

ОПТИЧЕСКИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

OPTICAL TRANSPORT NETWORK
(OTN)

Источники

По материалам лекций

1. Khurram Kazi. CSCI-370. Computer Networks: Shrinking the globe one click at a time. Lecture 7/New York Institute of Technology. Engineering and Computer Sciences. 
2. Игорь Канторович. Перспективные разработки компании ЕСІ в области построения мультисервисных оптоволоконных сетей. Доклад, Пермь, 2009 

А также рекомендациям ITU-T



1. ITU-T G.709/Y.1331 (06/2016) Interfaces for the optical transport network
2. ITU-T G.805] Recommendation ITU-T G.805 (2000), Generic functional architecture of transport networks.
3. [ITU-T G.806] Recommendation ITU-T G.806 (2012), Characteristics of transport equipment – Description methodology and generic functionality.
4. [ITU-T G.870] Recommendation ITU-T G.870/Y.1352 (2016), Terms and definitions for optical transport networks (OTN).
5. [ITU-T G.872] Recommendation ITU-T G.872 (2012), Architecture of optical transport networks.
6. [ITU-T G.873.1] Recommendation ITU-T G.873.1 (2014), Optical Transport Network (OTN): Linear protection.

Введение

Сеть OTN (Optical Transport Network) имеет лучшие черты технологии SDH (Synchronous Digital Hierarchy):

- управляемость, возможность администрирования, расширяемость и надежность
- в англ. терминологии OAM&P — Operations, Administration, Maintenance and Provisioning (*эксплуатация /операции, администрирование, обслуживание / управление и предоставление ресурсов /обеспечение*)

OTN описана в Рекомендации МСЭ-Т G.709 Network Node Interface for the Optical Transport Network (OTN).

- Этот стандарт (его иногда называют еще DW — Digital Wrapper) переносит технологию SONET/SDH, работающую на одной длине волны, на шаг вперед к волновой многоканальности (WDM - Wavelength Division Multiplexing),
- а предлагаемый режим FEC (Forward Error Correction) в совокупности с гибкостью архитектуры оптических сетей открывает возможность для уменьшения числа регенераторов сигнала и, как следствие, снижение затрат на внедрение и обслуживание сети.

Основные свойства OTN

Основная задача OTN — 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 Wrapped Overhead (WOH), является по сути адаптированной к DWDM версией строительства транспортных модулей STM, которая 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.

Основные свойства OTN

Стандарт МСЭ-Т G.709 определяет следующие функции интерфейсов оптической транспортной сети:

- функционирование заголовков (ОН) в многоканальной оптической сети;
- создание структур оптической транспортной единицы (OTU);
- обеспечение пропускной способности и возможности для маркировки информации.

Два типа интерфейсов

В Рекомендации МСЭ-Т G.872 описаны два типа интерфейсов для оптических транспортных сетей: IrDI (Inter-Domain Interface) и IaDI (Intra-Domain Interface).

- **“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.



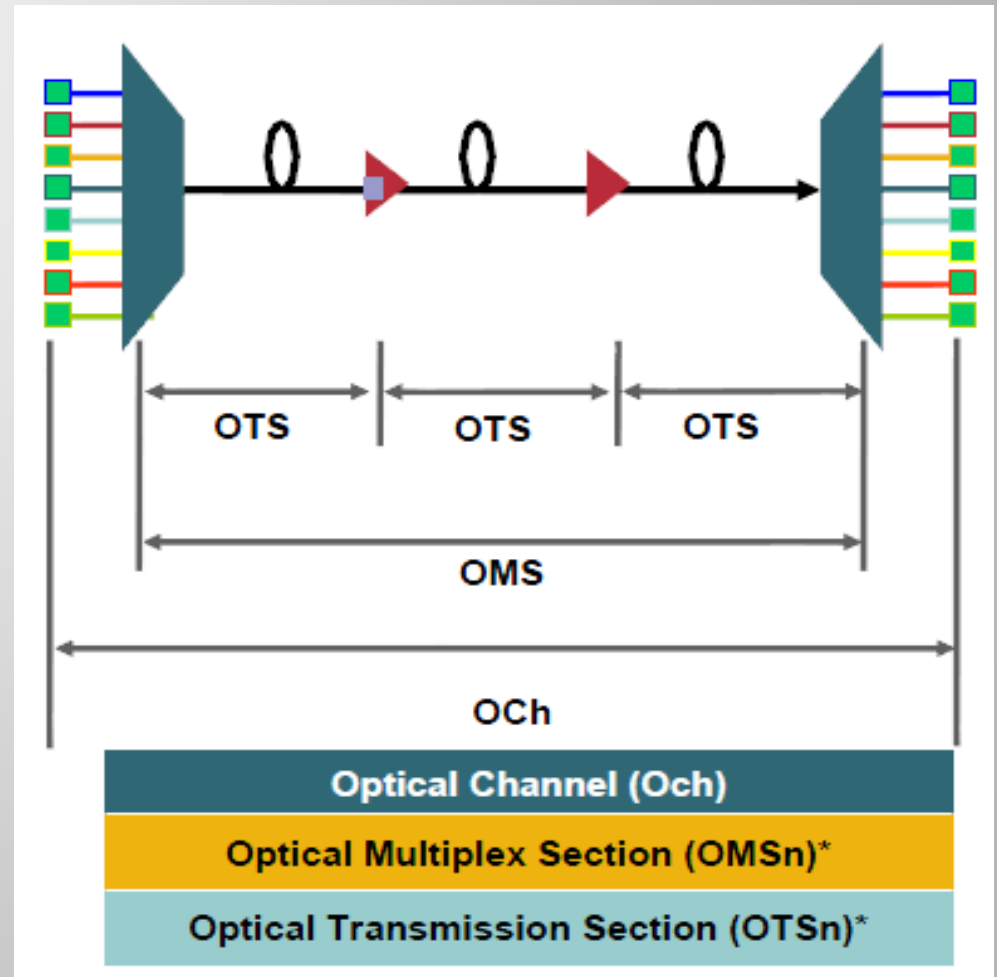
Модель сети OTN

Модель сети OTN сходна с моделью SDH

В модели сети OTN

Формируются оптические каналы (OCh) посредством:

- секция мультиплексирования (OMS)
- и транспортная секция (OTS).

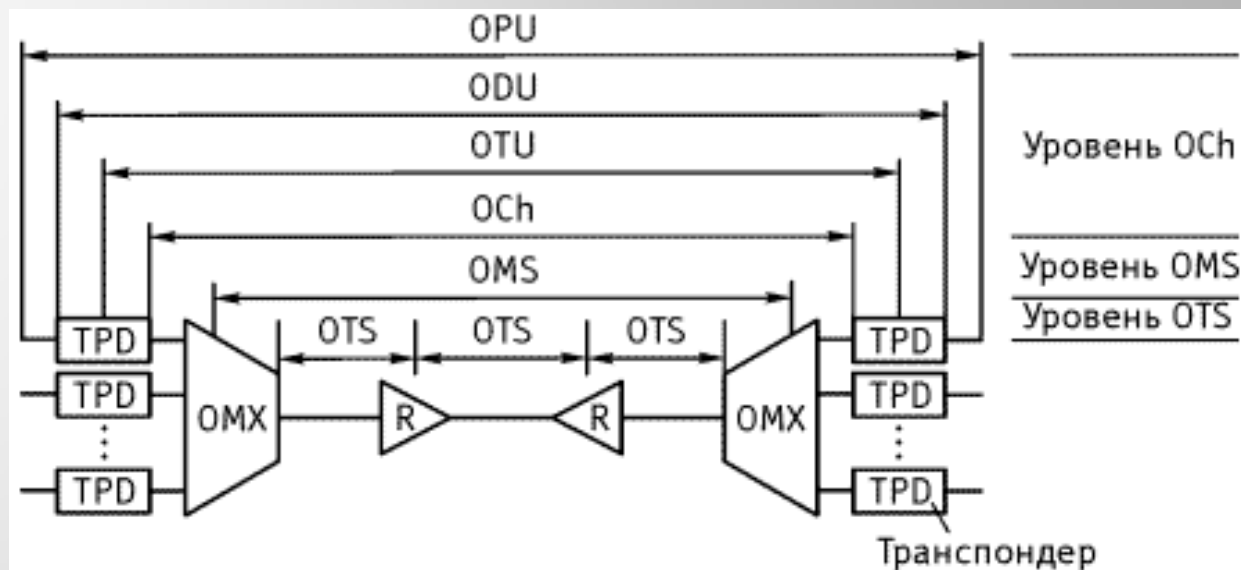


Основные свойства OTN

- Модель транспортной сети OTN-OTN представлена двумя самостоятельными по своей организации уровнями: уровень сети OTN и уровень пользователя.
- Уровень сети OTN состоит из трёх физически и логически связанных подуровней:
 1. Среды передачи сигналов с разделением по длине волны (WDM);
 2. Оптических секций ретрансляции OTS (Optical Transmission Section) и мультиплексирования OMS (Optical Multiplex Section);
 3. Оптических каналов OCh (Optical Channel) с нагрузкой в виде
 - оптических транспортных блоков OTUk (Optical Transport Unit k)
 - с включением в них блоков данных оптических каналов ODUk (Optical Data Unit k),
 - которые, в свою очередь, включают блоки полезной нагрузки оптических каналов OPUk (Optical Channel Payload Unit k).

Индекс k соответствует иерархической ступени OTN ($k=1,2,3,4$) и указывает на циклы различные по длительности и скорости передачи.

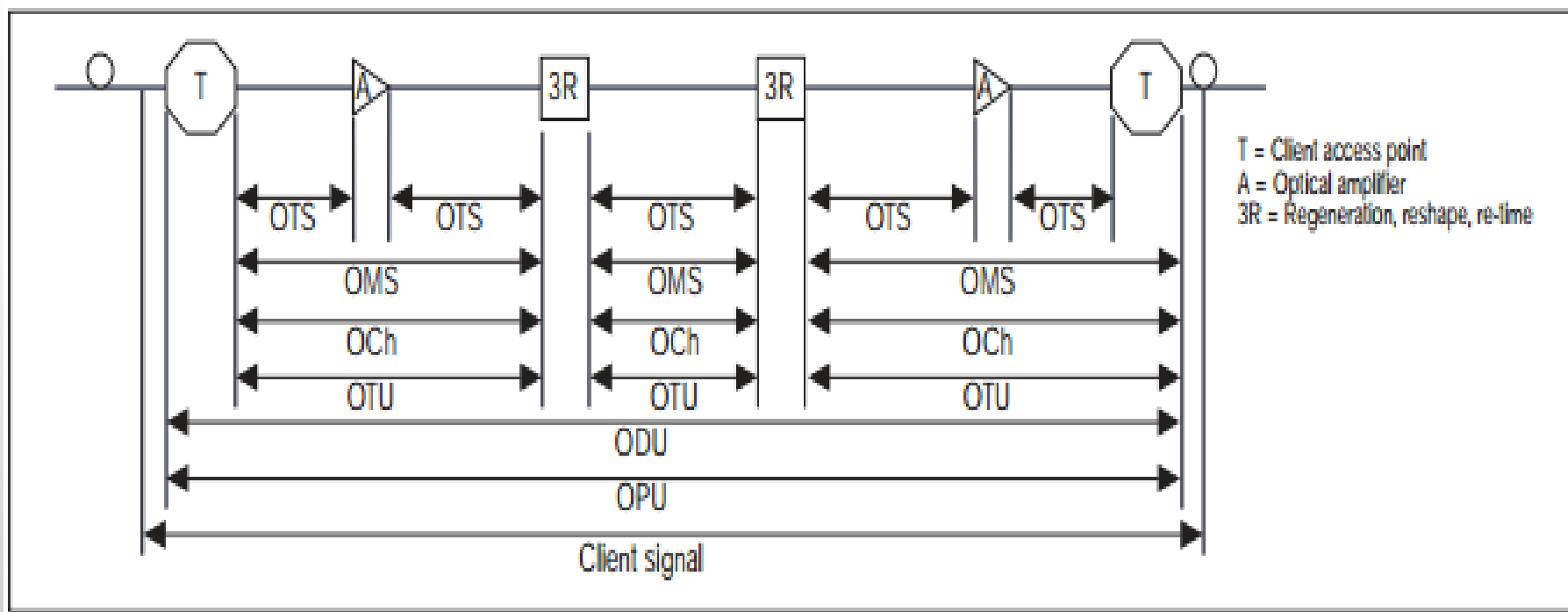
Соединение в транспортной сети OTN



Уровень сети OTN состоит из трёх физически и логически связанных подуровней

1. Среды передачи сигналов с разделением по длине волны (WDM);
2. Оптических секций ретрансляции **OTS** (Optical Transmission Section) и мультиплексирования **OMS** (Optical Multiplex Section);
3. Оптических каналов **OCh** (Optical Channel) с нагрузкой в виде оптических транспортных блоков **OTU_k** (Optical Transport Unit *k*) с включением в них блоков данных оптических каналов **ODU_k** (Optical Data Unit *k*), которые, в свою очередь, включают блоки полезной нагрузки оптических каналов **OPU_k** (Optical Channel Payload Unit *k*).
 - ✓ Индекс *k* соответствует иерархической ступени OTN (*k*=1,2,3,4) и указывает на циклы различные по длительности и скорости передачи.

