

ВПЛИВ БАГАТОПРОМЕНЕВОСТІ НА КАНАЛ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ В ГІГАГЕРЦОВОМУ ДІАПАЗОНІ ХВИЛЬ

Уривський Л.О., Солянікова В.Ю.

Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: leonid_uic@ukr.net

INFLUENCE OF MULTIPATH ON A MOBILE COMMUNICATION CHANNEL

This article describes the multipath nature of radio waves propagation in space during transmission from the base station to the receiver and power calculation of its influence.

У доповіді надано опис наслідків багатопроменевого характеру поширення радіохвиль у просторі при передачі від базової станції до приймача в гігагерцовому діапазоні хвиль і розрахунок потужності його впливу.

Поширення радіохвиль у вільному просторі, як правило, залежить від кількох факторів, незалежно від того, для чого призначений радіозв'язок. Серед основних факторів є втрати у вільному просторі з урахуванням шуму приймача, адитивних перешкод, а також мультиплікативних перешкод, причиною яких є багатопроменевий характер розповсюдження електромагнітних хвиль, що створюють перешкоди, тобто суперпозиція хвиль в приймачі.

Історія дослідження особливостей поширення радіохвиль розвивається в напрямку вектору потреб інформаційних систем в освоєнні все більш високих частот з метою забезпечення зростаючих швидкостей передавання інформації.

Зараз все більше уваги приділяється діапазону частот $f > 1$ ГГц, оскільки саме в цьому діапазоні працюють системи мобільного зв'язку 4G, 5G, а також сучасні безпроводові системи зв'язку [1-4].

В [1] надано опис особливостей багатопроменевого характеру поширення радіохвиль у просторі при передачі від базової станції до приймача і його вплив на передачу сигналу в діапазоні до 450 МГц. При цьому використовувалось моделювання розповсюдження хвиль за допомогою овалів Кассіні за методикою, запропонованою у [2].

Модель розповсюдження радіохвиль була побудована на припущенні, що область, яка суттєва для врахування впливу на приймальний пристрій відбитих від земної поверхні промінів, має форму окружності. Але точний розрахунок форми овалів Кассіні виявив, що ця область дещо сплюснута (рис. 1).

Формула для визначення параметра овалу Кассіні $a = \sqrt{R_1 R_2}$ в [2] має вигляд:

$$R_1 R_2 = \sqrt{(h_1^2 + h_0^2)(h_2^2 + h_0^2)} \sqrt{P_1 G_1 \eta_1 b_1 \eta_2 \omega_{\text{вх}} / U_{\text{вх}}}, \quad (1)$$

де $h_1 = 30$ м, $h_2 = 2$ м – висоти підвісу передавальної і приймальної антен,

$h_0 = 5$ м – мінімальна ефективна висота антени,

$P_1 = 40$ Вт – потужність передавача, $k = 0,6$ – коефіцієнт послаблення,

$G_1 = 18$ дБи = 63,1 – коефіцієнт посилення антени,

$\eta_1, \eta_2 = 0.9$ – коефіцієнти корисної дії системи передачі енергії від передавача до передавальної антени і навпаки,

$\omega_{\text{вх}} = 75$ Ом – вхідний опір приймача,

$U_{\text{вх}} = 0.7$ мВ – чутливість приймача (мобільного терміналу),

Параметр b_1 – це висота перешкоди, розташованого на відстані R_1 від мобільного терміналу (радіусу першої зони Френеля). Згідно [1], b_1 можна визначити по залежності:

$$b_1 = \sqrt{(\lambda R/3)k(1-k)} \quad (2)$$

де $R = 1$ км – відстань від передавальної до прийомної антени,

λ – довжина хвилі $\lambda = c/F$, де c – швидкість світла;

$F = 900$ МГц – частота, на якій передається сигнал.

