

УДК 004.77:004.94 (045)

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ *DWDM* ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В ОПТИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Дровозов В.І., Гребініченко К.С.

Київський національний авіаційний університет
Кафедра комп'ютерних систем та мереж
E-mail: katherina.moonshine@gmail.com

Анотація

Дровозов В.І., Гребініченко К.С. Використання технології DWDM для підвищення продуктивності передачі даних в оптичних мережах. Розглядаються особливості технології DWDM для підвищення продуктивності передачі даних в оптичних мережах. Проаналізовані перспективи розвитку DWDM, SDH і CWDM технологій.

Загальна постановка проблеми

Актуальною проблемою сучасного інформаційного суспільства є підвищення продуктивності передачі даних в оптичних мережах. В минулому проектування телекомунікаційних мереж з економічної точки зору в основному диктувалося необхідністю передачі голосу. Але в зв'язку з багатомасштабним розгортанням мереж передачі даних відбувається модифікація самої архітектури мереж [1]. Саме тому необхідні фундаментальні зміни в принципах проектування, контролю та управління мережами. В основі нового покоління мережних технологій покладені багатОВОЛОКОННІ оптичні мережі, які базуються на щільному спектральному мультиплексуванні *DWDM* (*Dense Wavelength-Division Multiplexing*).

Цілі

Метою є розглянути особливості технології *DWDM* для підвищення продуктивності передачі даних в оптичних мережах. Проаналізувати перспективи розвитку *DWDM*, *SDH* (*Synchronous Digital Hierarchy*) і *CWDM* (*Coarse Wavelength Division Multiplexing*) технологій.

Шляхи вирішення проблеми

Транспортна технологія *DWDM* при передачі по одній оптичній парі забезпечує найбільшу швидкість серед інших використовуваних технологій передачі. Висока швидкість забезпечується за рахунок вживання технології мультиплексування по довжині хвилі, коли по одній оптичній парі передається декілька незалежних потоків, кожен з яких в своєму оптичному діапазоні. Пропоноване зараз устаткування дозволяє використовувати від 16 до 128 оптичних каналів, в кожному з яких прозора передається інформаційний потік зі швидкістю від 100 Мбіт/с до 10 Гбіт/с.

Окрім смуги пропускання, технологія *DWDM* має цілий ряд інших переваг :

- Прозорість. Оскільки, *DWDM* - це архітектура фізичного рівня, вона може прозора підтримувати мультиплексування з розділенням за часом (*TDM*) і формати даних *ATM*, *Gigabit Ethernet*, *ESCON* і *Fibre Channel* з відкритими інтерфейсами на загальному фізичному рівні.
- Масштабованість. *DWDM* може використовуватися для швидкого нарощування місткості в з'єднаннях "точка-точка" і сегментах існуючих кілець *SONET/SDH*.
- Динамічне забезпечення мережі (*Dynamic Provisioning*), швидке і просте динамічне забезпечення мережних з'єднань дозволяє провайдерам здійснити стратегічний

розподіл смуги пропускання (*Strategic Bandwidth Allocation*), тобто довести оптичні канали до окремих будівель.

Устаткування *DWDM* використовує технологію щільного спектрального ущільнення каналів і дозволяє організувати до 46 дуплексних каналів передачі даних по двох оптичних волокнах або до 23 дуплексних каналів по одному оптичному волокну при використанні частотного діапазону *C Band* і частотної сітки 100 ГГц. Швидкість передачі кожного каналу може варіюватися від 100 Мбіт/с до 10 Гбіт/с. Системи *DWDM* в основному застосовуються на міських і магістральних волоконно-оптичних мережах.

Побудова магістралі *DWDM* має на увазі установку мультиплексорів *DWDM*, що мають інтерфейси для підключення високошвидкісних абонентських інтерфейсів. Відстань між мультиплексорами може складати до 100 км без вживання регенераційного устаткування, вживання регенераторів збільшує дальність передачі до 500-600 км. і вище.

Для побудови гнучких мереж *DWDM* використовуються оптичні *Add-Drop* мультиплексори (*OADM*), що забезпечують безпосереднє введення/вивід каналів в магістраль *DWDM* на оптичному рівні (без перетворень оптичного сигналу в електричний) і що дозволяють будувати розгалужені транспортні оптичні мережі.

У більшості провідних виробників є *DWDM* устаткування, яке дозволяє мультиплексувати в *C*-діапазоні (1530-1565 нм) до 40 оптичних каналів при ширині одного каналу 100 ГГц або до 80 оптичних каналів при його ширині 50 ГГц. В цьому випадку максимальна ємність одного оптичного каналу складає 10 Гбіт/с (рівень *STM-64*). У діапазоні *L* (1570-1605 нм) максимальне число оптичних каналів може досягати 160 при ширині каналу 50 ГГц.

