

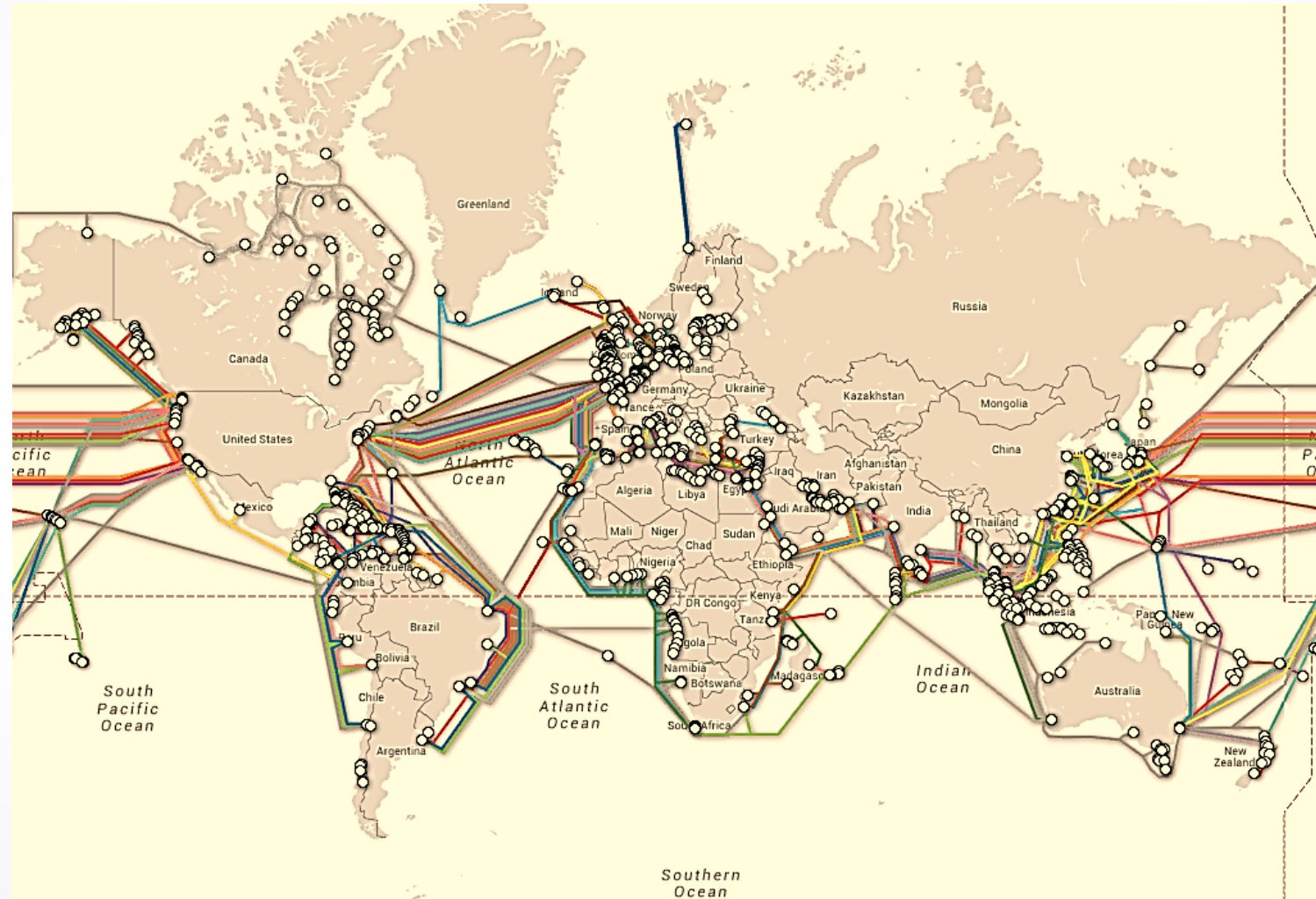


Оптические сети передачи данных

Доп. главы Компьютерных сетей и
телекоммуникации
чл-корр. РАН Смелянский Р.Л.



Трансокеанские оптические линии



Азиатско-американский оптический шлюз

(март 2008)



verizonbusiness

TPE Overview System Configuration

- 4-fiber pair cable
- Design capacity: 5.12 Tbps (128 wavelengths per fiber pair)
- Initial equipped capacity: 1.28 Tbps (32 wavelengths per fiber pair)
- Length: approximately 18,000 Km/11,000 miles
- Configuration: Linear Trans-Pacific route with Intra-Asia ring
- System design life: 25 years

