

**ТЕХНОЛОГИИ МУЛЬТИ-
ТЕРАБИТНЫХ
ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ
СЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ**

Профессор В.Ю. Деарт

Прогноз роста трафика

БЫСТРО МЕНЯЮЩИЕСЯ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СЕТИ



Прогноз до 2017 года

- Корпоративные облака
Outsourced IT
- Мобильная связь
LTE /Wi-Fi
- Бизнес услуги
- Услуги частным пользователям
Triple Play

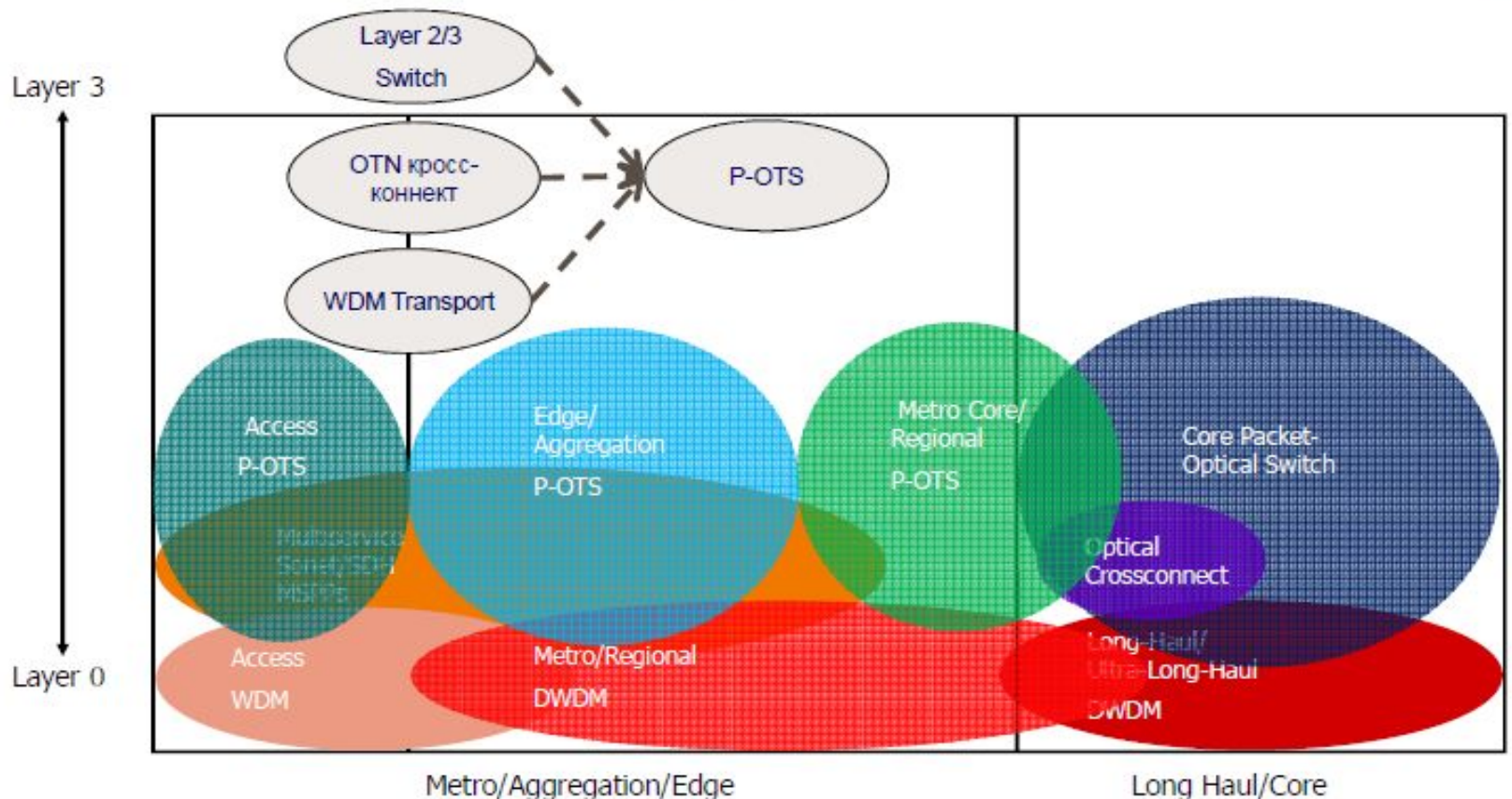
550%
рост трафика услуг в облачных сетях