При використанні *DWDM*-устаткування на 160 каналів одночасно в діапазонах *C* і *L* (*C + L*) виникають певні вимоги до оптичних кабелів, а саме: загасання в *C*- і *L*-діапазонах має бути зразкове однаковим. Отже, необхідно використовувати оптичний кабель з симетричними в цих діапазонах характеристиками по загасанню. Так, для кабелів, відповідних вимогам рекомендації *G.652*, різниця загасання у вказаних діапазонах може досягати 0,02 дБ/км, що в перерахунку на одну підсилювальну ділянку дає різницю до 2 дБ. В цьому випадку для розрахунків розташування устаткування необхідно брати найбільше загасання, що приводить до необхідності частіше встановлювати передавальне устаткування і таким чином збільшить його ціну [2].

Використання технології *DWDM* виправдано для передачі великих об'ємів трафіку. Із збільшенням числа оптичних каналів, які передаються по одному волокну, вартість передачі одиниці інформації зменшується. Так, вартість передачі одного біта інформації по повністю завантаженій 160-канальній системі менше відповідного показника для 40/32-канальної системи. Проте, при неповному завантаженні важливо враховувати той факт, що ціна устаткування для 40/32-канальної системи помітно нижче за ціну 160-канальної системи.

В діапазоні *C* можна використовувати до 80 оптичних каналів. Для того, щоб уникнути втрат, пов'язаних з нелінійною взаємодією різних оптичних каналів, а також дотримати санітарні норми, сумарна потужність сигналу в оптоволокну не повинна перевищувати 100 мВт (або 20 дБм). Це обмежує потужність на один оптичний канал. Для 80-канальної системи потужність на один канал складає 1 дБм, для 40-канальної системи - 4, для 32-канальної - 5 дБм. Таким чином, на кожній підсилювальній ділянці 32-канальна система має запас в 1 дБ в порівнянні з 40-канальною і 4 дБ в порівнянні з 80-канальною. Якщо ж при проектуванні *DWDM*-мережі закладати на перспективу можливість роботи на 80 каналах, то довжина підсилювальних і регенераційних ділянок різко зменшиться, число вузлів на мережі виросте і вартість устаткування в перерахунку на один оптичний канал значно збільшиться [3].

Особенности использования *DWDM* в городских условиях

Призначене для використання в міських умовах устаткування *DWDM* часто називають *Metro DWDM*. Воно, як правило, використовується в кільцевій конфігурації, наділений надійними механізмами захисту трафіку. Бажано використовувати *OADM*-мультиплексори, які дозволяють виділяти до 12 довжин хвиль при порівняно невеликій вартості вузла. Сучасні міські транспортні мережі часто є складною розгалуженою структурою комірчастого типу. Щоб передати інформацію з вузла 1 у вузол 2 потрібно задіяти багато проміжних вузлів. Кожен з них використовуватиме матрицю кросу-комутації для маршрутизації сигналу. Загалом для передачі інформації між вузлами 1 і 2 необхідно виробити багато ресурсоемних перетворень.

При передачі сигналу на невеликі відстані знижуються і вимоги до підсилювачів: як правило, не потрібна функція еквалайзера, вихідна потужність теж може бути зменшена. Все це приводить до помітного здешевлення підсилювачів.

Транспондери, які застосовуються для передачі стандартного *SDH*-трафіку, здатні передавати і трафік *ATM*. Для цього можна задіяти режим *ATM over SDH over DWDM* (синхронний режим передачі *ATM*-трафіку) з використанням наступних контейнерів: *Vc4*, *Vc4-4c*, *Vc16-16c*, *Vc4-4v*, *Vc16-16v*. Для передачі *ATM*-трафіку можна узяти і універсальний самоналагоджувальний транспондер, який підтримує інтерфейси користувача незалежно від швидкості передачі, формату даних або типу протоколу. У *DWDM*-сигнал упаковується будь-який оптичний сигнал з швидкостями в діапазоні 34 Мбіт/с - 2,5 Гбіт/с. За допомогою описуваного транспондера можна передавати традиційний трафік *SDH*, а також трафік *Fast Ethernet*, *Gigabit Ethernet*, *ATM*, *ESCON/FICON*, *Fiber Channel*, *FDDI*.

Більшість з перерахованих транспондерів можуть бути виконані в двох видах: з упаковкою в оптичний канал, що передається в одному напрямі, і з упаковкою в оптичний канал, що передається в кільці в двох протилежних напрямках. Останній варіант використовується з метою реалізації функції захисного перемикачання в кільці для кожної окремо взятої довжини хвилі. Таким чином, можна вибирати, які довжини хвиль захищати, а які залишити незахищеними. Існують й інші механізми захисту трафіку, у тому числі і на рівні *SDH* [4].