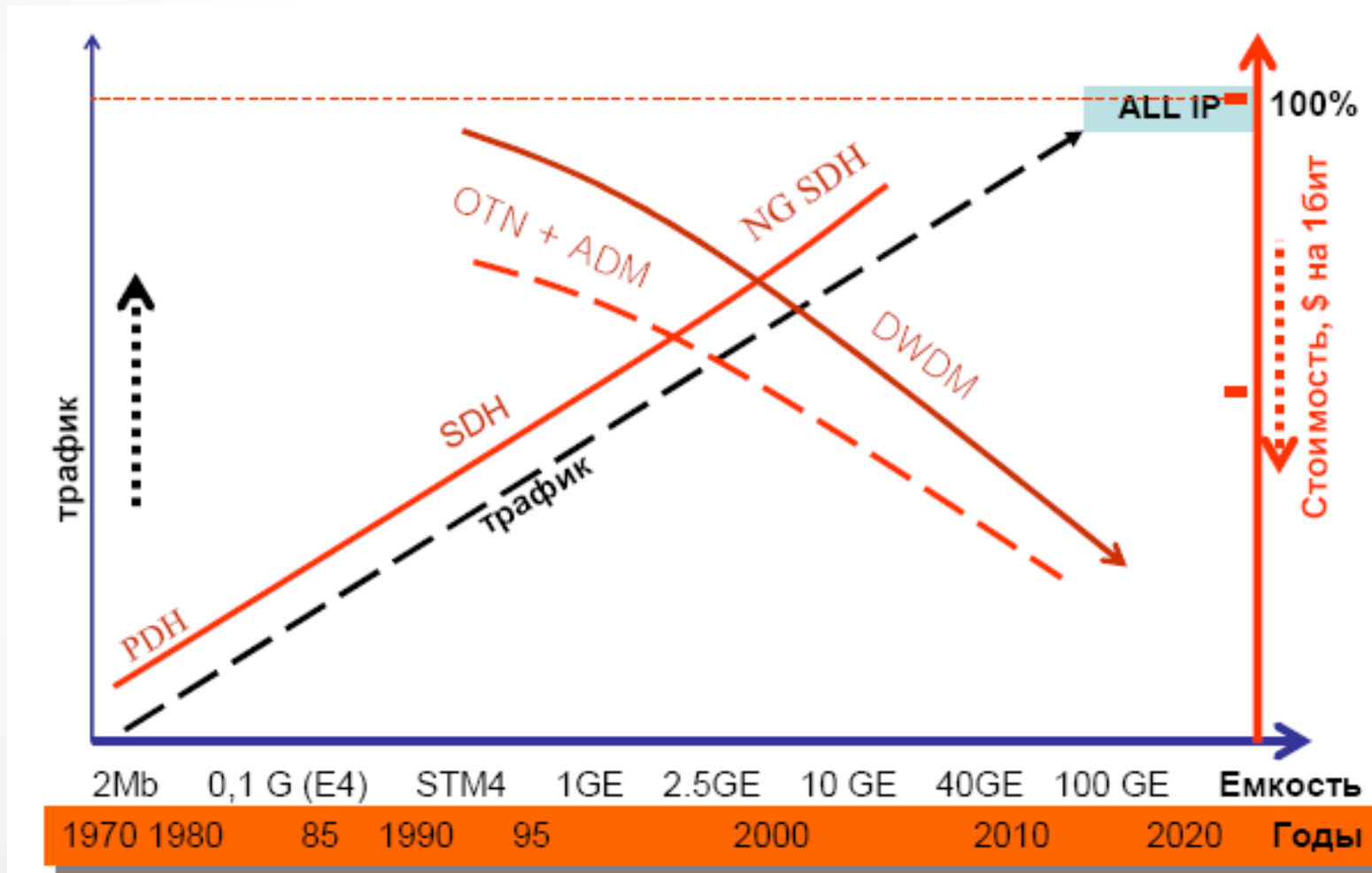


Basic Configuration:

- Cables from four Asian Terminals (two landings in China, one each in Korea and Taiwan) are brought together via branching units (BU) forming an intra-Asian ring
- A single, 4-fiber pair cable connects to a branching unit and crosses the Pacific to the U.S. landing station at Nedonna Beach, Oregon