720%
рост трафика услуг UNCAST VIDEO



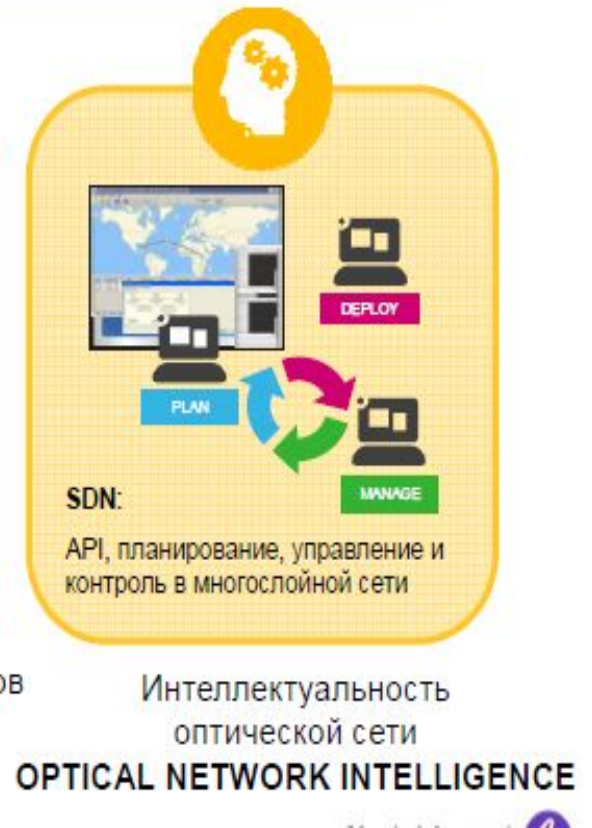
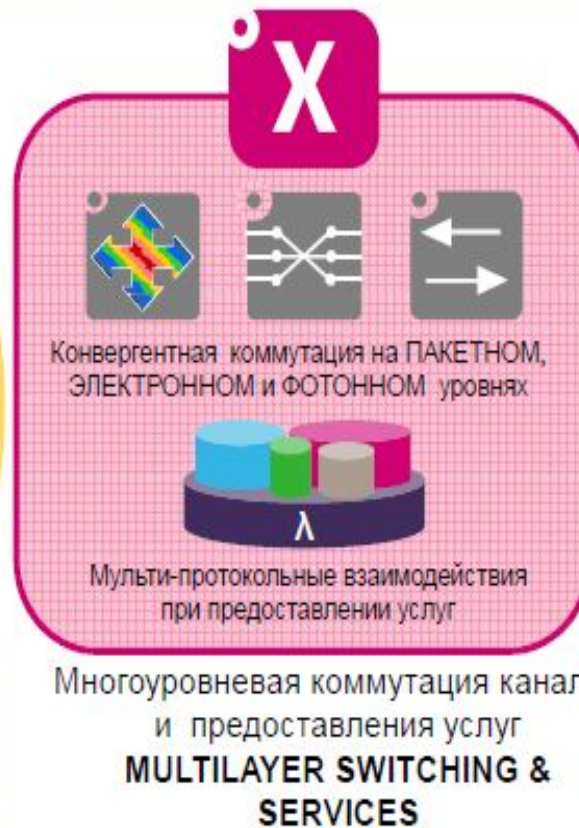
Структура пакетно-оптических сетей

Пакетно-оптические транспортные системы (P-OTS)



Интеграция IP сетей и Оптических сетей

IP/OPTICAL интеграция



Пример линейки оборудования компании Алкатель-Лусент

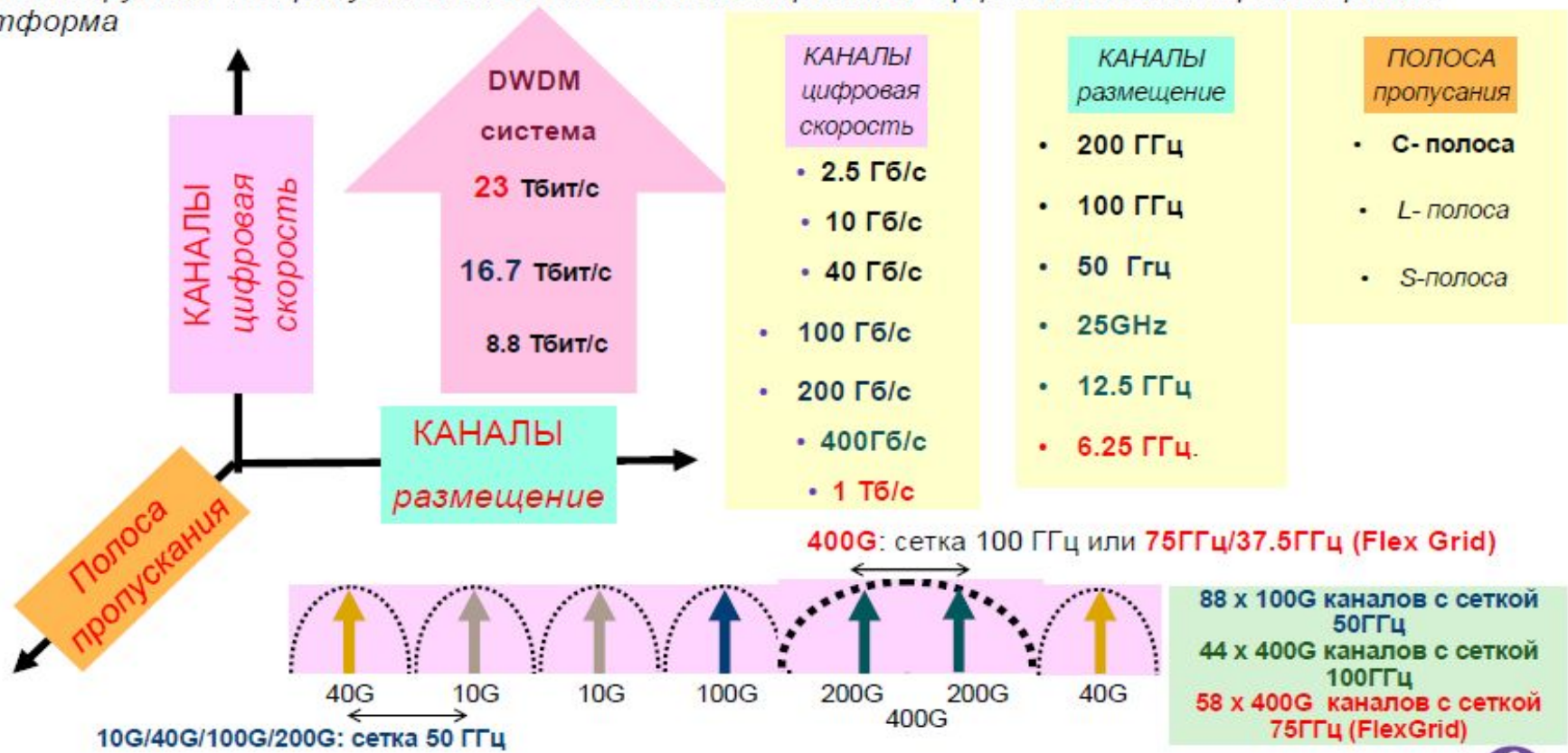
Многоцелевое оборудование C/DWDM для местных, зонавых и магистральных транспортных сетей



