

Власов И.И. ЧТО ТАКОЕ «OTN»?

Вестник связи. 2008 г.

В последние годы условия на рынке передачи данных достаточно противоречивы. С одной стороны повышаются требования к качеству наложенного сервиса, и к общей пропускной способности СПД, а с другой стороны денежные вложения в развитие сетей идут на убыль. В такой ситуации операторам предлагается разумно использовать свои сети, чтобы соответствовать требованиям рынка. Исторически сложилось так, что технология SONET\SDH наиболее полно отвечала запросам операторов. На лидирующие позиции данную технологию выводили факторы высокой надежности и управляемости, возможность передачи разнородного трафика, включая кроме TDM, такие технологии как: Ethernet, Fiber Channel, IP и GFP.

Появление «уплотняющей» технологии DWDM в оптоволоконной сети позволила увеличить один из ключевых параметров существующих волокон - полосу пропускания. Попутно частично решилась одна из назревших и достаточно болезненных проблем экстенсивного наращивания скоростей потоков в оптическом волокне – искажения сигнала, связанные с хроматической и поляризационной модовой дисперсией. Однако появилась другая проблема – управляемость трафика. Существующие стандартные системы DWDM имеют ограниченные возможности управления интегральным многоканальным сигналом, требуют значительных дополнительных усилий и средств для детального контроля передаваемого потока.

Появление Оптической Транспортной Сети (OTN) позволило успешно совместить гибкость и надежность технологии SONET\SDH с широкой пропускной способностью, гарантируемой системами DWDM. Уклоняясь от сложных формулировок, можно сказать, что сеть OTN позволяет применить лучшие черты технологии SONET/SDH, такие как управляемость, возможность администрирования, расширяемость и надежность, или в англоязычной терминологии: OAM&P (Operations, Administration, Maintenance and Provisioning), к DWDM сетям. Подобная структура сети описана в рекомендации: ITU-T G.709 Network Node Interface for the Optical Transport Network (OTN). Этот стандарт (его иногда называют еще «DW» – Digital Wrapper) переносит слегка застоявшуюся технологию SONET\SDH, работающую на одной длине волны, на шаг вперед, к волновой многоканальности, а предлагаемый режим «FEC» (Forward Error Correction) в совокупности с гибкостью архитектуры оптических сетей открывает возможность для уменьшения числа регенераторов сигнала и, как следствию, к снижению затрат на внедрение и обслуживание сети.

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА OTN

Основная задача, поставленная перед OTN – это совместить мультисервисную передачу пакетизированных данных и системного трафика с не нагружающим сеть управлением и мониторингом любого из существующих оптических каналов. Разработанная специально для OTN функция добавления заголовков к транспортным структурам, называемая «Wraped Overhead» (WOH), являющаяся по сути адаптированной к DWDM версией строительства транспортных модулей STM, сделала реальной возможность контроля и управления клиентской сигнальной информацией.

Основные характеристики, изначально заложенные в технологию OTN:

- Прозрачность для протоколов
- Обратная совместимость со всеми существующими протоколами
- Возможность использования FEC
- Уменьшение затрат на регенерацию сигнала

Передача данных по сети может проходить как на достаточно разнородных участках, так и внутри одного оптического сегмента. Стоит заметить, что в данный момент не существует систем управления способных работать с чистым оптическим сигналом не преобразованным в цифровой формат, так что в отличие от прозрачных сетей непрозрачные способны выполнять регенерацию внутри каждого сегмента сети.

Стандарт ITU-T G.709 определяет следующие функции интерфейсов оптической транспортной сети:

- Функционирование заголовков (OH) в многоканальной оптической сети;
- Создание структур оптической транспортной единицы (OTU);
- Обеспечение пропускной способности и возможности для маркировки информации.

В рекомендации ITU-T G.872 описаны два типа интерфейсов для оптических транспортных сетей: «IrDI» (Inter-Domain Interface) и «IaDI» (Intra-Domain Interface) . Их возможное назначение иллюстрируется рисунком 1.

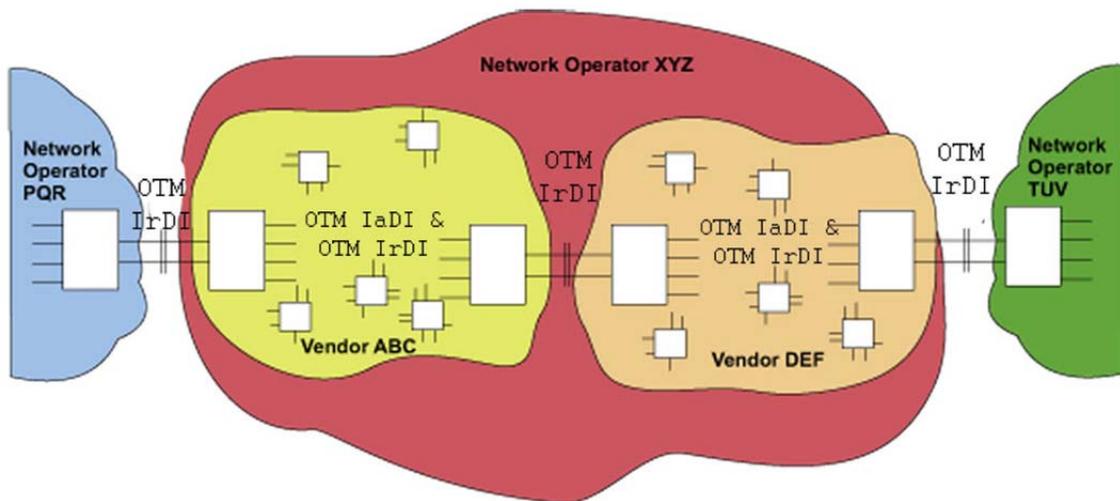


Рис 1. Интерфейсы сети OTN

«Внешний» интерфейс IrDI встречается в следующих случаях присоединения сети одного оператора к сети другого, на внутренних стыках различных подсетей одного оператора или на стыках однотипного оборудования внутри одной подсети.

