

ТРУБЧАНИНОВА К.А., к.т.н., доцент (Український державний університет залізничного транспорту)

Дослідження моделі гібридної радіо-оптичної телекомунікаційної системи

Розглянуті основні характеристики бездротового лазерного оптичного каналу, основні переваги і існуючі обмеження на використання FSO-технології. Дається опис концепції гібридного каналу, як комбінації оптичного і радіоканалів з метою використання переваг кожного з них; математичної моделі гібридної системи як однолінійної системи масового обслуговування з двома можливими швидкостями обслуговування і обмеженням часом їх використання.

Ключові слова: радіо-оптичний канал, атмосферні оптичні лінії зв'язку, FSO-технологія, гібридний канал.

Вступ

Бурхливий розвиток телекомунікаційного ринку вимагає високошвидкісних ліній передачі даних. Проте впровадження дротових технологій (наприклад, прокладка оптичного волокна) вимагає солідні інвестиції і не завжди можливе. Альтернативою в цьому випадку є бездротові лінії зв'язку.

На сьогоднішній день існує декілька основних бездротових рішень - це використання ширококутових радіоканалів WiFi / WiMax, радіорелейних ліній (РРЛЗ) або атмосферних оптичних ліній зв'язку (АОЛЗ). Однак бездротовий зв'язок в радіодіапазоні обмежений переважністю і дефіцитом частотного діапазону, недостатньою скритністю, схильністю перешкодам (у тому числі і навмисним, і з сусідніх каналів), підвищеним енергоспоживанням. Крім того, при експлуатації РРЛЗ доводиться вирішувати питання, пов'язані з отриманням дозволів на використання робочих частот, що на сьогоднішній день представляє велику проблему. Застосування лазерних засобів знімає ці питання.

Основна частина дослідження

Технологія АОЛЗ (FSO – Free Space Optics) ґрунтується на передачі даних модульованим випромінюванням в інфрачервоній (чи видимій) частині спектру через атмосферу і подальшим детектуванням оптичним фотоприймальним пристроєм. При цьому в якості випромінювача зазвичай використовуються інфрачервоні лазери класу 1 або 1m (до лазерів 1-го класу відносять повністю безпечні лазери, вихідне випромінювання яких не представляє небезпеки при опроміненні очей і шкіри), для низькошвидкісних комунікацій на невеликій відстані можуть використовуватися світлодіоди.

Як приймач використовуються лавинні або кремнієві фотодіоди.

До основних **переваг** атмосферних оптичних ліній зв'язку можна віднести:

- висока пропускна спроможність і якість цифрового зв'язку. Сучасні FSO-рішення можуть забезпечити швидкість передачі цифрових потоків до 10 Гбіт/с при показнику бітових помилок BER всього 10^{-12} ;

- не вимагається отримувати дозвіл на використання частотного діапазону. Т.к. FSO-системи використовують інфрачервоний діапазон електромагнітного спектру (далеко за межею 400 ГГц);

- висока захищеність каналу від несанкціонованого доступу і скритність. Перехопити сигнал, можна тільки встановивши сканери-приймачі безпосередньо у вузький промінь від передавачів. Реальна складність виконання цієї вимоги робить перехоплення практично неможливим. А відсутність яскраво виражених зовнішніх ознак (в основному, це електромагнітне випромінювання) дозволяє приховати не лише передавану інформацію, але і сам факт інформаційного обміну. Тому лазерні системи застосовуються для різноманітних застосувань, де потрібно високу конфіденційність передачі даних, включаючи фінансові, медичні і військові організації;

- високий рівень завадостійкості і завадозахищеності. FSO-устаткування несприйнятливий до радіоперешкод і саме їх не створює;

- можливість встановити лазерну атмосферну лінію там, де скрутно прокласти дротяну лінію зв'язку. Наприклад, в щільній міській забудові, через залізницю або автомагістраль, через природні перешкоди (річки, озера, гірську місцевість і так далі);

- швидкість і простота розгортання FSO-мережі.