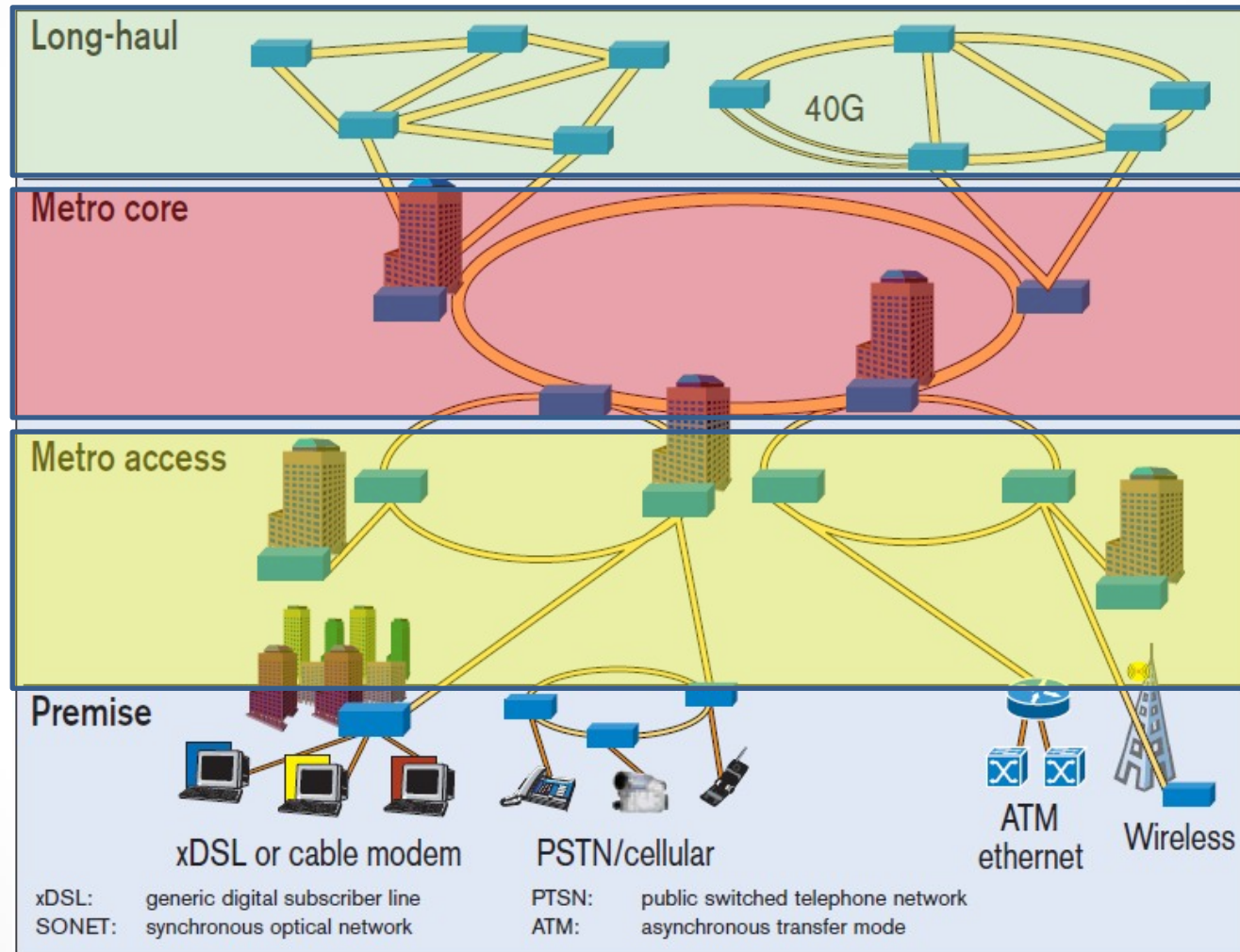


Снижение стоимости с ростом скорости





Структура современной сети



AT&T wraps single-wavelength 400 Gigabit Ethernet testing aligns with upcoming IEEE standard