Характеристики оборудования 1830 PSS

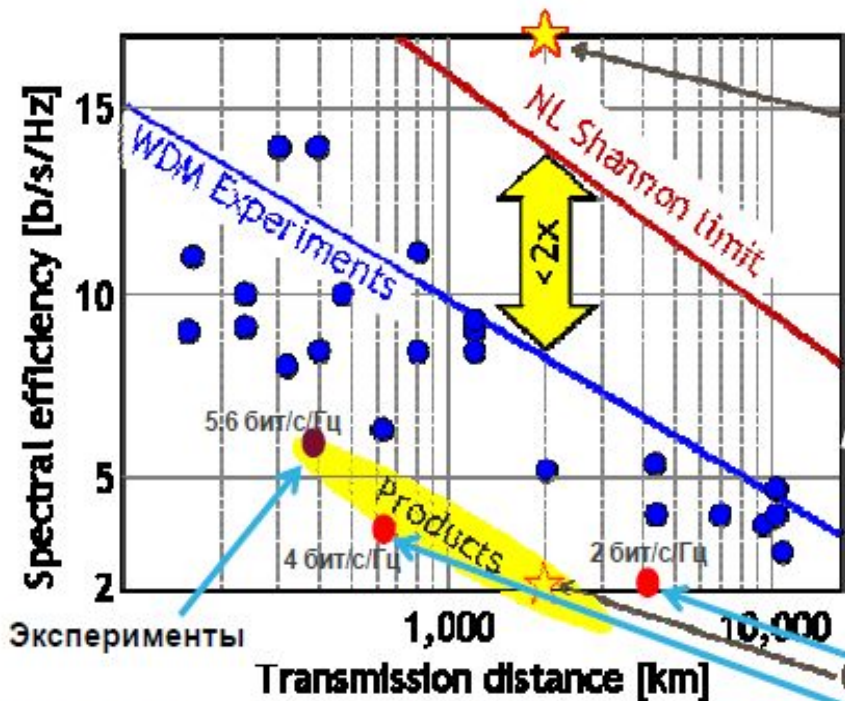
ALCATEL-LUCENT 1830 PHOTONIC SERVICE SWITCH (PSS)

Масштабируемая по пропускной способности и спектральной эффективности транспортная платформа



Ограничение эффективности из-за нелинейных эффектов

ЭВОЛЮЦИЯ РЕШЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ



Потребности
коммерческих
систем WDM
после 2016 года

Рост трафика
порядка 60% в
год

Выпускаемое
в настоящее время
оборудование
WDM

Спектральная эффективность при
использовании сетки 50ГГц

- 0.2 бит/с/Гц для 10G
- 0.8 бит/с/Гц для 40G
- 2 бит/с/Гц для 100G
- 4 бит/с/Гц для 200G

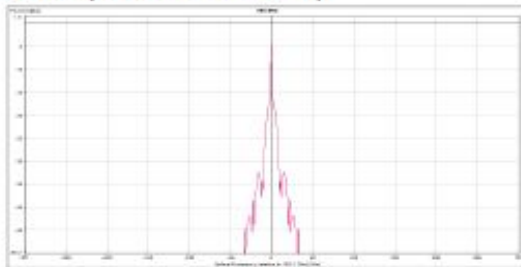
Спектральная эффективность при
использовании FlexGrid 37.5 ГГц

- 5.3 бит/с/Гц для 400G Flex Grid
- 5.6 бит/с/Гц для 1T SuperChannel FlexGrid

Методы модуляции для 100G

ВЫБОР ФОРМАТА МОДУЛЯЦИИ ДЛЯ КАНАЛОВ 100G

Переход от манипуляции интенсивностью к фазовой манипуляции нормированного оптического излучения (длины волны)

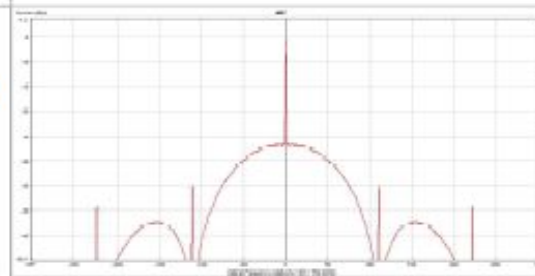


10G NRZ OOK.

Спектр совместим
с сеткой частот 50 ГГц

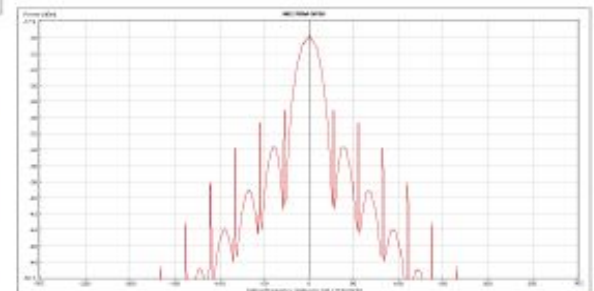
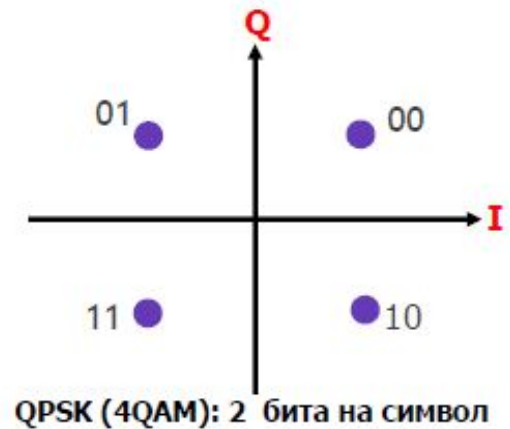
100G NRZ OOK