Модель сети OTN



OCh - оптические каналы

OMS - секция мультиплексирования

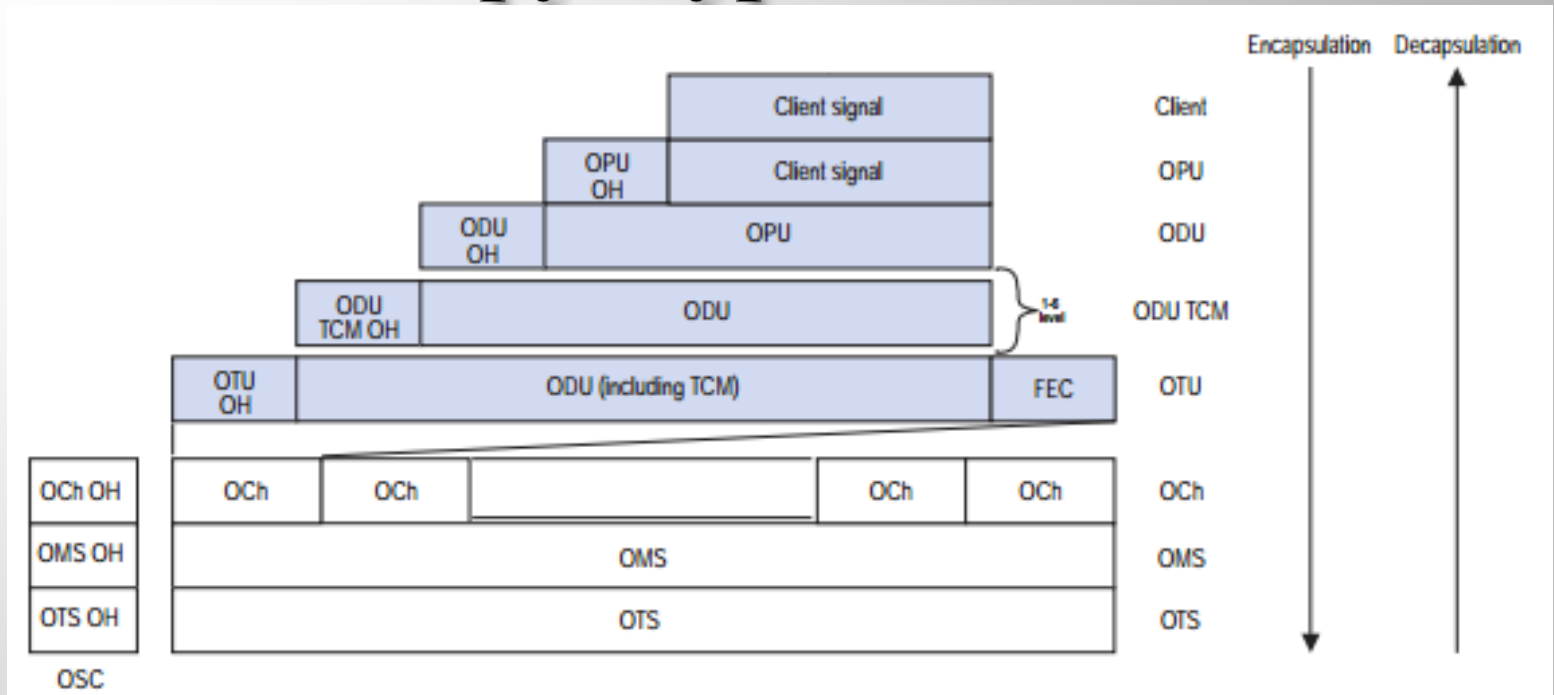
OTS - транспортная секция

A - Оптический усилитель

3R – точка Регенерация.

T - Клиентская точка доступа

Основная транспортная структура OTN



К данным (Client) добавляется заголовок (OH), образуя таким образом Блок нагрузки (OPU — Optical channel Payload Unit).

Еще один ОН добавляется к OPU и получаем Блок данных (ODU — Optical channel Data Unit)

Следующий ОН и данные для FEC добавляются к ODU. В результате получается транспортный блок оптического канала (OTU — Optical channel Transport Unit).

Последующее добавление заголовка создает “маркированный” оптический канал (OCh), который транспортирует цифровой клиентский сигнал между 3R точками регенерации.

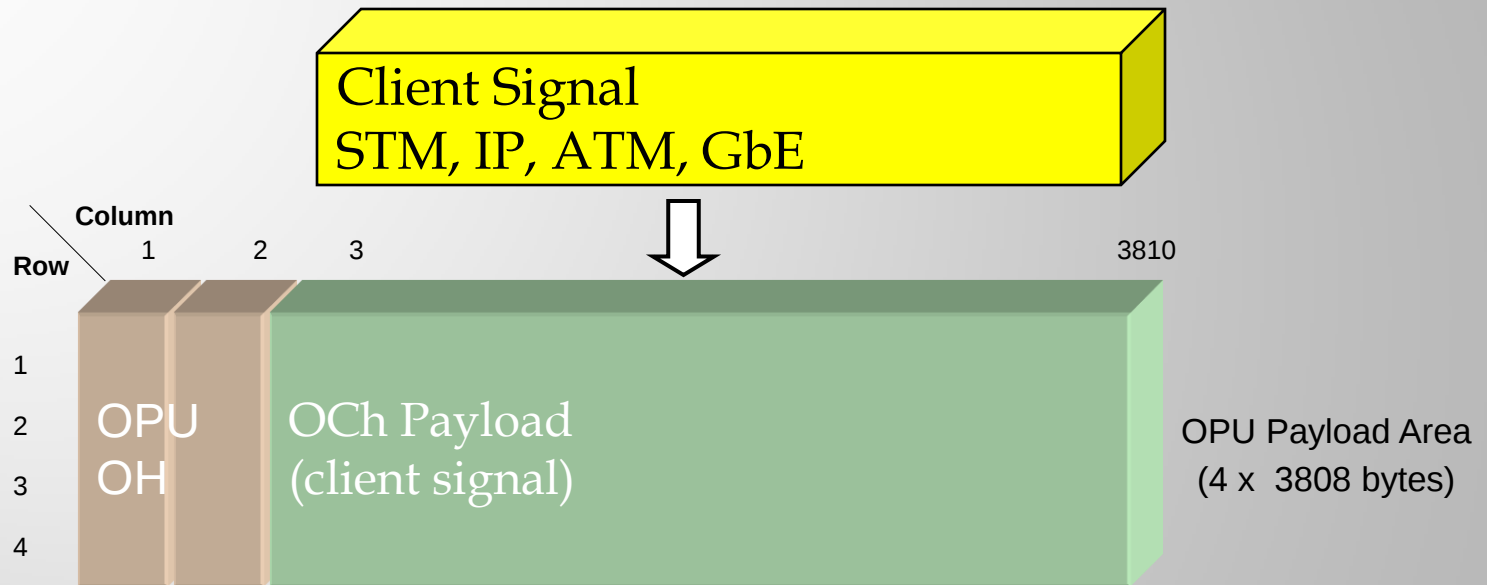
Дополнительные ОН могут быть добавлены к различным оптическим каналам для реализации управления маркированными каналами внутри транспортной сети. После этого формируются секции мультиплексирования (OMS) и передачи (OTS). OCC (Optical Channel Carrier) – Оптический канал оператора.

**interface principal information
containment relationships**



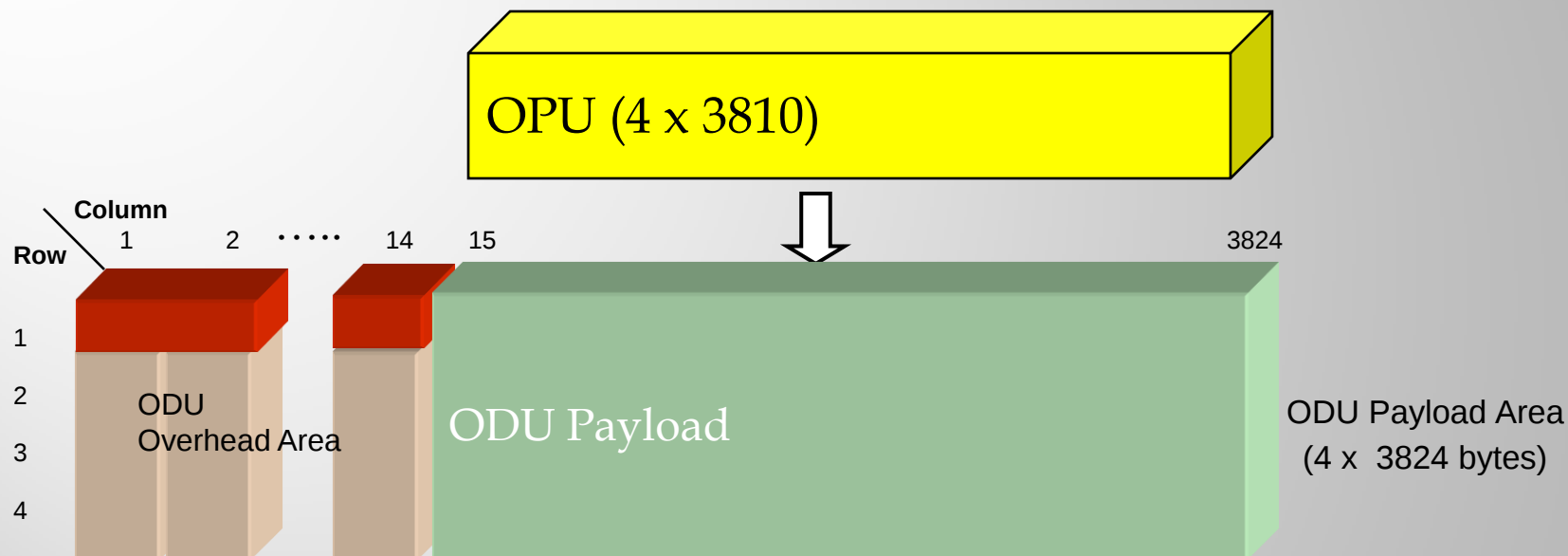
Информационная структура для интерфейсов OTN представлена информационным включением Отношений и потоков. В целях контроля в OTN, сигнал OTUk/OTUkV завершается каждый раз, когда завершается сигнал OCh.