«Внутренний» интерфейс IaDI обслуживает только стыки однотипного оборудования одной подсети.

Модель сети OTN сходна с моделью SONET/SDH и приведена на рисунке 2. Здесь формируются оптические каналы (OCh), секция мультиплексирования (OMS) и транспортная секция (OTS).



Рис 2. Модель сети OTN

Передача полезной нагрузки или клиентского сигнала организована следующим образом (смотри рис.3):

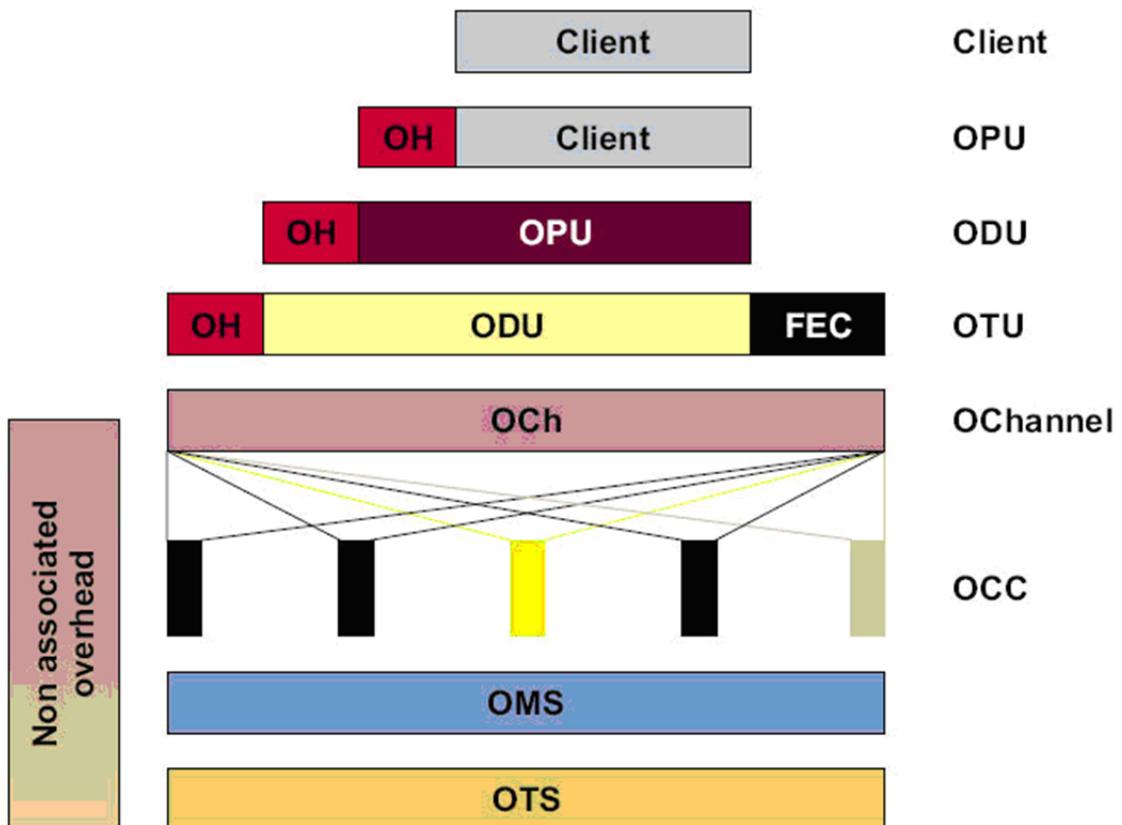


Рис 3 Формирование структуры транспортного потока OTN

1. К данным (Client) добавляется заголовок (OH), образуя таким образом Единицу нагрузки (OPU – Optical channel Payload Unit).
2. Еще один OH добавляется к OPU, что составляет Единицу данных (ODU – Optical channel Data Unit).
3. Следующий OH и данные для FEC добавляются к ODU. В результате получается транспортная единица оптического канала (OTU – Optical channel Transport Unit).
4. Последующее добавление заголовка создает «маркированный» оптический канал (OCh), передаваемый на несущей определенного «цвета».
5. Дополнительные OH могут быть добавлены к различным оптическим каналам для реализации управления маркированными каналами внутри транспортной сети. После этого формируются секции мультиплексирования (OMS) и передачи (OTS).

Результатом процесса формирования становится оптический канал OCh, приведенный на рисунке 4 и содержащий полезную нагрузку (клиентский сигнал), заголовки различных уровней (структуры OH) и корректирующую информацию (FEC).