Разом з основними перевагами безпроводних оптичних систем добре відомі і їх головні **недоліки**:

- залежність доступності каналу зв'язку від погодних умов (такі погодні умови як туман, дощ, сніг

значно знижують ефективний діапазон роботи FSO-систем);

- необхідність забезпечення прямої видимості між випромінювачем і приймачем;

- обмежена дальність зв'язку.

Завдяки своїм перевагам FSO-системи дозволяють вирішувати проблеми "останньої милі", розвивати міські мережі передачі даних і голосу, здійснювати підключення домашніх мереж.

Гібридне радіо-оптичне устаткування. Як відомо, особливі погодні умови, такі як дощ, сніг, туман, а також піщаний пил, міський смог і різні види аерозолів, можуть значно погіршити видимість і таким чином понизити ефективний діапазон роботи лазерних атмосферних ліній зв'язку. Так, загасання сигналу в оптичному каналі при сильному тумані може доходити до критичних 50-100 дБ/км (рис. 1). Тому, щоб досягти операторських (чи хоч би близьких до них) показників надійності безпровідних оптичних телекомунікаційних систем, необхідно прибігати до використання гібридних рішень.

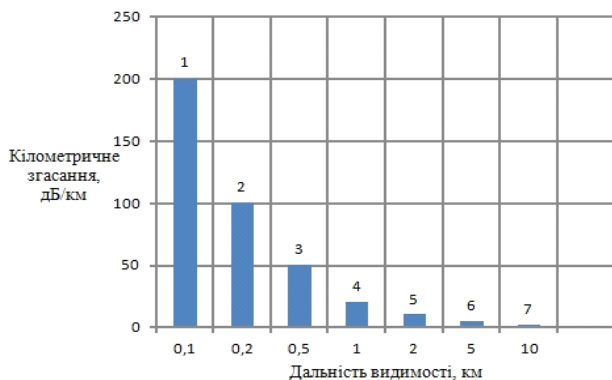


Рис. 1. Вплив погодних умов на дальність оптичного зв'язку : 1 - щільний туман; 2 - сильний снігопад; 3 - сильний дощ; 4- снігопад; 5 - серпанок; 6 - слабкий дощ; 7 - ясна погода.

Гібридні радіо-оптичні системи ґрунтуються на використанні резервного радіоканалу в зв'язці з оптичним каналом. У разі настання несприятливих погодних умов (туман, снігопад і тому подібне), коли атмосферний оптичний канал стає недоступним (чи рівень бітових помилок в каналі досягає критичного значення), система перемикається на резервний радіоканал і використовує його до тих пір, поки оптичний (основний) канал знову не стане доступним. При цьому в якості технології резервного каналу зазвичай використовуються або широкосмгові Wi-Fi мережі (сімейство стандартів IEEE 802.11), працюючі в частотному діапазоні 2.4 - 5.8 ГГц, або радіорелейні MMW - лінії, працюючі в міліметровому діапазоні. Основна перевага таких FSO-RF-систем передачі даних полягає в тому, що це високошвидкісні бездротові системи операторського класу, що надійно функціонують у будь-яких погодних умовах (рис. 2).

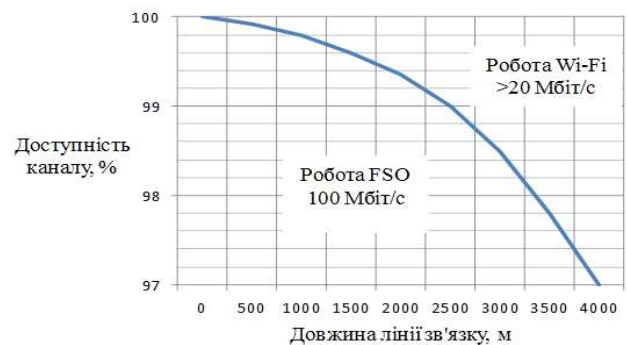


Рис. 2. Коефіцієнт доступності гібридного каналу зв'язку

У таблиці 1 приведені технічні характеристики існуючих на даний момент на ринку моделей гібридного радіо-оптичного устаткування.