Спектр не совместим
с сеткой частот 50ГГц
...а также имеет плохие
характеристики по параметрам
передачи



100G PDM-QPSK

За счет использования квадратурной фазовой манипуляции спектр сжимается.
При условии использования обеих поляризаций спектр сигнала вписывается в сетку 50ГГц и имеет отличные параметры передачи

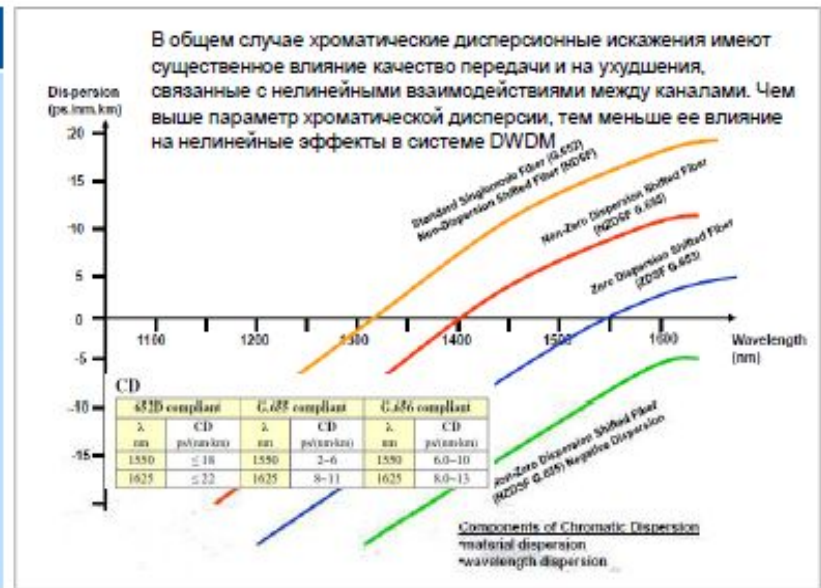


Технологии когерентного приема

Ключевая роль в достижении терабитных скоростей

Технология

- Когерентная технология используется для эффективного детектирования амплитуды, фазы и поляризации принимаемого с линии сигнала путем сравнения его с сигналом, получаемым от местного источника нормированного излучения с той же длиной волны
- Цифровой сигнальный процессор (Digital Signal Processing, DSP) вычисляет величину компенсации линейных искажений, связанных с хроматической (CD) и поляризационной (PMD) дисперсиями
- Используется многоуровневый формат модуляции, что позволяет снизить скорость передачи символов (Бод)



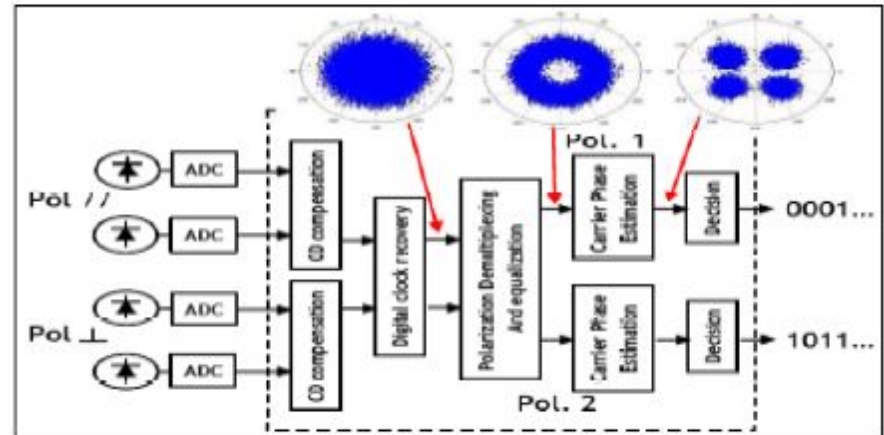
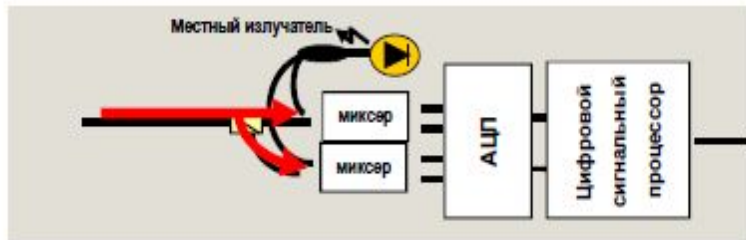
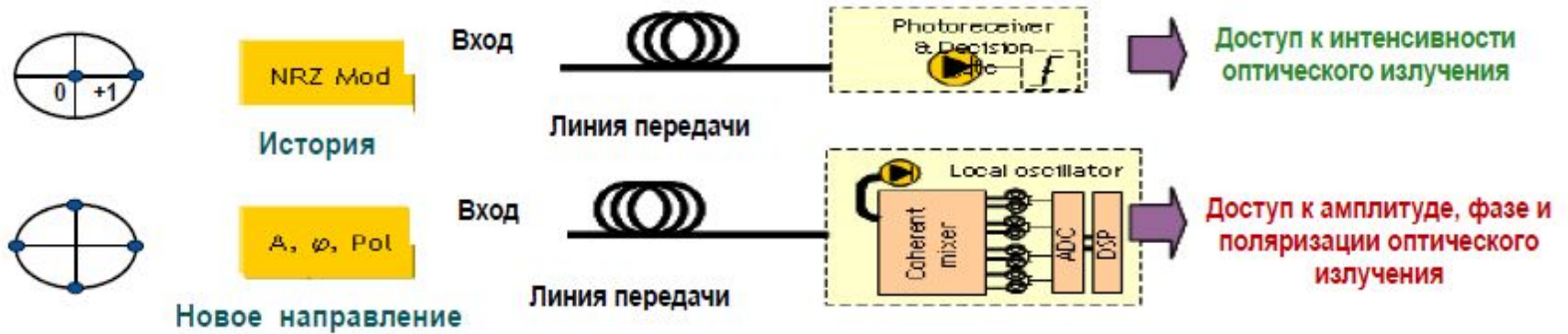
Преимущества