Sep 11, 2017 11:52am





**В Японии создали оптоволоконную сеть
на 1 000 000 Гб/с**



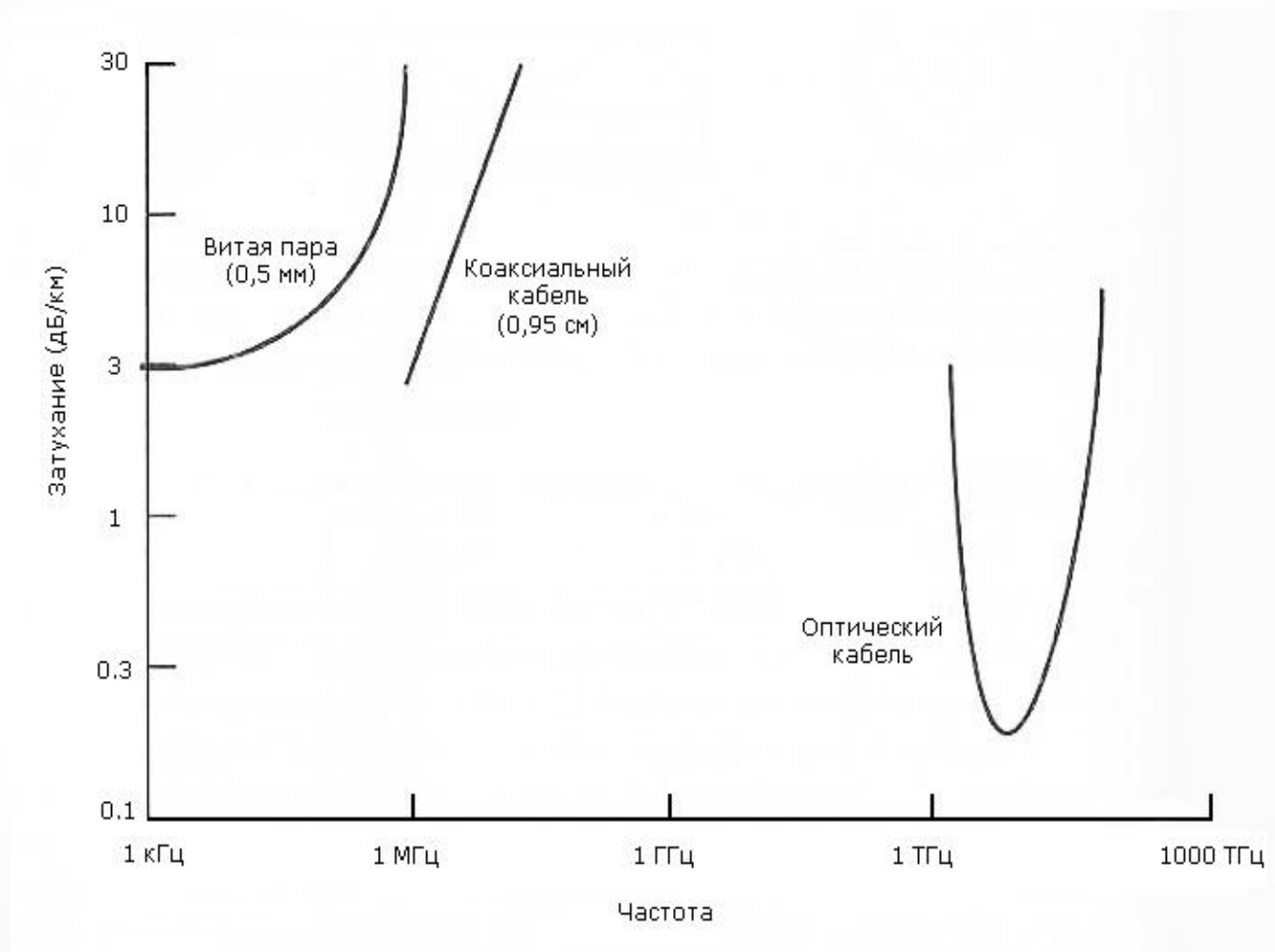
Физические свойства носителей

Table 4.1 Point-to-Point Transmission Characteristics of Guided Media [GLOV98]

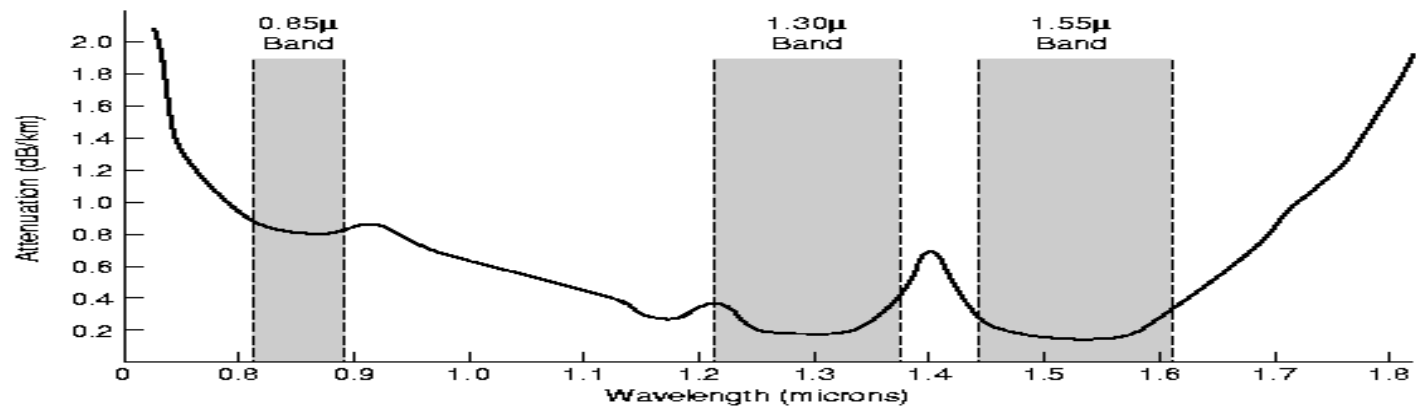
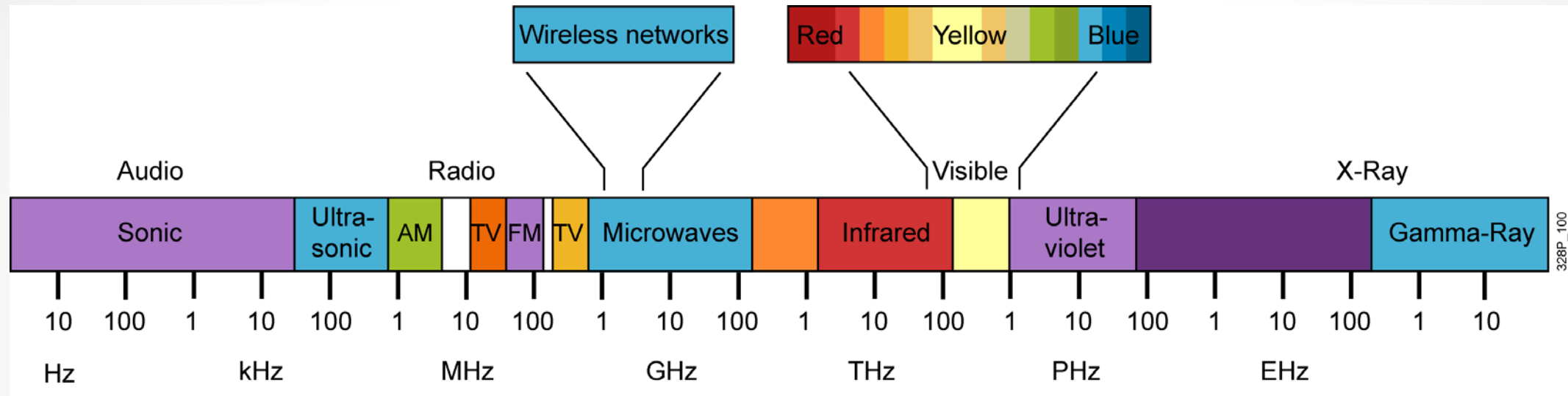
	Frequency Range	Typical Attenuation	Typical Delay	Repeater Spacing
Twisted pair (with loading)	0 to 3.5 kHz	0.2 dB/km @ 1 kHz	50 μ s/km	2 km
Twisted pairs (multi-pair cables)	0 to 1 MHz	3 dB/km @ 1 kHz	5 μ s/km	2 km
Coaxial cable	0 to 500 MHz	7 dB/km @ 10 MHz	4 μ s/km	1 to 9 km
Optical fiber	180 to 370 THz	0.2 to 0.5 dB/km	5 μ s/km	40 km

THz = TeraHerz = 10^{12} Hz.

