

АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ВТРАТ НА ПОШИРЕННЯ ДЛЯ РАДІОЛІНІЙ ЗЕМЛЯ-ПОВІТРЯ

Кравчук С.О., Кравчук І.М.

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. І. Сікорського, Україна
E-mail: sakravchuk@ukr.net*

Analysis of propagation loss models for ground-to-air radio links

This paper solves the problem of analytical selection of a fairly simple model for calculating signal propagation losses to support radio links from ground terminal to air platforms. The proposed approach to channel modeling is to separately consider the components of direct LOS (line of sight) and indirect NLOS visibility together with the possibilities of their occurrence.

На даний час розроблено багато різних моделей для оцінювання втрат щодо поширення радіосигналу на лінії "повітря-земля". Усі ці моделі призначені для вирішення певних вузьких задач, розв'язання яких дозволяє реалізувати зовсім різні за призначенням сценарії роботи радіообладнання на трасі "повітря-земля" (службові радіолінії управління авіацією, моніторинг, навігація, радіолінії передачі даних, міжплатформенний зв'язок та ін.) [1, 2]. В даній роботі вирішується задача аналітичного вибору достатньо простої моделі розрахунку втрат на поширення сигналу для підтримки радіоліній наземний термінал-аероплатформа (висот до 1000 м), та її аналіз.

Пропонований підхід до моделювання каналу поширення "повітря-земля" полягає в тому, щоб окремо розглядати компоненти прямої LOS (line of sight) і непрямої NLOS видимості разом з можливостями їх виникнення. Зауважимо, що для випадку NLOS через ефект затінення і відображення сигналів від перешкод втрати на трасі вище, ніж LOS. Отже, на додаток до втрат при поширенні у вільному просторі, для ліній LOS і NLOS призначаються різні значення додаткових втрат на радіолінії (рис. 1). Таким чином в загальному вигляді середні втрати на радіотрасі "повітря-земля" можна записати у вигляді наступної функції: $\gamma_{av} = f(\gamma_0, p_{LOS}, \xi)$, де γ_0 - втрати на поширення у вільному просторі; p_{LOS} - ймовірність наявності радіотраси з прямою видимістю LOS при куті піднесення θ ; ξ - середні додаткові втрати (до втрат у вільному просторі) при поширенні, які залежать від навколишнього середовища.

Для вільного простору втрати на поширення радіохвиль, як добре відомо, будуть $\gamma_0 = 20 \lg(4\pi f_c d / c_0)$, дБ, де f_c – несуча частота, Гц; c_0 – швидкість світла; $d = (R^2 + h^2)^{1/2}$ – відстань між аероплатформою і наземним терміналом; R – наземна відстань між аероплатформою і наземним терміналом; h – висота зависання аероплатформи.

Ймовірність наявності радіотраси з прямою видимістю згідно [3] можна визначити із наступного рівняння $p_{LOS} = 1 / (1 + \alpha \times \exp(-\beta \times (180 / \pi \theta - \alpha)))$, де α і β - постійні значення, які залежать від навколишнього середовища (сільська, міська, щільна міська і т. д.). Наприклад для міста можна прийняти $\alpha = 9,6$ і $\beta = 0,28$.

