

УДК 621.396.2

Г. Л. Лысенко, к. т. н., доц.;

Ашраф ИМ Алькейси, асп.;

Р. В. Просоловский

## ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ БИТОВОЙ КОММУТАЦИИ

*Рассмотрена проблема эффективного использования полосы пропускания волоконно-оптических линий связи. Представлены различные форматы пакетов данных в технологии мультиплексирования по длине волны, а также проанализированы их особенности.*

### Введение

С развитием телекоммуникационных технологий в современные системы передачи данных приходят все новые и более совершенные средства передачи оптической информации в волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС). Сети с гигабитной пропускной способностью — это реалии сегодняшнего дня, которые включают в себя все преимущества оптических средств передачи данных над электронными. Тем не менее, даже сверхсовершенные сети не позволяют передавать данные без осуществления оптоэлектронных преобразований, которые, главным образом, и составляют значительную долю задержки в ВОЛС. Оптическое-электрическое-оптическое (ОЭО) преобразование часто осуществляется несколько раз в процессе передачи данных, что значительно ограничивает пропускную способность линии. Пути решения этой проблемы могут быть использование более быстрой, но в то же время и значительно более дорогой, высокоскоростной электроники или же использование новых технологий передачи данных, одной из которых является параллельная битовая коммутация (ПБК). ПБК позволяет решить проблему «заполнения волокна» данными путем их уплотнения — эффективного заполнения оптического канала.

### Варианты решения проблемы



Рис. 1. Классификация мультиплексирования в ВОЛС

Возможным вариантом увеличения пропускной способности оптического волокна может быть мультиплексирование данных, обеспечение параллельности независимых каналов [1, 2]. Принято различать возможные варианты обеспечения мультиплексирования данных (рис. 1).

Внутри одного одномодового волокна (технологии WDM, DWDM [1, 2]) обеспечивается мультиплексирование по длине волны. Типичными значениями могут быть от 4 до 64 и более различных длин волн. С увеличением количества несущих длин волн уменьшается расстояние, на которое возможно передать информацию без ее потери.

Комбинировано — использование мультиплексирования в наборе волокон. Наиболее распространенный способ, поскольку

позволяет эффективно использовать множество волокон.

Мультиплексирование поднесущей (SCM) [3]. Используется уплотнение данных внутри одного канала. Данные преимущественно представляются в мультиплексном аналоговом радиочастотном спектре на одной длине волны.

Использование мультиплексирования позволит значительно увеличить пропускную способность волокна в целом. Однако, остается проблема эффективного заполнения мультиплексных каналов, поскольку традиционные протоколы передачи данных требуют значительной аппаратной

задержки для обработки пакетов данных, что значительно сократит преимущество в трафике. Возможным вариантом решения этой проблемы есть использование протоколов с параллельной передачей пакетов, что позволит разделить либо во времени, либо по каналам однотипные задачи, таким образом разделить задачи распознавания пакетов.

### Мультиплексирование поднесущей

Оптическое мультиплексирование поднесущей (SCM — Subcarrier Multiplexing) — это методика, при которой ряд сигналов мультиплексируется на радиочастоте и представляется в единой длине волны. Особенное преимущество SCM заключается в том, что на сегодняшний день среда микроволновых устройств значительно более развита, чем оптические устройства передачи данных: стабильность микроволнового осциллографа и частота селективности микроволнового фильтра значительно больше, нежели у их оптического аналога. SCM преимущественно используется для передачи аналоговой информации (в частности в аналоговом кабельном телевидении CATV [4, 5]), но легко может быть адаптирована и для передачи цифровой информации.