Блок полезной нагрузки оптического канала: структура кадров OPU



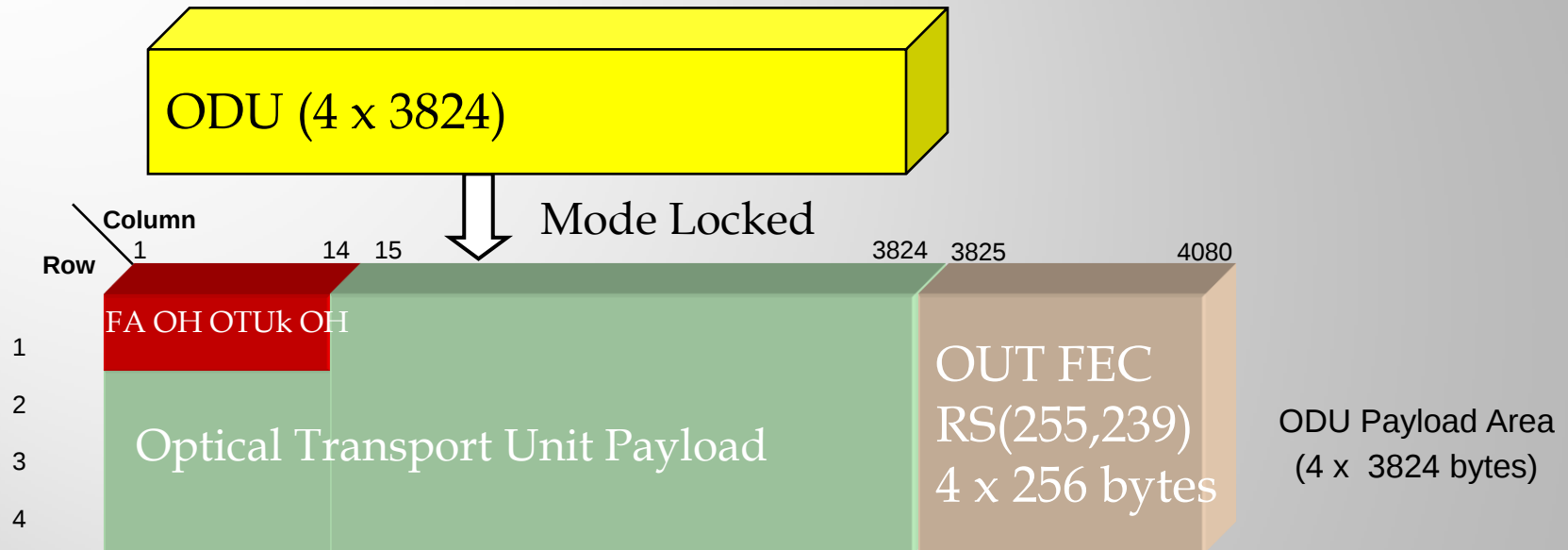
- Клиентский сигнал отображается в области полезной нагрузки OPU
 - при фиксированной скорости *
 - в плавающий режим (без указателя)
- Заголовок OPU (OPU OH) : полезная нагрузка и отображение спецификации

Блок данных оптического канала : структура ODU кадра



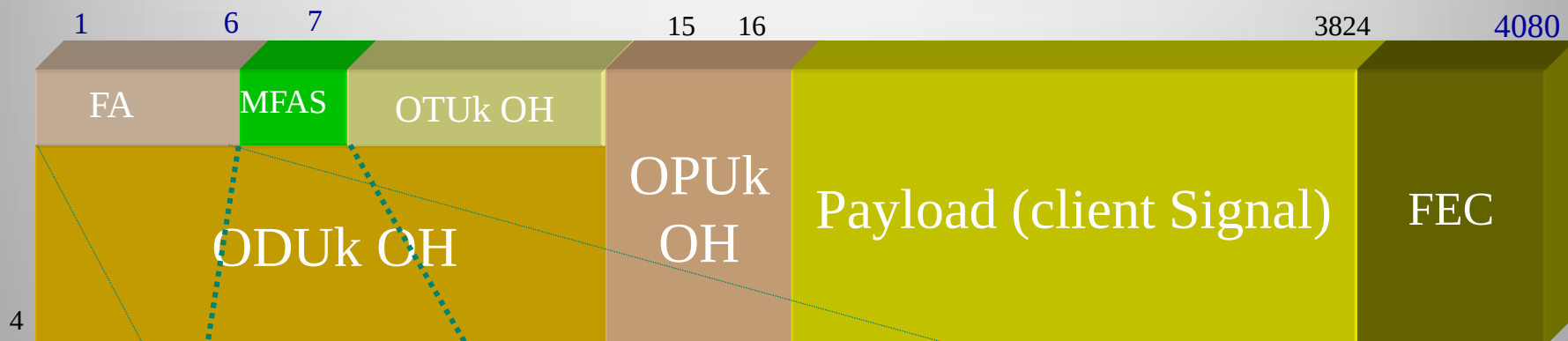
- Размер ODU кадра: 4 строки x 3824 столбцов (байт)
- Заголовки ODU используются для маршрутов и TC OAM & P
- OPU отображается в полезной нагрузке ODU в заблокированном режиме
- 1 Линия заголовка ODU для синхронизации кадров и заголовком OTU

Транспортный блок оптического канала : структура OTU кадра



- Размер OTU кадра: 4 строки x 4080 столбцов (байт)
 - ✓ Прямое исправление ошибок (FEC): RS (255, 239) код
 - ✓ 14 байт (байты с 1 по 7 предназначены для выравнивания кадров)
- ODU отображается в полезной нагрузке OTU в блокированном режиме
- Заголовки OTU используются для управления секцией Osh
- Упреждающая Коррекция Ошибок (FEC)
 - Рид-Соломон (255,239) 239 байтов данных + 16 байтов FEC = 255 байтов

ODU/OTU цикловая синхронизация



FAS OH Byte 1								FAS OH Byte 2								FAS OH Byte 3								FAS OH Byte 4								FAS OH Byte 5								FAS OH Byte 6							
1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
OA1								OA1								OA1								OA2								OA2								OA2							

OA1: 11110110 OA2: 00101000 => 0xF6F6F6 282828

MFAS OH Byte							
1	2	3	4	5	6	7	8

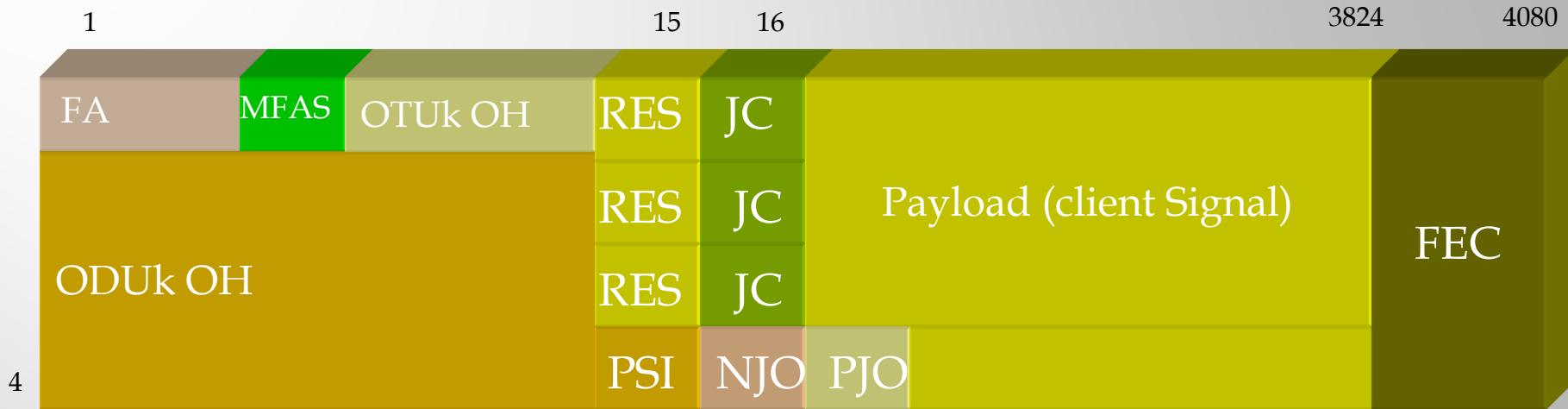
MFAS sequence

```

:
0000 0000
0000 0001
0000 0010
0000 0011
0000 0100
:
1111 1110
1111 1111
0000 0000
0000 0001
:
    
```

- сверхцикловая синхронизация сигнала (MFAS)
 - могут быть использованы для 2-кадра, 4 кадра, 256-кадра мультикадровой структуры

Заголовки OPUk (Optical payload unit), используются для размещения клиентских данных



- **PSI** (Payload Structure Identifier, Payload Type) → идентификатор структуры данных (тип передаваемых данных)
- **JC** (биты 7 и 8): поле управления выравниванием, два бита которого показывают, какое значение помещено в каждый из байтов NJO и PJO.
- **NJO**: байт возможности отрицательного выравнивания
- **PJO**: байт возможности положительного выравнивания
- **RES** — зарезервировано, всегда равно 0

Hex Code Payload Type

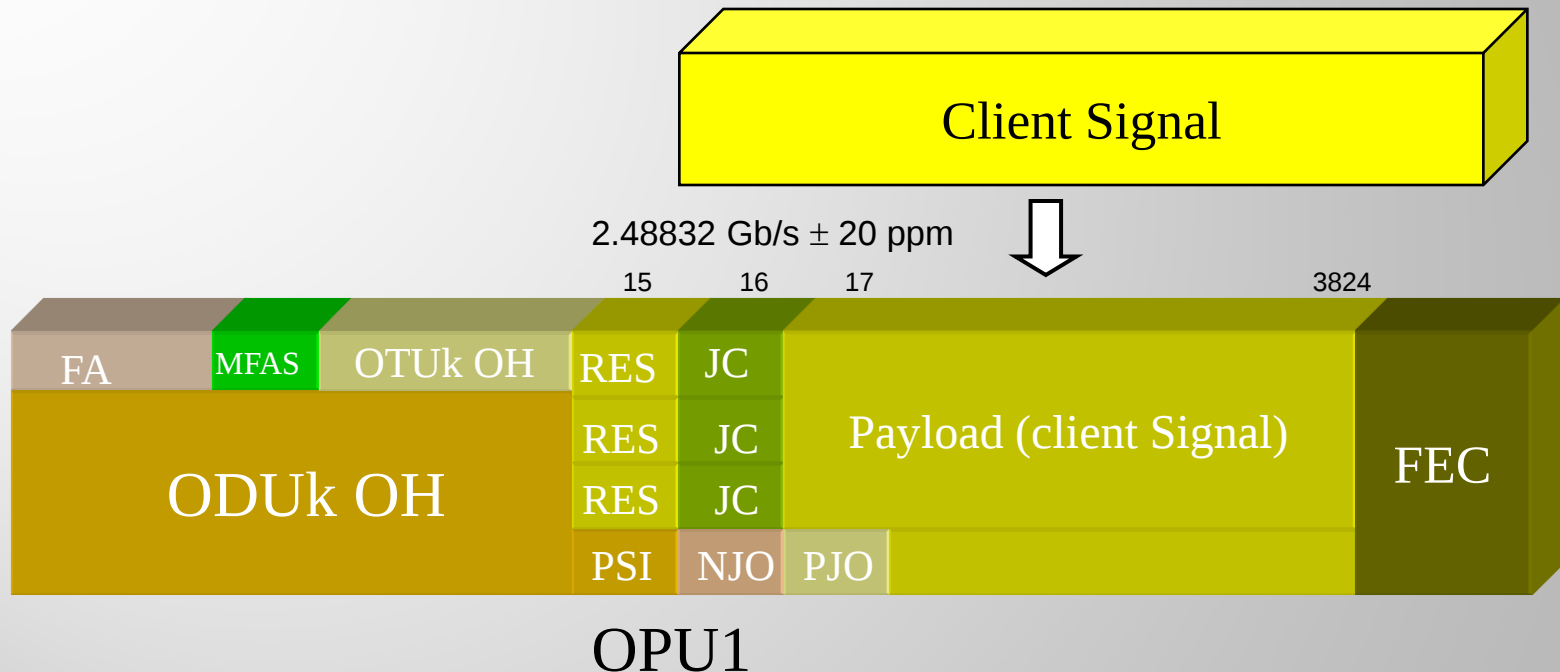
01	экспоненциальное отображение
02	асинхронное STM-N отображение
03	бит синхронное STM-n отображение
04	ATM отображение
05	GFP отображение
10	битовый поток с байтовым вложением во времени
11	битовый поток не с байтовым вложением во времени
....	
FD	NULL тестовый сигнал отображения
FE	PRBS тестовый сигнал отображения

