

ОСОБЛИВОСТІ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ТЕХНОЛОГІЇ 5G

Григоренко О.Г., Кочева Н.С.

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

Наведені основні вимоги до мереж мобільного зв'язку п'ятого покоління. Зазначені особливості побудови та характеристики оптичних мереж, що забезпечать вимоги технології 5G.

Features of optical networks to provide requirements of 5G technology

Some basic requirements for fifth generation mobile networks are given. Features of optical network design and their characteristics that will provide the requirements of 5G technology are defined.

Оптичні мережі підтримують широкий спектр послуг зв'язку, включаючи послуги «оптичне волокно до дому» (FTTH), послуги підприємств та мобільні послуги. З впровадженням послуг мобільного зв'язку 5-го покоління особливості побудови та характеристики оптичної мережі змінюються, тому є актуальним визначити ці особливості.

Очікується, що безпроводова технологія п'ятого покоління (5G) буде запущена в глобальному масштабі в поточному 2020 році [1]. Оптична мережа, що забезпечуватиме технологію 5G, повинна відповідати трьом основним характеристикам, без яких не можливе повноцінне функціонування, а саме:

- збільшена пропускна здатність оптичного волокна;
- масові оптичні крос-з'єднання;
- інтелектуальна експлуатація та обслуговування мережі.

При забезпеченні вище зазначених характеристик мережа буде мати такі основні функції:

- розширений широкосмуговий мобільний зв'язок;
- масовий зв'язок машинного типу;
- наднадійний зв'язок з малою затримкою.

Ці три основні функції в сукупності підтримують розширений діапазон послуг і є сумісними з новими сервісами, які з'являться в епоху 5G. Також це забезпечить передачу зростаючого трафіку мереж інтернету речей.

Щоб задовольнити вимоги розширеного широкосмугового мобільного зв'язку в 5G, оптичні мережі повинні забезпечувати більшу пропускну здатність і бути економічно ефективними [2].

За період 2013-2019 рр пропускна здатність оптичного волокна зросла з 8 Тбіт/с до 32 Тбіт/с [1]. У 2013 р цифрове когерентне детектування з корекцією помилок SD-FEC (soft-decision forward-error correction) дозволило передавати канали зі швидкістю 100 Гбіт/с при квадратурній фазовій маніпуляції з розділенням за поляризацією оптичного сигналу PDM-QPSK (Polarization-division multiplexing - quadrature-phase-shift keying) на відстані

більше 4000 км.

Підсилювачі EDFA, що використовуються в оптичних мережах, забезпечують в С-діапазоні (1530-1565 нм, тобто смуга підсилення 4 ТГц) передачу по одному оптичному волокну вісімдесяти оптичних каналів зі швидкістю 100 Гбіт/с з кроком між каналами в 50 ГГц, що призводить до пропускної спроможності кожного волокна 8 Тбіт/с, на сьогодні – 32 Тбіт/с. Таким чином, спектральна ефективність системи WDM (Wavelength division multiplexing) становила 2 біт/с/Гц, яка на 2019 рік збільшилася до 5,3. Оптикоелектронні пристрої, що для модуляції/демодуляції використовують швидкості 32 Гбод, дозволяють забезпечувати швидкість даних 128 Гбіт/с при PDM-QPSK та швидкість 100 Гбіт/с після видалення службових даних для FEC. Квадратурні амплітудні модуляції (QAM) більш високого рівня, такі як PDM-64QAM, були введені для подальшого збільшення швидкостей, на 2019 рік швидкість оптикоелектронних пристроїв 64 Гбод. Цифрова обробка оптичного сигналу ґрунтувалася на 40-нм CMOS-технології, на сьогодні - 7-нм CMOS-технологія [1].

В майбутньому з використанням як розширеної С-смуги, так і розширеної L-смуги, смуга підсилення EDFA може бути збільшена до 10 ТГц. З досягненнями в технологіях оптикоелектронних пристроїв швидкість модуляції може перевищувати 100 Гбод. Більш досконалі алгоритми цифрової обробки оптичного сигналу включають імовірнісне формування сузір'я (PCS - Probabilistic constellation shaping) для QAM більш високого рівня, компенсацію нелінійності і спільну обробку складових суперканалу, які можуть бути реалізовані з використанням 5-нм CMOS-технології. При досягненні цих характеристик у 2022 році в системах передачі даних відбудеться подальше подвоєння пропускної здатності оптичних волокон до 64 Тбіт/с [1].

При використанні 5G неприпустимі довгі затримки в мережі, так як технології та додатки є чутливими до затримок і сильно залежать від швидкості передачі даних. Тому необхідно транспортувати канали систем WDM з малою затримкою, максимально використовувати оптичні крос-з'єднання для перемикання оптичних каналів різних довжин хвиль, що забезпечить прямі з'єднання на оптичному рівні через різні вузли 5G-орієнтованих оптичних мереж.