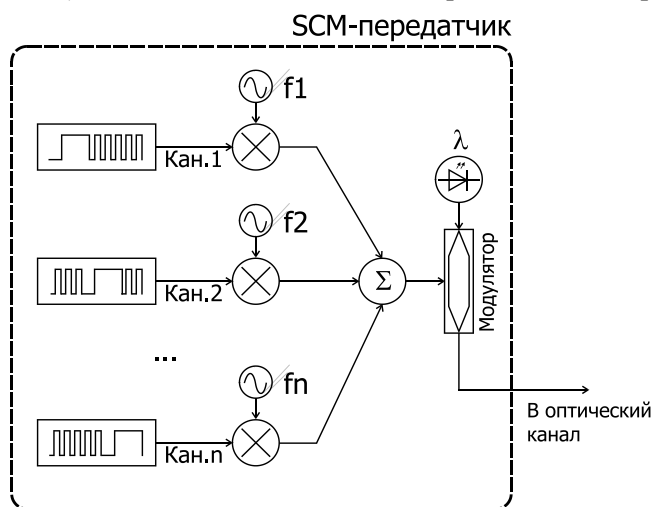


Рис. 2. Схема SCM-передатчика

Базовое строение SCM-передатчика представлено на рис. 2, где  $n$  поднесущих с микроволновыми частотами  $f_i$  ( $i = 1 \dots n$ ) мультиплексируются на одной длине волны  $\lambda$ . Далее, оптический сигнал может быть направлен прямо в оптический канал, либо на оптический мультиплексор для осуществления мультиплексирования в оптических сетях [1, 2].

Таким образом, посредством использования SCM-технологии возможно добиться двойного мультиплексирования данных: в виде электрического и оптического сигналов. Для распознавания данных на другом конце линии необходимо произвести симметричные операции демультиплексирования.

Данная технология относительно простая и недорогая, поэтому может быть легко внедрена

в существующие ВОЛС офисных и городских масштабов.

### Мультиплексирование по длине волны

Наиболее распространенным видом уплотнения оптической информации является мультиплексирование по длине волны.

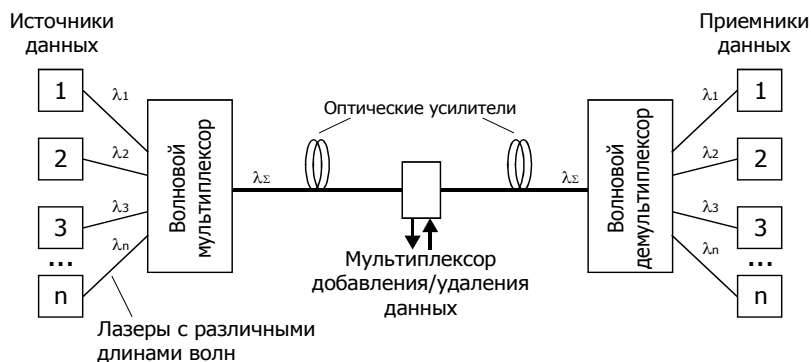


Рис. 3. Организация потока данных в сетях с волновым мультиплексированием

Чтобы обойти ограничения, накладываемые сетевыми аппаратными средствами на скорость передачи, WDM-системы одновременно обрабатывают несколько видов световых сигналов, соответствующих разным длинам волн. Такие комбинированные многоволновые «каналы» спектра должны отстоять друг от друга на 50—100 ГГц. Каждый канал можно использовать для передачи данных со скоростью в несколько гигабит в секунду,

обеспечиваемой современной электроникой, и таким образом удастся построить сети с чрезвычайно высокой производительностью (рис. 3), излучение на разных длинах волн объединяются и передаются по одной оптической линии. Усилители обеспечивают непрерывность сигнала, который в конце концов разделяется и отправляется конечным адресатам.

Технологія хвильового мультиплексування визначає фізичний рівень передачі даних за допомогою ущільнення каналів. Але важливим параметром залишається інтерфейс передачі даних, оскільки використання в таких системах класических технологій недопустимо: значно ускладнюються процедури маршрутизації, комутування, додавання/видалення пакетів.

Таким чином, в цій роботі пропонуються варіанти паралельного представлення пакетів даних в мережах з хвильовим мультиплексуванням.

Відрізняються два основні види таких пакетів:

1. З фіксованою довжиною — тривалість пакета статична, і вибирається при розробці системи. Такі системи використовуються на базі TDM-систем [6], і значення довжини пакета можуть визначатися кількістю тайм-слотів.
2. З умовною довжиною — довжина пакета коливається в певних межах. Умовою закінчення пакета використовується окрема (інформаційна) довжина хвилі.

### Структури пакетів з фіксованою тривалістю

TDM-системи передачі пакетів даних зараз найбільш популярні [6] і часто використовуються як базові структури в сучасних інтерфейсах передачі даних. Основні переваги таких систем — це повна або умовна внутрішньослотова синхронізація передачі даних.