Асинхронное и бит синхронное размещение нагрузки



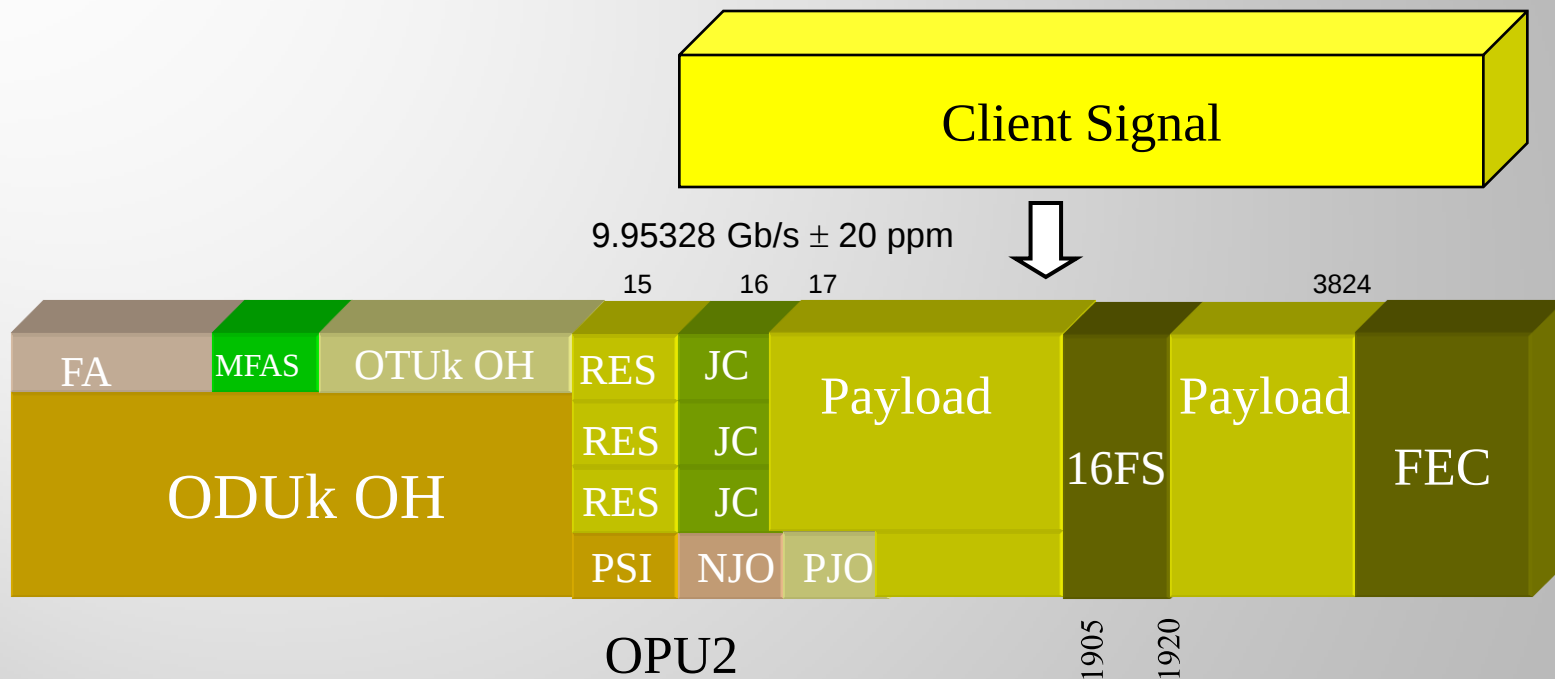
Один раз в цикле (в кадре), можно выполнить положительное или отрицательное выравнивание

Отображение CBR 2.5 Gb/s Signal в OPU1



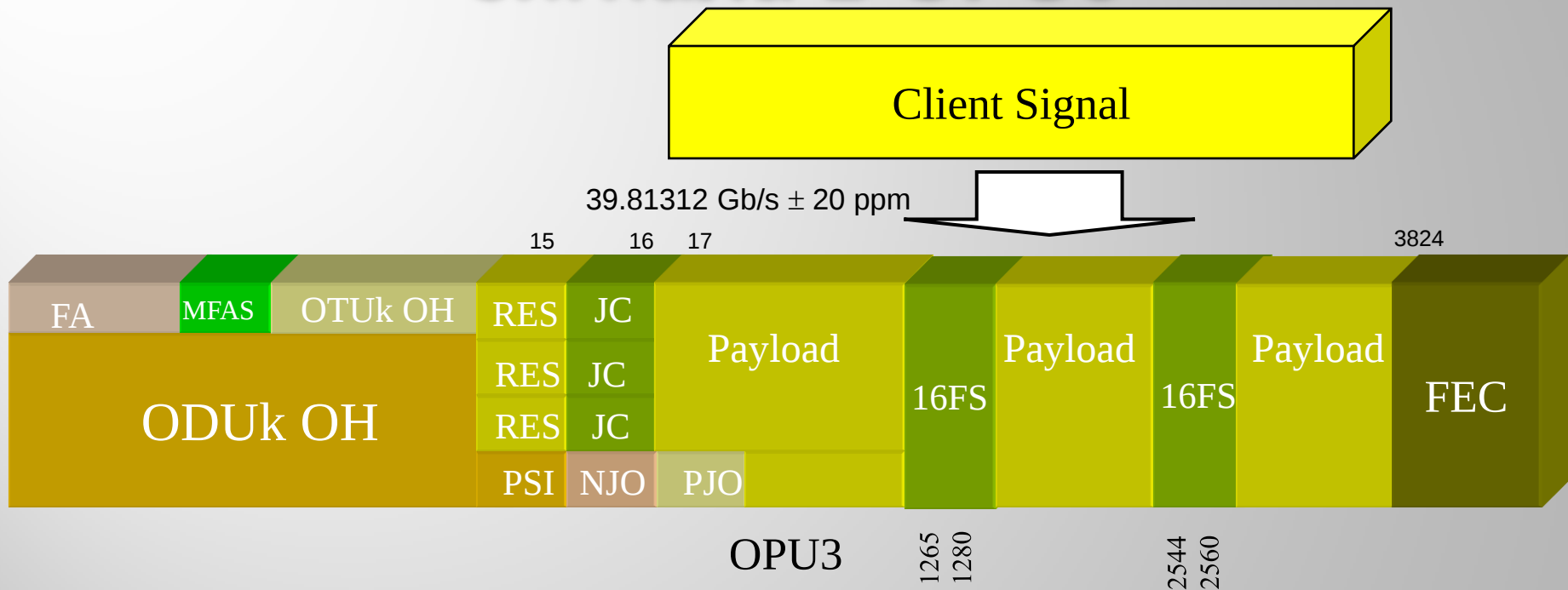
- Группы из 8 последовательных битов (не обязательно связанные в байт) CBR2.5G сигнала отображаются в полезную нагрузку OPU1
- Один раз в OPU1 кадре можно выполнить положительное или отрицательное выравнивание

Отображение CBR 10 Гбит/с сигнала в OPU2



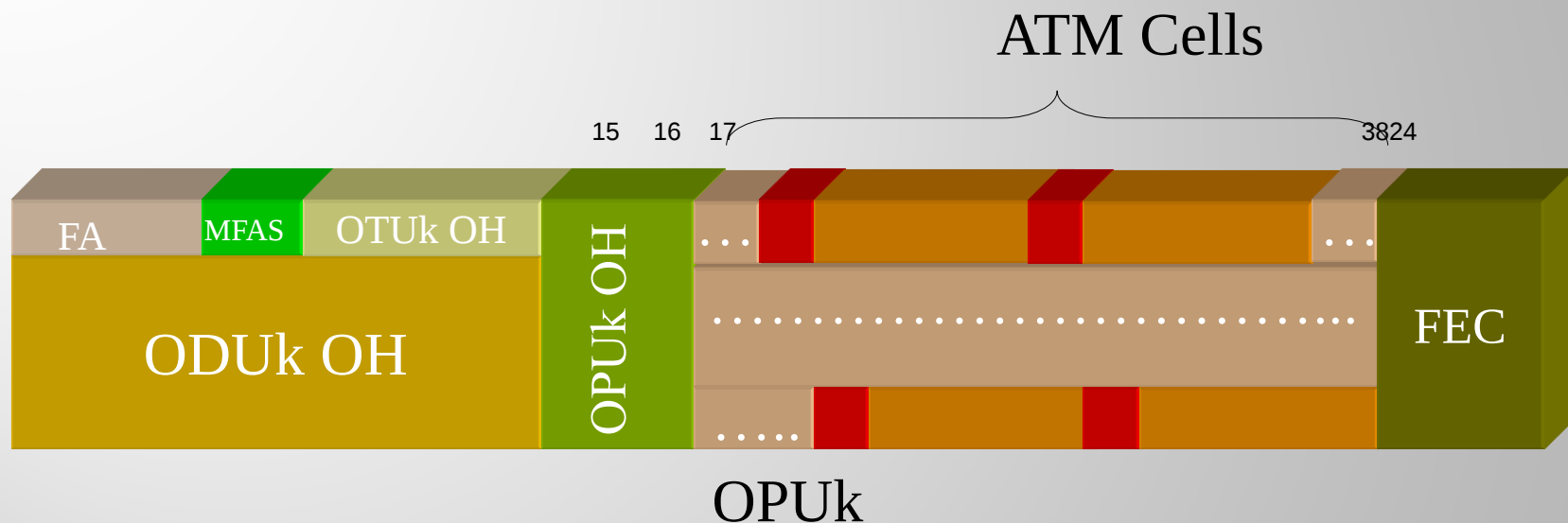
- Группы из 8 последовательных битов (не обязательно связанные в байт) 10 Гбит/с сигнала отображаются в полезную нагрузку OPU2
- 64 фиксированных заполнительных (FS) байт добавляются в столбцы с 1905 по 1920
- Один раз в OPU2 кадре можно выполнить положительное или отрицательное выравнивание

Отображение СВР40 Гбит/с сигнала в OPU3



- Группы из 8 последовательных битов (не обязательно связанные в байт) 40 Гбит / с сигнала отображаются в полезную нагрузку OPU3
- 128 фиксированных заполнительных (FS) байт добавляются в столбцы с 1265 по 1280 и с 2545 по 2560
- Раз в OPU3 кадр, можно выполнить положительное или отрицательное выравнивание

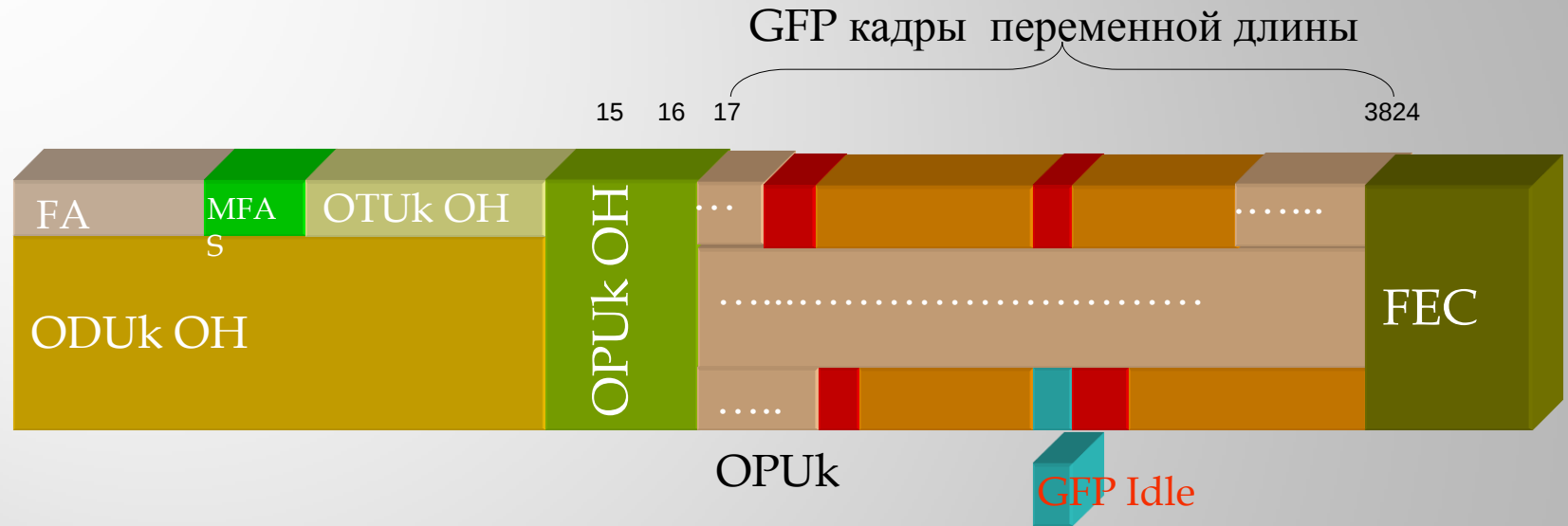
Отображение ячеек ATM в OPUk



OPUk

- Поток ATM-ячеек с постоянной битовой скоростью с емкостью, которая идентична области полезной информации OPUk, создается путем мультиплексирования ATM из набора ATM VP сигналов
- Адаптация скорости выполняется путем создания потока пустых (idle) ячеек или путем отбрасывания ячеек
- Границы ячейки ATM выравниваются с границами байтов полезной нагрузки OPUk
- НЕС кадрирование (*границы ячейки определяются по полю контрольной суммы*) используется для восстановления ATM ячеек

Отображение IP или Ethernet в OPUk с использованием GFP



- Используется протокол GFP - Generic Framing Procedure (общая процедура формирования кадров)
- инкапсуляции для пакетных клиентских сигналов, основанных на клиентских сигналах (например, IP или Ethernet)
 - ✓ не требуется для SDH или 10 G Ethernet с инкапсулированным IP
- отображение GFP кадра выполняется путем выравнивания структуры байтов каждого кадра GFP с байтом структуры полезной информации OPUk.
- кадр GFP состоит из заголовка GFP и GFP области полезной нагрузки; размер кадра колеблется от 4 до 65535 байт

OTH - Оптическая иерархия скоростей

OPTICAL TRANSPORT HIERARCHY

Оптическая транспортная иерархия

- Оптическая транспортная иерархия (Optical Transport Hierarchy, OTH), как определено в рекомендации МСЭ G.798 & G.709, предусматривает методы размещения, мультиплексирования и управления сетями, поддерживающими различные клиентские сигналы в их натуральном формате, независимо от типов используемых протоколов. В стандарте описана единая структура Optical Data Unit (ODU)/Digital wrapper, в которой можно разместить несколько существующих фреймов потоков данных, а затем объединить их с другими сигналами и далее передавать и управлять в едином стиле с единой функциональностью, аналогичной той, что принята в системах SDH.
- Первая версия OTH была ориентирована преимущественно на клиентские сигналы SDH. Поэтому изначально в рекомендации G.709 были определены только 3 фиксированных типа ODU-контейнеров:
 - ODU1 for CBR2G5 (STM-16);
 - ODU2 for CBR10G (STM-64);
 - ODU3 for CBR40G (STM-256).

