

УДК 004.9

Мухін В.Є., д.т.н.; Корнага Я.І., к.т.н.;
Яковлєва А.П., к.ф.-м.н.; Горбунов Я.Є., студент

ПІДХІД ДО ТЕРИТОРІАЛЬНОГО РОЗМІЩЕННЯ ВИШОК МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Mukhin V.Ye, Kornaga Ya.I., Yakovlyeva A.P., Gorbunov Ya.Ye. The approach to the spatial location of cell towers. The constant increase in the number of mobile clients in the telecommunications companies leads to the necessity to get the optimal placement of the cell-towers in the big cities which take into account the territory specifics, i.e. location of buildings. At this time, the 5G is brand new technology, which operates on the basis of Multiple Input Multiple Output and allows transfer the data with rate up to 7.5 Gbit/s. The increasing the data rate transfer in the Internet results in the frequency increasing of the signal transfer, which reduces the range of repeaters placement. Therefore, there is a need to solve the problems related to the placement of cell-towers in a particular restricted area, such as areas in the big cities, to ensure the permanent access to mobile devices and mobile Internet nodes. In the paper is suggested the approach to perform the placement of cell-towers that allows to coordinate the optimal placement of towers, and taking into account the territorial specifics of cities.

Keywords: mobile communication, mobile Internet, placement of cell-towers, 5G technology, estimation of the mobile client number.

Мухін В.Є., Корнага Я.І., Яковлєва А.П., Горбунов Я.Є. Підхід до територіального розміщення вишок мобільного зв'язку. В роботі розроблено підхід до розміщення вишок мобільного зв'язку, який дозволяє отримати оптимальні координати розміщення вишок з врахуванням територіальної особливості населених пунктів. Показано, що при застосуванні запропонованого підходу задачі оптимального розміщення вишок є важливим елементом в системі прийнятті рішень щодо вибору об'єктів для встановлення вишок.

Ключові слова: мобільний зв'язок, мобільний Інтернет, розміщення вишок, технологія 5G, розрахунок кількості абонентів

Мухин В.Е., Корнага Я.И., Яковлева А.П., Горбунов Я.Е. Подход к территориальному размещению вышек мобильной связи. В статье разработан подход к размещению вышек мобильной связи, который позволяет получить оптимальные координаты размещения вышек с учетом территориальной особенности населенных пунктов. Показано, что при применении предложенного подхода задача оптимального размещения вышек является важным элементом в системе принятия решений по выбору объектов для установления вышек.

Ключевые слова: мобильная связь, мобильный Интернет, размещение вышек мобильной связи, технология 5G, расчет числа абонентов

1. Вступна частина. Постановка задачі дослідження

З розвитком нових радіотехнічних технологій відбувається і розвиток мобільного зв'язку, що призводить до потреби у розвитку обладнання ретрансляторів та заміни класичного кабельного з'єднання на бездротове. Це стає також можливим завдяки винаходу нових способів передачі сигналу, а саме завдяки технології 4G та новій технології 5G, яка проходить випробування та показує швидкість передачі інформації до 7,5 Гбіт/с, що в порівнянні з звичайним дротовим з'єднанням (twisted pair), є більшою в кілька разів [1-3]. Звідси виникає багато задач які пов'язані з розміщенням ретрансляторів на території великих міст для забезпечення повноцінного доступу до мобільного зв'язку та мобільного Інтернету.

В зв'язку з тим, що з кожною новою технологією зменшуються радіус дії ретранслятора (вишки мобільного зв'язку) [3-5] потрібно вирішувати задачі покриття території вишками та заміни проводового з'єднання на безпроводове, а саме:

1. Визначити кількість абонентів мобільного зв'язку та кількість комп'ютерів, які потрібно підключити до Інтернету, на відповідній території.
2. Визначити кількість вишок мобільного зв'язку для підключення всіх абонентів мобільного зв'язку та кількість комп'ютерів, які потрібно підключити до Інтернету.
3. Розташувати вишки мобільного зв'язку відповідно до розміщення абонентів та кількості комп'ютерів, які потрібно підключити до мережі Інтернет, на певній території, яка менша ніж радіус її дії.