Структура пакета з внутрішньослотовим діленням по довжині хвилі (рис. 4а) найбільш проста і зручна для систем з хвильовим мультиплексуванням каналів. В такій структурі один пакет даних передається в період одного тайм-слота. Під передачу заголовка пакета виділяється певна кількість каналів, необхідних для цілісного збереження цього заголовка. Такий заголовок є оптимальним і зберігає в послідовному вигляді всю інформацію про даний пакет, пункт його призначення, і т. п. Зручність такого представлення пакета дозволяє фізично розділити апаратну частину оброблюваної електроніки: одна її частина обробляє виключно заголовок пакета (аналізує, сверяє, редагує, готує до подальшої відправки і т. п.), а друга в цей же час працює з полем даних пакета (буферизує, виконує перевірку на помилки і т. п.).

Цей підхід дозволяє як ефективно використовувати канал передачі даних, так і організувати фізичну паралельність обробки пакета даних, розділив її на дві типові задачі: обробка поля заголовка пакета, обробка поля даних пакета.

Основним вимогою для цього типу структури пакета є обмеження розміру пакета, який не повинен перевищувати абсолютну величину даних в межах періоду одного тайм-слота.

Недоліки цього виду структури пакета полягають в наступному:

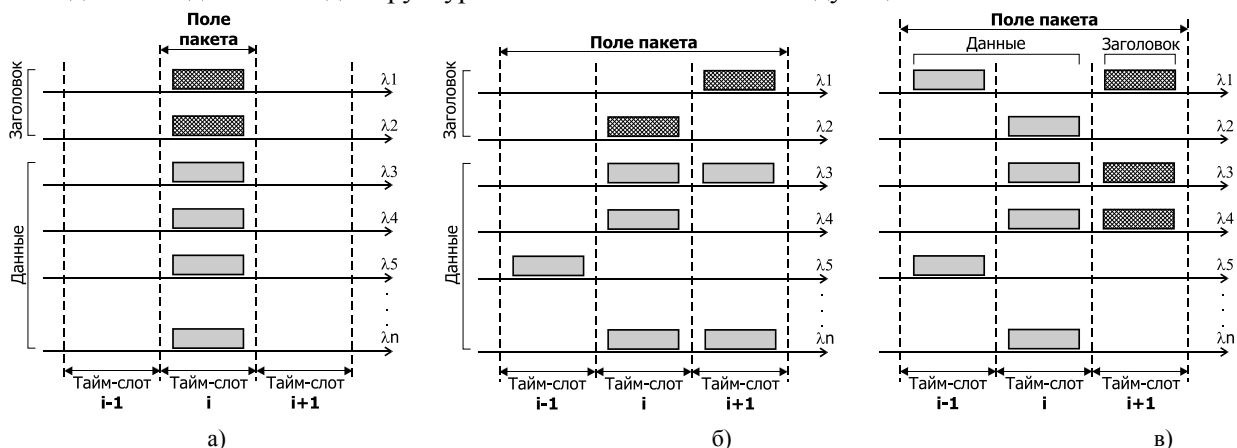


Рис. 4. Структури пакетів з фіксованою тривалістю: а) з внутрішньослотовим діленням по довжині хвилі; б) з часовим діленням по довжині хвилі; в) з діленням по часу

- обмеженість довжини пакета (двома основними обмеженнями є обмеження по кількості фізических каналів  $n$  і по періоду тайм-слота);
- необхідність використання максимальної кількості фізических каналів, що пов'язано з попереднім недоліком, що суперечить стандартам технології контролю якості передачі даних QoS [7].

Структура пакета *с временным делением по длине волны* (рис. 4б) значительным образом напоминает структуру пакета с внутрислотовым делением по длине волны, единственное отличие состоит в увеличении периода передачи одного пакета данных от периода одного слота до периода нескольких слотов. Данный подход позволит решить недостатки, вызванные предыдущей структурой: решается проблема «вертикального» ограничения объема пакета внутри слота; улучшаются параметры QoS путем возникновения прямой возможности уменьшения количества каналов, необходимых для передачи пакета. Но в то же время, остается определенное количество каналов для отдельной передачи заголовка пакета и его данных.

Основным требованием для данной структуры пакета является строгое определение количества тайм-слотов, необходимых для передачи одного пакета целиком.

Недостатком данного вида структуры пакета является усложнение структуры заголовка пакета, что объясняется необходимостью хранения дополнительной информации, которая описывает структуру поля данных внутри текущего пакета. Такое усложнение пакета приведет к усложнению процедуры его обработки.

Структура пакета *с делением по времени* (рис. 4в) отличается от предыдущих двух типов тем, что происходит временное отделение заголовка пакета от поля его данных. Такой вариант представления пакета позволяет выбрать наиболее эффективное количество тайм-слотов и мультиплексных каналов для представления единого поля пакета данных.