В настоящее время структуры OTH рассматриваются с учетом передачи таких клиентских сигналов, как

- Ethernet 1GE, 10GE WAN/LAN, 40GE, 100GE;
- OTH 2,5G, 10G, 40G, 100G;
- SDH 2,5G, 10G, 40G;
- FC 1G, 2G, 4G, 8G (10G).

Оптическая иерархия скоростей

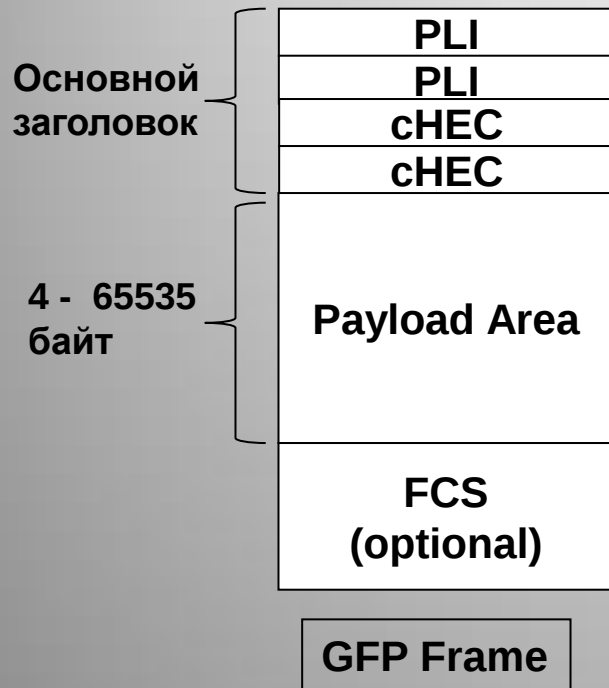
Скорости передачи OPU / ODU / OTU:

Тип сигнала	Номинальная скорость передачи (Kb/s)	Допуск скорости передачи (ppm - parts per million, читается «пи-пи-эм» — «частей на миллион»)	Приблизительно. период
OPU1	2 488 320	+/- 20 ppm	48.971 μ s
OPU2	238/237 * 9 953 280	+/- 20 ppm	12.191 μ s
OPU3	238/236 * 39 813 120	+/- 20 ppm	3.035 μ s
OPU4	238/227 $\times$ 99 532 800	+/- 20 ppm	1.168 μ s
ODU1	239/238 * 2 488 320	+/- 20 ppm	48.971 μ s
ODU2	239/237 * 9 953 280	+/- 20 ppm	12.191 μ s
ODU3	239/236 * 39 813 120	+/- 20 ppm	3.035 μ s
ODU4	239/227 $\times$ 99 532 800	+/-20 ppm	1.168 μ s
OTU1	255/238 * 2 488 320	+/- 20 ppm	48.971 μ s
OTU2	255/237 * 9 953 280	+/- 20 ppm	12.191 μ s
OTU3	255/236 * 39 813 120	+/- 20 ppm	3.035 μ s
OTU4	255/227 $\times$ 99 532 800	+/-20 ppm	1.168 μ s

GFP – Стандартная процедура инкапсуляции

GENERIC FRAMING PROCEDURE

Стандартная процедура инкапсуляции/формирования



00
00
cHEC
cHEC

Idle Frame

PLI: (**PDU Length Indicator**) длина полезной нагрузки
cHEC: (**Core - Header Error Control**) контрольная сумма заголовка
FSC: (Frame Check Sequence) поле контрольной суммы кадра

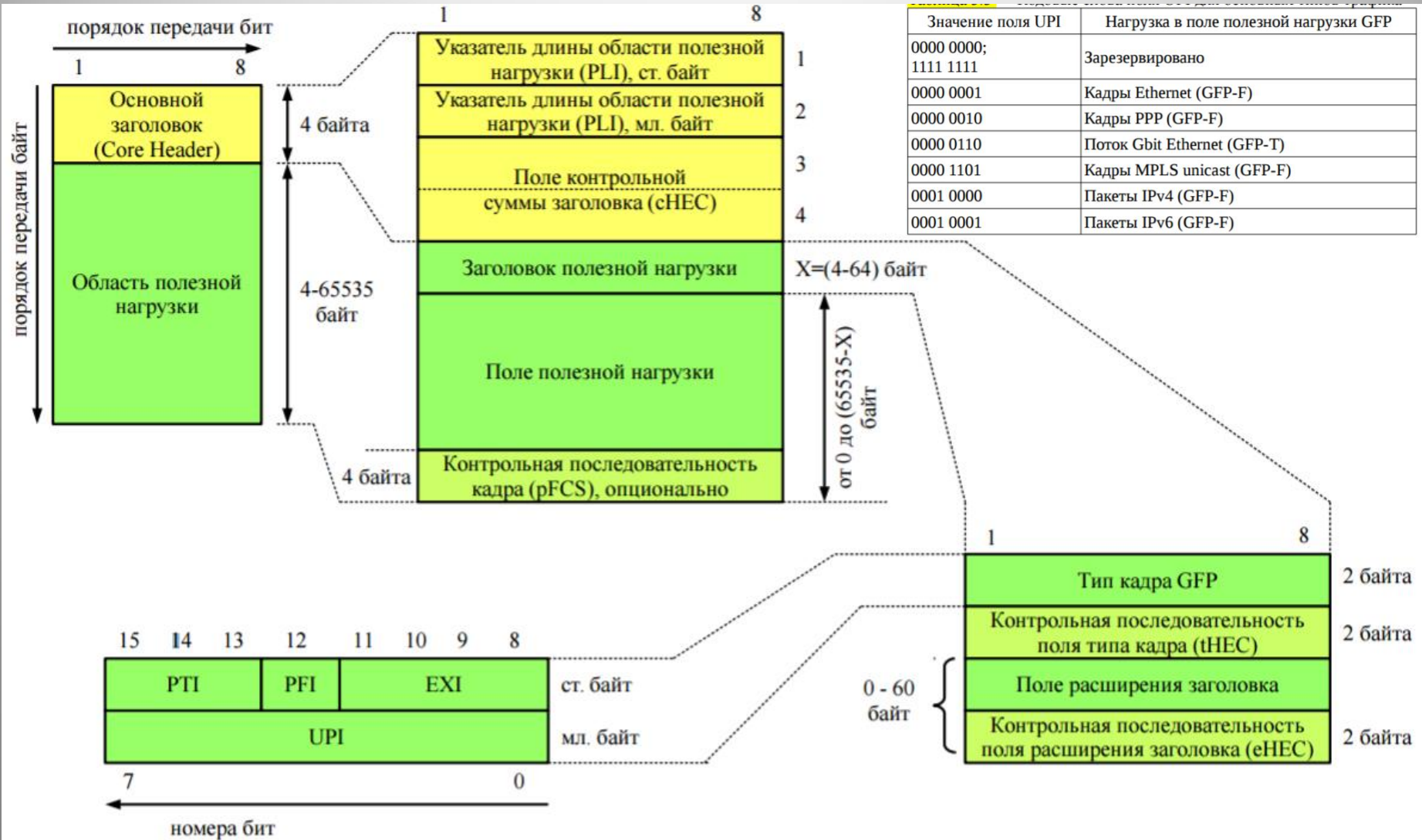
Мультиплексирование кадров:

Покадровый принцип. Когда кадров нет, вставляются пустые кадры (idle frame)

Алгоритм разграничения кадров:

Основанный на обнаружении правильного cHEC. PLI используется для поиска начала следующего кадра

Структура кадра GFP



Режим отображения пакетов (frame-mapped, GFP-F)

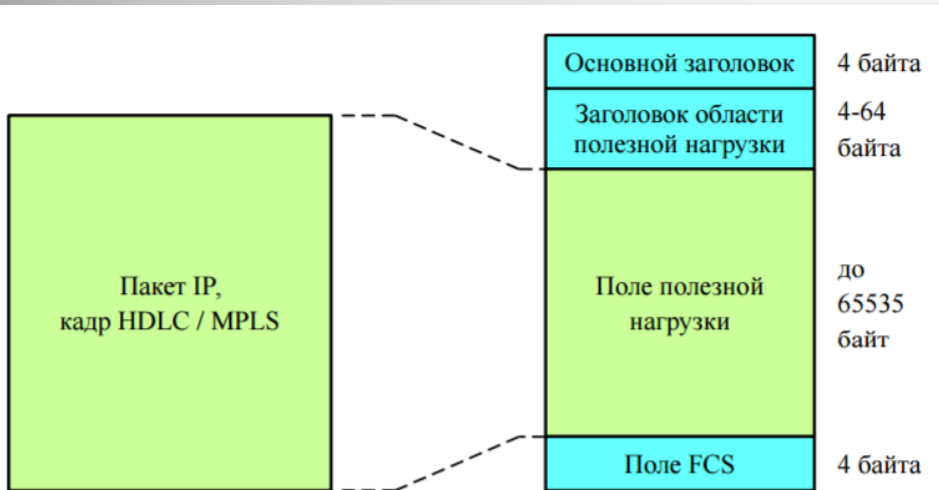
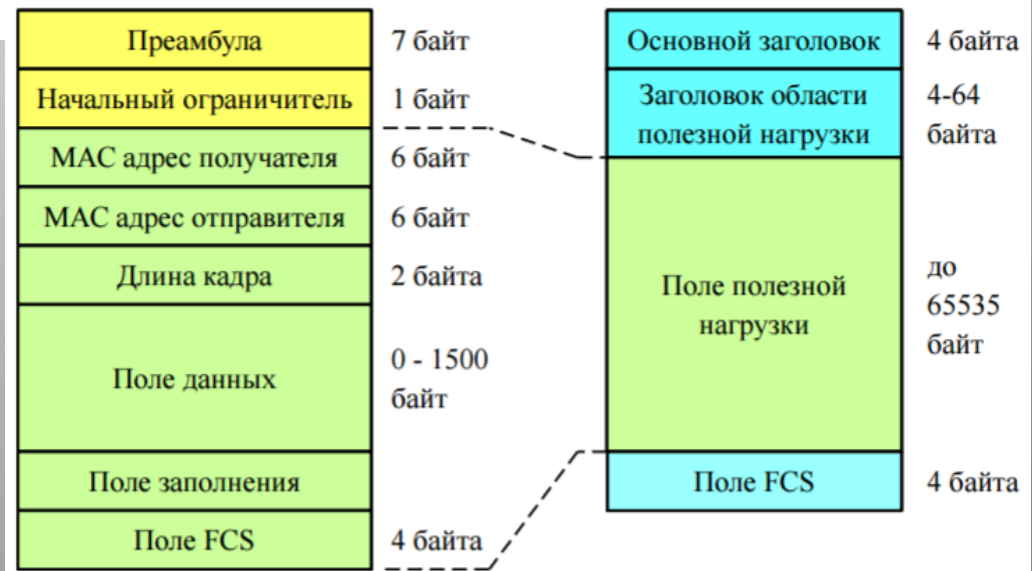


Рисунок 3.10 – Формирование кадра GFP-F из пакетов IPv4, IPv6 и кадров MPLS



FEC – Стандартная процедура инкапсуляции

FORWARD ERROR CORRECTION

FORWARD ERROR CORRECTION

Forward Error Correction (FEC) — это технология исправления ошибок при передаче данных, которая позволяет приемнику самостоятельно восстанавливать поврежденные или потерянные пакеты, не запрашивая их повторную отправку у передатчика, как это делает технология ARQ ()

Передатчик добавляет избыточную информацию к исходным данным, а приемник использует эти избыточные данные для обнаружения и исправления ошибок.