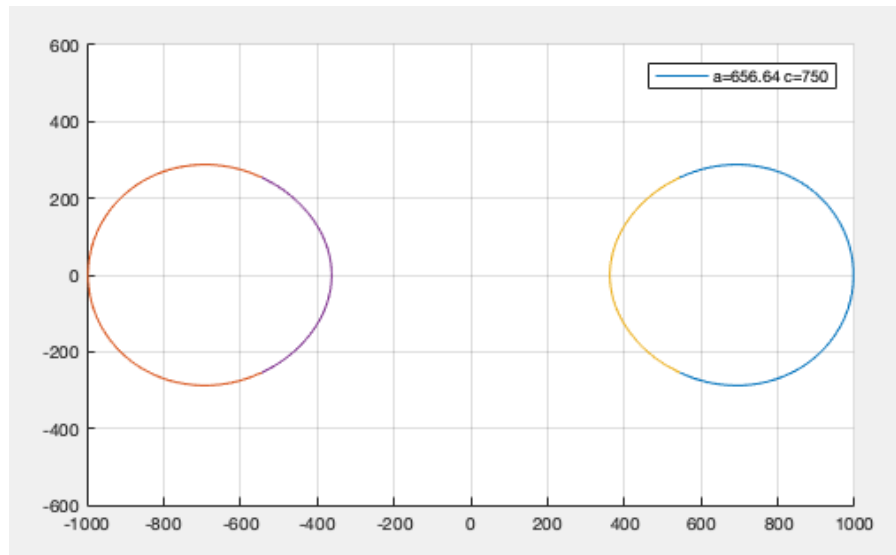


Рис.1. Побудова зони, суттєвої для відбиття додаткових променів для умови, що відстань між передавачем і приймачем $R = 1500$ м, а частота, на якій передається сигнал, $f = 900 \dots 1500$ МГц

Формула (1) є справедливою у випадку, коли виконується умова Релея (3) для відбиття променю від поверхні в проекції зони Френеля:

$$r_{[\text{км}]} \geq \frac{18h_{1[\text{м}]}h_{2[\text{м}]}}{\lambda} \quad (3)$$

Але для каналу зв'язку, що досліджується у даному випадку, ця умова не виконується, і більш того, зона Френеля не торкається рельєфу Землі (рис. 2).

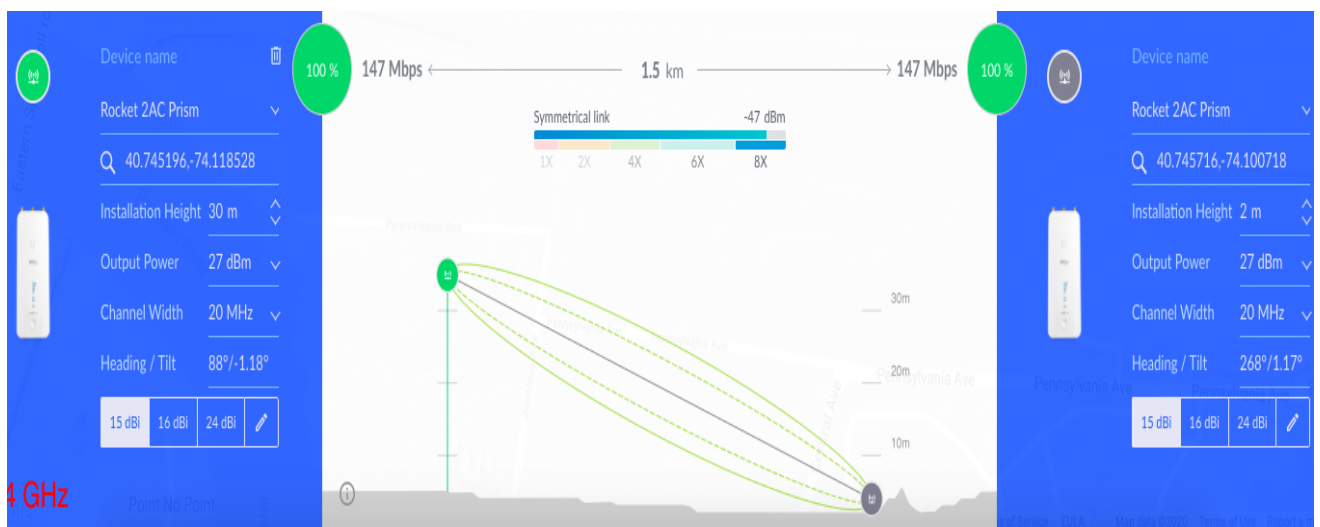


Рис.2. Побудова зони Френеля для каналу зв'язку що досліджується, для окремого випадку при відстані між передавачем і приймачем $R = 1500$ м та на частоті, на якій передається сигнал, $f = 2,4$ ГГц

Отже, в такому випадку характеристики, пов'язані із висотою розташування антен вже не потрібні. Тому для розрахунку параметра овалу Кассіні $a = \sqrt{R_1 R_2}$ слід використовувати наступну формулу:

$$R_1 R_2 = \sqrt{\frac{k_0 P_T G_T G_R \lambda^4 \eta_T \eta_R}{(4\pi)^4 P_{R(\text{кр})}}}, \quad (4)$$

де G_T – коефіцієнт посилення приймальної антени, $G_R = 2$ – коефіцієнт посилення приймальної антени.

Ця формула дає змогу розрахувати параметр a і c (де $c = R/2$).

Результати розрахунків значень параметра a в різних діапазонах частот і при різній відстані від передавача до приймача (м), надано в таблиці 1.

Таблиця 1. Результати розрахунків .