Таблиця 1

Огляд представлених на ринку моделей гібридних FSO-RF-систем

| Виробник | Модель устаткування | Швидкість оптичного каналу | Швидкість радіоканалу | Тип радіоканалу | Макс. робоча дистанція |
|----------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| Мостком | ARTOLINK M1 FE-R | 100 Мбіт/с | 6 – 28 Мбіт/с | Wi-Fi (5.2 – 5.8 ГГц) | 7000 м |
| Лазер Ай-Ti-Ci | OCC1-Ethernet 100 РОД | 100 Мбіт/с | 100 Мбіт/с | MMW (75 ГГц) | 2500 м |
| LightPointe | FlightStrata 100 XA | 100 Мбіт/с | 72 Мбіт/с (Half Duplex) | Wi-Fi (5.47 – 5.85 ГГц) | 5000 м |
| MRV | TereScope Fusion | 100 Мбіт/с - 1000 Мбіт/с | 10 – 20 Мбіт/с | Wi-Fi (2.4 ГГц) | 4000 м |
| CBL | AirLaser IP 100 | 125 Мбіт/с | 4.5 Мбіт/с | не вказано | 2000 м |
| AirLinx | UniFSO100/155 | 100 Мбіт/с - 155 Мбіт/с | 5 – 20 Мбіт/с | Wi-Fi | 3000 м |

З представлених гібридних рішень найбільшу пропускну спроможність резервного радіоканалу – 100 Мбіт/с – має модель компанії "Лазер Ай-Ті-сі". В той же час, зважаючи на використання міліметрового радіодіапазону, це рішення має відносно невелику для гібридів максимальну робочу дистанцію - всього 2500 м, а його вартість збільшується (в порівнянні із звичайними FSO-системами) майже в два рази. При цьому устаткування представляє собою два роздільних пристрої – окремо оптичний блок, і окремо радіорелейний, що ускладнює монтаж усій системи.

Інші ж моделі-гібриди, ґрунтовані на Wi-Fi технології, мають відносно невисоку швидкість резервного каналу, що зазвичай не перевершує 20 Мбіт/с. На особливу увагу заслуговує гібридна система ARTOLINK M1 FE-R виробництва компанії "Містком", в якій використовується спеціально відкаліброване устаткування на базі Wi-Fi радіо-маршрутизаторів RAPIRA (діапазон 5.2 - 5.8 ГГц) із спеціалізованим програмним забезпеченням. Таке рішення забезпечує повно дуплексну швидкість передачі даних в резервному каналі до 28 Мбіт/с (при канальній швидкості 108 Мбіт/с), а також можливість плавного зниження швидкості і практично відсутній час перемикання між каналами.

Але у будь-якому випадку таких пропускних здібностей недостатньо для резервування високошвидкісного (наприклад, гігабітного) оптичного каналу зв'язку, що робить проблематичним використання цих рішень операторами зв'язку.

Визначення мети та задачі дослідження

Із сказаного вище можна зробити висновок, що, зважаючи на безперечні переваги використання гібридних радіо-оптичних систем передачі даних, розробка таких систем є дуже перспективним напрямом в телекомунікаційному секторі - як з технічної точки зору, так і з точки зору маркетингової. Проте, на даний момент на ринку представлена лише невелика кількість моделей гібридного FSO-RF-устаткування, тоді як існуючі моделі не завжди можуть продемонструвати технічні показники операторського рівня - а саме високу пропускну спроможність резервного каналу при відносно великих робочих дистанціях і коефіцієнті доступності каналу зв'язку.