Когерентное детектирование имеет ключевую роль для

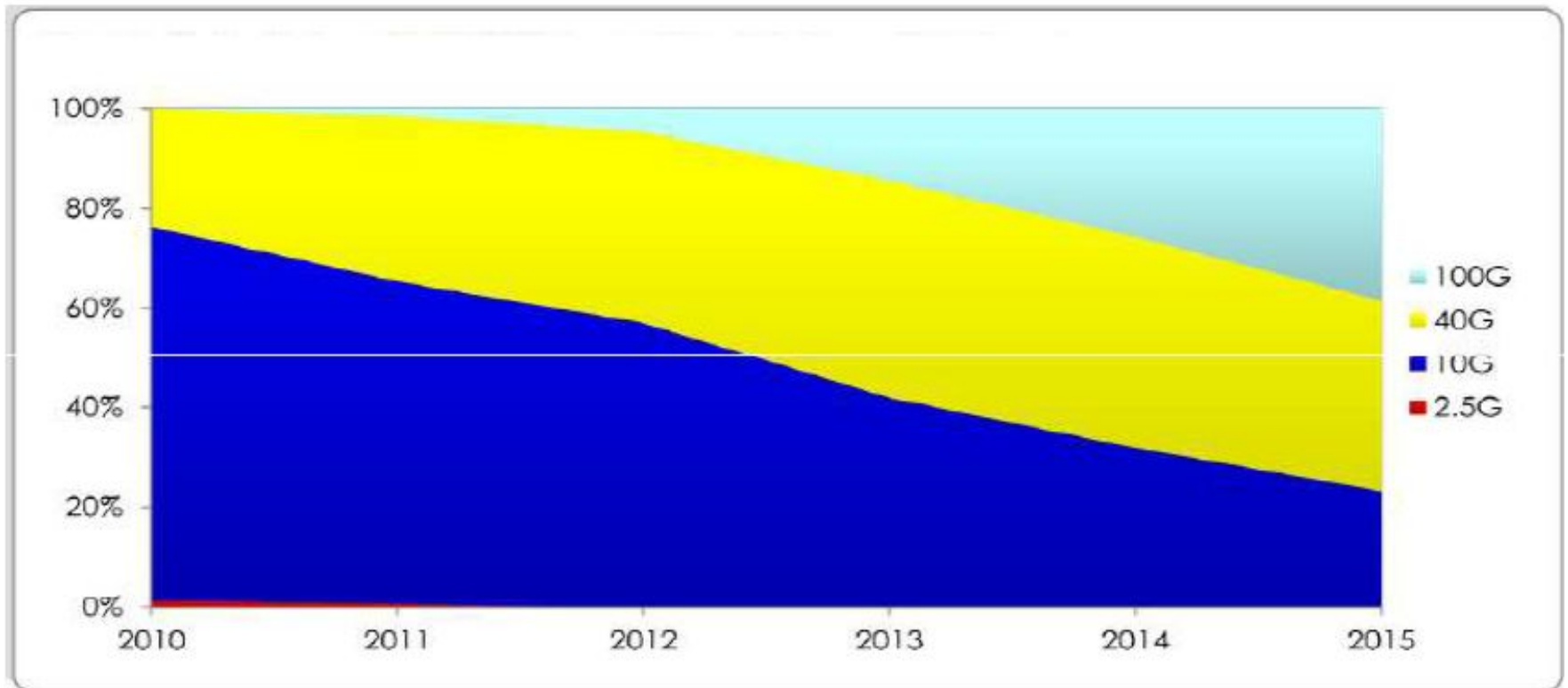
- увеличения скорости передачи при снижении ограничивающих факторов, связанных с CD и PMD
- повышения пропускной способности системы за счет увеличения спектральной эффективности

Реализация когерентного приема

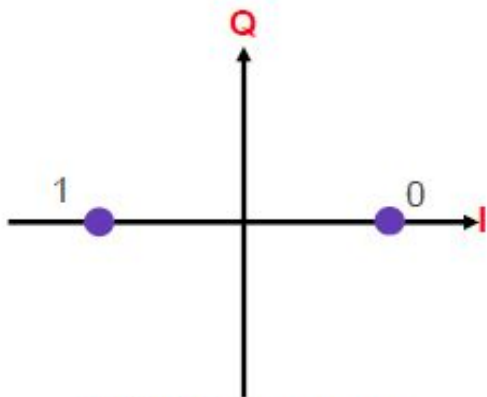
Формат модуляции PDM QPSK и когерентный приемник с цифровым сигнальным процессором



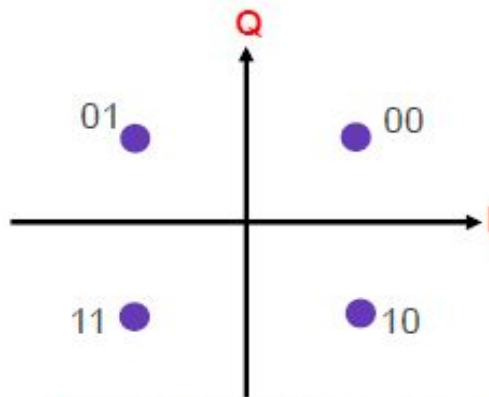
ЭВОЛЮЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ КАНАЛОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ СЕТЕЙ ПО ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ



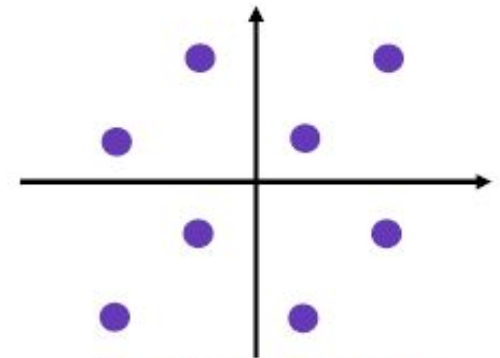
Увеличение эффективности



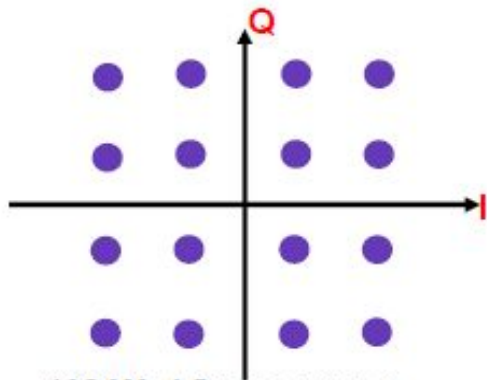
BPSK: 1 бит на символ



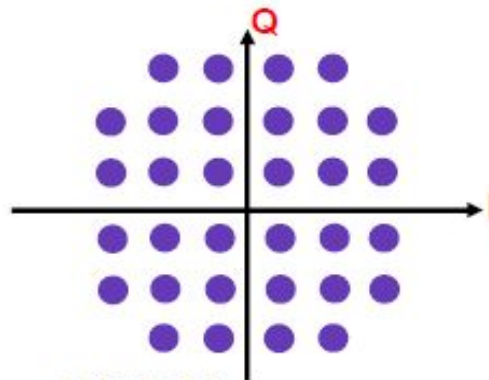
QPSK (4QAM): 2 бит на символ



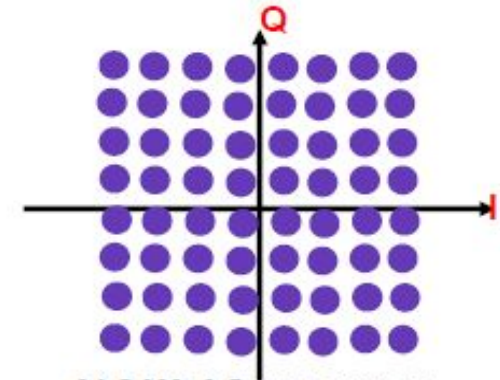
8QAM: 3 бит на символ



16QAM: 4 бит на символ



32QAM: 5 бит на символ



64 QAM: 6 бит на символ

Передача на одной несущей с когерентным приемом 100G либо 2 x 100G

Передача на одной несущей с когерентным приемом 100G либо 2 x 100G

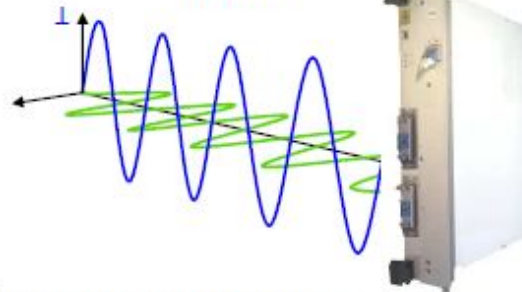


■ PDM-16QAM: 8 бит/символ

■ Модуляция высокого порядка увеличивает пропускную способность канала

■ Патентованные алгоритмы **Frequency Estimation** и интегрированные в СБИС "**SDFEC & cycle slip mitigation**", беспрецедентно высокие характеристики .

Polarization Division Multiplexing (PDM)



Оптическая несущая с двумя поляризациями (сетка частот 37.5 ГГц или 50 ГГц)

■ PDM-QPSK: 4 бит/символ

■ Символьная скорость 28 ГБод обеспечивает большую защиту от нелинейных эффектов, связанных с наличием соседних каналов 10G.

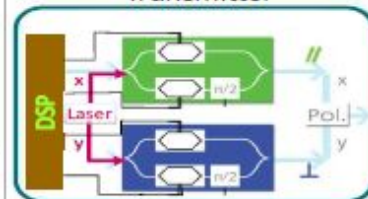
■ Одна несущая, высокоскоростные электрооптические решения, а также алгоритм цифровой обработки на приемной стороне обеспечивают лучшие в своем классе средства компенсации хроматических (CD) и поляризационных (PMD) дисперсионных искажений

16 Quadrature Amplitude Modulation (16-QAM)

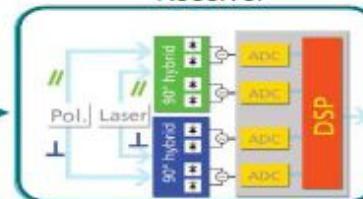


Each polarization carries 16 phase-states (4 bits)

