

ЙМОВІРНІСТЬ ПЕРЕРИВАННЯ ЗВ'ЯЗКУ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ НА БАЗІ АЕРОПЛАТФОРМИ ІЗ ЗАДІЯННЯМ МІЖПЛАТФОРМЕННОГО ОПТИЧНОГО КАНАЛУ У ВІЛЬНОМУ ПРОСТОРИ

Кравчук С.О., Кравчук І.М.

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

Outage probability of communication in the telecommunication system based aeroplatform with the employment of cross-platform optical channel in free space

The new architecture of the network of HAPS, which aims at providing broadband radio-access system (BRAS) services over long distances, is presented, using interplatform optical communication lines with possibility of routing in several ways. Stations HAPS act as base stations and combine the total traffic of the terrestrial BRAS network from the area they cover. The HAPS stations have transponders that convert BRAS signals to optical signals and vice versa.

Розвиток телекомунікаційних систем на базі аероплатформ (ТСВА) неможливий без задіяння міжплатформених ліній зв'язку, причому, найбільш перспективними з точки зору підвищення пропускної здатності таких ліній є застосування оптичних систем у вільному просторі [1-5]. Метою даної роботи є дослідження наскрізного каналу передачі даних між наземними користувацькими терміналами через ряд аероплатформ, з'єднаних через оптичні канали у вільному просторі.

Розглянемо сценарій типової гетерогенної мережі ТСВА із міжплатформеним оптичним каналом у вільному просторі (рис. 1). Для даного сценарію типові значення міжплатформених відстаней становлять 100...200 км, а висота зависання аероплатформи – 24 км. При цьому приймемо наявність дисперсії Ритова, яка є показником вираженості турбулентності, досить мала, і тому сцинтиляційні ефекти мають незначний ефект і можуть бути проігноровані.

Джерело на станції висотної аероплатформи (СВА) зв'язується з СВА-призначення через R_i ($i = 1; 2; \dots; N - 1$) оптичних приймально-передавальних пристроїв, що діють як ретранслятори в рівновіддаленості один від одного d_0 , створюючи при цьому ланцюг із N з'єднань типу точка-точка. Кожен проміжний вузол в мережі з великою кількістю ретрансляцій діє як маршрутизатор, який направляє трафік до місця призначення. Такий підхід

також може бути запропонований для посилення наземної оптичної безпроводової передачі шляхом пом'якшення різноманітних порушень, таких як турбулентність. У даному дослідженні ми розглядаємо $N-1$ прольотів, де кожен має знання стану каналу попереднього прольоту. Прийнято використання ретрансляції типу прямого підсилення AF (amplify-and-forward) без декодування сигналу.

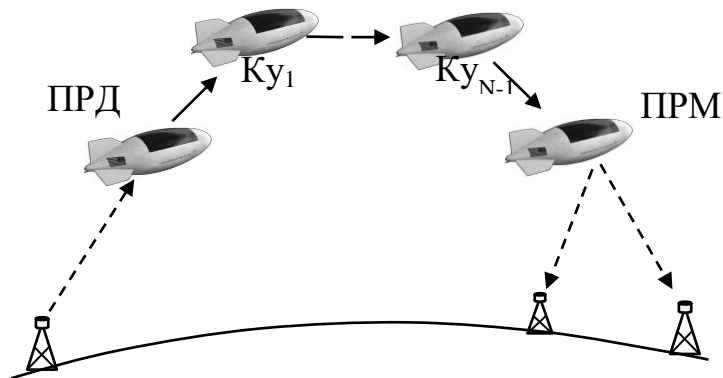


Рис. 1. Сценарій гетерогенної безпроводової мережі ТСВА на базі міжплатформенного оптичного каналу у вільному просторі

Для модуляції оптичної інтенсивності лазерного діода використовується високочастотний сигнал $s_{\text{OFDM}}(t)$. Зауважимо, що нелінійна характеристика діода створює інтермодуляційні перекручення, які впливають на продуктивність системи.

В найпростішому випадку однопрольотної ретрансляції джерело розглядаемого ланцюга ретрансляцій приймає OFDM системи широкосмугового радіодоступу (СШР) WiMAX трафік від наземної станції. OFDM-сигнал із НВЧ-домену після перетворення на піднесучі S можна математично виразити [6]:

$$s_{\text{OFDM}}(t) = \sum_{n=0}^{S-1} x_n \exp \left[j2\pi \left(\frac{n}{T_s} + f_c \right) t \right], \quad 0 \leq tT_s. \quad (1)$$

де f_c - частота високочастотної несучої; T_s - тривалість OFDM-символу. Встановивши захисний інтервал рівний нулю, тривалість T_s дорівнює вікну аналізу Фур'є [7].

Ймовірність переривання зв'язку на піднесучу між аероплатформами може бути визначена наступним чином

$$P_{out1,n}(SNR_{th}) = P_r(SNR < SNR_{\pi}) = (SNR_{\pi}/k)^{\beta/2}, \quad (2)$$

де $k = \alpha\theta^4$; $\beta = \theta^2 / (4\sigma^2)$; SNR_{π} - порогове значення SNR ($k \geq SNR_{\pi} \geq 0$); $\alpha = SNR \theta^4 / \mathfrak{I}^2$; θ - кут розсіювання половинного випромінювання лазера; \mathfrak{I} - оптична інтенсивність; σ^2 - дисперсія джиттера на оптичному приймачі.