4. Розташувати вишки мобільного зв'язку відповідно до розміщення абонентів та кількості комп'ютерів, які потрібно підключити до Інтернету, на певній території з урахуванням особливостей місцевості.

5. Заповнити вишками мобільного зв'язку відповідну територію.

2. Розрахунок кількості абонентів

На території міста користувачі мобільного зв'язку діляться на три частини:

1. Абоненти, які переміщуються по території (мобільні абоненти).

2. Абоненти, які не переміщуються по території (статичні абоненти).

3. Стаціонарні комп'ютери, які через відповідні пристрої (модеми, роутери) підключаються до ретрансляторів мобільного Інтернету.

Для спрощення обчислень будемо рахувати, що кількість абонентів, які переміщуються по території значно менша в порівнянні з іншими категоріями. Позначимо кількість абонентів, які розміщені на певній території K_a та кількість комп'ютерів - K_k , а площу території через S , тоді кількість підключень K_{Π} до ретрансляторів на одиниці території, яку може покрити одна вишка мобільного зв'язку, що працює за відповідною технологією та використовує відповідні підсилювачі буде:

$$K_{\Pi} = \frac{K_a + K_k}{S}. \quad (1)$$

3. Розрахунок кількості вишок мобільного зв'язку

В зв'язку з тим, що територіальна область дії вишки визначена колом радіусу r , але покрити площу колами без їхнього пересікання неможливо, тому потрібно покривати площу квадратами, вписаними в коло (рис. 1).

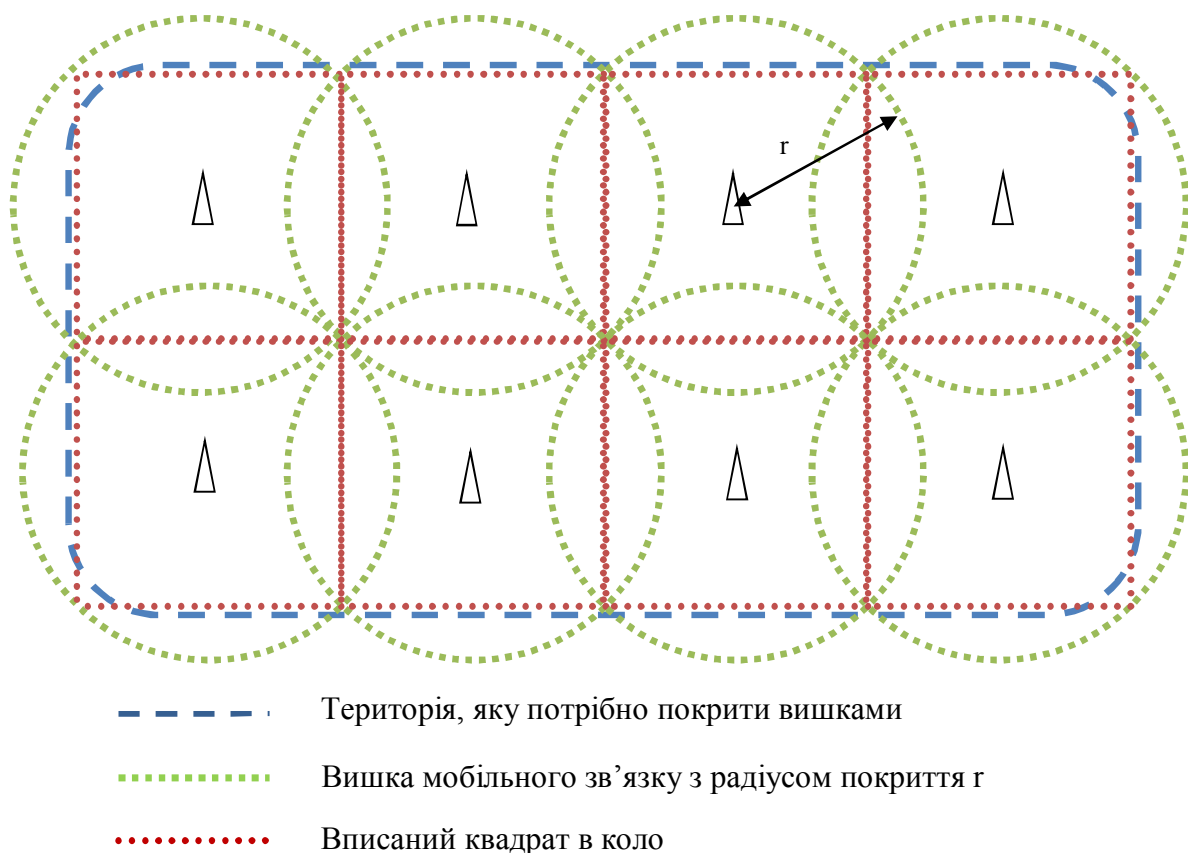


Рис. 1. Розташування вишок радіусу r на відповідній території

Сторона такого квадрата буде дорівнювати:

$$l = \sqrt{(r^2 + r^2)} = \sqrt{2r^2} = \sqrt{2}r, \quad (2)$$

тоді відповідно площа такого квадрата, вписаного в коло:

$$S_k = \sqrt{2}r * \sqrt{2}r = 2r^2. \quad (3)$$

Звідси розрахунок кількості вишок, які потрібні для того, щоб покрити повністю територію розраховується за формулою:

$$K_B = \frac{S_k}{S} = \frac{2r^2}{S}. \quad (4)$$

Параметр K_B дасть нам можливість знайти кількість вишок для покриття території з площею S , але без врахування розміщення абонентів та комп'ютерів на ній.

4. Розташування вишки мобільного зв'язку

Для розв'язання задачі розташування вишки мобільного зв'язку відповідно до розміщення абонентів на певній території, яка менша за її радіус дії r , що зводиться до розв'язання задачі знаходження рівновіддаленої точки на еліпсоїді (рис. 2).



Рис. 2. Розташування вишки для рівновіддалених точок

Дана задача є задачею умовної оптимізації. Вона формулюється таким чином [6, 7]:

Нехай x^i , де $i=1,2,\dots,m$ – координати розміщення клієнтів мобільного зв'язку на певній території та $x^i = (x_1^i, x_2^i)$, де $(i = \overline{1, m}) \in R^2$ належить з наступною умовою [6,7]:

$$D = \left\{ x^0 \in R^2 : \frac{x_1^2}{a_1^2} + \frac{x_2^2}{a_2^2} \leq 1, a_i \in R \right\}. \quad (5)$$

Необхідно знайти точку розміщення вишки мобільного зв'язку $x^0 \in R^2$ таку, що наступна функція $f(x) = \sum_{i=1}^m \|x^0 - x^i\|^2$ прямує до мінімуму [6,7].

В зв'язку з тим, що сигнал від вишок мобільного зв'язку розповсюджується у всі сторони однаково, то еліпсоїд який відповідає покриттю сигналом перетворюється на коло, тобто $a_1 = a_2 = 1$ та $D = \{x^0 \in R^2 : x_1^2 + x_2^2 = 1\}$. Дана задача має аналітичний розв'язок та формулюється так:

$$f(x) \rightarrow \min, g(x) = \|x\|^2 - 1 = 0. \quad (6)$$

Функція Лагранжа дає умову стаціонарності [6,7], з якої випливає, що:

$$x^0 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x^i, \|x^0\|^2 = 1.$$

Таким чином точка мінімуму, тобто точка розміщення вишки мобільного зв'язку, знаходиться як:

$$y^0 = \frac{x^0}{\|x^0\|}, \text{ де } \|x^0\| = \sqrt{(x_1^0)^2 + (x_2^0)^2}. \quad (7)$$

Ця задача з обмеженнями (1) може бути розв'язана за допомогою чисельних методів таких як, зокрема, метод проекції градієнту або метод штрафних функцій [6-8].

Але дана задача не вирішує проблеми, коли в точці $x^0 \in R^2$ не можливо розмістити вишку мобільного зв'язку, адже вишки в міській смузі можна розміщувати на будівлях, а як показує рисунок 3, ми не можемо на вулиці розмістити вишку.

