

ОПТИМИЗИРАНЕ НА РАДИОРЕЛЕЙНА ЛИНИЯ В ГЪСТОНАСЕЛЕН ГРАДСКИ РАЙОН

Тони Найденов*, Ивелина Балабанова

Технически университет – Габрово, ул. „Хаджи Димитър“ № 4, Габрово, България

*Кореспондиращ автор: tonizmei666@abv.bg

OPTIMIZATION OF A RADIO-RELAY LINE IN A DENSELY POPULATED URBAN AREA

Toni Naydenov*, Ivelina Balabanova

¹Technical University of Gabrovo, 4 Hadji Dimitar Str., Gabrovo, Bulgaria

*Corresponding author: tonizmei666@abv.bg

Abstract

The paper presents optimizing a radio-relay link in a densely populated urban area is a major challenge due to the presence of tall buildings, multiple obstacles, interference, and limited installation space. A methodology with key steps and strategies for effective optimization in such an environment is synthesized. The topographic features of the terrain and the building stock along the designed radio relay route are analyzed. An assessment of the physical conditions negatively affecting the transmission speed - interference, diffraction and refraction was conducted. The optimization of the frequency planning and placement of Base Stations is carried out by Artificial Intelligence Tools and SCADACore RF Line-of-Sight software.

Keywords: radio-relay line; urban area; design; optimization; topographic analysis.

ВЪВЕДЕНИЕ

С нарастващите нужди от високоскоростни и надеждни телекомуникационни услуги в градските райони, радиорелейните линии (РРЛ) се утвърждават като ключова част от комуникационната инфраструктура [1, 2]. Радиорелейните връзки осигуряват висока пропускателна способност, ниска латентност и възможност за бързо изграждане, особено в гъсто населени или труднодостъпни зони [3]. Въпреки предимствата си, изграждането и оптимизирането на РРЛ в градска среда поставя редица предизвикателства, свързани с интерференции, ограничения в зоните за разполагане на антени, отразяващи повърхности и други [4, 5]. Изискваните технически аспекти при проектиране и експлоатация на комуни-

кационни инфраструктури силно зависят от избора на подходящи и адаптивни подходи за оптимизиране на радиорелейни линии в урбанизирани райони, като се акцентира върху техническите, географските и регулаторните фактори [6, 7].

В доклада е извършена оптимизация на радиорелейна линия за пренос на трафични данни с ефективност на честотното планиране и разположението на базовите станции.

ИЗЛОЖЕНИЕ

❖ Основни характеристики на радиорелейните линии

Радиорелейните линии представляват безжични телекомуникационни връзки, изградени на принципа на микровълно-

вото излъчване между две или повече точки с пряка видимост. Те се използват основно за пренос на данни, глас и видео сигнали на средни до големи разстояния.

Предимства:

- Висока скорост на пренос;
- Независимост от подземна инфраструктура;
- Кратки срокове за изграждане;
- Гъвкавост при разширяване на мрежата.

Недостатъци:

- Зависимост от метеорологични условия;
- Изискване за пряка видимост;
- Чувствителност към интерференции.

Предизвикателства при изграждане на РРЛ в градска среда:

Градската среда създава специфични пречки при изграждане на радиорелейни линии, които изискват внимателно планиране и оптимизация.

❖ Географски и архитектурни ограничения

Високи сгради, хълмове и други обекти могат да препятстват пряката видимост между антените. Това налага:

- Избор на високи точки за разполагане на антените (покриви, кули);
- Използване на отражения и дифракции при необходимост;
- Изграждане на междинни ретранслатори.

❖ Интерференции

В града съществуват множество радиочестотни източници – Wi-Fi мрежи, базови станции, телевизионни и радиопредаватели. Това увеличава риска от:

- Взаимни смущения между съседни линии;
- Намаляване на качеството на връзката;
- Загуби на пакети и увеличена латентност.

❖ Законодателство и разрешителни

Инсталирането на антени изисква разрешения от местни власти, съгласуване със собственици на сгради и спаз-

ване на стандарти за електромагнитно излъчване.

❖ Методи за оптимизация

Оптимизацията на РРЛ в градски условия трябва да съчетава технически и организационни подходи, като целта е максимално качество на връзката с минимални ресурси.

❖ Радиопланиране и моделиране

- Използване на специализиран софтуер (например SCADACore RF Line-of-Sight Tool, Radio Mobile) за:
 - Симулиране на линейни трасета;
 - Преценка на пряка видимост и наличие на препятствия;
 - Изчисляване на нивата на сигнала, загуби и интерференции.

❖ Инструменти за анализ на линейната видимост

1. SCADACore RF Line-of-Sight Tool

- **Описание:** Безплатен онлайн инструмент, който позволява въвеждане на координати и височини на антените, като генерира профил на терена между двете точки.
- **Предимства:**
 - Лесен за използване без необходимост от инсталация;
 - Визуализира дали има пряка видимост между точките.
- **Ограничения:**
 - Не отчита сгради и други изкуствени препятствия.
- **Линк:** [SCADACore RF Line-of-Sight Tool](#).

