Visnyk NTUU KPI Seriia – Radiotekhnika Radioaparatobuduvannia, 2018, Iss. 73, pp. 28–32

УДК 621.39

Особливості реалізації ефективних оптичних транспортних мереж

Григоренко О. Г.

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

E-mail: *olenagri@ukr.net*

Метою даної статті є проаналізувати особливості і сформулювати практичні рекомендації щодо побудови ефективних оптичних транспортних мереж. Розглянутий приклад використання обладнання мультисервісної транспортної платформи ONS15454 компанії Cisco показує можливості створення високопродуктивної, масштабованої, універсальної, ефективно керованої транспортної мережі.

Ключові слова: OTN; оптичне волокно; DWDM; CWDM; MSTP; ROADM

DOI: 10.20535/RADAP.2018.73.28-32

Вступ

Бурхливе зростання обсягів передачі даних за рахунок повсюдного поширення мережі Інтернет, виникнення нових додатків і послуг, що пропонуються телекомунікаційними операторами, розвитку Інтернету речей і т.д. призводить до потреб у збільшенні пропускної здатності мереж, і в зв'язку з цим модернізації існуючих чи створенні нових транспортних мереж. На підтвердження цього, за прогнозами компанії Cisco [1], опублікованими в звіті «Cisco Visual Networking Index™ Complete Forecast», очікується, що світовий обсяг IP-трафіку за період з 2016 по 2021 рр. виросте триразово і до 2021 р. досягне 3,3 зеттабайт (в 2016 р. аналогічний показник становив 1,2 зеттабайт). Це відбудеться завдяки прогнозованому зростанню числа інтернет-користувачів з 3,3 до 4,6 млрд, тобто 58% світового населення, прискореному збільшенню кількості персональних пристроїв і міжмашинних з'єднань, збільшенню середньої швидкості широкосмугового доступу і приросту відеотрафіка. На частку додатків Інтернету речей в світі до 2021 р. доведеться більше половини пристроїв і з'єднань. Тому актуальність побудови гнучких, масштабованих, продуктивних оптичних транспортних мереж не викликає сумнівів.

Окрім цього, для підтримки власної рентабельності, оператори зв'язку потребують зниження капітальних і операційних витрат при розгортанні мереж і нових послуг і зацікавлені в максимально ефективному рішенні щодо розвитку і розширення мереж [2–8]. Прокладка нових оптоволоконних кабелів вимагає великих капітальних витрат і займає багато часу, тому є актуальним використання технологій, що дозволяють істотно збільшити пропускну здатність існуючої інфраструктури з мінімальними витратами.

1 Аналіз особливостей технологій та обладнання для побудови оптичних транспортних мереж

Фізичним середовищем передачі для побудови транспортних мереж є оптичне волокно і оптичний кабель. На сьогоднішній день найбільш перспективною є технологія щільного мультиплексування з розділенням за довжиною хвилі (DWDM – Dense Wavelength Division Multiplexing), яка забезпечує найбільшу пропускну здатність при використанні однієї пари оптичних волокон.

У порівнянні з технологією SDH [9] та Carrier Ethernet, де використовується лише одна довжина хвилі для передачі інформаційного сигналу, технології WDM, іншими словами – технології зі спектральним розділенням каналів, використовують здатність оптичного волокна одночасно передавати множину оптичних сигналів на різних довжинах хвиль по одному оптичному волокну. Кожна довжина хвилі представляє окремий оптичний канал в оптичному волокні. Таким чином, пропускна здатність оптичного волокна збільшується в число раз, яке дорівнює кількості оптичних каналів (довжин хвиль). Наприклад, при передачі 80 оптичних каналів зі швидкістю кожного 10 Гбіт/с забезпечується пропускна здатність одного оптичного волокна у 800 Гбіт/с.

Системи DWDM працюють в C- та L-діапазонах на довжинах хвиль 1530-1565 нм та 1565-1625 нм

відповідно і використовують частотний план 100 ГГц та 50 ГГц згідно Рекомендації МСЕ G.694.1.

Більш спрощеним і економічним варіантом, ніж технологія DWDM, є CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing), яка також є протоколонезалежною і дозволяє передавати по кожному з оптичних каналів будь-який трафік зі швидкостями від 100 Мбіт/с до 2,5 Гбіт/с.