Это позволяет увеличить расстояние передачи сигнала без регенерации в магистральных соединениях.

G.709 Упреждающая Коррекция Ошибок (FEC)

Обнаружение и коррекция ошибок

Исправление до 8 байтов ошибок (один ошибочный байт появляется, если один бит в байте неверный или когда все биты в байте неправильные; пример: RS (255,239) может исправить восемь ошибочных байтов; в худшем случае восемь неверных битов могут возникнуть каждый в отдельном байте, поэтому декодер скорректирует 8 ошибочных бит; В лучшем случае появятся 8 целых неверных байтов, так декодер скорректирует 8 x 8 ошибочных битов)

Обнаружение до 16 байтов ошибок

• Рид-Соломон (255,239)

239 байтов данных + 16 байтов FEC = 255 байтов

• OTU строка делится на 16 подстрок из 255 байтов

16 x 255 = 4080 = 1 OTU строка

• Подстроки обрабатываются отдельно

• FEC проверка четности байтов

Считается по 239 байтам подстроки.

Передается в 16 байтах этой же подстроки.

# участков	10G с FEC	10G без FEC	2.5G с FEC	2.5G без FEC
1x	30dB	23dB	32dB	29dB
2x	26dB	13dB	27dB	23dB
3x	23dB		25dB	21dB
4x	21dB		24dB	18dB
5x	20dB		23dB	14dB

Преимущества G.709

- Управление каждым каналом
- Мониторинг производительности в домене DWDM
- Автоматическое обнаружение маршрута
- Цифровая упаковка (дополнительная информация)
 - SDH
 - IP
 - Ethernet
 - Storage
- Увеличение способностей системы — эффективность кодирования (FEC)
 - Лучшее отношение сигнал/шум (SNR) с фиксированной длиной участка
 - Длиннее участки с спроектированным BER (Bit Error Rate)
 - Увеличение на 6 dB бюджета для SNR (эффективность кодирования)

ROADM - перенастраиваемое оптическое add/drop мультиплексирование

WSS - переключение длины волны

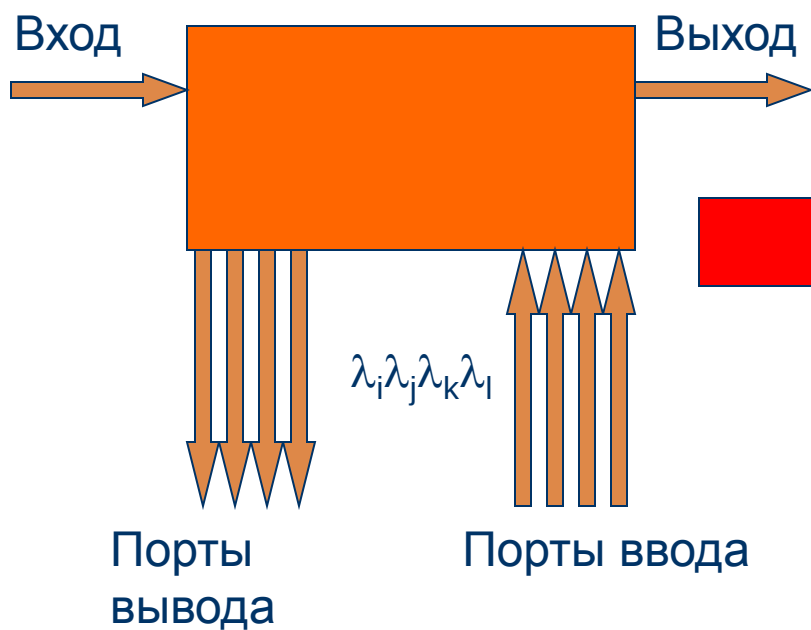
ROADM - RECONFIGURABLE OPTICAL ADD-DROP MULTIPLEXER
WSS - WAVELENGTH SELECTIVE SWITCH

ROADM

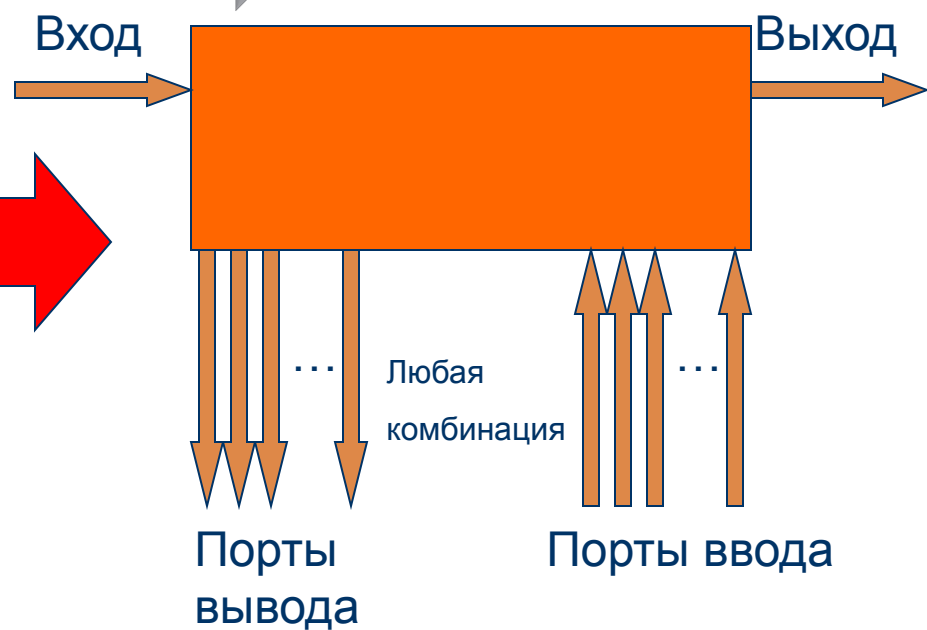
Задача:

Динамическое
выделение любого
канала на любом узле

OADM

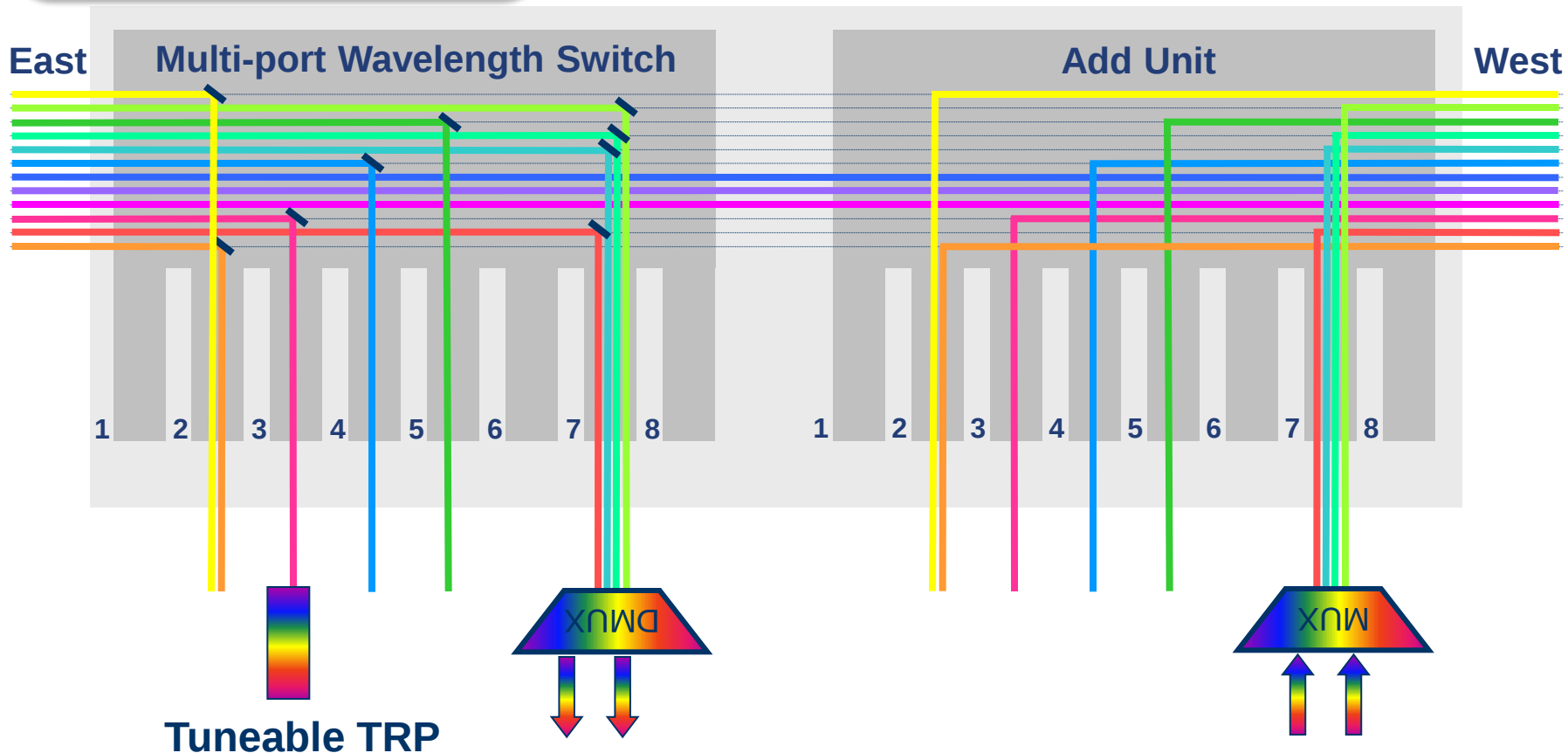


ROADM



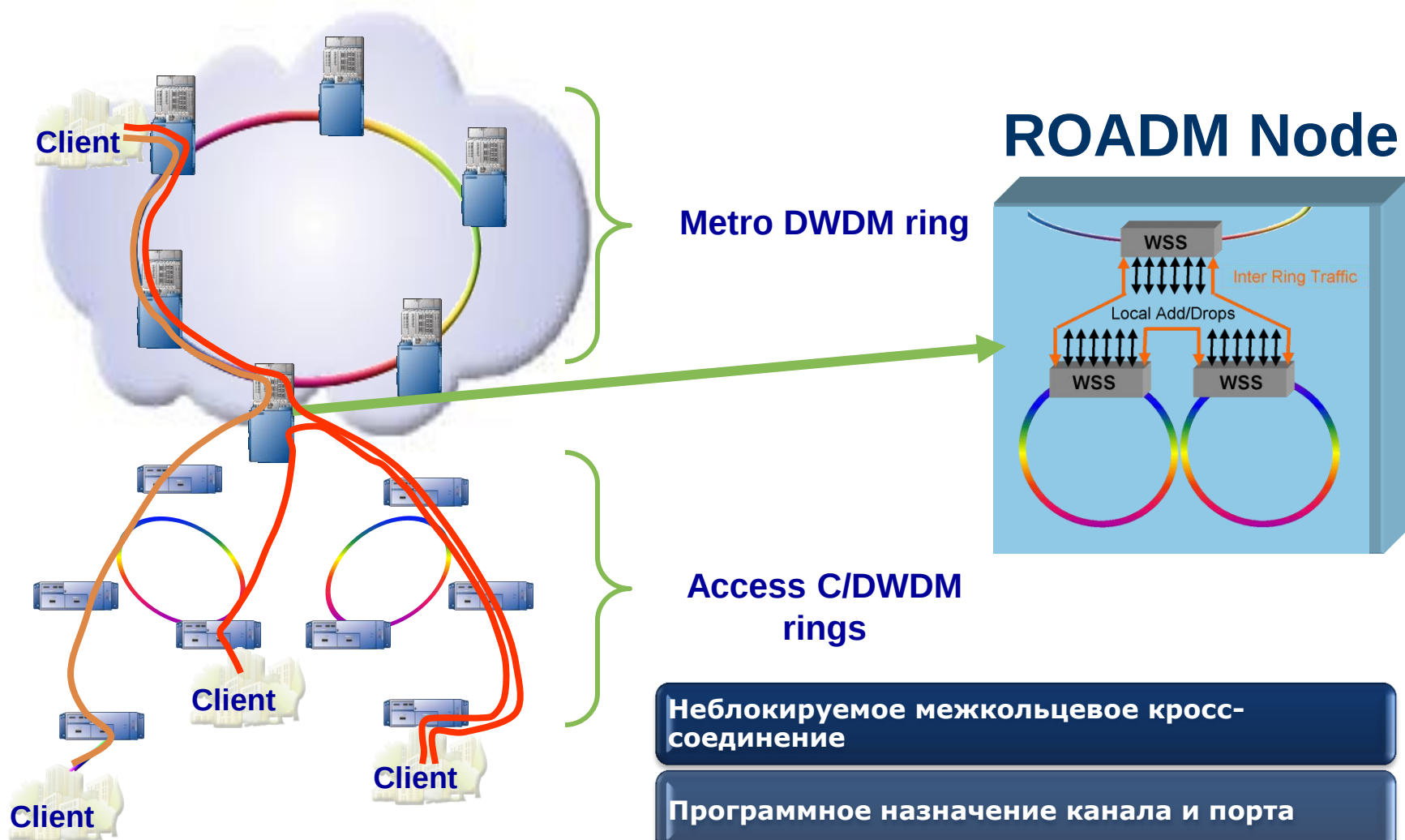
Удаленное управление каналами:

- Add & drop λ_{10} at port 3
- Add & drop $\lambda_2, \lambda_4, \lambda_5$, & λ_{11} at port 7





WSS ROADM – мультикольцевые приложения



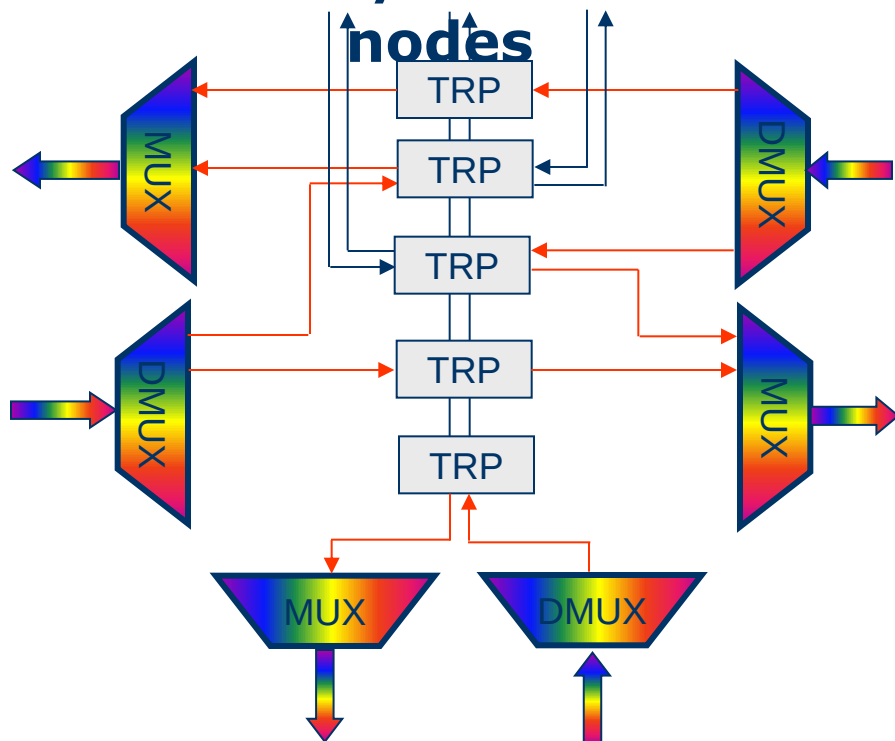
Неблокируемое межкольцевое кросс-соединение

Программное назначение канала и порта

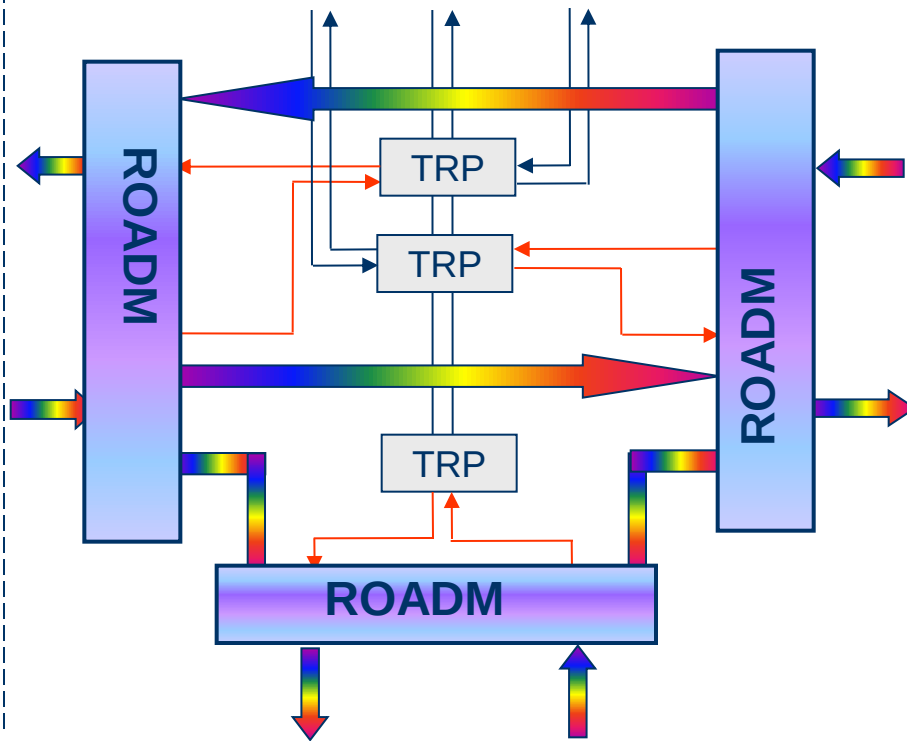
Программное переключение канала

Типовой узел для трех и более направлений

Mux/Demux in all nodes



WSS ROADM node



Add/drop любой длины волны, на любом порту, в любое время

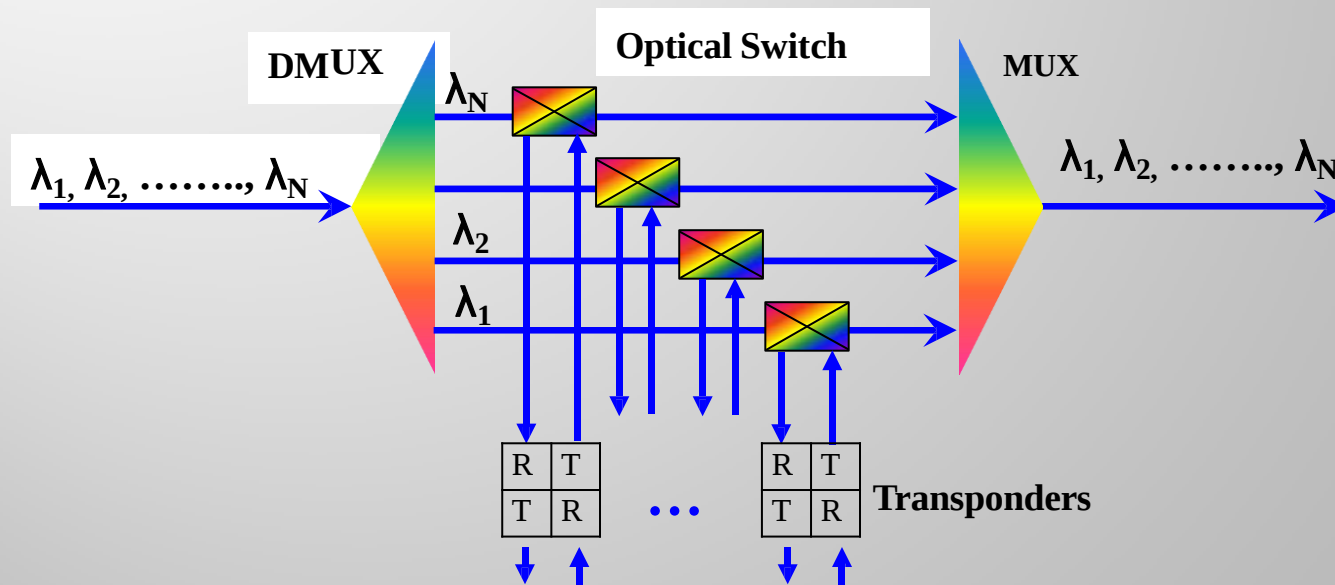
- Увеличивает рентабельность сети
- Облегчает действия оператора и планирование сети

Bandwidth-on-demand = при росте трафика

- Адресация новых направлений
- Уменьшение стоимости как при планировании, так и при построении

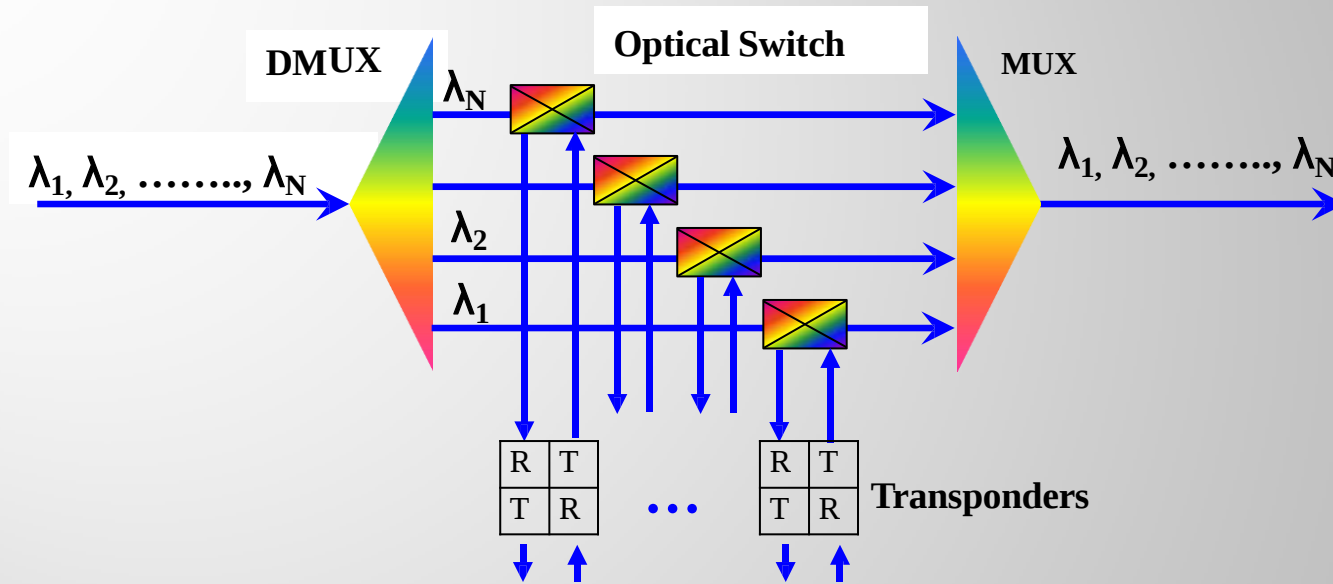
ROADM (Реконфигурируемые OADM)

Реконфигурируемые оптические мультиплексоры ввода/вывода ROADM упрощают процесс добавления, удаления или перенаправления оптических каналов. Основой ROADM стали оптические устройства нового класса, а именно селективные переключатели длин волн (Wavelength Selective Switch - WSS) с одним входом (групповой сигнал) и многими выходами для групп и/или индивидуальных каналов или со многими входами для групп и/или индивидуальных каналов и одним выходом.