Це відкриває величезний простір для діяльності розробників і виробників телекомунікаційного устаткування (у тому числі устаткування, ґрунтованого на АОЛЗ-технології).

Одним з перших етапів розробки будь-якої системи передачі даних є модельне дослідження цієї системи з метою теоретичного визначення основних технічних характеристик майбутнього телекомунікаційного устаткування.

Опис моделі гібридної радіо-оптичної телекомунікаційної системи. Досліджувана модель гібридної радіо-оптичної системи передачі даних є системою масового обслуговування (СМО) з двома можливими швидкостями обслуговування. Іншими словами, система може використати два режими роботи :перший режим ($k = 1$) - коли передача даних здійснюється по оптичному (основному) каналу, і другий режим ($k = 2$) - передача даних здійснюється по резервному радіоканалу.

Потік заявок, що входить, в систему – стаціонарний пуасонівський з параметром λ . Число місць для очікування - необмежено. При використанні k -й швидкості (k -го режиму) час обслуговування заявки розподілений експоненціально з параметром, μ_k , $k = 1,2$. При цьому $\mu_1 > \mu_2$, тобто пропускну спроможність оптичного каналу свідомо більше пропускної спроможності радіоканалу.

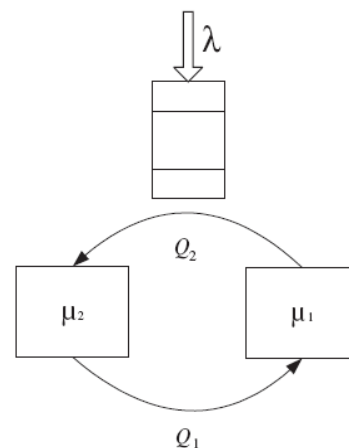


Рис. 3. Модель гібридного каналу зв'язку

Час використання k -режиму визначається погодними умовами (а саме, метеорологічною дальністю видимості - МДВ) в деякій конкретній місцевості, де планується установка досліджуваної телекомунікаційної системи. Далі вважатимемо, що час використання k -ї швидкості обмежено і характеризується абсолютно безперервною величиною, що має щільність розподілу

$$F_k(t) = p_k \gamma_k^{(1)} e^{-\gamma_k^{(1)} t} + (1 - p_k) \gamma_k^{(2)} e^{-\gamma_k^{(2)} t},$$

що є окремим випадком гіперекспоненціального розподілу. Така модель зміни погодних умов була запропонована в [5] і ґрунтована на досвідчених спостереженнях, отриманих після шести місяців випробувань в реальних умовах гібридного радіо-оптичного устаткування моделі

ARTOLINK M1 FE-2A-R. Звичайно, такі умови, як дальність видимості, мінливі, проте, загальні сезонні тенденції визначаються кліматичною зоною, широтою і іншими відомими географічними параметрами місцевості, де планується установка устаткування.

Якщо час першого режиму завершується (оптичний канал стає недоступним), поточне обслуговування заявки (передача пакету) уривається і система переходить на другий режим роботи (використання резервного радіоканалу). Відразу після переходу на другий режим обслуговування передача пакетів не робиться. Система повинна почекати час Q_2 , і якщо за цей час другий режим роботи не завершився, то після закінчення часу Q_2 починається обслуговування заявки (передача пакету) на другій швидкості (по радіоканалу). При цьому припускаємо, що заявка, обслуговування якої по оптичному каналу було перерване, обслуговується заново.

Після закінчення часу роботи другого режиму (оптичний канал знову стає доступним) система, продовжуючи обслуговувати заявки в другому режимі (тобто продовжуючи передавати пакети по радіоканалу), відстежує доступність оптичного каналу. І якщо оптичний канал доступний впродовж деякого часу Q_1 , то після закінчення цього часу система починає використати перший режим (оптичний канал). При цьому заявка, в ході обслуговування якої сталася зміна режиму, обслуговується наново на новій швидкості.