2. Radio Mobile

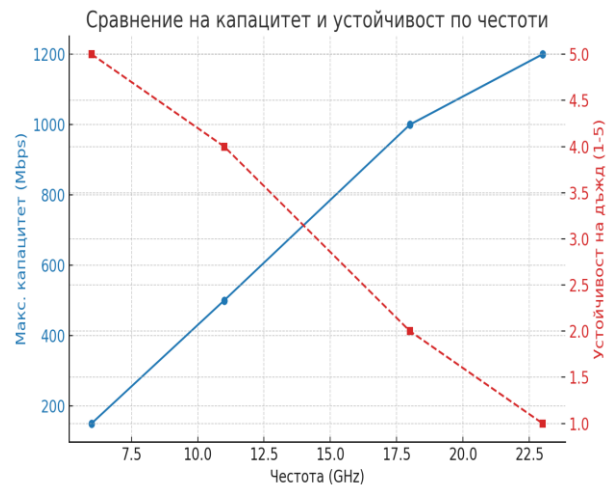
- **Описание:** Безплатен софтуер за Windows, който използва цифрови модели на терена (DEM) за симулация на радиовръзки.
- **Предимства:**
 - Позволява детайлен анализ на линейната видимост;

- Възможност за изчисление на линковия баланс и покритие.
- **Ограничения:**
 - Изисква инсталация и предварителна настройка.
- **Ръководство:** [Radio Mobile - Wireless@ICTP.](#)

❖ Избор на подходяща честотна лента

По-високите честоти (например 18 GHz, 23 GHz) позволяват по-големи скорости, но са по-чувствителни на атмосферни условия. По-ниските честоти (6–11 GHz) имат по-голяма проникваща способност и по-добро поведение при дъжд. Изборът зависи от:

- Разстоянието между точките;
- Изискванията за капацитет;
- Наличието на лицензирана честота;
- Осцилограма, сравняваща различни честотни обхвати по:
 - Максимален капацитет (в Mbps) – нараства с честотата.
 - Устойчивост на дъжд – намалява с увеличаване на честотата;
 - Тази графика е полезна за избор на честота при оптимизиране на радиорелейни линии в зависимост от нуждите за капацитет и климатичните условия.
- Необходимост от добавяне на таблица с тези стойности в техническия отчет, както и схема на примерната радиорелейна линия в градски условия?



Фиг. 1. Оценка на капацитета на устойчивостта по честотно разпределение

Таблица 1. Фактори, влияещи върху скоростта на предаване

Фактор	Влияние върху сигнала	Мерки за оптимизация
Високи сгради	Затъмнение, отражения	Избор на покриви / ретранслатори
Мобилни клетки и Wi-Fi	Интерференции	Избор на лицензирана честота, насочени антени
Метеорологични условия	Затихване	Работа на по-ниски честоти при нужда
Ограничения за монтаж	Намалена височина на антената	Използване на компактни антени с високо усилване

❖ Използване на насочени антени с висока усилвателна способност

Това минимизира разсейването на сигнала и намалява риска от външни смущения. В градска среда са предпочитани компактни антени с голям коефициент на насоченост.

❖ **Интегриране с други мрежови технологии**

РРЛ могат да се използват като резервна или допълнителна връзка към оптична мрежа, осигурявайки:

- Резервираност при отпадане на основната връзка;
- Натоварване на различни трасета;
- Възможност за бързо временно включване на нови точки.

❖ **Мониторинг и поддръжка**

Инсталиране на системи за следене на състоянието на връзките в реално време позволява:

- Бърза реакция при влошаване на качеството;
- Предиктивна поддръжка.

❖ **Казус: Оптимизиране на радиорелейна линия между две сгради в гр. Плевен**

Обобщение на маршрутната линия:

1. Начална точка

- Маня Тауър, пл. „Иван Миндиликов“ №8, Плевен;
- Координати: приблизително 43.4194° N, 24.6109° E;
- Височина на сграда: ~60 м (15 ета-жа);
- Предполагаема височина на антената: +5–10 м над покрив → общо ~70 м над терена.