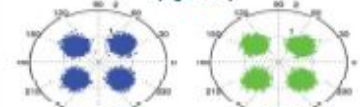
200G PDM-16QAM Transmitter



Next-Generation Coherent Receiver

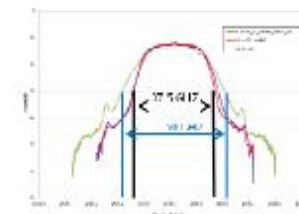
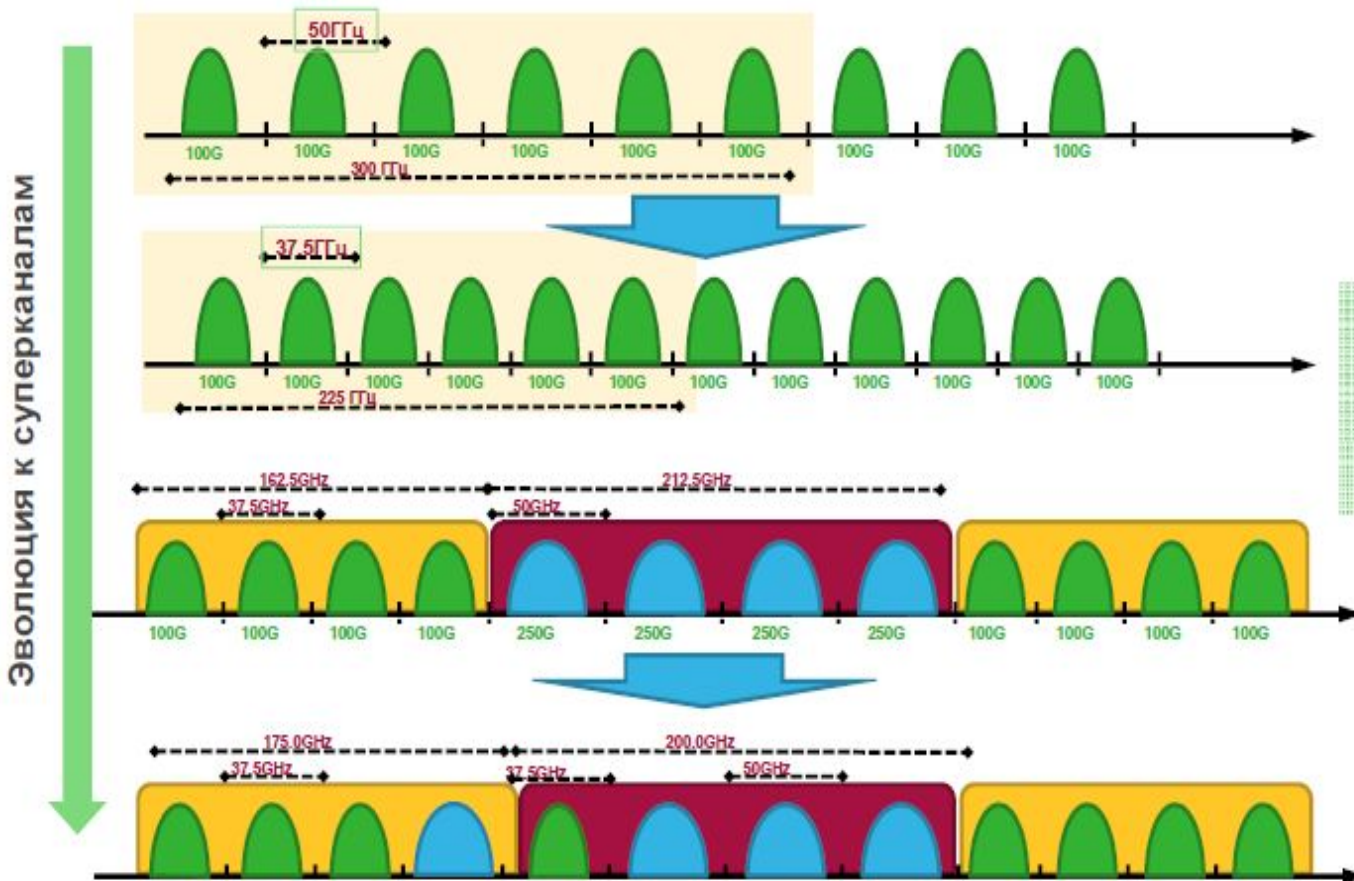


Quaternary Phase Shift Keying (QPSK)



Each polarization carries 4 phase-states (2 bits)

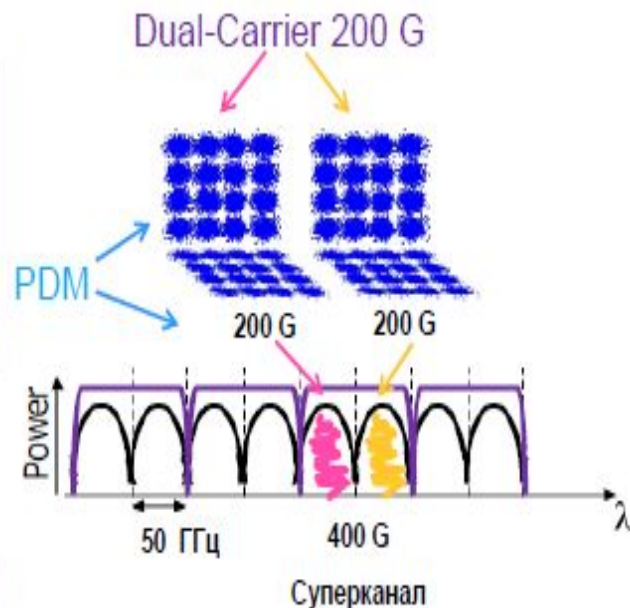
Гибкая сетка частот – FlexGrid (ITU-T G.694.1)



СБИС PSE реализует адаптацию импульсов по форме (Pulse Shaping)
За счет этого обеспечивается вписывание импульсов в более узкую полосу частот с размещением каналов в соответствии с более плотной сеткой частот

Супер канал 400G

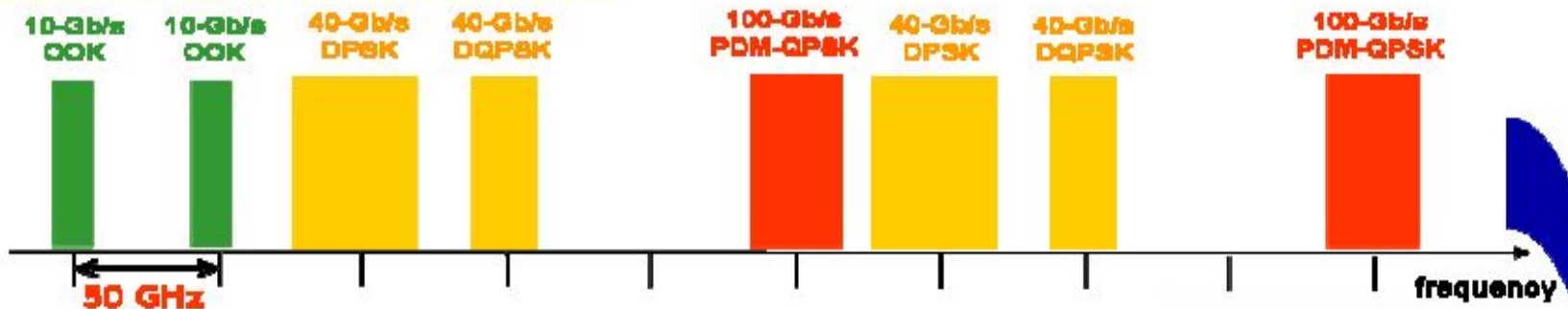
- Типичным примером суперканала является 400G, который на реальных сетях организуется с разделением на два потока по 200G и с использованием, соответственно, двух несущих с частотным интервалом 50ГГц,
- Каналы с **высокой символьной скоростью (Baud Rates)**, например, 400G , не реализуемы на одной оптической несущей при использовании доступной в настоящее время технологии.