Висновки

Описана вище модель включає наступні допущення:

- експоненціально розподілений час передачі пакету;
- пакети при переході з оптичного каналу на радіоканал не втрачаються;
- при зміні швидкості передачі пакету (зміні каналу передачі даних) поточна передача пакету уривається і стартує наново на новій швидкості.

Також слід зазначити, що ця модель не припускає вибору якоїсь конкретної технології радіопередачі для використання в резервному каналі зв'язку - це може бути, наприклад, 802.11a, 802.11g, 802.11n, MMW-стандарти або будь-яка інша технологія передачі даних по радіо тракту.

Література

1. Вишне夫斯基 В.М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации [Текст] / В.М.Вишне夫斯基, А.И. Ляхов. – М.: Техносфера, 2005.- 592 с.
2. Вишне夫斯基 В. Гибридное оборудование на базе радио- и лазерной технологий [Текст] /

В. Вишне夫斯基, С. Кузнецов, Д. Лаконцев, С. Поляков // Первая миля. – 2007. - № 1. [Электронный ресурс].

3. Поляков С.Ю. Беспроводная связь – вопросы выбора [Текст] / С.Ю. Поляков, С.Н. Кузнецов, А.С. Есенин // Технологии и средства связи. - 2007. - №3. Часть 2. [Электронный ресурс].
4. Вишне夫斯基 В.М. Об одной модели оценки производительности широкополосного гибридного канала связи на основе лазерной и радиотехнологий [Текст] / В.М. Вишне夫斯基, О.В.Семенова // Проблемы информатики. – 2010. – №2 (6). – С. 43–58.
5. Кузнецов С. 4,5 километра FSO-соединения с операторской надёжностью. Практические результаты / С. Кузнецов, Б. Огнев, С. Поляков // Технологии и средства связи. – 2008. - №6. [Электронный ресурс].

Трубчанинова К.А. Исследование модели гибридной радио-оптической телекоммуникационной системы. Рассмотрены основные характеристики беспроводного лазерного оптического канала, основные преимущества и существующие ограничения на использование технологии. Дается описание концепции гибридного канала, как комбинации оптического и радиоканалов с целью использования преимуществ каждого из них; математической модели гибридной системы как однолинейной системы массового обслуживания с двумя возможными скоростями обслуживания и ограниченным временем их использования.

Ключевые слова: радио-оптический канал, атмосферные оптические линии связи, FSO-технология, гибридный канал.

Trubchaninova K. The research of a model of a hybrid radio-optical telecommunication system. The principle of the transmission of a digital signal through the atmosphere by means of radiation modulation in the unlicensed range of wave lengths (infrared or visible) and its subsequent detection by optical photoreceiving device lies in the basis of FSO technology.

The main advantages are: high speed of transmission, the simplicity of installation as well as the absence of the necessity to pay for the utilization of a frequency range. At present the technology ensures the transmission of digital bitstreams up to 10 Gbit/sec that allows solving the problems of the “last mile” under the high immunity of a communication equipment channel, developing municipal networks transmitting data and voice, developing WDM (wave multiplexing) for SDH networks.

Modern condition of FSO technology allows creating reliable channels of communication at the distances from

100 to 1500-2000 metres in the conditions of atmosphere. Main characteristics, main advantages and the existing restrictions on the utilization of the technology have been considered in the work. The description of the concept of a hybrid channel as a combination of optical and radio channels with the purpose of using the advantages of each of them as well as mathematical model of a hybrid system as a unilinear system of mass service with two possible service rates and limited time of their utilization is given.

Key words: radio-optical channel, atmospheric optical communication lines, FSO technology, hybrid channel.

Рецензент д-р техн. наук, професор Г.В. Альошин (УкрДУЗТ)

Поступила 22.10.2015 р.

Трубчанінова Карина Артурівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного зв'язку, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: tka2@ukr.net

Trubchaninova Karyna, PhD, docent of "Transport connection" Department, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: tka2@ukr.net