Особливостями цієї технології є план довжин хвиль з відстанню між сусідніми оптичними каналами 20 нм (згідно G.694.2), відсутність оптичних підсилювачів на вузлах мережі, невеликі відстані до 80-100 км, недорогі лазерні діоди, і максимальне число каналів, які можна організувати в оптичному волокні, дорівнює 18. Все це дозволяє на два порядки зменшити витрати у порівнянні з DWDM. Але для роботи на 18 каналах потрібне спеціальне волокно з нульовим «водяним піком» G.652C/D. Так як, зазвичай, використовується існуюча інфраструктура оптичного кабелю зі стандартним одномодовим волокном G.652, то для CWDM використовують до 8 довжин хвиль в діапазоні 1470-1610 нм, але це також збільшує пропускну здатність мережі у 8 раз у порівнянні з використанням однієї довжини хвилі.

Наряду з технологіями WDM, оптичні транспортні мережі використовують технологію оптичної транспортної ієрархії (OTH – Optical Transport Hierarchy), яка передбачає перетворення сигналів інформаційного навантаження в оптичному каналі в стандартизовані цифрові структури, такі як OPUk (блок навантаження оптичного каналу), ODUk (блок даних оптичного каналу), OTUk (транспортний блок оптичного каналу), OTM-n,m (рис. 1) [2,4]. Оптичний транспортний модуль OTM-n,m є лінійним (агрегатним) сигналом, який поширюється в оптичному волокні. Він складається з групи модульованих носіїв (багатоканального сигналу DWDM, що займає 1530-1560 нм) та оптичного каналу контролю і управління OSC, який передається на довжині хвилі 1510 нм. Структуровані сигнали мають циклову структуру і вміщують службові заголовки (OH), в яких переноситься інформація щодо контролю та обслуговування оптичних каналів передачі. Таким чином, оптична транспортна мережа (OTN, G.709) є універсальною, тобто здатною транспортувати будь-які види цифрового трафіку, і ефективно керованою та контрольованою не гірше, ніж SDH.

Основним типом обладнання, що використовується для побудови оптичних транспортних мереж (OTN) є мультисервісні транспортні платформи (MSTP) [2, 3]. Така платформа представляє собою багатослотове шасі, куди встановлюються відповідні плати і модулі в залежності від функцій, що виконує вузол мережі. Мультисервісні транспортні платформи (MSTP) забезпечують інтеграцію на апаратному рівні декількох мережевих технологій, наприклад: DWDM, SDH, Ethernet, IP, ATM, і дозволяють реалізувати їх переваги: велику пропускну здатність систем DWDM (порядку терабіт/с), керованість, захист цифрових потоків, можливості крос-комутації, надійність та якість послуг SDH, ефективну передачу трафіку даних IP, Ethernet, ATM.