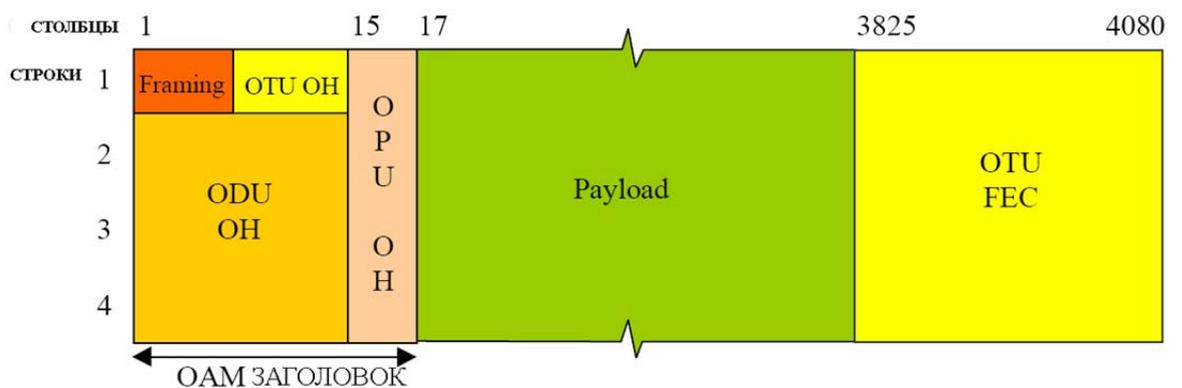


Рис 4. Структура оптического канала OTN

Заголовок, обеспечивающий управление и контроль за OTN, состоит из четырех подструктур: Единицы нагрузки (OPU), Единицы данных (ODU), Транспортной единицы (OTU), и маркера принадлежности кадра (FAS – Frame Alignment signal). Данные (Client) или полезная нагрузка, могут быть выражены в форме любого из существующих протоколов: SONET, SDH, Ethernet, IP и тп. Тип передаваемых данных определяется с помощью OPU, содержащей маркеры различных сигналов. Стандарт G.709 на данный момент поддерживает как синхронный, так и асинхронный режим маркировки (Рисунок 5).

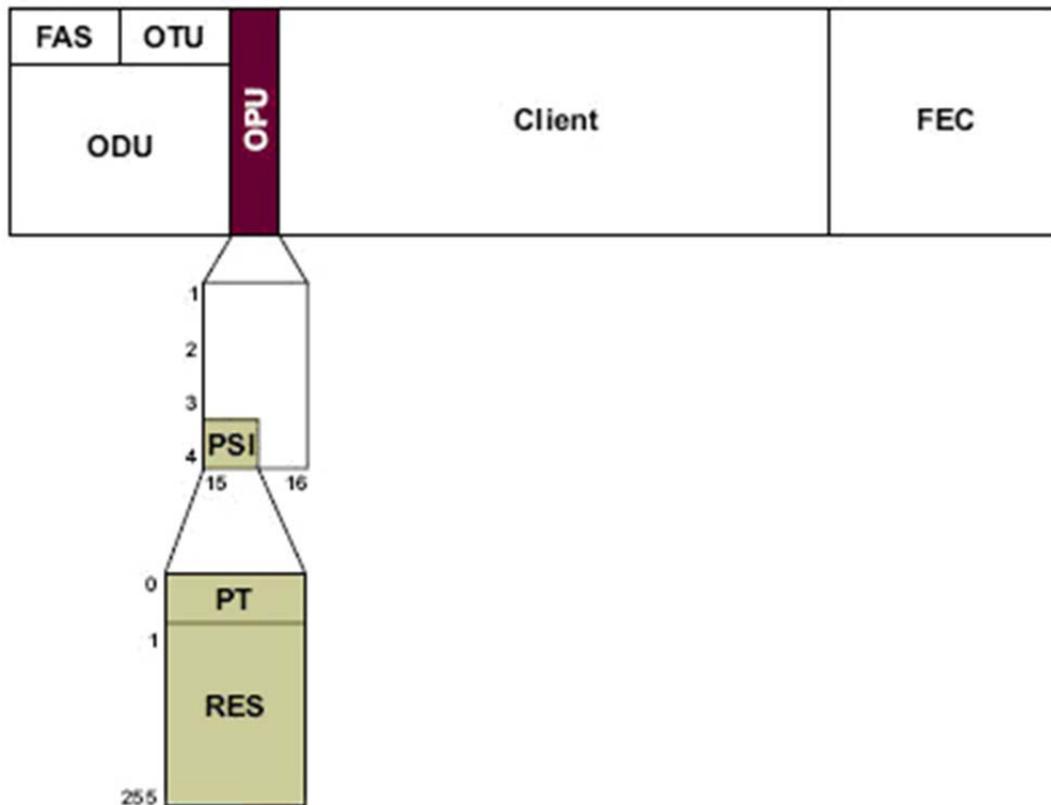


Рис 5. Формирование маркера полезной нагрузки оптического канала

Заголовок единицы нагрузки включает в себя идентификатор структуры данных (PSI – Payload Structure Identifier), имеющий идентификатор типа нагрузки (PT – Payload Type), и остаток заголовка, связанный с маркировкой данных, например «биты заполнения» (Justification bits), используемые при асинхронной маркировке.

Заголовки OPU могут добавляться и убираться только в точке формирования и расформирования единицы.

ЗАГОЛОВОК ЕДИНИЦЫ ДАННЫХ

Заголовок единицы данных (ODU) (рис 6) позволяет использовать следующие возможности: TCM (Tandem Connection Monitoring), PM (Path Monitoring), APS. Кроме того, раскрываются возможности End-to-End контроля и адаптации.

Основными и важнейшими составляющими такого заголовка являются TCM и PM

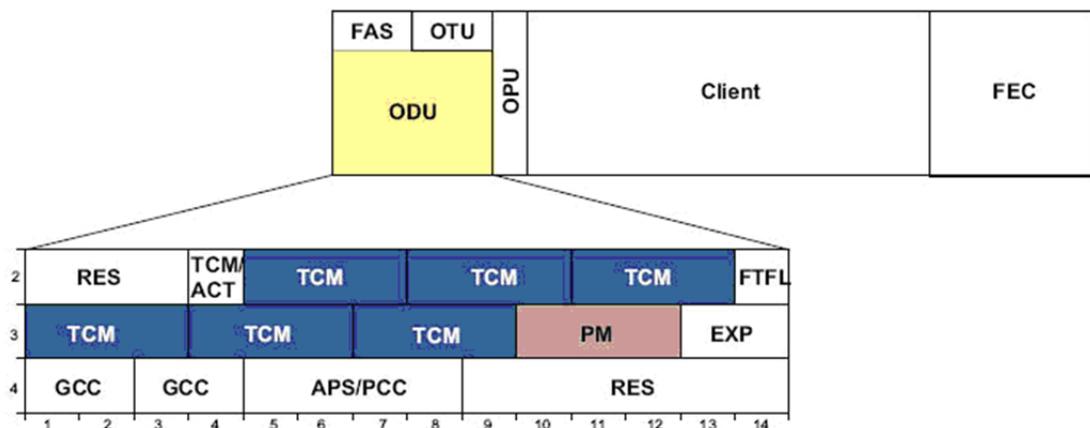


Рис 6. Структура ODU

Функция Path Monitoring (PM) позволяет проводить мониторинг определенного сегмента сети или вести поиск неисправностей. Схема такого Заголовка приведена на рисунке 7.

