

УДК621.988:62-5

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ БАЗОВЫХ РАДИОСТАНЦИЙ

Абдыканаров Каныш Мухтарович

магистрант, Казахский университет технологии и бизнеса
имени К. Кулажанова, г.Астана, Казахстан

Научный руководитель: Омарова Гульмира Сеилхановна, доктор PhD

В статье рассматривается задача оптимального размещения базовых радиостанций в условиях плотной городской застройки с целью обеспечения равномерного и устойчивого радиопокрытия. Для решения этой задачи разработана математическая модель распространения радиоволн, основанная на методе конечных разностей во временной области (FDTD), а также специализированное программное обеспечение, реализованное в среде C#. Программа позволяет моделировать распространение сигнала с учётом рельефа и препятствий, таких как здания, визуализировать волновое поле в реальном времени и выявлять зоны с пониженным уровнем сигнала. Проведены численные эксперименты, подтверждающие эффективность разработанной методики. Полученные результаты демонстрируют возможность использования предложенного подхода для инженерного проектирования радиосетей нового поколения, включая 5G.

Ключевые слова: Базовая радиостанция, радиосвязь, моделирование распространения радиоволн, метод конечных разностей во временной области, оптимизация.

Введение

Базовая станция — это ключевой элемент инфраструктуры сотовой связи, представляющий собой комплекс радиопередающей и радиоприёмной аппаратуры [1].

Основная функция базовой станции заключается в организации, поддержании и управлении сеансами радиосвязи с мобильными устройствами в пределах зоны её покрытия [2]. Это включает в себя передачу и приём голосовой информации, текстовых сообщений, а также потоков данных, обеспечивающих доступ к интернету и другим цифровым сервисам. Базовая станция также осуществляет обработку сигналов, управление распределением ресурсов, контроль качества соединения, а при необходимости — переключение соединения между соседними сотами (handover).

Зона покрытия базовой станции определяется её мощностью, параметрами антенны, рельефом местности и наличием физических преград. В условиях плотной городской застройки или сложного рельефа (например, в горных районах) могут использоваться специальные схемы размещения и направленные антенны для обеспечения равномерного покрытия территории [3]. Современные базовые станции часто проектируются с учётом модульности и масштабируемости, что позволяет наращивать их возможности в зависимости от плотности трафика и технических требований [4].

Формулировка проблемы

Современные телекоммуникационные сети сталкиваются с множеством факторов, влияющих на распространение радиосигнала: плотность и высота зданий, рельеф, материалы и погодные условия. Большинство моделей планирования радиосетей упрощены и не учитывают эти параметры в комплексе. Это приводит к "мёртвым зонам", снижению надёжности и повышению затрат на ретрансляторы. Проблема заключается в необходимости точного моделирования распространения радиоволн в городской среде и нахождения оптимального размещения базовых станций [5].

Целью исследования, является улучшение качества связи, путем выбора расположения радиостанций, с учетом препятствий.

Объект исследования: обеспечения качественной связью с применением базовых радиостанций.

Предмет исследования параметры расположения базовых радиостанций для обеспечения качественной связью, с учетом препятствий.

Результаты исследования

В рамках исследования разработано специализированное программное обеспечение для моделирования распространения радиоволн методом конечных разностей во временной области (FDTD), реализованное на языке C# с визуализацией в среде Windows Forms [6]. Пользователь может загружать карту городской среды, видеть поведение сигнала в реальном времени, отслеживать затухание и интерференцию волн, а также определять зоны слабого покрытия.

Карта зданий создаётся на основе изображения из Google Maps и обрабатывается в соответствии с заданными цветами препятствий. Это позволяет адаптировать программу к различным районам и топографиям [7].

В представленной работе используется программа, которая помогает посмотреть, как примерно распространяется радиоволна от базовой станции (рисунок 1).

В первом окне программы можно увидеть, как сигнал выходит от источника и как он дальше распространяется по экрану. Там показано, куда доходит волна, где она затухает и как распространяется по разным направлениям.

Во втором окне показывается карта зданий, то есть как будто сверху сфотографировано, где находятся дома. Эта карта используется как основа, чтобы понять, где находятся преграды для радиоволн. Она загружается из файла, и на ней видно, где будут стены, которые мешают сигналу. Карта была сделана при помощи гугл мэпс (Google Maps), и она размером 512 на 512 пикселей.

