

УДК 621.391.812/004

DOI: 10.33310/2524-0978-2019-1-7-41-45

Артем КУЛІШ

dnu_ffeks_kt-15-1-06@ukr.net

ORCID: 0000-0003-2458-1084

Валерій БОНДАРЕНКО

bondarenkoval@ukr.net

ORCID: 0000-0002-9389-3084

м. Дніпро

ІНФОРМАЦІЙНО-ГЕОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОКРИТТЯ БЕЗДРОТОВИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ

Розроблено інформаційно-геометричну модель енергетичного покриття бездротових (мобільних) систем зв'язку, на основі якої запропоновано метод оптимізації взаємного просторового розташування станцій зв'язку за критерієм мінімізації енергетичних втрат сигналу на трасі його поширення.

Ключові слова: ізолінія, ізоконтур, енергетичні втрати, нелінійне програмування.

Постановка проблеми

Оцінка енергетичних характеристик сигналів у бездротових системах зв'язку має принципову значущість для їхнього проектування, здійснюється за емпіричними моделями поширення сигналів, які орієнтовані на доволі загальні умови свого застосування. Але жодна з цих моделей не забезпечує визначення параметрів взаємного просторового розташування базової та мобільних станцій зв'язку, оптимальних за критерієм мінімізації енергетичних втрат сигналу на трасі його поширення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Натепер розроблена низка емпіричних моделей каналів безпроводового зв'язку, які прогнозують енергетичні втрати на трасі поширення сигналів [1, 5]. Найбільш вживані моделі: Okumura, Nata, Okumura – Nata, COST231, COST231–Walfisch – Ikegami, Xia-Bertoni, Morgensen et al. – мають істотні обмеження застосування.

Постановка завдання

Мета даної роботи полягає у визначенні оптимальних за зазначеним критерієм параметрів взаємного просторового розташування елементів каналу передачі

даних у рамках існуючих моделей енергетичного покриття наземних бездротових систем зв'язку.

Виклад основного матеріалу

Для поширення сигналу бездротових систем зв'язку у наземних умовах прийнята наступна класифікація типів місцевості [1, 2]: міська зона; приміська зона; відкрита місцевість.

Точне аналітичне визначення енергетичного потенціалу траси поширення сигналу для реальних умов функціонування бездротових систем зв'язку практично неможливе внаслідок великої кількості факторів, які не піддаються математичному опису. Внаслідок цього на даний час оцінки енергетичного потенціалу здійснюються на основі емпіричних та напівемпіричних моделей, розроблених на основі численних експериментальних даних, зокрема моделей Окамури-Хати (Okumura-Nata) та Моргенсена (Morgensen) [1].

Найбільш вживаною є модель Окамури-Хати, на прикладі якої й викладено запропонований метод оптимізації енергетичного покриття бездротових систем зв'язку. Зазначена модель базується на наступних співвідношеннях:

$$L(H, h, d) = 69,55 + 26,16 \lg(f_0) - 13,82 \lg(H) - a(h) + [44,9 - 6,55 \lg(H)] \lg(d), \quad (1)$$

де $L(H, h, d)$ – послаблення сигналу у децибелах; H та h – висоти розташування базової та мобільної станцій зв'язку у метрах; f_0 – несна частота сигналу у мегагерцах; d – відстань між базовою та мобільною станціями у кілометрах.

Залежність $a(h)$ має різний характер у залежності від умов поширення сигналу. Зокрема для великого міста:

$$a(h) = 3,2 \lg^2(11,75h) - 4,97 \quad (2)$$

Співвідношення (1), (2) справедливі за наступних обмежень на керуючі параметри:

$$f_0 \in [150, 1500]; H \in [30, 400]; h \in [1, 10]; d \in [1, 80]. \quad (3)$$

Зазначимо, що несні частоти f_0 стандартизовані і для розглядуваного випадку складають 900 МГц та 1800 МГц [3].

Розглядаємо L як цільову функцію оптимізаційної задачі $L(H, h, d) \rightarrow \min$ з обмеженнями (3). У термінах теорії оптимізації дана задача класифікується як умовна задача нелінійного програмування [4]. Для її розв'язання було використано метод, описаний в [5] та реалізований у системі комп'ютерної математики MATLABTM.