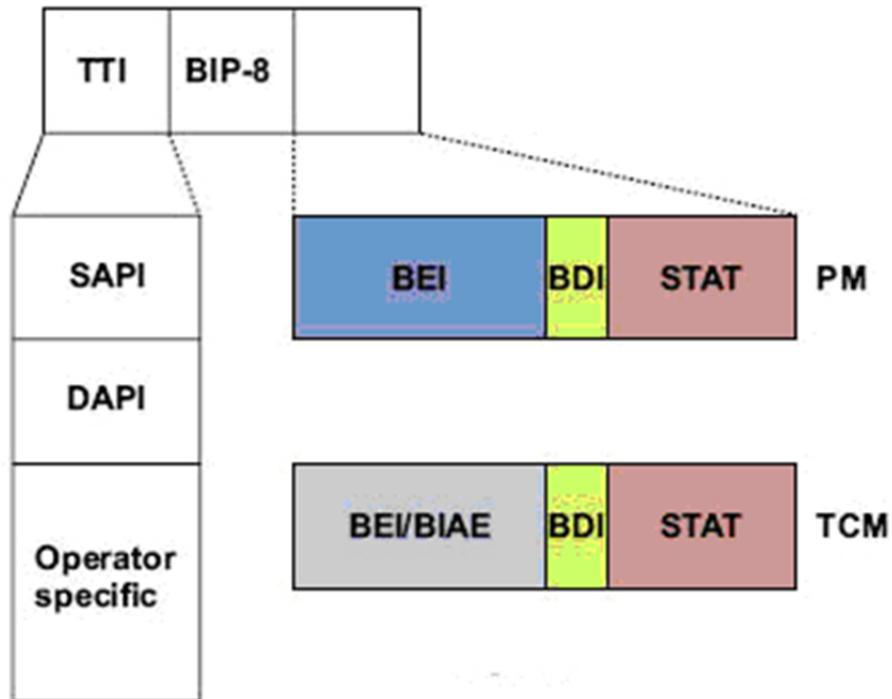


Рис 7. Заголовок секции PM

Заголовок PM состоит из трех рядов и 10 или 12 колонок данных и включает в себя следующие составляющие:

- **TTI** (Tail Trace Identifier) Поле TTI сходно с байтом J0 применяемом в SDH/SONET. Он используется для идентификации сигнала передаваемого от источника к приемнику внутри сети. Внутри поля TTI переносятся два идентификатора, называемых API (Access Point Identifier): SAPI – Source Access Point Identifier или «идентификатор источника» и DAPI – Destination Access Point Identifier или «идентификатор приемника». Кроме того, это поле содержит данные для определения принадлежности к сети определенного оператора и другие административные детали.
- **BIP-8** (Bit Interleaved Parity) используется для обнаружения ошибок. Данный код вычисляется для единицы нагрузки (OPU) целиком, и передается на 2 кадра позже проверяемого, что позволяет сверить эти значения, и проверить наличие ошибок.
- **BDI** (Backward Defect Indication) – этот бит сообщает о наличии проблем с сигналом в восходящем потоке.
- **BEI/BIAE** (Backward Error Indication и Backward incoming alignment error) данное поле содержит информацию о Interleaved-bits (битах перемежения) обнаруженных в ошибках восходящего потока. Так же оно содержит информацию о поступающих ошибках принадлежности (Incoming Alignment errors- IAE) в восходящем потоке.
- **STAT** (Status bits for indication of maintenance signal) – поле, содержащее информацию о сервисных или измерительных сигналах, присутствующих в сети.

ЗАГОЛОВОК TCM

Функция TCM (Tandem Connection Monitoring) позволяет наблюдать за сигналом проходящим через множество различных сети. В дополнение к этому стандарт OTN (G.709) предполагает проведение иерархической проверки ошибок – (HEC – Hierarchical Error Checking) и некоторые дополнительные функции, такие как поиск конкретного сигнала в потоке.

Каждое поле заголовка TCM состоит из подполей, уже упоминавшихся в описании функции PM, и добавочного поля BIAE. Таким образом, появляется возможность следить за 6-ю одновременными тандемными соединениями.