Требования и недостатки данного типа структуры пакета аналогичны пакету с временным делением по длине волны.

### Структуры пакетов с условной длительностью

Пакеты с фиксированной длительностью требуют ряд усложняющих систему условий: синхронизация передачи данных и строгие ограничения размера пакета. Для пакетов с условной длительностью (т. е. такая, что задается условием) такие требования отсутствуют, что делает их более приемлемыми в сетях передачи данных.

Структура пакета *с делением по длине волны* (рис. 5а) заключается в том, что определенное количество мультиплексных каналов выделено для поля заголовка пакета, и остальное — для поля данных. Но важным условием, присущим всем структурам пакетов с условной длительностью, является необходимость отдельной служебной длины волны, по которой передается сигнал окончания текущего пакета — условие завершения поля пакета.

Основными преимуществами данного типа представления пакета являются возможность дина-

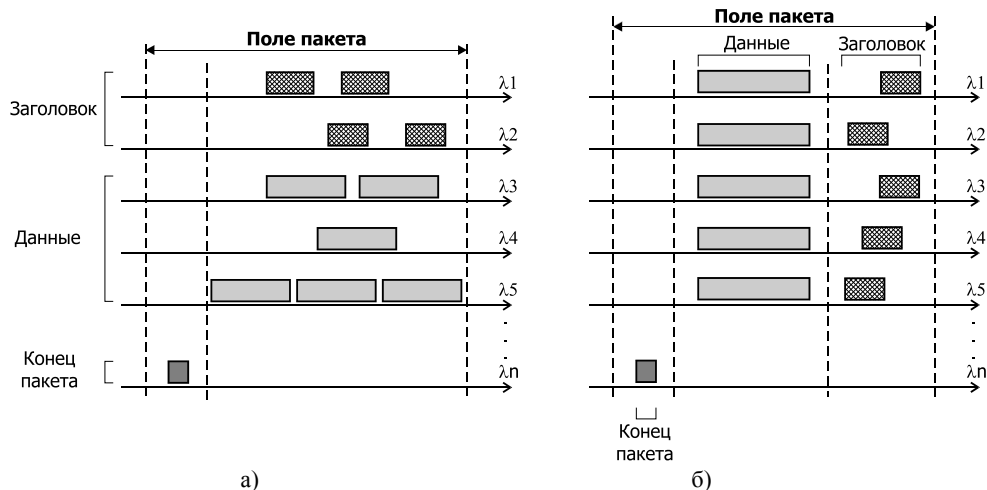


Рис. 5. Структуры пакетов с условной длительностью:  
а) с делением по длине волны; б) с временным делением

мически менять длительность пакета (сигналом условного завершения поля пакета) и возможность асинхронной передачи данных.

Тем не менее, недостатками данной структуры остаются:

- необходимость дополнительного индексирования фрагментов данных, с целью определения последовательности фрагментов в исходном пакете данных;
- усложнение структуры заголовка пакета, связанное с необходимостью хранения информа-

ції о послідовності фрагментів даних пакета, і о їх розміре;

- необхідність використання додаткового службового каналу, який буде практично простаивати.

Структура пакета *с часовим діленням* (рис. 5б) відрізняється від попереднього типу пакета умовною тривалістю тим, що здійснюється тимчасове відділення поля заголовка від поля даних пакета. Таке відділення може здійснюватися по истечению визначеного часу, або при використанні додаткового службового сигналу.

Перевагою даного типу представлення інформації є те, що поле даних розміщується послідовно, що вирішує проблему фрагментації поля даних пакета. Також величина поля даних може динамічно варіюватися в залежності від розміру пакета. Інформація о величині поля даних розміщується в відповідному даному фрагменту заголовка.

При вирішенні проблеми фрагментації даних, структура пакета *с часовим діленням* залишає проблему ускладненого формату заголовка пакета, в якому повинна зберігатися додаткова інформація о розмірах фрагментів даних пакета.

### Сравнение структуры пакетов

Нижче представлений порівняльний аналіз структури пакетів з фіксованою і умовною тривалістю. Пакети приведені до стандарту формату кадру Ethernet DIX [8] в системі з 32-ма DWDM-каналами передачі даних при швидкості передачі кожного каналу 1 Гб/с.

В таблиці представлений порівняльний аналіз структури пакетів.