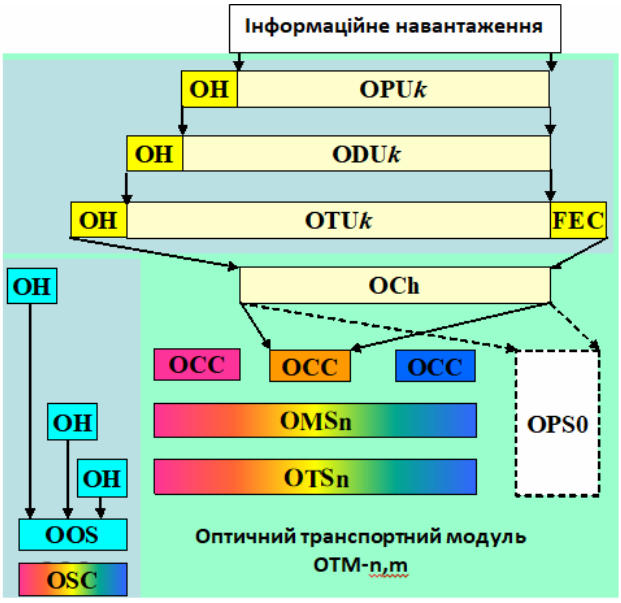

Рис. 1. Структура оптичного транспортного модуля

Модульний принцип побудови обладнання MSTP дозволяє створювати різні конфігурації мережевого елемента: реконфігуруємого оптичного мультиплексора введення/виведення (ROADM), оптичного термінального мультиплексора (вузла термінації оптичних каналів), лінійного оптичного підсилювача та ін. На всіх вузлах мережі обов'язково здійснюється підсилення багатохвильового оптичного сигналу, компенсація хроматичної дисперсії і забезпечення контролю та управління мережевим елементом завдяки виведенню/введенню з/в OTM-n,m каналу OSC та його обробці. У вузлі термінації додається функція формування і розформування багатоканального сигналу DWDM. У вузлі ROADM оператор має можливість конфігурації виведення/введення оптичних каналів, будь-якої кількості і в довільній комбінації, з лінійного сигналу OTM-n,m [3]. Канали, що не виводяться на цьому вузлі, проходять його транзитом. Вузол крос-комутації оптичних каналів виконує функцію крос-комутації оптичних каналів між різними напрямками [5, 7].

2 Приклад побудови вузла ROADM

Як приклад розглянемо побудову вузла ROADM (Reconfigurable Optical Add Drop Multiplexor) на базі обладнання ONS 15454 фірми Cisco System [10], яке достатньо широко застосовується на телекомунікаційних мережах України.

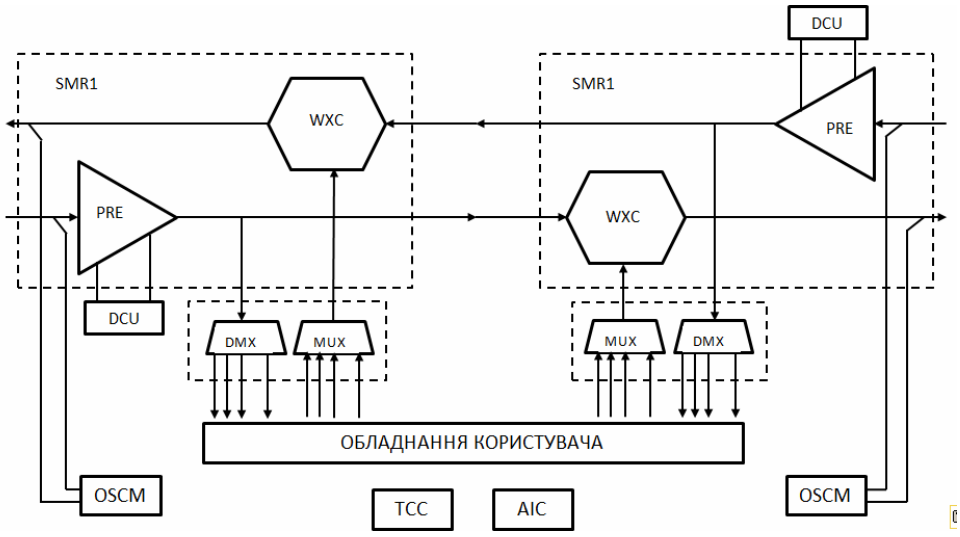

Рис. 2. Вузол ROADM для двох напрямів

Варіанти конструктивного виконання ONS15454 M6 та M12 відрізняються розмірами і кількістю слотів (6 і 12 установчих позицій), що використовуються для встановлення сервісних плат, необхідних для створення відповідної конфігурації вузла мережі (наприклад: ROADM). Також шасі обладнано платами, що виконують функції управління, зв'язку і синхронізації, контролера аварійної сигналізації; модулями, через які подається електроживлення; блоком управління вентиляторами. Окрім оптичних мультиплексорів і демультиплексорів, комутаторів, залежних від довжини хвилі, оптичних підсилювачів, які створюють конфігурацію вузла мережі, на позиції сервісних плат встановлюються інтерфейсні плати. До них відносяться різні варіанти транспондерів та мукспондерів, через які в/з оптичні канали DWDM вводяться/виводяться клієнтські оптичні сигнали, а також в цих платах забезпечується регенерація сигналів оптичних каналів.