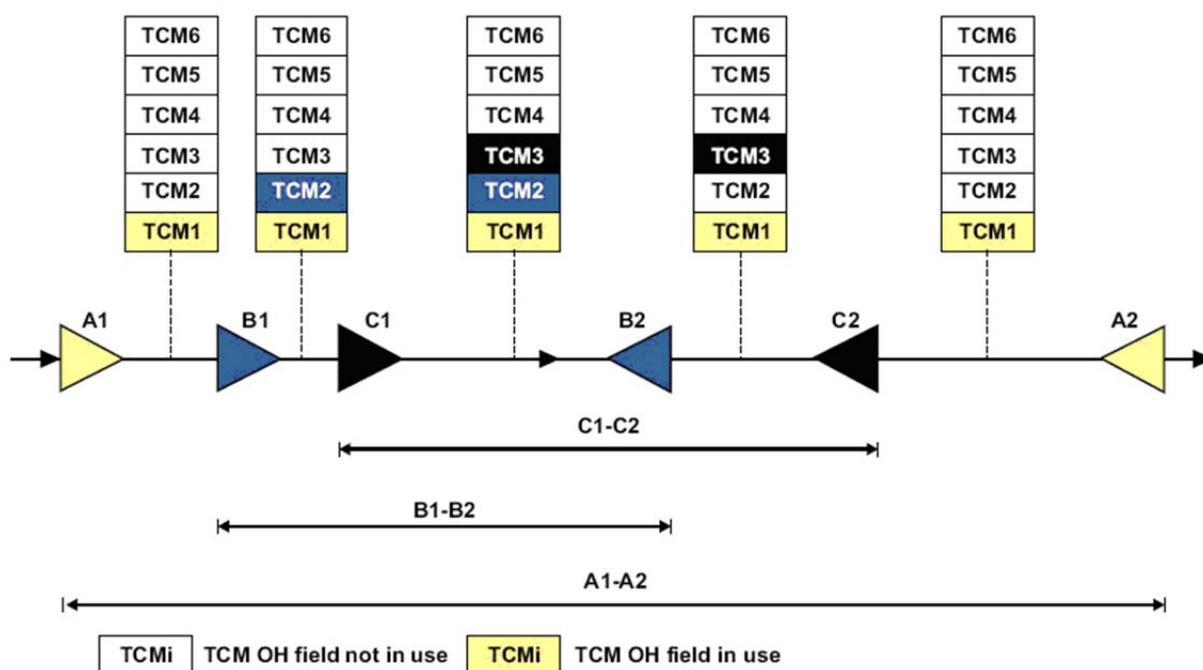


Рис 8. Функция TCM

- **RES** - это поле зарезервировано для внесения изменений в данный стандарт, или для его адаптации к иным технологиям. Значения этого поля всегда 0.
- **TCM/ACT** (индикатор активности функции TCM - это однобайтовое поле осуществляет активацию и деактивацию TCM полей в Заголовке.
- **EXP** Экспериментальное поле – зарезервировано для последующего использования.
- **GCC1\GCC2** (General communication channels) – основные каналы связи. Эти поля позволяют установить связь между сетевыми элементами и организуют доступ к полям заголовка.
- **APS\PCC** (Automatic Protection Switching and Protection Communication Channel) – поля, являющимися защитными аналогично сетям SDH.
- **FTFL** (Fault Type and Fault Location channel) Один Байт в заголовке ODU зарезервирован для поля FTFL. Это поле содержит информацию о различных сбоях, их принадлежности и классификации. На рисунке 9 изображена схема добавления полей FTFL

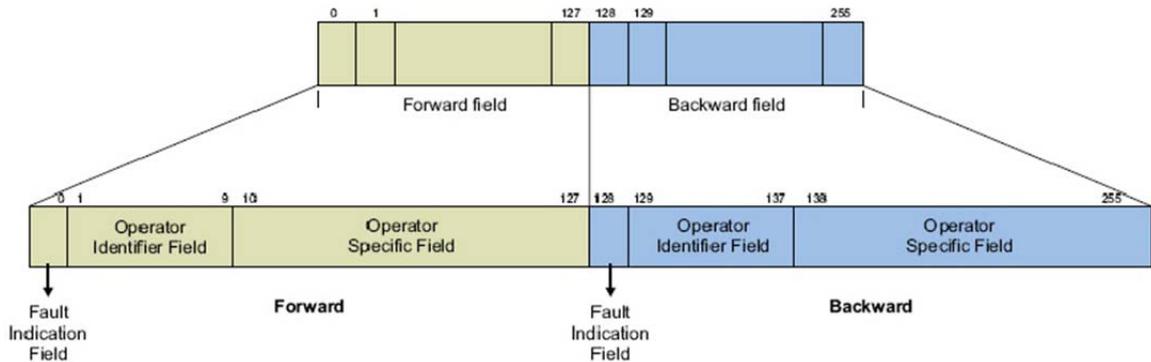


Рис 9. Процесс формирования поля FIFL

Схема формирования FIFL разделена на прямую и обратную функциональную часть. Каждая из которых состоит из одинаковых по функциям, но разных по направлениям составляющих:

Fault type Indication Field –индикатор наличия сбоев. Это поле может содержать следующие три типа сообщений:

1. сбоев нет
2. сбой\отсутствие сигнала
3. Деградация сигнала

Operator Identifier Field - поле принадлежности данных к конкретному оператору

Operator Specific Field - свободное поле, его можно редактировать по своему усмотрению.

ЗАГОЛОВОК ТРАНСПОРТНОЙ ЕДИНИЦЫ OTU

Транспортная единица, или OTU может передаваться как по одному, так и по нескольким оптическим каналам, поэтому именно в данном заголовке фигурирует основное поле принадлежности кадра, а так же поле корректировки ошибок FEC.