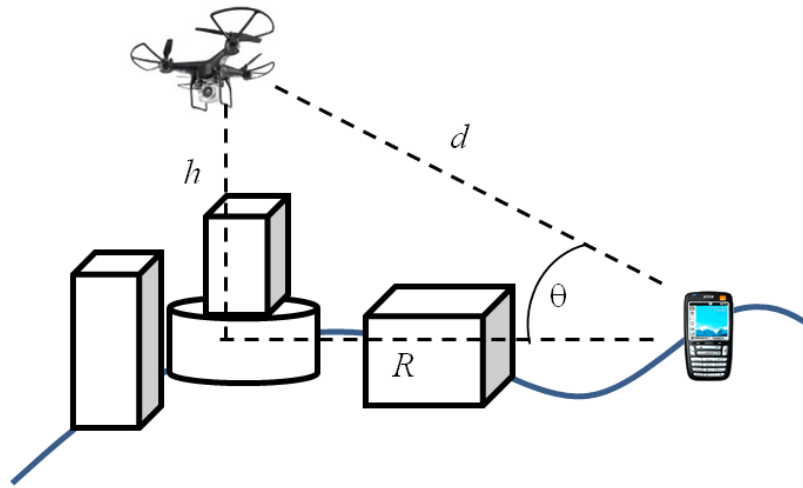


Рис. 1. Сценарій радіолінії аероплатформа-наземний термінал

Тоді втрати на поширення радіохвиль в умовах прямої видимості можна записати як $\gamma_{\text{LOS}} = p_{\text{LOS}} (\gamma_0 + \xi_{\text{LOS}})$, а в умовах непрямої видимості - $\gamma_{\text{NLOS}} = (1-p_{\text{LOS}})(\gamma_0 + \xi_{\text{NLOS}})$. Величини ξ_{LOS} і ξ_{NLOS} мають досить різні значення. Так ξ_{LOS} приймає одиниці дБ і головним чином враховує незначне затінення на трасі LOS, а ξ_{NLOS} становить десятки дБ і враховує наявність навколишніх будівель, елементів рельєфу та рослинних затінь. Виходячи із виразів, наведених в роботі [4], можна записати наступне рівняння для $\xi_{\text{NLOS}} = 20 \lg(2 \sin(2\pi h_t h_r / \lambda / d))$, де λ - довжина хвилі; h_t і h_r - висота розташування передавача і приймача, відповідно; d - відстань між передавачем і приймачем.

Виходячи із вище зазначеного можна записати наступний вираз $\gamma_{\text{av}} = f(\gamma_0, p_{\text{LOS}}, \xi) = \gamma_{\text{LOS}} + \gamma_{\text{NLOS}}$.

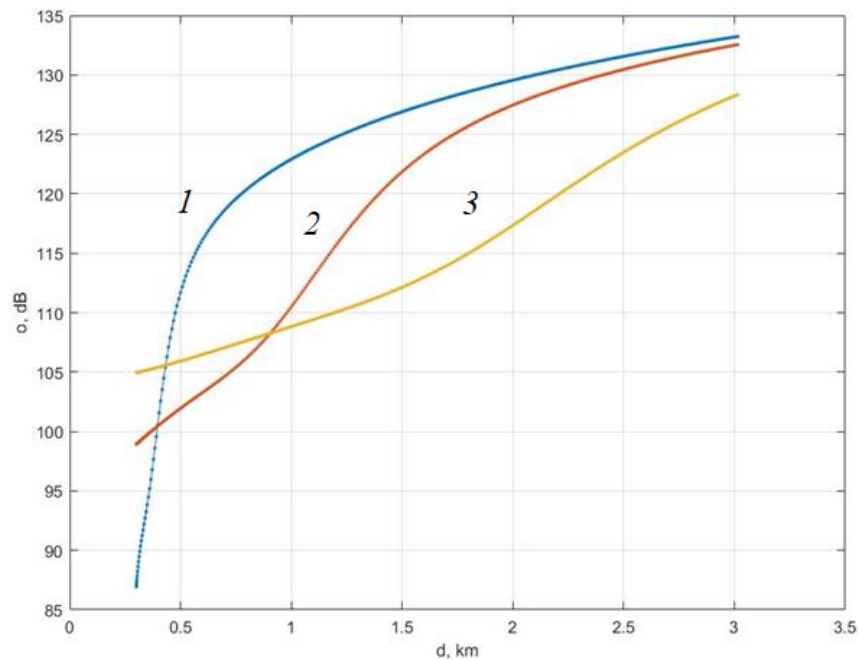


Рис. 1.а) Залежність втрат на поширення радіохвиль (графіки з Матлаб) від відстані між наземним терміналом і аероплатформою при різних величинах зависання останньої: 1 - 100, 2 - 400 і 3 - 800 м (α - з урахуванням втрат в умовах непрямої видимості);