Затухание в кабельных средах



Затухание света в инфракрасном диапазоне в оптоволокне





CWDM и DWDM системы



Принцип работы WDM систем связи

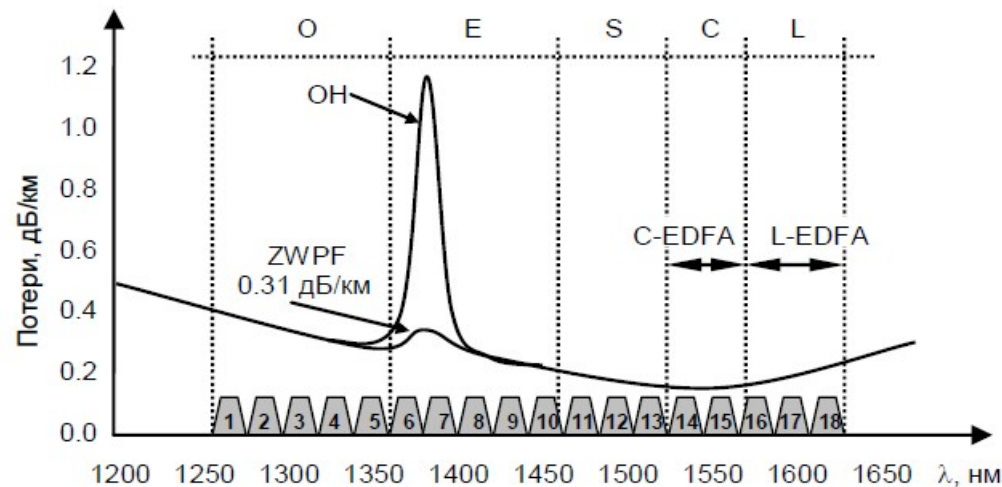
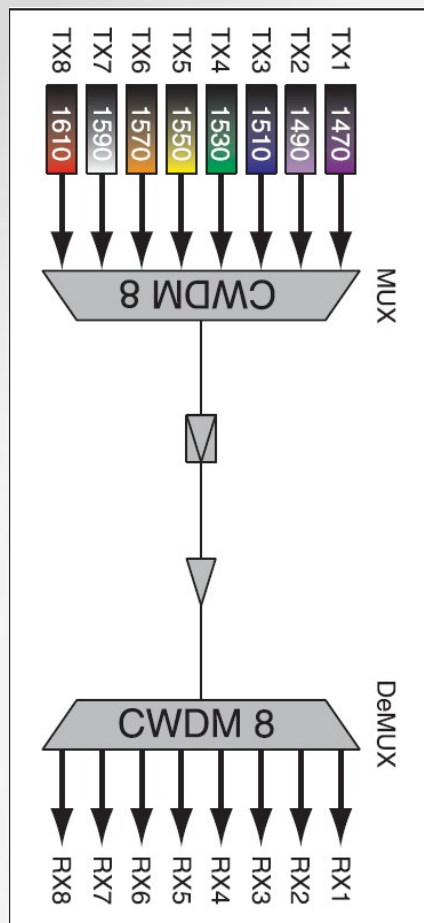
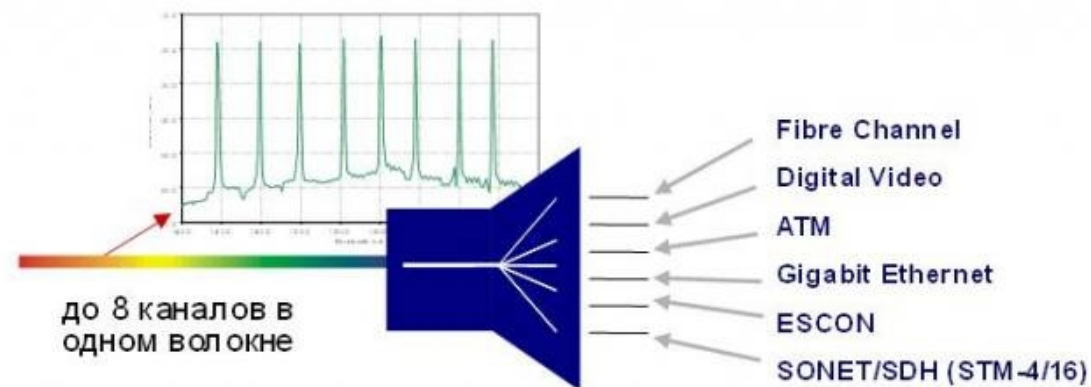


Рис. 6. Спектр потерь в волокне и полосы усиления EDFA

Стандартом определены 18 спектральных каналов в CWDM, используются 8.