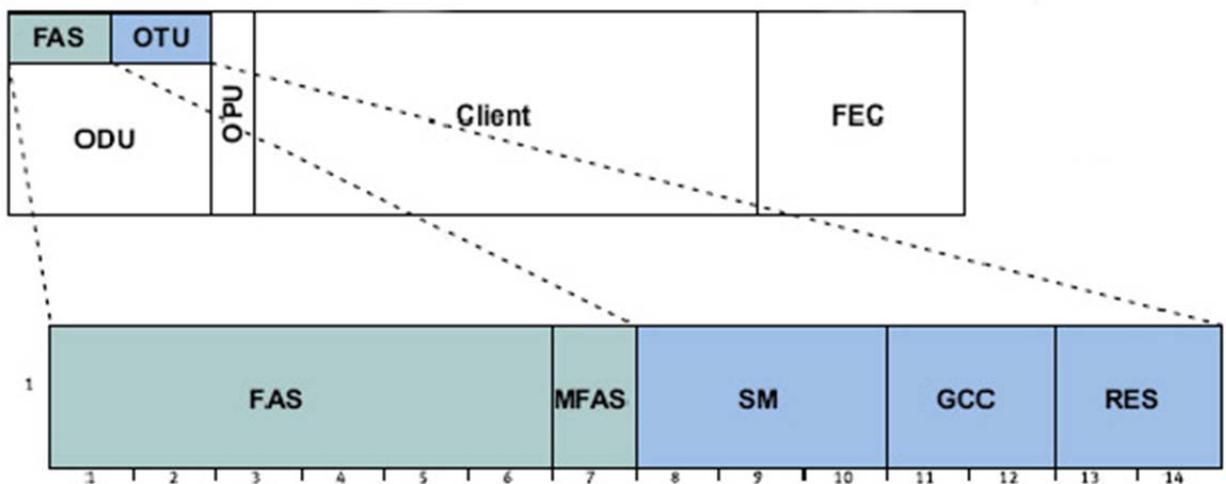


Рис 10. Заголовок OTU

Заголовок принадлежности кадра (FAS) является частью заголовка транспортной единицы. Он расположен в первом ряду и занимает с первой по шестую колонку включительно, что видно на рисунке 10. Так как из ODU можно сформировать мультифреймовую транспортную единицу, то требуется также введение специального

подзаголовка, и сигнала принадлежности, который занимает 7-ую колонку заголовка. Значение MFAS увеличивается с каждым дополнительным кадром.

Секция мониторинга заголовка состоит из подполей, предполагающих индикацию наличия бит с ошибками - IAE (incoming alignment error). Если во входящем сигнале обнаружены ошибки, то бит IAE устанавливается в «1», если нет, то в «0». Основной нулевой канал (**General communication channel 0 - GCC0**) используется как канал между точками терминирования OTU.

ФУНКЦИЯ ПРЯМОЙ КОРРЕКЦИИ ОШИБОК (FEC)

Совместно с основным информационным сигналом OCh предусмотрена передача дополнительного блока информации (FEC), занимающего дополнительную полосу передачи (Рис 4). Благодаря его наличию появляется возможность осуществлять алгоритм прямой коррекции ошибок.

Существуют несколько алгоритмов/кодов, позволяющих исправлять ошибки. Выполнение FEC, предусмотренное рекомендацией G.709 предполагает использование кодов Рида-Соломона. Здесь строка OTU разбита на 16 подстрок, состоящих из 255 байтов. Подстроки сформированы чередованием байтов, что означает, что первая подстрока состоит из первого байта ОН и первого байта полезной нагрузки, и так далее. Первый байт FEC вставлен в 240-й байт первой подстроки. Так строятся все 16 подстрок. (Рис 11).

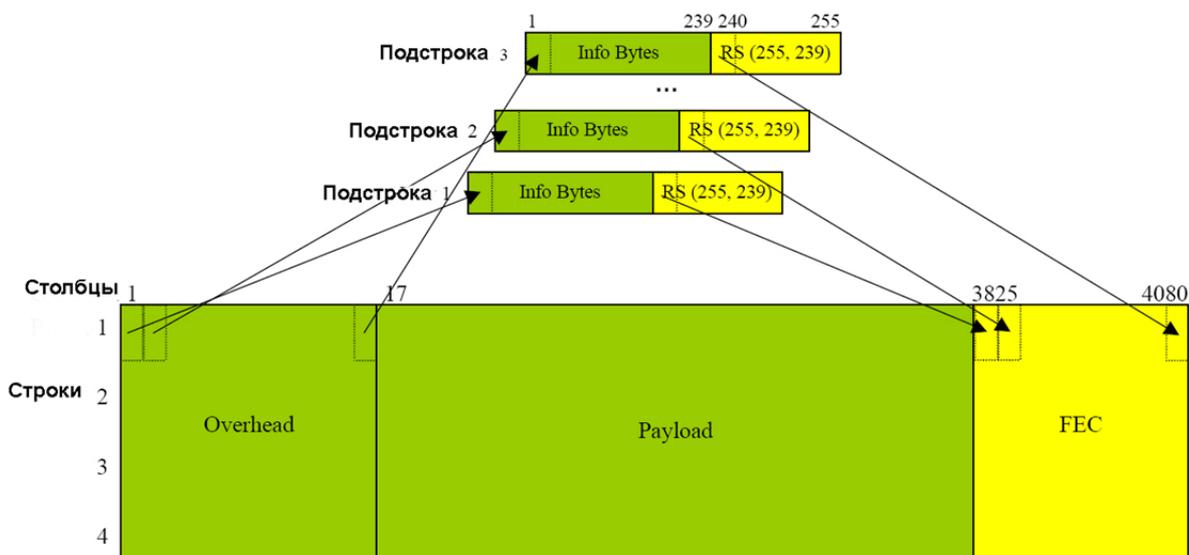


Рис 11. Иллюстрация формирования кода Рида-Соломона, предусмотренная G.709

Из этих 255 байт, 239 используются для вычисления суммы четности (FEC), которая передается в байтах с 240 по 255 той же самой подстроки (Рис 12). Код Рида-Соломона позволяет детектировать в подстроке 16-ти битовые ошибки или исправлять 8-ми битовые. Алгоритм FEC «RS(255,239)», описанный выше, полностью специфицирован для интерфейсов IrDI. Иные интерфейсы OTU (например IaDI), стандартизированные только функционально, могут использовать другие алгоритмы FEC.