5. Розташування вишки мобільного зв'язку з урахуванням місцевості

Для коректного розміщення вишок мобільного зв'язку крім попередньої задачі треба ще вирішити задачу розміщення на відповідній території (на будівлях). Для цього розв'язується задача розташування вишки мобільного зв'язку відповідно до розміщення абонентів та кількості комп'ютерів, які потрібно підключити до Інтернету, на певній території, яка менша чим радіус її дії, а потім ставиться додаткова умова:

$$D = \{x^0 \in R^2 : x_1^2 + x_2^2 = 1, L(x^0, z^i) \rightarrow \min\}, \quad (8)$$

де $z^i, i=1,2,\dots; k$ – точка розміщена на будівлі; $z^i \in R^2, z^i \in Z^2$ (Z^2 – множина точок на будівлях) (рис. 3).



Рис. 3. Зміщення вишки для рівновіддалених точок на будівлю

Коли відбувається зміна розташування вишки, то в території виникають “мертві зони” (зони в яких немає покриття). Для покриття цих зон потрібно встановлювати додаткові вишки мобільного зв'язку. Існують два способи розміщення таких вишок:

1. Розміщення вишок для покриття “мертвих зон”.
2. Зміна початкового розподілу територій у відповідності до розміщення об'єктів (будівель) на них.

Другий спосіб розміщення потрібно розглядати окремо, в зв'язку з необхідністю врахування нових підходів щодо розташування вишок мобільного зв'язку.

6. Висновки

В статті розроблено підхід до розміщення вишок мобільного зв'язку, який дозволяє отримати оптимальні координати розміщення вишок з врахуванням територіальної особливості населених пунктів (розміщення будівель) та радіусу дії вишок. Показано, що при застосуванні запропонованого підходу задачі оптимального розміщення вишок є важливим елементом в системі прийняття рішень щодо вибору об'єктів (будівель) для встановлення вишок.

Література

1. Agyarong P.K. Design Considerations for a 5G Network Architecture / P.K. Agyarong, M. Iwamura, D. Staehle, W. Kiess, A. Benjebbour // IEEE Communications Mag. – 2014. – №4.
2. Kishiyama Y. Future Steps of LTE-A: Evolution toward Integration of Local Area and Wide Area Systems / Y. Kishiyama // IEEE Wireless Communication. – 2013. – № 20. – PP. 12-18.
3. Larsson E.G. Massive MIMO for Next Generation Wireless Systems / E.G. Larsson. – 2013.
4. Fettweis G.P. A 5G Wireless Communications Vision / G.P. Fettweis // Microwave J. – 2012.
5. Fodor G. Design Aspects of Network Assisted Device-to-Device Communications / G. Fodor // IEEE Commun. Mag. – № 50, 2012. – PP. 170-177.
6. Васильев В.В. Численные методы решения экстремальных задач / В.В. Васильев. – Москва: Наука, 1980. – 578 с.
7. Зайченко Ю.П. Дослідження операцій / Ю.П. Зайченко. – Київ, 2001. – 688 с.
8. Бабина О.И. Разработка оптимизационной имитационной модели для поддержки процессов планирования складских систем / О.И. Бабина // Компьютерное исследование и моделирование. – 2014. – №2. – С. 295-307.

Автори статті

Мухін Вадим Євгенійович – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри обчислювальної техніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ. Тел. +380 (67) 508 76 84. E-mail: v_mukhin@mail.ru.

Корнага Ярослав Ігорович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної кібернетики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ. Тел. +380 (99) 224 65 15. E-mail: slovyan_k@ukr.net.

Яковлєва Алла Петрівна – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри математичних методів та системного аналізу, Інститут прикладного та системного аналізу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», Київ.

Горбунов Ярослав Євгенович – студент факультету інформатики та обчислювальної техніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», Київ.

Authors of the article

Mukhin Vadym Yevgeniyovych – doctor of science (technical), professor of computer engineering department, National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”, Kyiv. Tel. +380 (67) 508 76 84. E-mail: v.mukhin@kpi.ua.

Kornaga Yaroslav Igorovych – candidate of science (technical), associate professor of technical cybernetics department, National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”, Kyiv, Tel. +380 (99) 224 65 15. E-mail: slovyan_k@ukr.net.

Yakovleva Alla Petrivna – candidate of science (physics-mathematics), associate professor, associate professor of mathematical methods and system analysis, Institute of Applied System Analysis of National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”, Kyiv.

Gorbunov Yaroslav Yevgeniyovych – student of faculty of informatics and computer technic, National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”, Kyiv.

Дата надходження в редакцію: 25.01.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. В.Г. Сайко