У табл. 1 подані оптимальні значення керуючих параметрів H, h, d для моделі Окамури-Хати (Okumura-Nata) в умовах великого міста та рівень послаблення сигналу для стандартизованих значень несної частоти – 900 МГц та 1800 МГц.

Табл. 1. Оптимальні значення взаємного просторового розташування базової та мобільної станцій бездротового зв'язку

| Частота, МГц | H , м | h , м | d , км | Послаблення, дБ |
|--------------|---------|---------|----------|-----------------|
| 900 | 200,4 | 9,9 | 1,0 | 106,3 |
| 1800 | 200,2 | 10,1 | 1,0 | 114,2 |

Як впливає з даних таблиці, збільшення частоти несного сигналу веде до

збільшення його послаблення за оптимальних значень параметрів взаємного просторового розташування станцій зв'язку.

На рис. 1, 2 наведені 3D графіки залежностей послаблення сигналу від відстані між мобільною та базовою станціями (d) та висоти базової станції (H) при оптимальному значенні висоти розташування мобільної станції (h) при різних значеннях несної частоти.

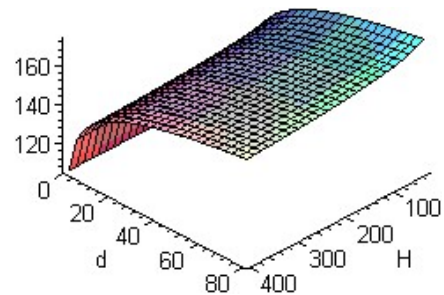


Рис. 1. Залежність послаблення сигналу від відстані та висоти базової станції на частоті 900 МГц

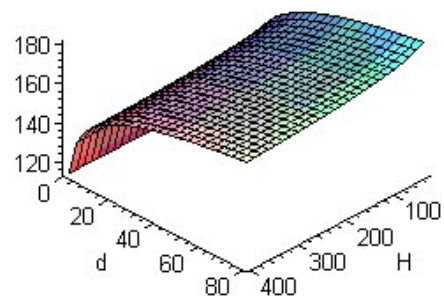


Рис. 2. Залежність послаблення сигналу від відстані та висоти базової станції на частоті 1800 МГц

На рис. 3, 4 представлені 3D графіки залежностей послаблення сигналу від відстані між мобільною та базовою станціями (d) та висоти мобільної станції (h) при оптимальному значенні висоти розташування базової станції (H) при різних значеннях несної частоти.

Аналіз поверхонь, поданих на рис. 1-4, підтверджує результати розв'язання оптимізаційної задачі. Дійсно, наведені на них поверхні є тривимірними перерізами гіперповерхні (1). Наведені у табл. 1 значення оптимальних параметрів є координатами спільної точки цих перерізів.

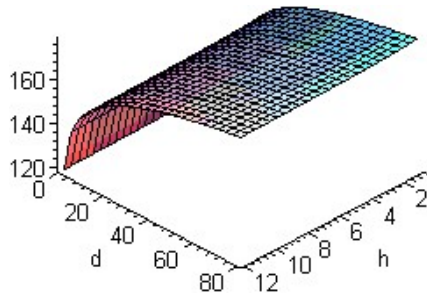


Рис. 3. Залежність послаблення сигналу від відстані та висоти мобільної станції на частоті 900 МГц

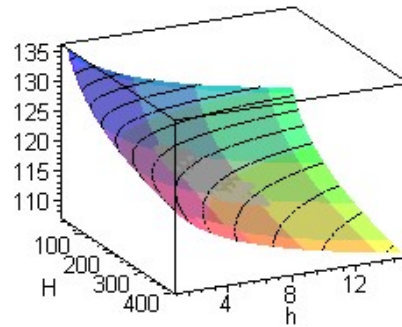


Рис. 6. Залежність послаблення сигналу від висот базової та мобільної станцій для частоти 1800 МГц