На сьогоднішній день обладнання ONS15454 надає підвищений рівень інтеграції апаратури, що забезпечується поєднанням функцій декількох плат попередніх версій в одній платі нової версії, наприклад: плати 40-SMR1-C і 40-SMR2-C. За рахунок цього в шасі можна виділити більше установчих позицій для розміщення, наприклад, плат транспондерів, тобто підключити більше клієнтів. На платі 40-SMR1-C розміщені модуль ROADM на основі WXC 2×1 (оптичний крос-комутатор), попередній підсилювач та фільтр введення/виведення оптичного каналу контролю і управління OSC, в попередній версії ці компоненти займали 3 слоти. На платі 40-SMR2-C розміщені складові попередньої плати, тільки ROADM на основі WXC 4×1, і додатково підсилювач потужності (бустер). Запис 2×1 означає реконфігурування двох ступенів, тобто для кожної довжини хвилі можливе виведення або проходження транзитом через вузол мережі, відповідно 4×1 означає виведення або маршрутизацію транзитом через вузол мережі у будь-який з трьох напрямів. Також розроблені інші високопродуктивні та гнучкі плати, наприклад, SMR20-FS, що дозволяє виконувати маршрутизацію на 20 напрямів.

Варіант конфігурації вузла ROADM для двох напрямів показаний на рис. 2, а для крос-комутації оптичних каналів з чотирьох напрямів – на рис. 3 [10]. В другому випадку треба додатково встановити у стійку патч-панель 15454 PP-4 SMR. Патч-панелі використовуються, коли у вузлі крос-комутації оптичних каналів сходяться багатоканальні сигнали, наприклад, з чотирьох, восьми напрямів.

На сьогоднішній день обладнання ONS15454 підтримує використання вісімдесяти каналів в C-діапазоні та тридцяти двох в L-діапазоні.

3 Практичні рекомендації щодо побудови оптичної транспортної мережі

Проаналізувавши особливості технологій CWDM і DWDM, можна зазначити, що основна область застосування CWDM – оптичні транспортні мережі міського та регіонального масштабу в умовах дефіциту вільного оптичного волокна та/або для розширення пропускної здатності існуючих мереж. Використання на транспортній мережі обладнання CWDM значно дешевше, але така мережа буде мати менші можливості нарощування завдяки обмеженій кількості каналів (8, максимально 18) і меншій швидкості в оптичному каналі. Платформи DWDM мають значно більшу продуктивність і масштабованість.

При створенні або модернізації оптичної транспортної мережі на існуючій інфраструктурі з волокном G.652 потрібно використовувати блоки компенсації хроматичної дисперсії, які встановлюються в стійку. Якщо вкладаються кошти в нову інфра-