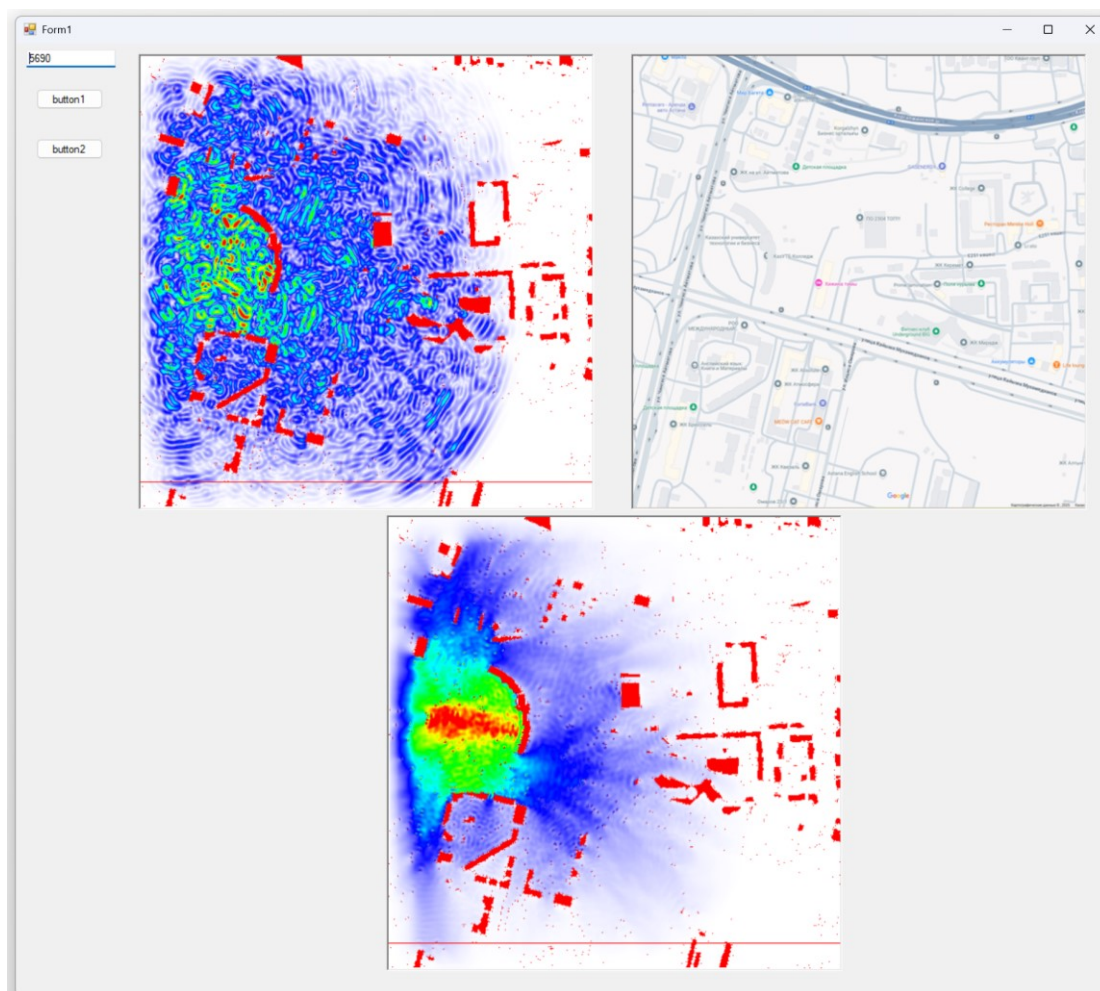


Рисунок 1 – Интерфейс программного обеспечения моделирования распространения радиоволн

На рисунке 2 представлена последовательность изображений, отражающих этапы моделирования распространения радиоволны от базовой станции в городской среде. Каждое из изображений (А, Б, В, Г) соответствует определённому моменту времени. Эти визуализации позволяют проследить, как волновой фронт взаимодействует с различными объектами застройки и как изменяется структура радиополя в процессе распространения.