Масові оптичні крос-з'єднання необхідні для забезпечення повної можливості перемикання для всіх каналів WDM у всіх волокнах, підключених до оптичного вузла. Це можна забезпечити використанням багатоступеневих реконфігурованих вузлів введення/виведення оптичних каналів (MD-ROADM -multi-degree reconfigurable optical add/drop multiplexer) і компонентів оптичної крос-комутації OXC (optical cross connect). Такі вузли будуються за допомогою комутаторів, що перемикаються за довжиною хвилі (WSS - wavelength selective switch) та WXC (wavelength selective cross connect).

Рисунок 1 ілюструє вузол ROADM/OXC, що підтримує додавання/видалення будь-якої довжини хвилі з/в будь-якого напрямку.

Підсистема ROADM/OXC може стати більш компактною завдяки використанню вбудованого $N \times N$ OXC на рівні довжини хвилі для перемикання на стороні лінії і інтегрованого $N \times M$ WSS для локальних з'єднань введення/виведення і з'єднань без волокон. Нові WSS введення-виведення забезпечують знижені втрати і енергоспоживання [3].

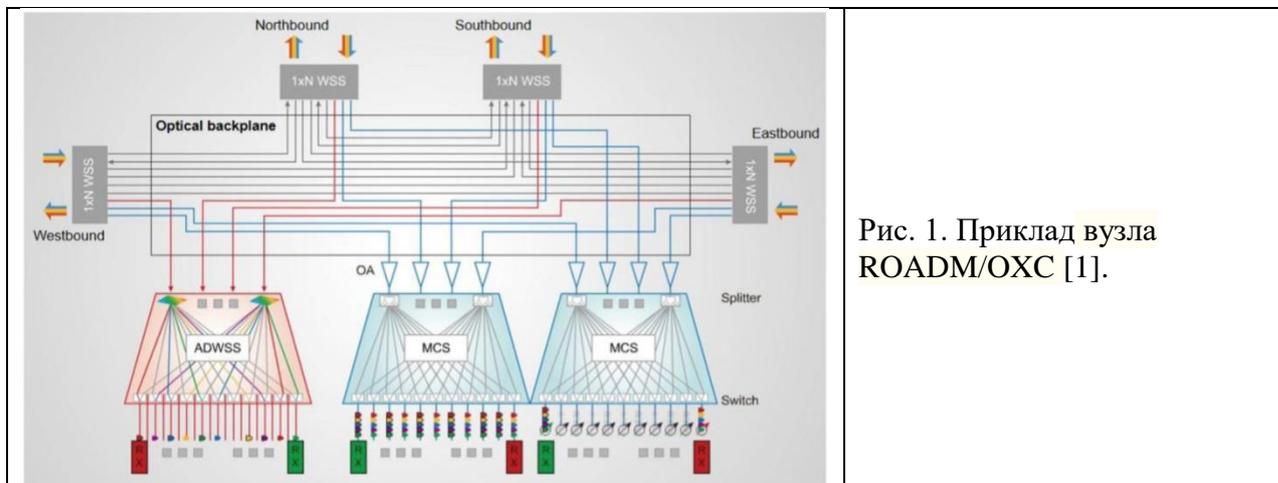


Рис. 1. Приклад вузла ROADM/OXC [1].

Максимально спростити та сконфігурувати правильність роботи мережі 5G має система інтелектуальної експлуатації та обслуговування мережі, яка надає можливості швидкого планування мережі та надійного обслуговування. На етапі експлуатації можливий прогноз трафіку, усунення несправностей і попередження про помилки. На етапі оптимізації адаптивне управління ресурсами і поділ мережі на рівні забезпечують, щоб послуга підтримувалася адекватно та зі збереженням ресурсів [4]. З впровадженням штучного інтелекту в мережевому хмарному середовищі стало можливим прогнозувати збої в оптичних мережах і майбутні вимоги до мережевих ресурсів, підвищуючи таким чином ефективність експлуатації та обслуговування.

Таким чином, для підтримки технології 5G оптичні мережі повинні забезпечувати збільшену пропускну здатність оптичного волокна; масові оптичні крос-з'єднання на базі вузла ROADM/OXC, що підтримує додавання/видалення будь-якої довжини хвилі з/в будь-якого напрямку; інтелектуальну експлуатацію та обслуговування мережі, які надають можливості надійного та адаптивного управління ресурсами.

Література

1. LIU Xiang. Evolution of Fiber-Optic Transmission and Networking toward the 5G Era/ LIU Xiang// iScience. – 2019. - Dec 22. – P.489-506. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6920305/>
2. Григоренко О.Г. Особливості реалізації ефективних оптичних транспортних мереж; Вісник НТУУ «КПІ», серія «Радіотехніка. Радіоапаратобудування», №73, 2018. – с.28-32.
3. COLBOURNE, Paul D., et al. Contentionless twin 8x24 WSS with low insertion loss// Optical Fiber Communication Conference. Optical Society of America. - 2018. - Th4A.
4. Vilalta R., López-de-Lerma A.M., Muñoz R., Martínez R., Casellas R. Optical Networks Virtualization and Slicing in the 5G era/ Optical Fiber Communication Conference, San Diego, USA. - 2018. - M2A.4.