Перспективи розвитку *DWDM*, *SDH* та *CWDM* технологій.

Як *DWDM*, так і *SDH* технології розраховані, перш за все, на використання в телефонних мережах з комутацією каналів. Проте, згідно зі світовими тенденціями, розвиток телекомунікацій майбутнього пов'язаний з пакетними і *IP*-мережами, у зв'язку з чим вже розробляється *IP*-сумісні оптичні методи передачі сигналів. Тому в перспективі, мережі, що базуються повністю на *SDH*-технології поступово втратять своє значення, проте *SDH*-функціональність, швидше за все, продовжуватиме грати важливу роль в *IP*-інфраструктурі. Особливо це стосується діючих *IP*-мереж, оскільки функціональні можливості устаткування *SDH* лише передбачається реалізувати в майбутніх оптичних *IP*-мережах. Спільне вживання устаткування *SDH*, *DWDM* і широко поширеного на існуючих мережах устаткування стандарту *PDH* (*Plesiochronous Digital Hierarchy*) забезпечить гнучкий і безболісний перехід до повністю *IP*-сумісним мережам. Такий сценарій розвитку задовольняє вимогам як до функціональності, так і до пропускну здатності мереж [5].

На відміну від систем розрідженого спектрального мультиплексування *CWDM*, системи щільного спектрального мультиплексування дозволяють організувати передачу на великі відстані, більше 1000 кілометрів по одномодовому кабелю без *3R* регенерації передаваних сигналів. При створенні таких систем необхідно враховувати чинники, якими можна нехтувати при створенні *CWDM* систем, а саме:

- Хроматична дисперсія. В результаті її впливу, у міру поширення по волокну, імпульси, які складають оптичний сигнал, стають ширшими. При передачі сигналів на великі

відстані імпульси можуть накладатися на сусідні, цим самим ускладнювати їх точне відновлення. Із збільшенням швидкості передачі та довжини оптичного волокна вплив хроматичної дисперсії збільшується. Для зменшення впливу хроматичної дисперсії на передавані сигнали, використовуються компенсатори дисперсії.

- Поляризаційна модова дисперсія. Виникає в оптичному волокні із-за різниці швидкостей розповсюдження двох взаємно перпендикулярних поляризаційних складових моди, що призводить до спотворення форми передаваних імпульсів. Причиною цього явища є неоднорідність геометричної форми оптичного волокна. Вплив поляризаційної модової дисперсії на передавані оптичні сигнали зростає із збільшенням швидкості передачі, із збільшенням числа каналів системи ущільнення і із збільшенням довжини волокна.

- Вимушене зворотне розсіяння Мандельштама-Бріллюена. Зміст цього явища полягає в створенні оптичним сигналом періодичних областей із змінним показником заломлення - свого роду віртуальні дифракційні ґрати, проходячи через які сигнали поширюються подібно до акустичної хвилі. Відбиті цими віртуальними ґратами сигнали складаються і посилюються, утворюючи зворотний оптичний сигнал. Дане явище приводить до збільшення рівня шумів і перешкоджає поширенню оптичного сигналу, оскільки велика частина його потужності розсівається у зворотному напрямі.

- Фазова автомодуляція. При високих рівнях потужності сигналу від лазера може відбуватися модуляція сигналом власної фази. Ця модуляція розширює спектр і розширює або стискає сигнал в часі залежно від знаку хроматичної дисперсії. У системах щільного спектрального мультиплексування сигнал з розширеним автомодуляцією спектром може накладатися на сигнали сусідніх каналів. Фазова автомодуляція збільшується при зростанні потужності сигналу, при збільшенні швидкості передачі і при негативній хроматичній дисперсії. Вплив фазової автомодуляції зменшується при нульовій або невеликій позитивній хроматичній дисперсії.

- Перехресна фазова модуляція. В результаті цього явища сигнал одного каналу модулює фази сигналів у сусідніх каналів. Чинники, що впливають на перехресну фазову модуляцію, збігаються з чинниками, що впливають на фазову автомодуляцію. Окрім цього, вплив перехресної фазової модуляції залежить від числа каналів в системі.

- Чотирьоххвильове зміщення. Виявляється при досяганні порогового рівня потужності випромінювання лазера. В цьому випадку нелінійні характеристики волокна приводять до взаємодії трьох хвиль і появи нової четвертої хвилі, яка може збігатися з частотою іншого каналу. Таке накладення частот призводить до збільшення рівня перешкод і ускладнює прийом сигналу.