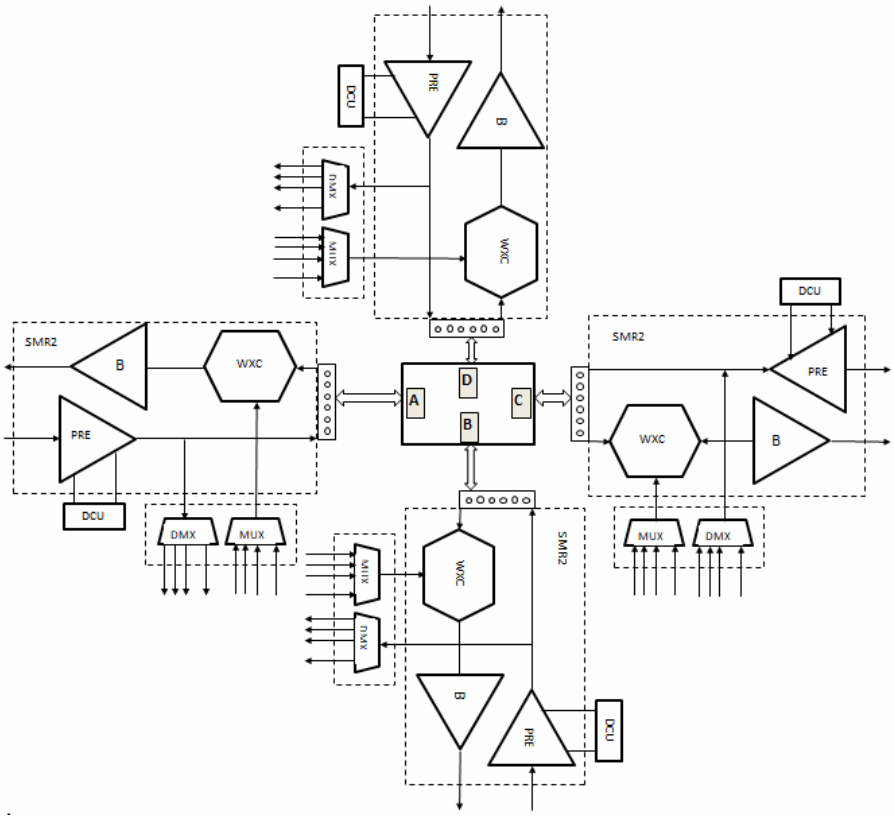

Рис. 3. Вузол оптичної крос-комутації для 4-х напрямів на базі ROADM

структуру, то доцільніше застосовувати кабель з оптичними волокнами G.655 (NZDSF – волокна зі зміщеною ненульовою дисперсією), які були спеціально розроблені для систем DWDM, і компенсатори не потрібні.

Зазвичай у оператора зв'язку вже існує фізична інфраструктура волоконно-оптичного кабелю з волокнами G.652 (стандартне одномодове волокно), тому для ефективного використання смуги пропускання оптичного волокна і збільшення пропускної здатності транспортної мережі достатньо встановити обладнання MSTP, що підтримує стандарти функціонування оптичної транспортної мережі (OTN) [2,5,6].

На відміну від систем CWDM, обладнання DWDM потребує застосування різних видів оптичних підсилювачів, які компенсують втрати, що вносять пасивні компоненти DWDM. Наприклад, внесене загасання оптичних мультиплексорів і демультиплексорів може складати до 5-6 дБ кожного. Для вибору потрібних підсилювачів необхідно врахувати втрати, що вносяться всіма компонентами, в тому числі оптичним волокном, на регенераційній ділянці між вузлами мережі.

Потрібно визначити місце розташування підсилювальних вузлів, вузлів термінації оптичних каналів, вузлів ROADM та оптичної крос-комутації. Можливо на всіх вузлах мережі буде здійснюватися введення/виведення оптичних каналів, тоді можна застосувати схему ROADM, що уніфікує мережеві елементи і зменшить склад запасних компонентів.

При побудові OTN використовується топологія взаємодіючих об'ємних кілець DWDM для забезпечення захисту на мережевому рівні завдяки створенню альтернативних шляхів передачі сигналів.

Завдяки використанню конекторів MPO на платах, де обробляється значна кількість оптичних каналів, потрібно передбачити в стійці кросове обладнання для переходу на конектори LC, тобто окремі оптичні канали.

Так як обладнання є модульним і масштабованим, то необхідно враховувати майбутнє зростання мережі і прогнозоване збільшення кількості портів для підключення клієнтів, тобто встановлення додаткових плат, можливу заміну інших на нові версії, збільшення оптичних каналів.

При побудові або модернізації транспортної мережі треба обирати обладнання з високою інтеграцією компонентів і продуктивністю, можливістю масштабування, енергоефективне.

Приклад використання ROADM показав можливість створення гнучкої конфігурації мережі, що адаптується до зовнішніх змін, і забезпечує просту та швидку активацію послуг. Такі транспортні мережі і подібне обладнання можуть бути використані корпораціями, підприємствами, що мають розгалуженість по всій території України. Окупність інвестицій зросте, якщо залучати зовнішніх клієнтів для передачі їхнього трафіку транспортною мережею корпорації.

Висновки

За результатами аналізу технологій та обладнання, що використовуються на оптичній транспортній мережі (OTN), сформульовано практичні рекомендації щодо ефективного розгортання або модернізації OTN. Визначено, що технологія та обладнання DWDM дозволяють в повній мірі реалізувати можливості щодо пропускної здатності оптичного волокна в одиниці – десятки Терабіт/с за рахунок збільшення кількості оптичних каналів і збільшення швидкості передачі в кожному каналі. При цьому потрібно враховувати:

- тип оптичного волокна (пов'язані з цим компенсація хроматичної дисперсії, наявність «водяного» піку загасання);
- майбутні обсяги розширення мережі;
- можливості обладнання щодо масштабування, оновлення програмного та апаратного забезпечення, нарощування, інтеграції компонентів, щільності портів та оптичних каналів на одну плату, уніфікації використовуваних компонентів при побудові вузлів мережі, ефективної системи управління, енергоефективності.