Частота	900 МГц	2,4 ГГц	5 ГГц
Відстань R між передавачем і приймачем, м			
750	656,64	246,24	118,19
1000	656,64	246,24	118,19
1500	656,64	246,24	118,19

Для того, щоб порахувати сукупність потужностей прийнятих відбитих сигналів в точці прийому, необхідно проінтегрувати потужність в приймальному пристрої для всієї області, чутливої до прийому всіх відображених променів (рис.3).

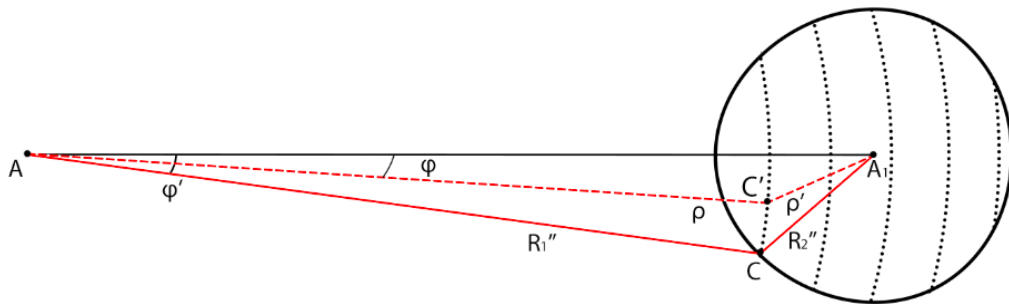


Рис.3. Побудова зони Френеля для каналу зв'язку, що досліджується, для окремого випадку при відстані між передавачем і приймачем $R = 1500$ м та на частоті, на якій передається сигнал, $f = 2,4$ ГГц.

Перш ніж потрапити в приймач, промінь виходить з передавача (точки A на рис. 3), відбивається від точки на деякій поверхні (припустимо це точка C), розсіюється, і тільки потім ослаблений потрапляє в точку прийому (точка A_1).

В такому випадку потужність сигналу в приймачі буде складатися з потужностей сигналів, відбитих від поверхонь, що потрапили в область, суттєву для відбитих або розсіяних променів:

$$P_R = \frac{2P_T G_T G_R(\lambda)^4}{(4\pi)^4} \int_{R-R_2'}^{R+R_2'} \int_0^{\varphi(\rho)} \frac{1}{\rho^2(\rho^2 + R^2 - 2\rho R \cos \varphi)^2} d\varphi d\rho, \quad (5)$$

де ρ – це відстань, яку пройде додатковий (не прямий) промінь, перш ніж потрапити до приймача, а $\varphi(\rho)$ розраховується за формулою

$$\varphi(\rho) = \arccos \left\{ \frac{\rho^4 + R^2 \rho^2 - a^4}{2\rho^3 R} \right\} \quad (6)$$

Результати розрахунків потужності всіх відбитих променів в області чутливої до перешкод надано в таблиці 2.

Таблиця 2. Результати розрахунків потужності .

Частота	900 МГц	2,4 ГГц	5 ГГц
Відстань R між A і A ₁ , м			
750	-	1.5952e-05	5.0440e-06
1000	-	5.4056e-05	3.7764e-06
1500	5.9271e-14	1.0450e-06	1.6970e-06

При розрахунках для каналу зв'язку з частотою $f = 900$ МГц та відстанню між передавачем і приймачем 750 м і 1000 м, інтеграл розраховувати не можливо, так як овал Касіні за таких параметрів приймає форму одного суцільного овалу, а не двох незалежних форм, як на рис. 1.

Інтеграл у формулі (5) дає можливість обчислити кількісні характеристики перешкоджаючих променів. Подальшою задачею є порівняння потужностей основного сигналу та завади в приймачі і розрахунок оптимальної кількості піднесучих OFDM, яка дасть можливість позбавитися від міжсимвольної інтерференції та послабити вплив багатопроменевості.

Література

1. Uryvsky L., Solianikova V, Method of Multipath Effect Elimination in Mobile Communications, / XIV Міжнародна науково-технічна конференція "Перспективи телекомунікацій 2020" /Збірник матеріалів. – К.: ІТС КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020, с.349...352.
2. Luchanin M., Chepkov I., Shmigel B. Analysis of spatial and energy limitations on the influence of multipath factors in the VHF radio channel model / Conference: 2019 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo). – Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9165402/>
3. Uryvsky L., Solianikova V, Analysis of Spatial-Time Characteristics of a Radio Line with Multipath within 5G Technology / Information and Telecommunication Science, . – № 1, 2020, с. 87...91. DOI: <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12020.87-91>
4. Osypchuk S., Shmigel B., Moshynska A., Solyanikova V. Emergency ground communications system using 802.11xx technology / Conference: 2019 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo). – Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9165476>