- Шум, що вноситься підсилювачем *EDFA*. Причина цього явища - потужність посиленого спонтанного випромінювання, яка виникає внаслідок конструктивних особливостей підсилювачів *EDFA*. В процесі проходження через підсилювач до корисної складової оптичного сигналу додається шум. Таким чином, зменшується відношення "сигнал/шум", і в результаті сигнал може бути прийнятий з помилками. Це явище обмежує кількість підсилювачів в лінії.

Таким чином, можна зробити висновок, що *DWDM* устаткування поступово витіснює *CWDM* устаткування. Оскільки, *DWDM* мережі підтримують найбільш розповсюджені стандарти, в тому числі всі рівні *SDH* з *STM-1* до *STM-64*, *Ethernet* зі швидкостями передачі від 10 Мбіт/с до 10 Гбіт/с, *Fiber Channel*, *ATM* [6].

Висновки

Отже, технологія *DWDM* дозволяє значно підвищити продуктивність передачі даних в оптичних мережах.

Технологія *DWDM* забезпечує найбільшу пропускну спроможність при використанні однієї оптичної пари. Висока пропускну спроможність досягається за рахунок вживання

технології мультиплексування по довжині хвилі, коли по одній оптичній парі передається декілька незалежних потоків, кожен на своїй довжині хвилі. Устаткування, що існує зараз, дозволяє використовувати до 80 оптичних каналів з можливістю розширення до 300 каналів в майбутньому. У кожному з таких каналів прозора передається інформаційний потік на швидкостях від 100 Мбіт/с до 10 Гбіт/с [7]. Впровадження технології щільного спектрального мультиплексування по довжині хвилі створює можливість підвищення ефективності передачі трафіку в оптичних каналах міських мереж. Найпривабливішою особливістю технології *DWDM*, як з технічної, так і з економічної точки зору, є її здатність підтримувати практично необмежені можливості по передачі трафіку. Вона не лише захищає інвестиції, вкладені в існуючі оптоволоконні канали, але і підвищує їх можливості, щонайменше, в 32 рази.

Основними перевагами мереж *DWDM* є:

- висока швидкість передачі;
- висока утилізація оптичних волокон;
- можливість забезпечити 100%-ий захист на основі кільцевої топології;
- дозволяє використання будь-яких технологій канального рівня завдяки прозорості каналів оптичних волокон;
- можливість простого нарощування каналів в оптичній магістралі.

Системи *DWDM* є недорогим рішенням по ущільненню оптичних волокон для організації зв'язку на великих відстанях. Також, системи *DWDM* є альтернативою системам *CWDM* у випадках, коли необхідно організувати по одному волокну більше 9 дуплексних каналів і більше 18 дуплексних каналів по двох волокнах.

Крім того, технологія *DWDM* є значно дешевшою і вигіднішою у використанні, ніж технології *SDH* і *CWDM*.

Список літератури

1. Слепов *Н.* Особенности современной технологии WDM - Электроника: НТВ. 2004. № 6. С. 68-76.
2. Технология DWDM. [Electronic resource] / Интернет-ресурс. - Режим доступа: [www/URL: http://www.softplace.uz/technology-menu/124--dwdm](http://www.softplace.uz/technology-menu/124--dwdm) - Загол. з екрану.
3. DWDM технология [Electronic resource] / Интернет-ресурс. - Режим доступа: [www/URL: http://shop.nag.ru/article/dwdm-tehnologiya](http://shop.nag.ru/article/dwdm-tehnologiya) - Загол. з екрану.
4. Системы DWDM: особенности и применение [Electronic resource] / Интернет-ресурс. - Режим доступа: [www/URL: http http://ccc.ru/magazine/depot/03_04/read.html?0302.htm](http://ccc.ru/magazine/depot/03_04/read.html?0302.htm) - Загол. з екрану.
5. SDH на закате [Electronic resource] / Интернет-ресурс. - Режим доступа: [www/URL: http://www.comnews.ru/standart/article/52377](http://www.comnews.ru/standart/article/52377) - Загол. з екрану.
6. Оборудование DWDM: [Electronic resource] / Интернет-ресурс. - Режим доступа: [www/URL: http://www.telcon.ru/equipment/dwdm/](http://www.telcon.ru/equipment/dwdm/) - Загол. з екрану.
7. Решения и продукты компании Cisco Systems по построению оптических сетей: [Electronic resource] / Интернет-ресурс. - Режим доступа: [www/URL: http://www.xnets.ru/plugins/content/content.php?content.230](http://www.xnets.ru/plugins/content/content.php?content.230) - Загол. з екрану.