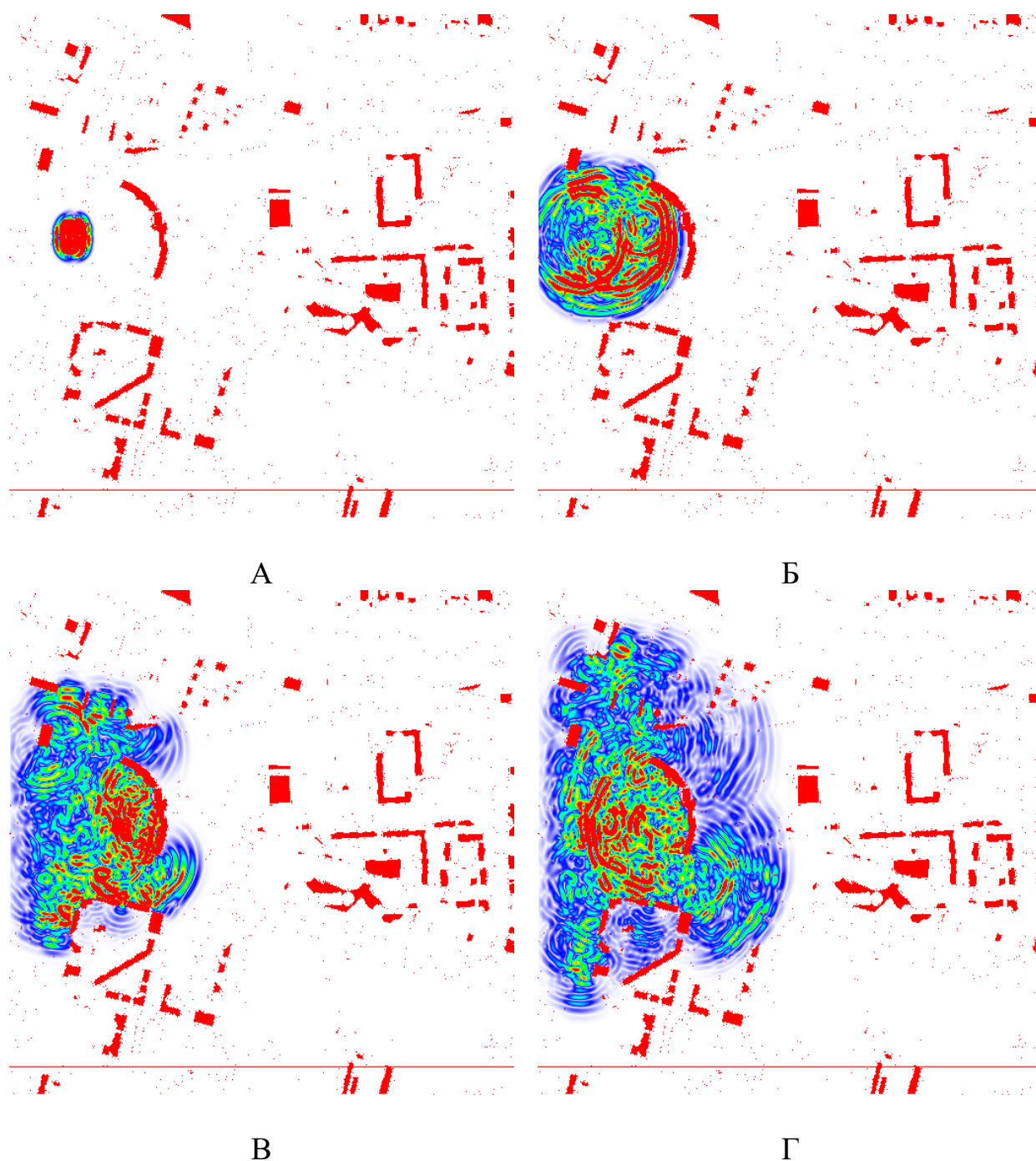


Рисунок 14 – Процесс моделирования распространения радиоволны с учетом карты расположения зданий

Заключение

В результате теоретических исследований получены следующие выводы:

В процессе моделирования распространения радиоволн в условиях городской застройки была успешно применена численная методика, основанная на методе конечных разностей во временной области (FDTD). Этот метод доказал свою высокую точность при расчётах поведения электромагнитных

волн, учитывая как неоднородности среды, так и сложную конфигурацию физических препятствий, характерных для городской инфраструктуры.

Разработанная математическая модель, основанная на системе уравнений Максвелла, была успешно реализована в программной среде, что позволило воспроизвести распространение радиоволн в двумерном пространстве. Итерационный подход, заложенный в структуру модели, обеспечил её гибкость, масштабируемость и возможность адаптации под различные условия городской среды, а также под разные конфигурации и свойства исследуемых материалов.