2. Крайна точка

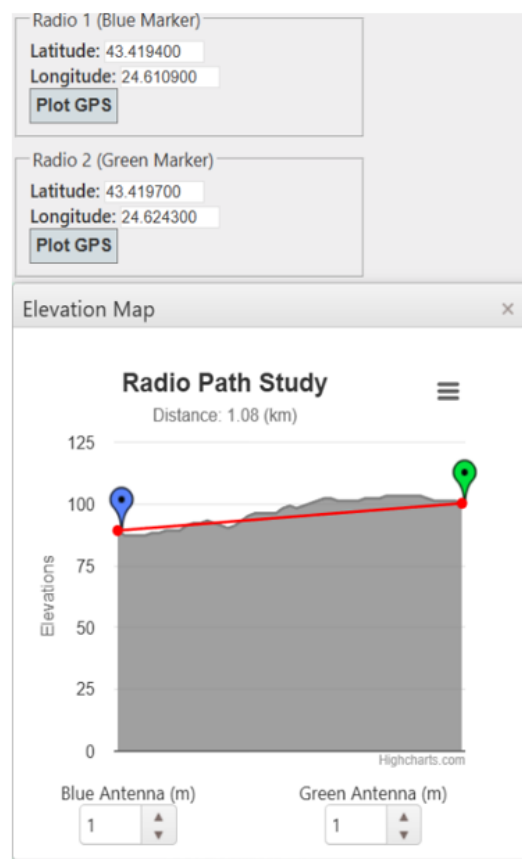
- ул. Стоян Михайловски 44А, Плевен;
- Координати: приблизително 43.4197° N, 24.6243° E;
- Жилищен блок, приблизителна височина: ~20 м;
- Предполагаема височина на антената: ~25 м.

Основен анализ на линейната видимост (Line-of-Sight – LoS):

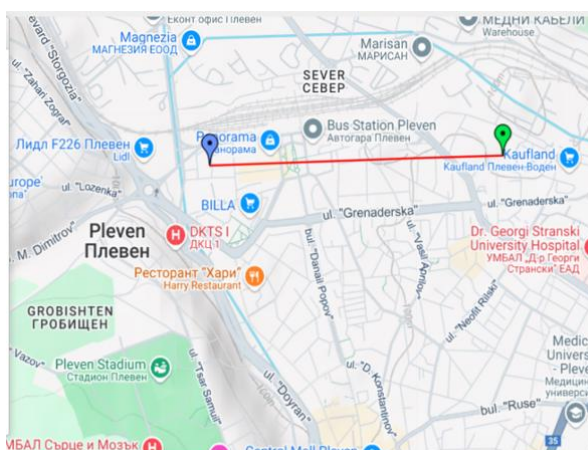
1. Разстояние между точките

- Разстояние по права линия: приблизително 1.1 км;
- В такъв мащаб, кривината на Земята е пренебрежима;
- Видимостта зависи главно от:

- Постройки по пътя (други блокове/сгради);
- Дървета и улична растителност;
- Точна височина на антените.



а)



б)

Фиг. 2. Топографски профил на оптимизираното трасе – а) спецификация и б) топографски изглед

Предприети действия:

- Използване на ретранслатор на по-крива на трета сграда
- Избор на честота 5 GHz заради добрия баланс между капацитет и устойчивост на смущения
- Монтаж на параболични антени с усиление над 30 dBi
- Въвеждане на автоматичен мониторинг на качеството на сигнала

Резултати:

- Постигане на капацитет от 1 Gbps;
- Надеждност над 99.9% при годишна статистика.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оптимизирането на радиорелейна линия в градски условия изисква комплексен подход, включващ технологични, планиращи и административни мерки. С подходящо планиране и използване на съвременни решения, РРЛ могат да осигурят бърза и надеждна комуникационна връзка дори в най-сложните урбанизирани райони. Те представляват стратегически инструмент за развитието на съвременната комуникационна инфраструктура, особено при необходимост от бързо изграждане и висока степен на гъвкавост.

Публикацията е финансирана по проект „Изследване на преносната среда и мо-

делиране на бизнес процеси на проекти с Машинно обучение в комуникациите“.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] V. Padole, P. Nikam, N. Shete, N., Mane, R. Tale, K. Bobade, and K. Mishra, “Techniques of artificial intelligence”. YMER Journal, vol. 21, pp. 243-257, October 2022.
- [2] Vashishth, T., Sharma, V., Kumar, B., & Chaudhary, S., “Artificial Intelligence-Enabled Traffic Optimization: A Comprehensive Survey”. Journal of Industrial Engineering, 52(5), pp. 26-34, 2023.
- [3] Guo, A., & Yuan, Ch., “Network Intelligent Control and Traffic Optimization Based on SDN and Artificial Intelligence”. Electronics journal, 10(6), pp. 1-20, 2021.
- [4] Faouri A., Kasar P., “Book: Classical Optimization Techniques”. Science & Engineering Research, pp. 301-323, 2023.
- [5] Dieterich J., harke B., “Empirical review of standard benchmark functions using evolutionary global optimization”. Applied Mathematics journal, 03(10), pp. 71-82, 2012.
- [6] A. Avramova, H. Christiansen, and V. Iversen, “Cell deployment optimization for cloud radio access networks using teletraffic theory”. IEEE, Proc. of INFOCOMP, pp. 1-6, 2015.
- [7] Yang X., “Ten new benchmarks for Optimization”. Springer Tracts in Nature-Inspired Computing, pp. 19– 32, 2023.