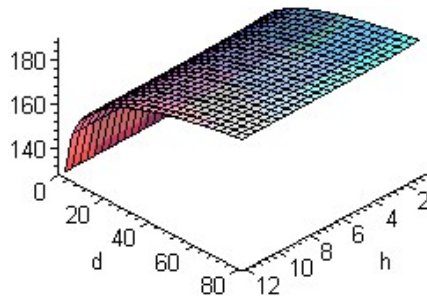


Рис. 4. Залежність послаблення сигналу від відстані та висоти мобільної станції на частоті 1800 МГц

На рис. 5, 6 подані 3D ізолінії залежностей енергетичного рівня сигналу від висот розташування базової та мобільної станцій зв'язку при п'ятнадцятих значеннях відстані між ними в інтервалі (від 1 км до 15 км) та несної частоти.

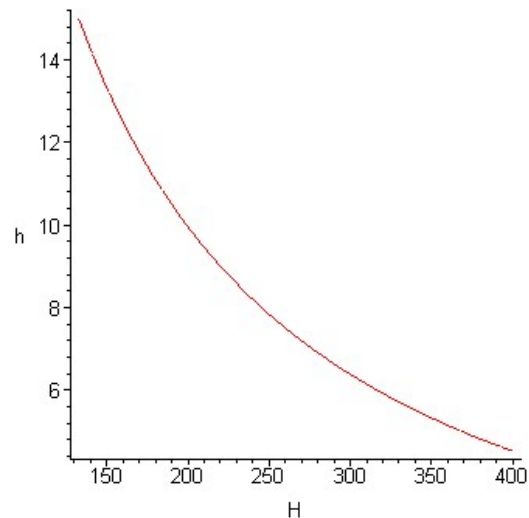


Рис. 7. Залежність між висотами мобільної та базової станцій при оптимальній відстані між ними (частота 900 МГц)

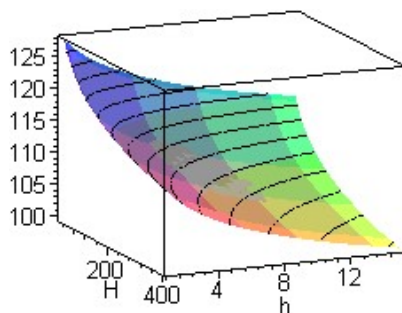


Рис. 5. Залежність послаблення сигналу від висот базової та мобільної станцій для частоти 900 МГц

Рис. 7, 8 подають проекції наведених 3D ізоліній, які відповідають оптимізованій відстані між станціями, на площину Hh .

Легко бачити, що наведені проекції на візуальному рівні підтверджують результати вирішення оптимізаційної задачі (див. табл. 1).

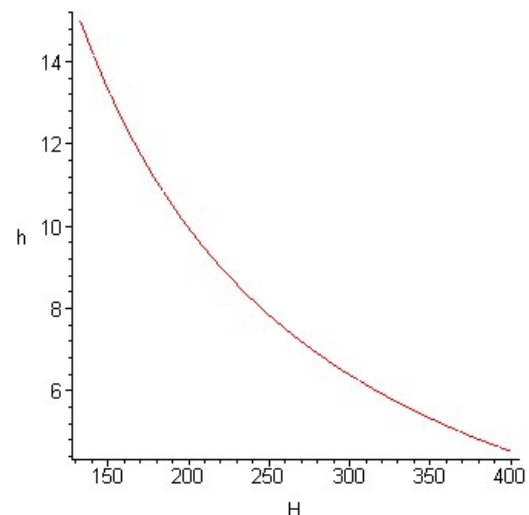


Рис. 8. Залежність між висотами мобільної та базової станцій при оптимальній відстані між ними (частота 1800 МГц)

Описаним способом була здійснена оптимізація параметрів взаємного просторового розташування станцій бездротового зв'язку для моделі Моргенсена, яка узагальнює модель Окамури-Хати на частотний діапазон від 1500 МГц до 2000 МГц, у якому її використання веде до недооцінки рівня згасання сигналу [1].