За основу взят формат кадру Ethernet DIX [8], що складається з преамбули (8 байт), поля адреси призначення (6 байт), поля адреси джерела (6 байт), поля типу протоколу верхнього рівня (2 байта), поля даних (46—1500 байт) і поля контрольної коду CRC (4 байта).

Сравнительный анализ структуры пакетов

Формат пакета	Тип заголовка	Размер поля заголовка, байт	Размер поля данных, байт	Размер поля контрольного кода, байт	Размер тайм-слота, байт	Количество тайм-слотов	Длительность тайм-слота, мкс
Внутрислотовое деление по длине волны	Стандартный	22	46...1500	4	47	1	$0,376 + \tau$
Временное деление по длине волны	Стандартный	22	46...1500	4	47	$n$ ( $n > 1$ )	$n * (0,376 + \tau)$
Деление по времени	Стандартный	22	46...1500	4	26	$n$ ( $n \geq 3$ )	$n * (0,208 + \tau)$
Деление по длине волны	Расширенный	$22 + X$	$0... \infty$	4	$\infty$	1	В зависимости от плотности фрагментов данных
Временное деление	Стандартный	22	$0... \infty$	4	$\infty$	2	В зависимости от плотности фрагментов данных

*Примечания:*  $\tau$  — время задержки между тайм-слотами (константа);  $n$  — количество тайм-слотов (может задаваться константно при разработке протокола);  $X$  — вспомогательный код поля заголовка, содержащий информацию о фрагментах поля данных, размер поля зависит от количества фрагментов.

Порівняльний аналіз із таблиці показав, формат пакета *с внутрислотовым діленням по довжині хвилі* найбільш зручний в системах передачі даних на базі стандартного протоколу Ethernet. С іншої сторони, формати пакетів *с діленням по довжині хвилі* і *с часовим діленням* представляють більший інтерес, т. к. дозволяють побудувати гнучку систему передачі даних з умовно заданою тривалістю пакета, а також забезпечують наявність інформаційної лінії, яка може бути використана в цілях обслуговування і контролю мережі, таким чином, підвищив параметр QoS.

### Выводы

Розглянуті проблеми ефективного заповнення трафіка ВОЛС а так же представлені варіанти їх рішення на базі систем *с мультиплексуванням по довжині хвилі*.

Предложены структуры интерфейсов передачи данных с фиксированной и условной длиной пакета. Проанализированы их преимущества и недостатки.

Структуры пакетов с условной длительностью требуют использование дополнительной (служебной) длины волны, чтобы передать условие окончания пакета. Это добавляет фактор избыточности, однако в случае кодирования данного канала, он может использоваться в дополнительных служебных целях сети: передача команд QoS, проведение тестирования волокна оптическим время-импульсным рефлектометром [9], и др.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А. Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. — М.: Компания Сайрус Системс, 1999. — 671 с.
2. Убайдулаев Р. Р. Волоконно-оптические сети. — М: Еко-Трендз, 2001. — 267 с.
3. Rongqing Hui, Benyuan Zhu. Subcarrier multiplexing for High-speed optical transmission // *Lightwave technology*. — Vol. 20. — N. 3, March 2002.
4. M. R. Phillips and T. E. Darcie. Lightwave video transmission // *Optical Fiber Telecommunications* / I. P. Kaminon and T. L. Koch, Eds. — New York: Academic, 1997. — Vol. IIIA.
5. P. M. Hill and R. Olshansky. A 20-channel optical communication using subcarrier multiplexing for the transmission of digital video signals // *J. Lightwave Technol.* — Apr. 1990. — Vol. 8. — P. 554–560.
6. Kari Seppanen. Optical Time-Division Packet Switch // *VTT Information Technology*. — 2000. — 12 p.
7. [www.iec.org](http://www.iec.org)
8. М. Гук. Аппаратные средства локальных сетей. Энциклопедия — СПб.: Питер, 2005. — 573 с.
9. Декларацийний патент на корисну модель 5085, G01N21/55. Пристрій для контролю оптичного кабелю / Г. Л. Лисенко, Р. В. Просоловський, І. І. Тютюнник № 20040705273; Заявлено 01.07.04; Опубл. 15.02.05. Бюл. № 2. — 10 с.

**Лысенко Геннадий Леонидович** — доцент, **Аишаф ИМ Алькейси** — аспирант, **Просоловский Руслан Васильевич** — соискатель.

Кафедра лазерной и оптоэлектронной техники, Винницкий национальный технический университет