На базі розглянутих прикладів показано можливості побудови гнучких мереж, які можна поступово нарощувати, що забезпечує ефективне вкладення коштів і оплату по мірі зростання трафіку.

References

[1] Cisco public (2017) *Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2016–2021*. White paper.

[2] Littlewood P. and Follis E. (2016) *Optical Transport Networking*. Ciena Corporation, 40 p.

[3] Ulyanov A. (2016) Multiplexers networks OTN/DWDM. *Telecom IT*, Vol. 4, Iss. 3, pp. 85–94. (in Russian)

[4] Popov S. (2015) Evolyutsiya opticheskikh transportnykh setei – vzglyad lidera [Evolution of optical transport networks – a leader's view]. *Pervaya milya*, Is.8, pp.50-54.

[5] Gerstel O., Jinno M., Lord A. and Ben Yoo S. J. (February 2012) Elastic Optical Networking: A New Dawn for the Optical Layer? *IEEE Communications Magazine*, Vol. 50, Iss. 2, pp. 12-20. DOI: 10.1109/MCOM.2012.6146481

[6] Gringeri S., Bitar N. and Xia T.J. (2013) Extending Software Defined Network Principles to Include Optical Transport. *IEEE Communications Magazine*, Vol.51, Iss. 3, pp. 32-40. DOI: 10.1109/MCOM.2013.6476863

[7] Schmitt A. (2012) *Integrated OTN Switching Virtualizes Optical Networks*, Infonetics research white paper, 12 p.

[8] AL-Rawi M. (2017) Performance Analysis of OFDMA and SC-FDMA. *Visn. NTUU KPI, Ser. Radioteh. radioaparatobuduv.*, no. 71, pp. 23-27. DOI: 10.20535/RADAP.2017.71.23-27

[9] Romanyshyn V.S. and Berdnykov O.M. (2018) Requirements to increase the capacity of information transmission systems. *Problemy telekomunikatsii 2018*, pp. 77-79 (in Ukrainian).

[10] Cisco Content Hub (2017) *Cisco ONS 15454 Series Multiservice Transport Platforms*. Available at: https://content.cisco.com/

Особенности реализации эффективных оптических транспортных сетей

Григоренко Е. Г.

Целью данной статьи является проанализировать особенности и сформулировать практические рекомендации по построению эффективных оптических транспортных сетей. Рассмотренный пример использования оборудования мультисервисной транспортной платформы ONS15454 компании Cisco показывает возможности создания производительной, масштабируемой, универсальной, эффективно управляемой транспортной сети.

Ключевые слова: OTN; оптическое волокно; DWDM; CWDM; MSTP; ROADM

Implementation Features of Effective Optical Transport Networks

Hryhorenko O. H.

The purpose of this article is to analyze the features and formulate practical recommendations for the construction of efficient optical transport networks. To sum up the main area of application of CWDM - optical transport networks of urban and regional scale. At the same time, the costs are much lower (cheap laser diode, lack of optical amplifiers) compared to DWDM, but such a network will have fewer build opportunities due to the limited number of channels (8, max 18) and lower speeds in the optical channel. The DWDM platforms have significantly higher performance and scalability and allow you to fully realize the capabilities of optical fiber throughputs to dozens of Terabytes/sec due to the increased number of optical channels and the increase in speed in each channel. The use of multi-service transport platforms (MSTP) on the optical transport network (OTN) provides the integration of several network technologies at the hardware level and allows the creation of various network node configurations: ROADM, optic channel termination node, linear optical amplifier node, etc. When creating or upgrading OTN it is necessary to take into account: the type of optical fiber (related to the compensation of the chromatic dispersion, the presence of "water" peak of attenuation); future expansion of the network; Scalability equipment, software and hardware upgrades, build-up, component integration, port density and optical channels per board, unification of used components when building network nodes, efficient system management, and energy efficiency. The considered example of using the Cisco MSTP ONS15454 equipment demonstrates the ability to create a highly productive, scalable, versatile, efficiently managed transport network. Such transport networks and similar equipment may be used by corporations that have branching throughout the territory of Ukraine. The return on investment will increase if you attract external clients to transfer their traffic to the corporation's transport network.

Key words: OTN; optical fiber; DWDM; CWDM; MSTP; ROADM