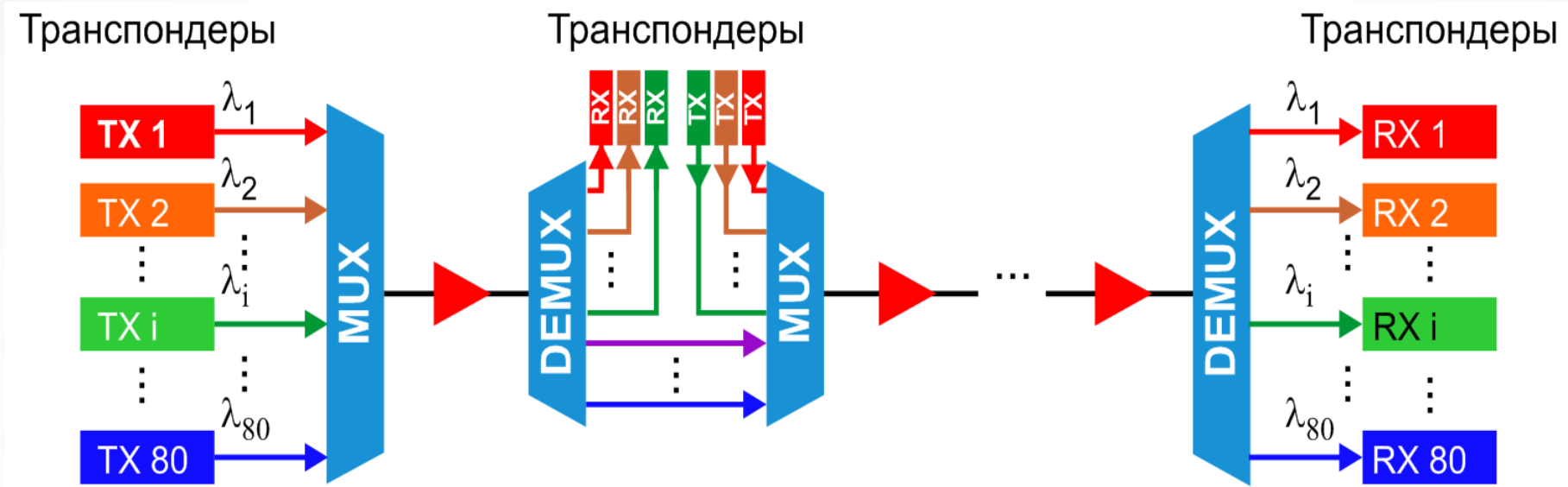
Схема 8-канальной CWDM – системы

TX1–TX8 – передатчики
CWDM 8 – Мух/Демух
RX1–RX8 – приемники



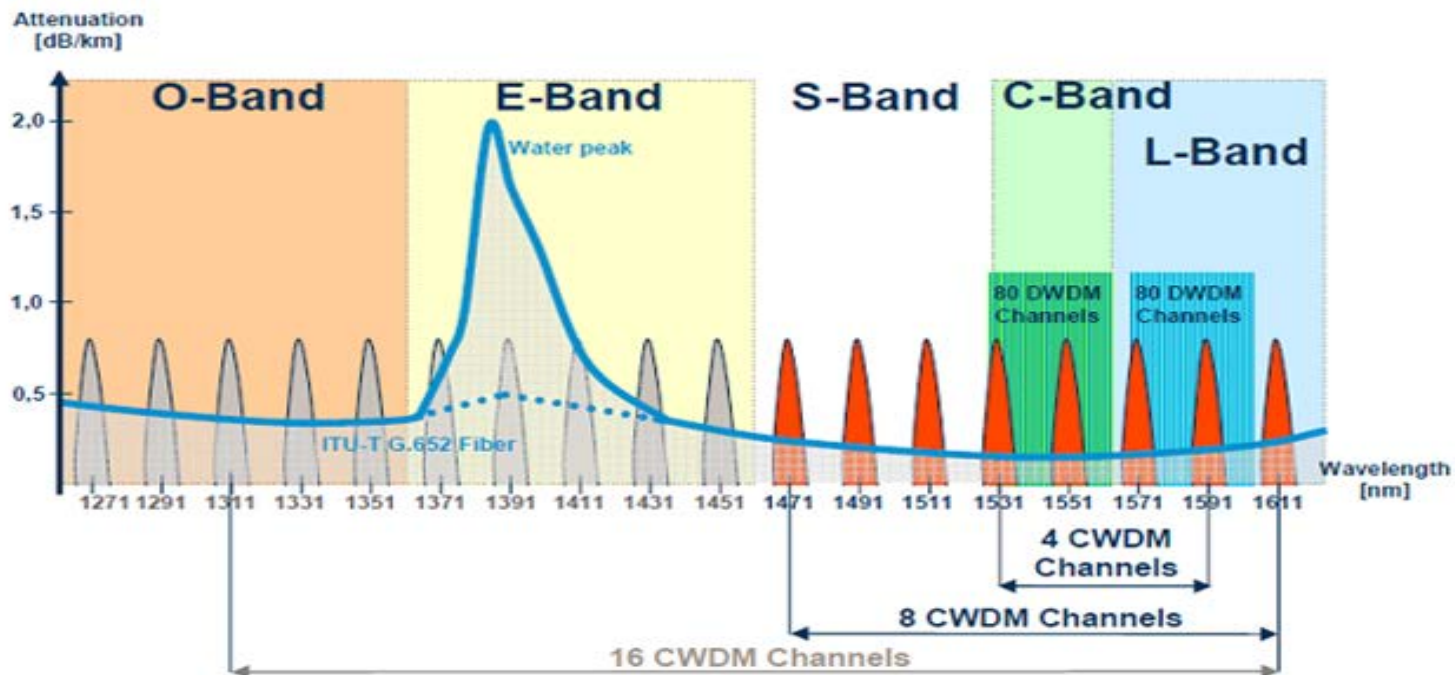
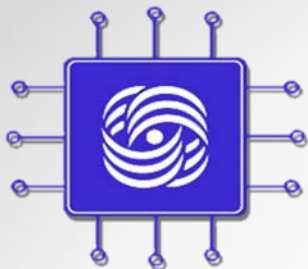