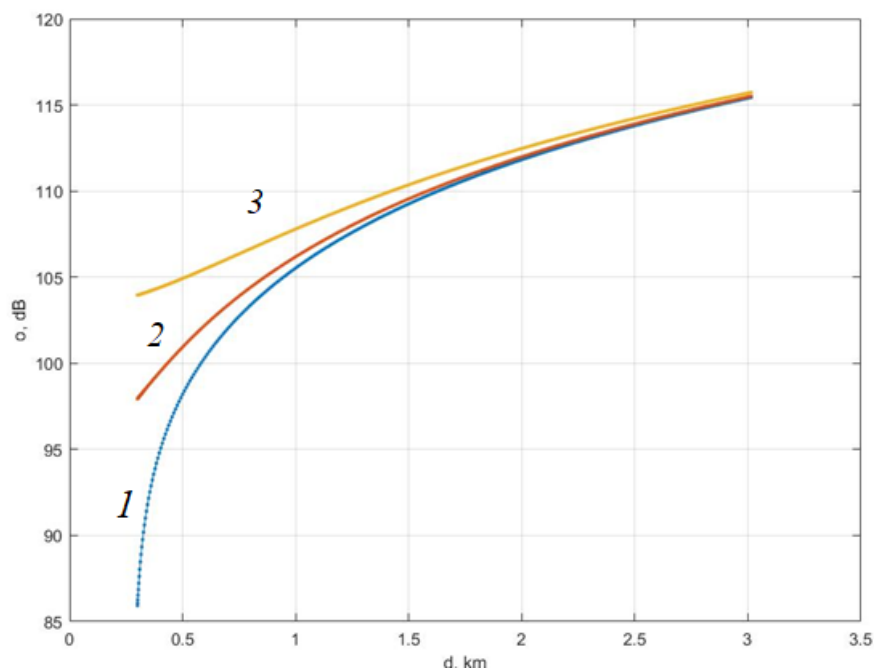


Рис. 1.6) Залежність втрат на поширення радіохвиль (графіки з Матлаб) від відстані між наземним терміналом і аероплатформою при різних величинах зависання останньої: 1 - 100, 2 - 400 і 3 - 800 м (δ – без врахування втрат в умовах непрямої видимості).

Результати моделювання в пакеті Матлаб представлені на рис. 2 у вигляді залежностей втрат на поширення радіохвиль від відстані між наземним терміналом і аероплатформою при різних величинах зависання останньої. Як видно із рис. 2, б в умовах прямої видимості втрати на поширення радіосигналу зростають зі збільшенням відстані між передавачем і приймачем, причому чим вище знаходиться аероплатформа, тим більші втрати на поширення. Однак видно, що при малих співвідношеннях наземної відстані і висоти зависання, тобто високих кутах місця θ , втрати а поширення сигналу будуть найменші. На рис. 2, а представлено залежності із урахуванням втрат в умовах непрямої видимості, з яких видно, що чим вище аероплатформа знаходиться над землею (при наземних відстанях порядку величин зависання аеропалформи, що є типовим сценарієм для умов урбанізованого місця), тим менше значення втрат. Бо збільшується значення кута місця i , таким чином, зростає ймовірність LOS.

Література

1. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи. – К.: Наукова думка, 2017.
2. Advanced in the telecommunications 2019: monograph / by edited M.Y. Ilchenko, S.O. Kravchuk, Kyiv, 2019, 336 p. (ISBN 978-617-7734-12-2).
3. Y. Zheng, Y. Wang, and F. Meng, "Modeling and simulation of pathloss and fading for air-ground link of HAPs within a network simulator," in Proc. of IEEE International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery (CyberC), Beijing, China, Oct. 2013.
4. Y. S. Meng and Y. H. Lee, "Measurements and Characterizations of Air-to-ground Channel over Sea Surface at C-band with Low Airborne Altitudes," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 60, no. 4, pp. 1943–1948, (2011).