Разработанное в ходе исследования программное обеспечение обладает функциональностью, позволяющей в реальном времени визуализировать распространение радиоволн и наглядно оценивать влияние застройки на структуру электромагнитного поля. Пользователь может подгружать карту местности с нанесёнными препятствиями, регулировать параметры среды и сохранять полученные результаты моделирования для дальнейшего анализа или отчётности.

Анализ результатов моделирования показал, что такие физические явления, как отражение, преломление, дифракция и интерференция, оказывают значительное влияние на формирование карты радиопокрытия, особенно в условиях плотной городской застройки. Применение численного моделирования позволило выявить зоны с пониженной мощностью сигнала, а также области, в которых происходит усиление за счёт отражённых компонентов волн, что важно учитывать при проектировании радиосетей.

Список использованной литературы

1. Rappaport T.S. Wireless Communications: Principles and Practice. Prentice Hall, 2002.
2. Holma H., Toskala A. LTE for UMTS – OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access. Wiley, 2009.
3. Кочергин А.Н. Основы построения систем сотовой связи. СПб: БХВ-Петербург, 2012.
4. Goldsmith A. Wireless Communications. Cambridge University Press, 2005.
5. Taflove A., Hagness S.C. Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method. Artech House, 2005.
6. Yeh C., Shimabukuro F. The Essence of Dielectric Waveguides. Springer, 2008.
7. Мелихов Д.В., Васин А.А. Моделирование распространения радиоволн в городской среде. // Радиотехника и электроника, 2018, №6, с. 55–60.

БАЗАЛЫҚ РАДИОСТАНЦИЯЛАРДЫҢ ОРНАЛАСУЫН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Абдықапаров Қаныш Мұхтарұлы

Мақалада тығыз қалалық құрылыс жағдайында базалық радиостанцияларды оңтайлы орналастыру мәселесі қарастырылады. Бұл мәселені шешу үшін толқындардың таралуын модельдейтін математикалық модель жасалып, ол уақыт бойынша ақырлы айырымдар әдісіне (FDTD) негізделген. Сонымен қатар, C# ортасында жүзеге асырылған арнайы бағдарламалық қамтамасыз ету әзірленді. Бағдарлама сигналдың таралуын рельеф пен ғимараттар сияқты кедергілерді ескере отырып модельдеуге, толқындық өрісті нақты уақыт режимінде визуализациялауға және әлсіз сигнал аймақтарын анықтауға мүмкіндік береді. Жүргізілген сандық эксперименттер әзірленген әдістеменің тиімділігін көрсетті. Алынған нәтижелер бұл тәсілді жаңа буындағы, соның ішінде 5G желілерін жобалауда қолдануға болатынын дәлелдейді.

Кілт сөздер: Базалық радиостанция, радиобайланыс, радиотолқындардың таралуын модельдеу, уақыт бойынша ақырлы айырымдар әдісі, оңтайландыру.

OPTIMIZATION OF BASE STATION PLACEMENT

Abdykaparov Kanysh Mukhtarovich

The article addresses the problem of optimal placement of base radio stations in densely built urban environments to ensure uniform and stable radio coverage. To solve this problem, a mathematical model of radio wave propagation based on the Finite-Difference Time-Domain (FDTD) method was developed, along with specialized software implemented in the C# environment. The program enables simulation of signal propagation while accounting for terrain and obstacles such as buildings, real-time visualization of the wave field, and identification of areas with weak signal levels. Numerical experiments were conducted, confirming the effectiveness of the developed methodology. The results demonstrate the applicability of the proposed approach for engineering design of next-generation radio networks, including 5G.

Keywords: Base station, radio communication, radio wave propagation modeling, finite-difference time-domain method, optimization.

REFERENCES

1. Rappaport, T. S. Wireless Communications: Principles and Practice. Prentice Hall, 2002.
2. Holma, H., & Toskala, A. LTE for UMTS – OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access. Wiley, 2009.
3. Kochergin, A. N. Fundamentals of Cellular Communication System Design. St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2012.
4. Goldsmith, A. Wireless Communications. Cambridge University Press, 2005.
5. Taflove, A., & Hagness, S. C. Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method. Artech House, 2005.
6. Yeh, C., & Shimabukuro, F. The Essence of Dielectric Waveguides. Springer, 2008.
7. Melikhov, D. V., & Vasin, A. A. Modeling Radio Wave Propagation in Urban Environments. // Radiotekhnika i Elektronika, 2018, No. 6, pp. 55–60.