Слід зазначити, що коли кількість піднесучих є великою, тому загальна ймовірність переривання зв'язку по всьому діапазону OFDM можна отримати шляхом залучення закону великих чисел $P_{out,1}(SNR) = 1/S \sum_{i=0}^{S-1} P_{out,1,i}(SNR_{\pi})$.

Тоді можна провести математичне моделювання однопролітного сценарію з метою визначення необхідної точності позиціонування оптичної системи фокусування (в якості якого може бути оптичний телескоп) ТСВА.

На рис. 2 наведено результати моделювання у вигляді залежності P_{out} з кінця в кінець від відстані прольоту ретрансляції між станціями ТСВА для різної кількості ретрансляцій N . Можна бачити, що P_{out} зростає як збільшується відстань міжплатформеного прольоту (зберігаючи кількість ретрансляцій постійною) або кількості транзитних прольотів (зберігаючи постійну відстань між аероплатформами).

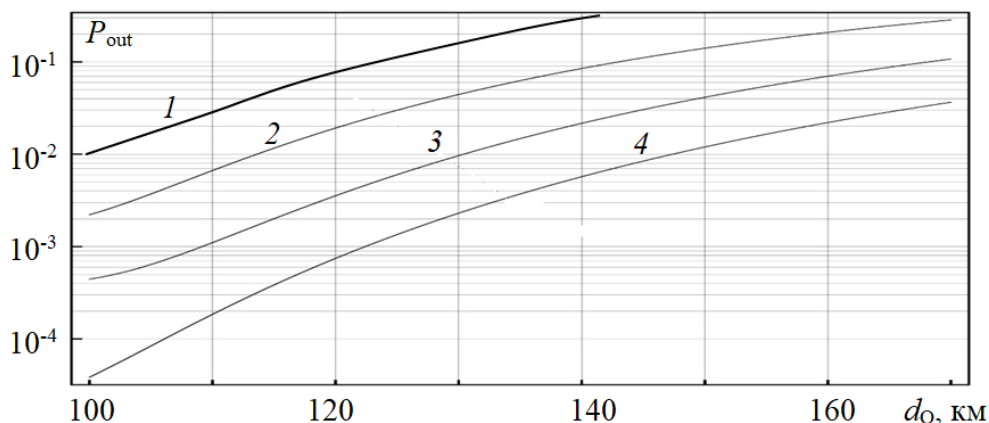


Рис. 2. Залежність P_{out} з кінця в кінець на вході приймача наземної станції від відстані прольоту ретрансляції для різної кількості ретрансляцій: 1 – 5; 2 – 4; 3 – 3; 4 – 2

Із отриманих результатів моделювання також виявлено, що ймовірність переривання зв'язку P_{out} зводиться до мінімуму для конкретного значення кута розходження променів (приблизно 70 мкрад) незалежно від значення вказівного джиттера. Це також демонструє домінуючий ефект джиттерування, наприклад, приріст від 8 до 10 мкрад, призводить до серйозної деградації P_{out} з 10^{-9} до 2×10^{-6} для заданого значення дивергенції пучка 70 мкрад.

Таким чином, представлено нову архітектуру мережі ТСВА, яка спрямована на надання послуг СШР на далеких відстанях, використовуючи міжплатформенні оптичні лінії зв'язку з можливістю маршрутизації за декількома шляхами. Станції ТСВА виконують роль базових станцій і об'єднують загальний трафік наземної мережі СШР із зони, яку вони покривають. Станції ТСВА мають транспондери, які перетворюють сигнали СШР в оптичні сигнали і навпаки.

У такій архітектурі якість обслуговування СШР (QoS) визначається/підтримується шляхом мінімізування ймовірності переривання зв'язку в конфігурації мережі. Ймовірності переривання зв'язку в даному сценарії визначається як ймовірність того, що прийнятий рівень потужності неприйнятно низький протягом певного часу. Загальна ефективність мережі визначається за допомогою розробленої математичної моделі каналу, яка включає в себе втрати лазерного променя та можливі ефекти наведення помилок.

Література

1. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи. – К.: Наукова думка, 2017.
2. Кравчук С.О. Принципи створення портативних тропосферних радіорелейних станцій // Матер. 9-ї міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми телекомунікацій”, 21–25 квітня, 2015 р. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – С. 254–256.
3. Ильченко М.Е., Кравчук С.А. Телекоммуникационные системы на основе высотных аэроплатформ. – К.: Наукова думка, 2008. – 580 с.
4. Prospects of using of aerial stratospheric telecommunication systems / M. Zgurovsky, M. Pchenko, S. Kravchuk, V. Kotovskyi, T. Narytnik, L. Sybulskiy // Proceedings of the 2016 IEEE International Scientific Conference "RadioElectronics & InfoCommunications" (UkrMiCo'2016), 11-16 September 2016, Kyiv, Ukraine. IEEE Conference Publications, 2016. – P. 20-23.
5. Кузьміч М.Ю., Кравчук С.О. Дослідження мобільної mesh-мережі безпілотних літальних апаратів з урахуванням затримки між вузлами // Матер. 11-ї міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми телекомунікацій”, 18–21 квітня, 2017 р. – К.: Хімджест, 2017. – С. 196–198.
6. Transmission analysis of OFDM-based wireless services over turbulent radio-on-FSO links modeled by gamma-gamma distribution / A. Bekkali, C. B. Naila, K. Kazaura, K. Wakamori, and M. Matsumoto // IEEE Photon. J. – 2010. - vol. 2, no. 3. - P. 510–520.
7. Shieh W., Djordjevic I. OFDM for Optical Communications. Academic, 2010.