В рамках моделі Моргенсена послаблення сигналу на трасі його поширення в умовах великого міста подається співвідношенням (збережені позначення виразу (1)):

$$L(H, h, d) = 46,3 + 33,9 \lg(f_0) - 13,83 \lg(H) - a(h, f_0) + [44,9 - 6,55 \lg(H)] \lg(d) + 3. \quad (4)$$

Залежність $a(h, f_0)$ подається виразом

$$a(h, f_0) = [1,1 \lg(f_0) - 0,7] \lg(h) + 0,8 - 1,56 \lg(f_0). \quad (5)$$

У розглядуваній моделі розширені обмеження на керуючі параметри:

$$f_0 \in [150, 2000]; H \in [30, 400]; h \in [1, 10]; d \in [0,5, 80]. \quad (6)$$

У табл. 2 подані оптимальні значення керуючих параметрів H , h , d та рівень послаблення сигналу для значень несної частоти – 1750 МГц та 1900 МГц, прийнятих у сучасних телекомунікаційних технологіях 3.5G та 4G.

Як й у рамках моделі Окамури-Хати, підвищення несної частоти веде до зменшення рівня послаблення сигналу при оптимальних значеннях параметрів просторового розташування станцій. Порівняння даних табл. 1 і 2 надає підстави для висно-

вку щодо зменшення рівня послаблення сигналу при збільшенні частотного діапазону несного сигналу.

Табл. 2. Оптимальні значення взаємного просторового розташування базової та мобільної станцій бездротового зв'язку (модель Моргенсена)

| Частота, МГц | H , м | h , м | d , км | Послаблення, дБ |
|--------------|---------|---------|----------|-----------------|
| 1750 | 200,0 | 10,2 | 1,0 | 96,9 |
| 1900 | 200,0 | 11,0 | 1,0 | 103,3 |

Графічні залежності рівня послаблення сигналу від параметрів взаємного розташування станцій, як й для моделі Окамури-Хати, підтверджують отримані оптимальні значення цих параметрів. У якості оцінки використано традиційний критерій якості сигналу, а саме SNR (signaltonoiseration) – відношення сигнал-шум. Для реалізації ефективного моделювання процесу й отримання актуальних даних, у каналі передачі даних запроваджена модель AWGN (Additivewhite Gaussiannoise) – адитивний білий гауссівський шум.

Висновки і перспективи досліджень

Запропонований метод оптимізації енергетичного покриття бездротових систем зв'язку може бути ефективно використаний при плануванні мобільних систем зв'язку та визначенні зон видимості приймальної станції з урахуванням енергетичного рівня прийнятого сигналу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Sarkar T.K., Kim K., Medouri F., Salazar-Palma M. A Survey of Various Propagation Models for Mobile Communication. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*. 2003. Vol. 45. No. 3 P. 51-81.
2. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра: Пер. с англ. Москва: Радио и связь, 2000. 520 с.
3. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. Москва: Эко-Трендс, 2001. 204 с.
4. Ногин В.Д., Протодюконов И.О., Евлампиев И.И. Основы теории оптимизации. Москва: Высшая школа, 1996. 384 с.
5. Press W.H., Teukolsky S.F., Vetterling W.T. Numerical Recipes. The Art of Scientific Computing. Chapter 10. New York: Cambridge University Press, 2007. P. 487-562.

Arthem KULYSH, Valery BONDARENKO
Dnipro

**INFORMATION-GEOMETRICAL MODEL OF OPTIMIZATION
OF A POWER COVERING OF WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS**

The information-geometrical model of a power covering of wireless (mobile) communication systems is proposed. On this basis the optimization method of a mutual spatial arrangement of communication stations by criterion of minimization of signal power losses on a path of its propagation is developed.

Keywords: *isoline, isocontour, energy loss, nonlinear programming.*

Артем КУЛИШ, Валерий БОНДАРЕНКО
Днепр

**ИНФОРМАЦИОННО-ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ**

Разработана информационно-геометрическая модель энергетического по-крытия беспроводных (мобильных) систем связи, на основе которой предложен метод оптимизации взаимного пространственного расположения станций связи по критерию минимизации энергетических потерь сигнала на трассе его рас-пространения.

Ключевые слова: *изолиния, изоконтур, энергетические потери, нелинейное программирование.*

Стаття надійшла до редколегії 15.03.2019