideband radio access, routing methods, geoinformation technologies. The author of 117 scientific publications. ORCID: orcid.org/0000-0002-7547-8143

Angelina Sh. Khamitova – Master student at the Department of Radioelectronic and Telecommunication Systems of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI. Research interests – planning of communication networks. The author of 1 scientific publication.

Contribution of authors:

Kozlov S. V. – software implementation of algorithms; data interpretation.

Spirina E. A. – concept of work; writing and editing.

Khamitova A. Sh. – development of the algorithm; data collection and analysis.

Authors declare that they have no conflict of interest.

All authors read and approved the final manuscript.