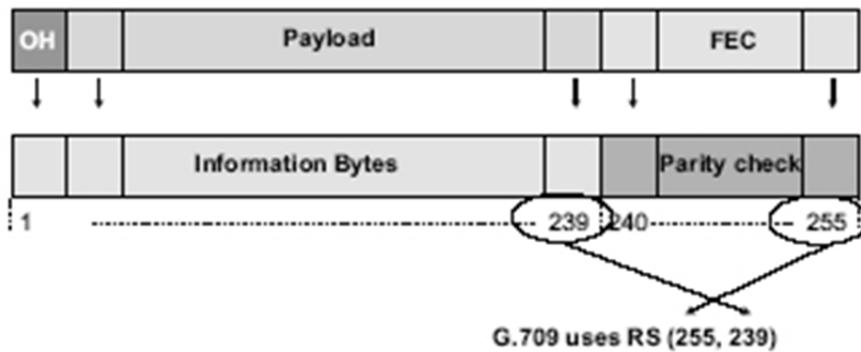


Рис 12. Формирование контрольной суммы кода RS(255,239)

Использование FEC в оптических транспортных сетях позволяет обнаруживать и исправлять битовые ошибки, возникающие вследствие физического ухудшения параметров среды передачи. Эти ухудшения подразделяются на линейные (затухание, шум, дисперсия) и нелинейные искажения (четырёх-волновое смешение, фазовая само-модуляция, кроссфазовая модуляция). Функция FEC, применяемая в сети, позволяет принимать оптический сигнал более низкого качества.

Потенциальное улучшение качества передаваемого сигнала в оптическом тракте с помощью механизма FEC предоставляет ряд преимуществ для систем OTN. Среди них: запас мощности оптического сигнала линейного тракта примерно в 5 дБ (Рис 13), дающий увеличение регенерационного участка в 20 и более километров, уменьшение количества регенераторов на сети, использования существующих линий OTN для транспортировки 10Гбит трафика и другие.

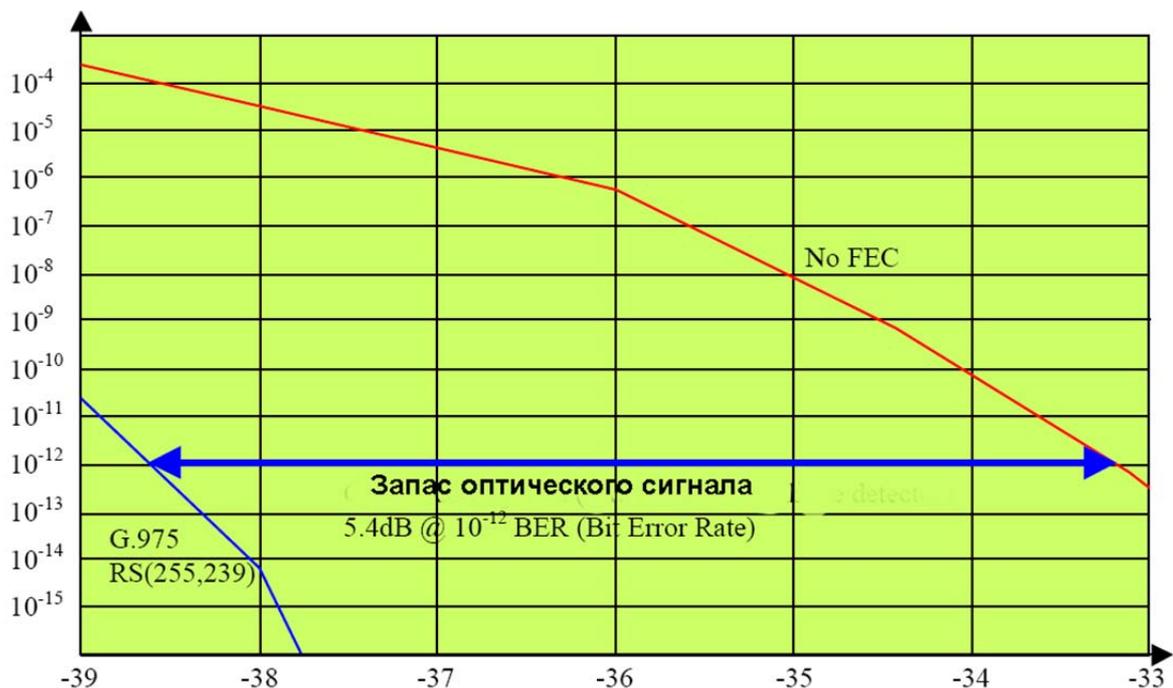


Рис 13 Полученное преимущество в оптическом сигнале при применении FEC

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ OTN.

Как только оптический канал с индивидуальной длиной волны OCh сформирован, к нему добавляется дополнительный несвязанный заголовок (OH), формируя затем оптическую

мультиплексорную секцию (OMS) и оптическую секцию передачи (OTS), как показано на рисунке 14.

И полезная нагрузка мультиплексорной секции (OMS), и несвязанный заголовок (OMS-OH) передаются на уровне оптической мультиплексорной секции. Полезная нагрузка OMS состоит из мультиплексированных оптических каналов (OCh). OMS-OH необходим для мониторинга оптического соединения и помощи сервисной службе в определении и изоляции проблем в OTN. На уровне оптической секции передачи (OTS) также передается полезная нагрузка и заголовок секции (OTS-OH). Уровень OTS позволяет сетевому оператору выполнять задачи контроля и обслуживания сети между сетевыми элементами, которые включают: мультиплексоры, демультиплексоры, оптические коммутаторы и пр.