- Для суперканалов на всей протяженности маршрута соединения, включая оптические усилители, фильтры, **несколько несущих рассматривается как единая совокупность**: в этом случае потребуются совместимые с гибкой сеткой частот селективные переключатели по длинам волн оптического излучения (WSS)

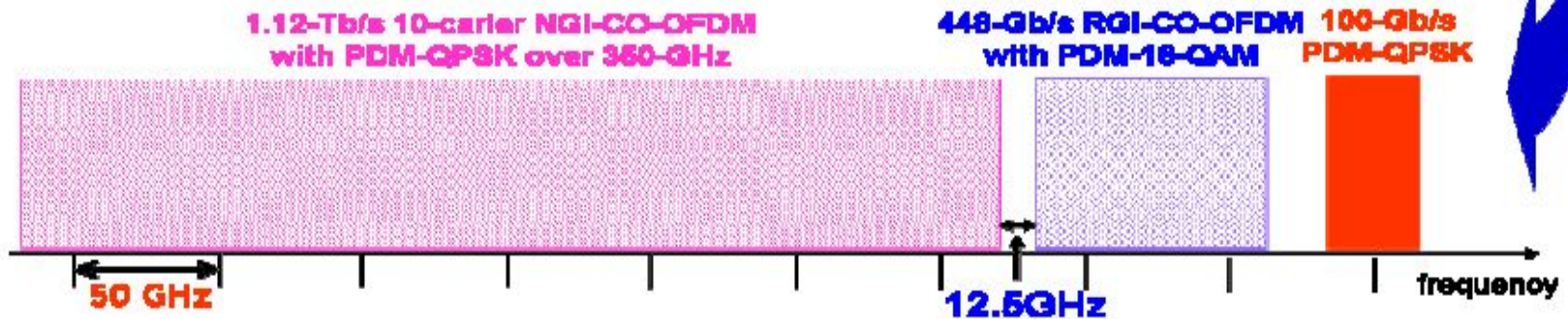
Эволюция к системам с суперканалами и гибкой сеткой частот

А) Обычные DWDM системы



Reduced guard band:
increase in capacity

Б) Системы DWDM с гибкой сеткой частот (FlexGrid) и суперканалами (SuperChannels)



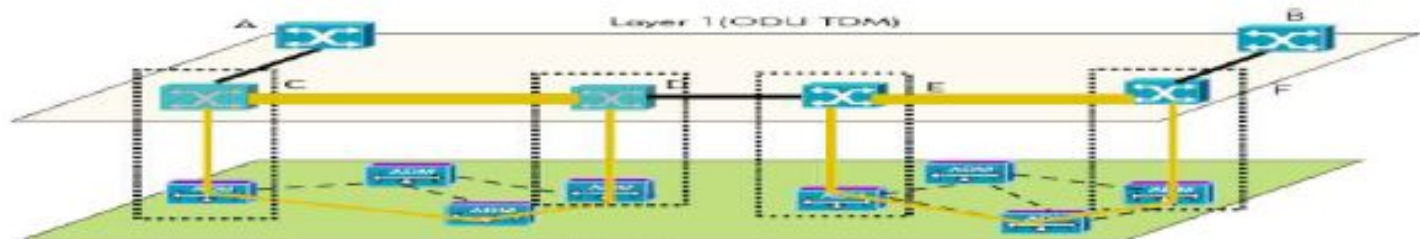
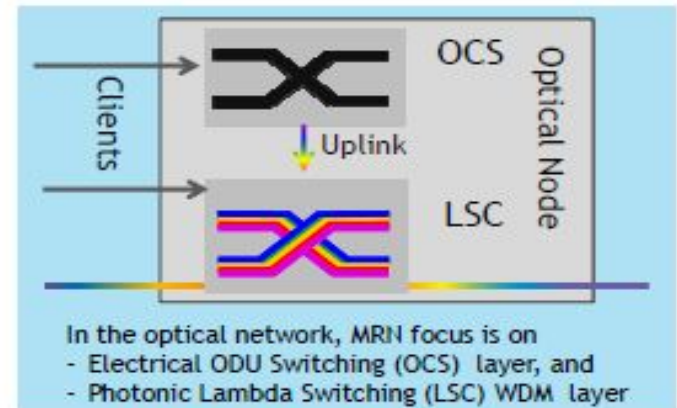
Конвергентная сеть L0-L1

MULTI-REGION NETWORK (MRN)

WHAT MRN IS

MRN: traffic engineering domain supporting at least two different switching types, either hosted on same device or on different ones and under control of a single GMPLS control plane instance

- The single control plane instance is meant with respect to one common TE database. According to the IETF RFC 4206, in a GMPLS control plane, the representation of a switching technology domain is referred to as a region.
- Uplinks (direct colored lines from OCS) are managed by the WDM layer



Этапы развития сетевой инфраструктуры: Packet – Optical Transport System (P-OTS)