Технология DWDM



- Прозрачная передача протоколов: OTN OTU1/2/3/4, SDH STM-1/4/16/64/256, Ethernet FE/GE/10GE/100GE и др.
- Одновременное усиление всех спектральных каналов
- Высокая емкость сети при одновременной передаче множества каналов
- Быстрый апгрейд за счет ввода новых каналов. Мультисервисность

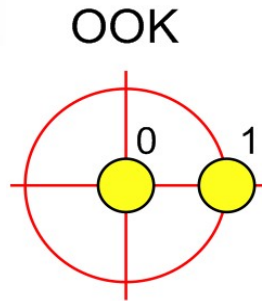
Спектр CWDM и DWDM



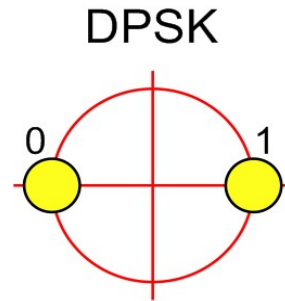
Частота (ν) [ТГц]	Ширина ($\Delta\nu$) спектра [ТГц]	Ширина ($\Delta\lambda$) спектра [нм]	Кэфф. K перевода [нм/ТГц]	Длина (λ) волны [нм]
200	0,1	0,75	7,5	1500
193,3	0,1	0,80	8,0	1550
187,3	0,1	0,85	8,5	1414

Формы модуляции

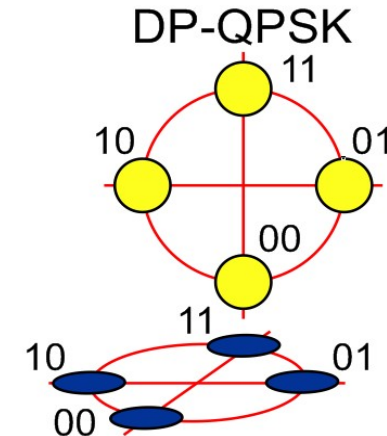
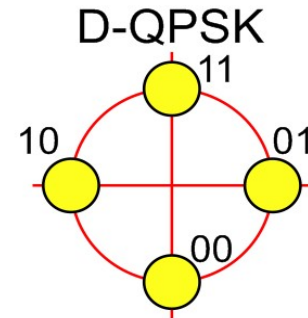
Прямое детектирование