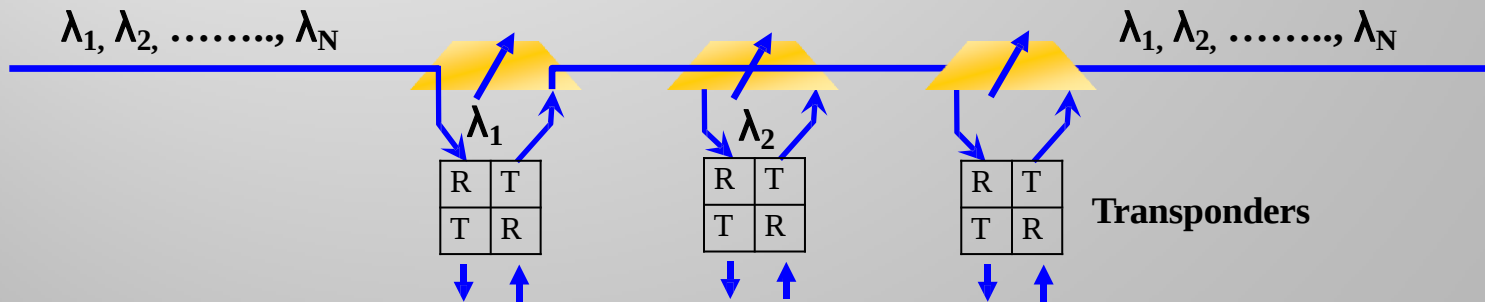


а) Частично настраиваемый OADM, использующий параллельную архитектуру с оптическими переключателями ввода/вывода и транспондерами с фиксированной длиной волны.

ROADM (Реконфигурируемые OADM)

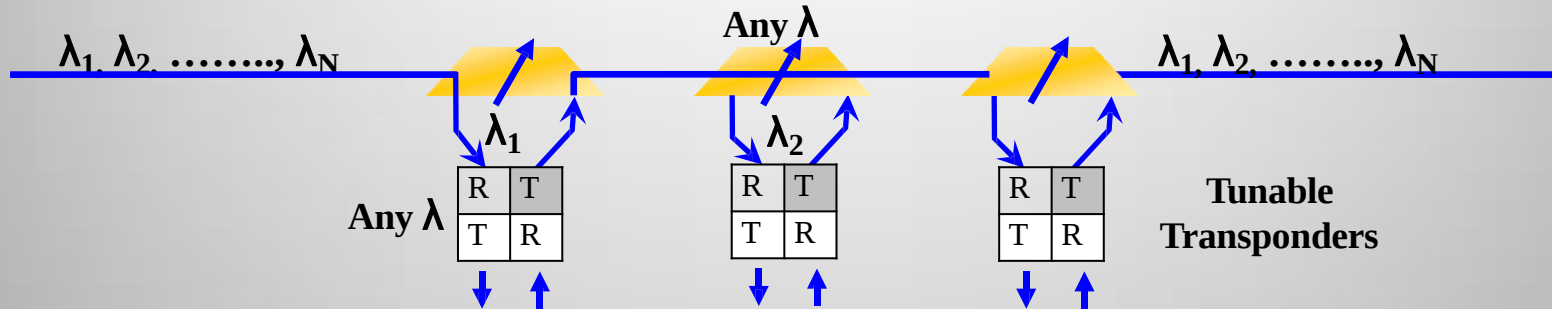


(а) Частично настраиваемый OADM, использующий параллельную архитектуру с оптическими переключателями ввода/вывода и транспондерами с фиксированной длиной волны.

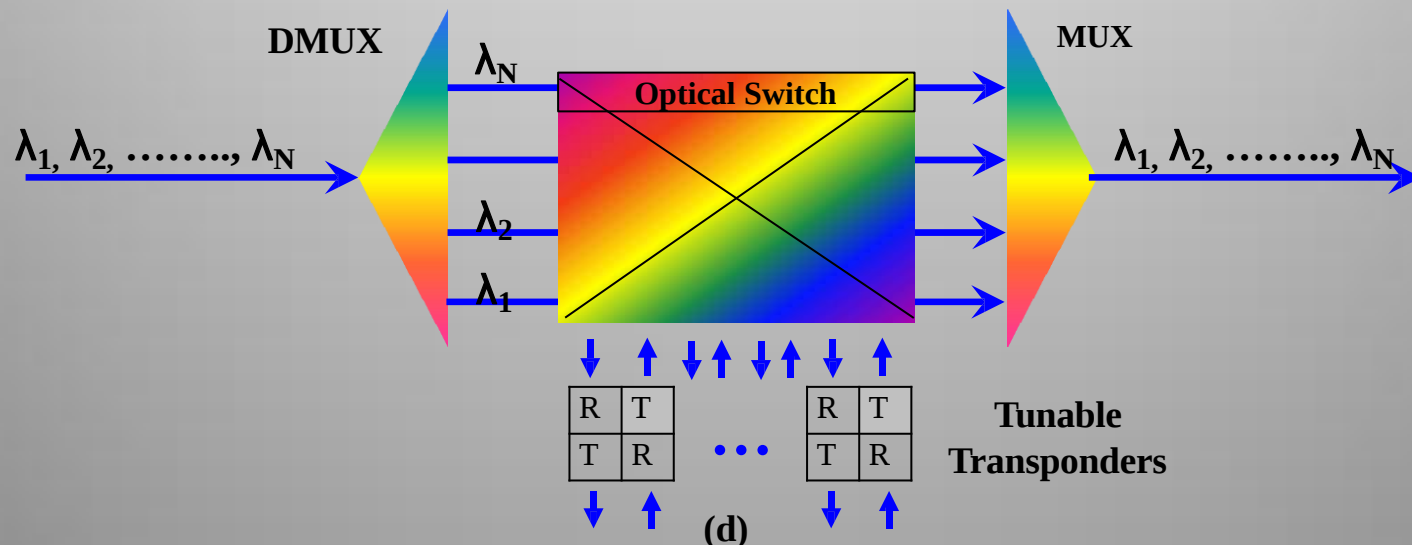


(б) Частично настраиваемый OADM, использующий последовательную архитектуру с транспондерами с фиксированной длиной волны.

ROADM (Реконфигурируемые OADM)



- (с) Полностью настраиваемый OADM, использующий последовательную архитектуру с настраиваемыми транспондерами. В этом транспондере используется настраиваемый лазер (обозначен буквой Т в затененной рамке) и широкополосный приемник.



- (d) Полностью настраиваемый OADM, использующий параллельную архитектуру с настраиваемыми транспондерами.

ROADM (Реконфигурируемые OADM)

- ▣ Реконфигурируемые оптические мультиплексоры ввода/вывода ROADM упрощают процесс добавления, удаления или перенаправления оптических каналов. Основой ROADM стали оптические устройства нового класса, а именно селективные переключатели длин волн Wavelength Selective Switch (WSS) с одним входом (групповой сигнал) и многими выходами для групп и/или индивидуальных каналов или со многими входами для групп и/или индивидуальных каналов и одним выходом.
- ▣ Следует отметить, что если в узле производится ввод, вывод или перемаршрутизация/коммутация канала на другое направление передачи, то все соединения между узлами сети, включая транзитные соединения через узел на фотонном уровне, должны выдерживать тонкий баланс между параметрами индивидуальных оптических каналов (длин волн) для достижения оптимальных параметров в системе передачи в целом. Поэтому в ROADM имеется функция динамической балансировки уровней оптической мощности различных оптических каналов.

Colorless ROADM

- Как только в системах WDM стали доступны транспондеры с возможностью перестройки длины волны излучения во всем С-диапазоне в соответствии с сеткой частот с шагом 100 ГГц и 50 ГГц (до 80–96 длин волн оптического излучения в С-band), в ROADM обнаружился новый ограничивающий фактор. Оптические каналы выводились на фиксированные порты ROADM, соответствующие конкретному значению длины волны оптического излучения. Поэтому, несмотря на гибкость транспондеров, избежать ручных операций для переключения канала на новые направления не удавалось.

В результате проведенных исследований **для предотвращения блокирования оптического канала было предложено устройство colorless ROADM**, в котором любой пользовательский порт может быть использован для организации канала с любой длиной волны оптического излучения. На следующем этапе были применены directionless ROADM, в которых к любому порту любого направления передачи может быть адресован оптический сигнал на любой длине волны. Ввод/вывод соответствующего канала по любому направлению осуществляется автоматически, без нарушения баланса в оставшихся оптических каналах, передаваемых через узел насквозь. Такая концепция в сетевых решениях Alcatel-Lucent получила название Zero Touch Photonic (ZTP) – сеть, перестраиваемая посредством системы управления, т.е. без «ручного» вмешательства персонала на узлах

Интеллектуальные транспортные решения ASON/GMPLS

- Сети следующего поколения должны быть более динамичными, обеспечивать эффективное использование ресурсов и высокий уровень надежности и качества предоставления услуг по запросу. Иными словами, нужно обеспечить динамическое предоставление ресурсов сети (необходимой полосы) для доставки любых услуг в любое время любому пользователю. Именно поэтому IETF расширил сигнализационные и маршрутизирующие протоколы MPLS за пределы IP-сети, и на этой основе был разработан обобщенный протокол General MultiProtocol Label Switching (GMPLS).

Интеллектуальные транспортные решения ASON/GMPLS

- Функциональность GMPLS с распределенным уровнем системы управления (Control Plane), отделенным от уровня передачи данных (Data Plane), стала следующим этапом эволюции технологий MPLS для использования их в транспортных сетях. МСЭ-Т (ITU-T) более глубоко рассмотрел сетевые аспекты применения этой функциональности в ряде рекомендаций для Automatically Switched Optical Network (ASON). OIF завершил стандартизацию сетевых интерфейсов. Пользовательские интерфейсы UNI служат для доступа к сети ASON для запроса на предоставление услуг, контроля соединений, обеспечения QoS в соответствии со SLA, сбора сообщений об отказах и т.п. Сетевые интерфейсы NNI предназначены для связи между сетевыми элементами, сетевыми доменами и разными сетями. На этом уровне в рамках Control Plane ведутся обработка запросов на соединения, их организация и контроль, обмен в определенных объемах информацией о доступных ресурсах в сетевых элементах и соединениях, маршрутизация сервисов между сетевыми доменами и т.п.
- Одно из основных достоинств интеллектуальной транспортной сети с функциональностью ASON – способность по требованию пользователей или запросу от системы централизованного управления сетью автоматически устанавливать:
 - соединения внутри сети, построенной на оборудовании одного поставщика;
 - сквозные соединения на сети, построенной не только на оборудовании разных поставщиков, но и с использованием разных функциональных и технологических уровней, ориентированных на установление соединений, например SONET/SDH (VC-N), WDM/OTN (OCH, ODU), T-MPLS/MPLS-TP (LSP, PW3) и т.п.

Интеллектуальные транспортные решения ASON/GMPLS

- Для реализации ASON/GMPLS на фотонном уровне в узлах WDM-сети размещаются системы T&ROADM, обеспечивающие переключение оптических каналов без дополнительного О-Е-О-преобразования. Если системы T&ROADM имеют коэффициент связности N до 6–10 (количество направлений, на которые можно переключить оптический канал из одного узла сети на фотонном уровне), то в этом случае отпадает необходимость сохранять свободной до 50% емкости сети для реализации защитных механизмов с полным дублированием каналов типа О-SNCP, OCP и т.п. Достаточно иметь 10–25% распределенной свободной емкости на соединениях в сети, чтобы обеспечить возможность обхода пораженных участков на основе ASON/GMPLS.
- В этих же узлах могут размещаться системы автоматического переключения трактов, работающие в соответствии со стандартом OTH/OTN на электрическом уровне и обеспечивающие прозрачное переключение данных на уровне ODU и/или sub-lambda-каналов (ODUflex), включая GE, 10/100 Ethernet, Fiber Channel, FICON/ESCON, SONET/SDH и т.п. Технология ASON/GMPLS может быть реализована и на OTH/OTN-уровне сети (рис. 2).

Литература

1. Обобщенная процедура формирования кадров GFP. Типы и структура кадров
http://onattks.narod.ru/5k_tksmnp/gfp.pdf
2. Эволюция операторских сетей 20.08.2004 Озкан Экице
<https://www.osp.ru/lan/2004/08/139432/>
3. OTN - это не только FEC. СибГУТИб 2009, http://www.module-ltd.ru/stati/otn_eto_ne_tolko_fec/
4. Б. С. Гольдштейн СИСТЕМЫ КОММУТАЦИИ 2 е издание Санкт-Петербург»
<http://www.studfiles.ru/preview/4327114/> 2004
5. GMPLS Framework, March 26-31, 2017 , Interfaces for the optical transport network