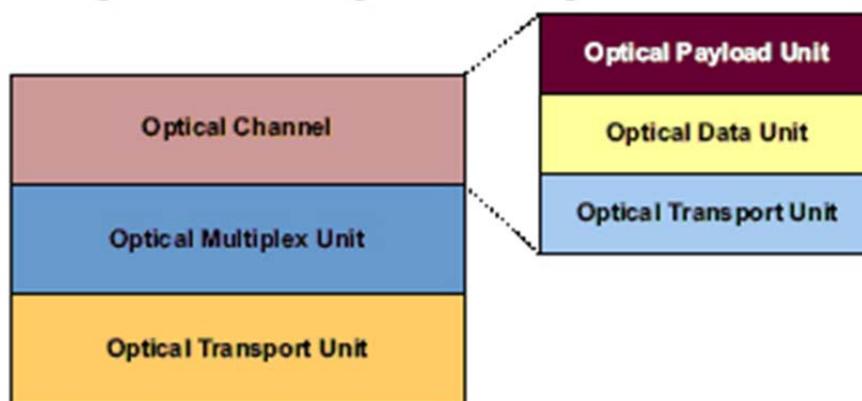


Рис 14. Формирование структуры OTN

ИНТЕРФЕЙСЫ И ПОЛЕЗНАЯ НАГРУЗКА

G.709 определяет стандартные интерфейсы и скорости потоков. Эти скорости по сравнению со стандартными уровнями SONET/SDH имеют более высокое значение. Дополнительная используемая полоса необходима для передачи заголовков и FEC. В результате требуемая полоса для передачи потоков SONET/SDH на 7% больше стандартной полосы синхронных интерфейсов. В Таблице 1 представлены действующие скорости описанные стандартом G.709.

Таблица 1

Интерфейс G.709	Линейная скорость	Предаваемый поток SONET/SDH	Линейная скорость
OTU-1	2,666 Gbps	OC-48/STM-16	2,488 Gbps
OTU-2	10,709 Gbps	OC-192/STM-64	9,953 Gbps
OTU-3	43,018 Gbps	OC-768/STM-256	39,813 Gbps

АВАРИИ И СООБЩЕНИЯ

Основные индикаторы аварийных состояний связаны с цикловой структурой соответствующего потока – «Out of Frame» (OOF), «Loss of Frame» (LOF), «Out of Multiframe» (OOM) и «Loss of Multi-frame» (LMF) – определяются с использованием

байтов заголовков потока. Дополнительную информацию можно получить из рекомендации ITU-T G.798.12. Если обнаружена ошибка в последовательности FAS (байты 3, 4 и 5) в пяти последовательных циклах протокол вводит состояние OOF (вне цикла). Аналогично состояние OOM (вне сверхцикла) вводится при обнаружении ошибок в пяти последовательных сверхциклах. Индикаторы LOF и LOM активируются при сохранении соответствующего состояния (OOF или OOM) более 3 мс. Есть несколько индикаторов, получаемых от OTU SM, ODU PM и TCMi структур. Например сообщение TIM (Trace Identifier Mismatch) появляется, когда значения SAPi или DAPi, полученные из TTI, не соответствуют ожидаемым. При обнаружении проскальзывания цикла, которое может произойти в OTU или ODU (TCM) генерируется сообщение IAE (Incoming Alignment Error) вниз. Полный перечень аварийных сообщений представлен в Таблице 2.

Таблица 2

Сообщение	Описание	Комментарий
LOS	Loss of signal	Отсутствие сигнала на входе
LOF	Loss of frame	Потеря цикловой синхронизации
OOS	Out of frame	Вне цикла (появляется при кратковременных сбоях цикла)
OOM	Out of multiframe	Вне сверхцикла (появляется при кратковременных сбоях сверхцикла)
OTU-AIS	OTU alarm indication signal	Сигнал индикации аварии транспортной единицы
OTU-IAE	OTU incoming alignment error	Ошибка выравнивания транспортной единицы
OTU-BDI	OTU backwards defect indication	Индикация аварии OTU на удаленном конце
ODU-AIS	ODU alarm indication signal	Сигнал индикации аварии единицы данных
ODU-OCI	ODU open connection indication	Передача служебной последовательности «01100110» в полях OTU, OPU и payload
ODU-LCK	ODU locked	Сигнал, генерируемый оператором для проведения обслуживания системы
ODU-BDI	ODU backwards defect indication	Индикация аварии ODU на удаленном конце
FAS	Frame error	Цикловые ошибки
MFAS	Multiframe error	Ошибки сверхцикла
PLM	Payload Mismatch	Индикация несоответствия типа нагрузки предустановленному
LTC	Loss of Tandem Connection	Пропадание тандемного соединения
OTU-BIP8	OTU BIP error	Битовая ошибка в OTU
OTU-BEI	OTU backwards error indication	Индикация наличия битовых ошибок в OTU на удаленном конце
ODU-BIP8	ODU BIP error	Битовая ошибка в ODU
ODU-BEI	ODU backwards error indication	Индикация наличия битовых ошибок в OTU на удаленном конце
FEC BLOCK ERROR	Uncorrectable FEC block	Некорректный блок данных FEC

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

OTN обеспечивает обширную OAM&P функциональность для многоволновых оптических систем за счет применения больших дополнительных заголовков оптических секций и введения механизмов коррекции ошибок FEC. Подобные меры требуют выделения дополнительной полосы в канале и, на первый взгляд, уменьшают эффективность его использования. Однако, полученные дополнительные возможности администрирования сети с лихвой окупают все затраты. Несмотря на то, что технология OTN относительно новая, на сегодняшний день уже все основные производители телекоммуникационного оптического оборудования предлагают решения на ее базе, а новые сети с применением волнового мультиплексирования в транспортных потоках строятся исключительно с применением технологии OTN. И это лишний раз показывает ее высокую эффективность и востребованность.

ЛИТЕРАТУРА

1. ITU-T G.709 «Interfaces for the optical transport network (OTN)»
2. ITU-T G.872, «Architecture of Optical Transport Networks»
3. ITU-T G.873.1, «Optical Transport Network (OTN): Linear Protection»
4. ITU-T G.798, «Characteristics of optical transport network hierarchy equipment functional blocks»
5. Guylain Barlow, «A G.709 Optical Transport Network Tutorial», Innocor Ltd.
6. An overview of ITU-T G.709 Application Note: 1379, Agilent Technologies, U.K. Ltd. 2001
7. Andreas Schubert, «G.709 – The Optical Transport Network (OTN)», 2006 JDS Uniphase Corporation.