Дифференциальное детектирование

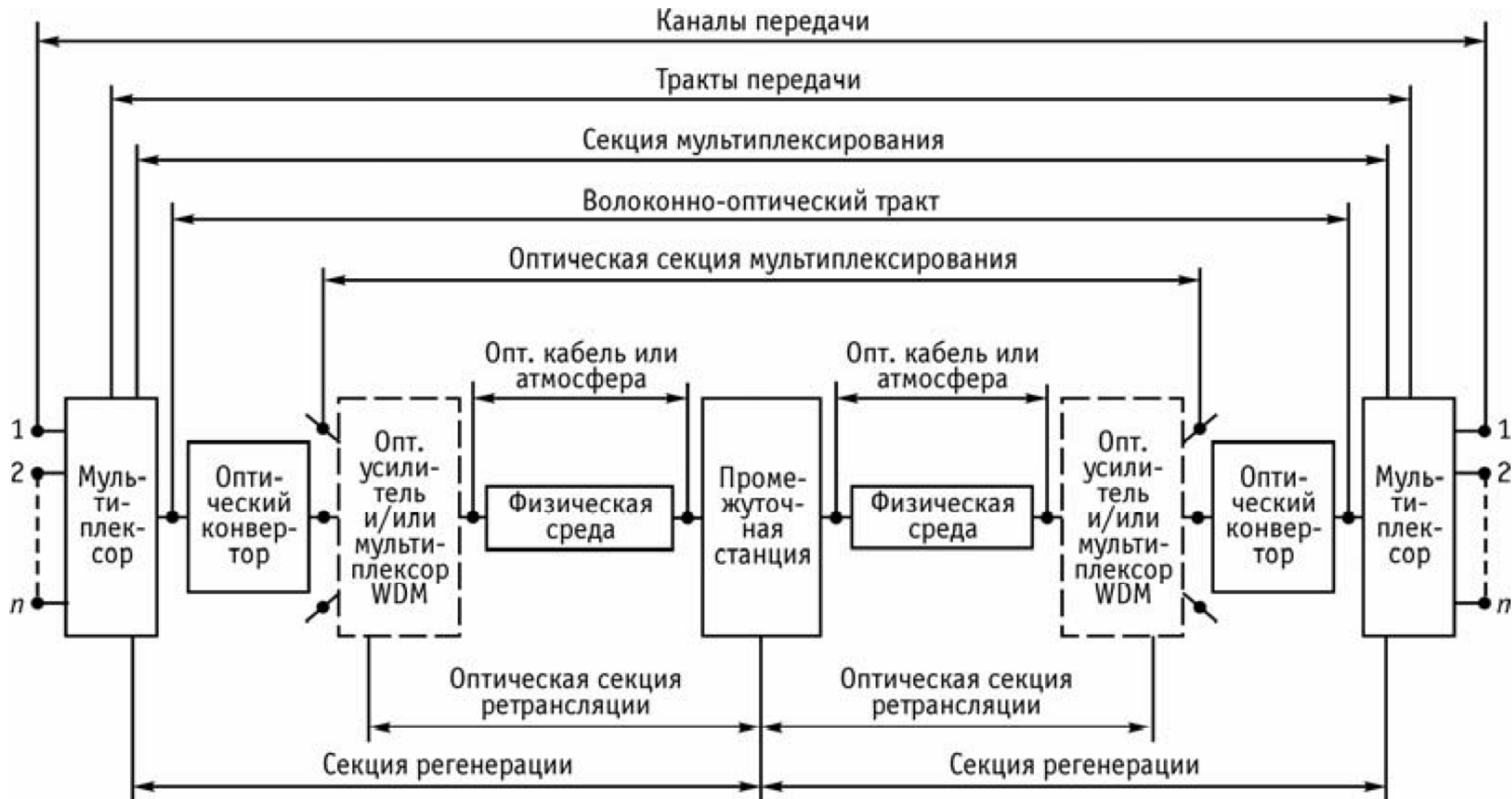


Когерентное детектирование



- OOK (Так же используется обозначение NRZ ASK) – при этой модуляции единицам “1” соответствует наличие оптического излучения, нулям “0” отсутствие излучения
- DPSK – нулю и единице соответствуют сигналы, у которых фазы несущих смещены друг относительно друга на 180, амплитуда излучения постоянна
- D-QPSK – в одном символе содержится информация сразу о двух переданных битах, четырем значениям символа соответствуют четыре фазы: 0, $\pi/2$, π , $3\pi/2$
- DP-QPSK – передаются два независимых потока QPSK в двух поляризациях

Общая схема оптической СПД





Стандарт SONET/SDH

Synchronize Optical NETwork

SONET – Synchronous Optical NETwork



Стандарт должен был обеспечить:

- Возможность использовать разные физические среды в сети. Это требовало проработки стандарта на кодировку на физическом уровне, выбор длины волны, частоты, временных характеристик, структуры фрейма.
- обеспечить иерархическое мультиплексирование нескольких цифровых каналов T1 – T4 (E1 – E4).
- унифицировать Американские, Европейские и Японские цифровые системы.
- определить правила функционирования, администрирования и поддержки.

Плезиохронное мультиплексирование

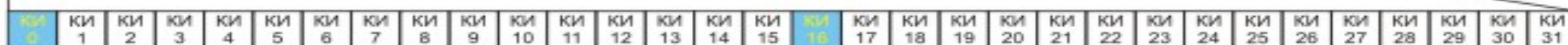


Америка				ITU-T (Европа)		
Обозначение скорости	Количество голосовых каналов	Количество каналов предыдущего уровня	Скорость Мбит/с	Количество голосовых каналов	Количество каналов предыдущего уровня	Скорость Мбит/с
DS-0	1	1	64 Кбит/с	1	1	64 Кбит/с
DS-1	24	24	1,544	30	30	2,048
DS-2	96	4	1,544	120	4	2,048
DS-3	672	7	1,544	480	4	2,048
DS-4	4032	6	1,544	1920	4	2,048



Цикл

Каждый цикл разбит на 32 канальных интервала КИ0-КИ31 по восемь тактовых интервалов - разрядов Р1-Р8. В течение КИ длительностью 3,91мкс передается кодовая комбинация одного телефонного канала, состоящая из последовательности символов 0 и 1.



КИ0 в четном цикле

ДИ	0	0	1	1	0	1	1
----	---	---	---	---	---	---	---

Цикловой синхросигнал

КИ0 в нечетном цикле

ДИ	1	X			A ₆		
----	---	---	--	--	----------------	--	--

Цикл Ц0 0 0 0 0 1 Y 0 1

Цикл Ц1 СК1 СК1 0 1 СК16 СК16 0 1

Цикл Ц2 СК2 СК2 0 1 СК17 СК17 0 1

.....

Цикл Ц15 СК15 СК15 0 1 СК30 СК30 0 1

3,91мкс

Кодовая комбинация



488нс

Начало сверхцикла определяется по цикловому синхросигналу вида 0000. Разряд Р6 КИ16 ВЦ0 используется для передачи аварийного сигнала о сбое сверхциклового синхронизма "Y". В циклах Ц1-Ц15 в КИ16 передаются сигналы управления и взаимодействия (СУВ) между АТС.

Начало цикла определяется по цикловому синхросигналу вида 0011011, передаваемому в разрядах Р2-Р8 КИ0 ЦЦ.

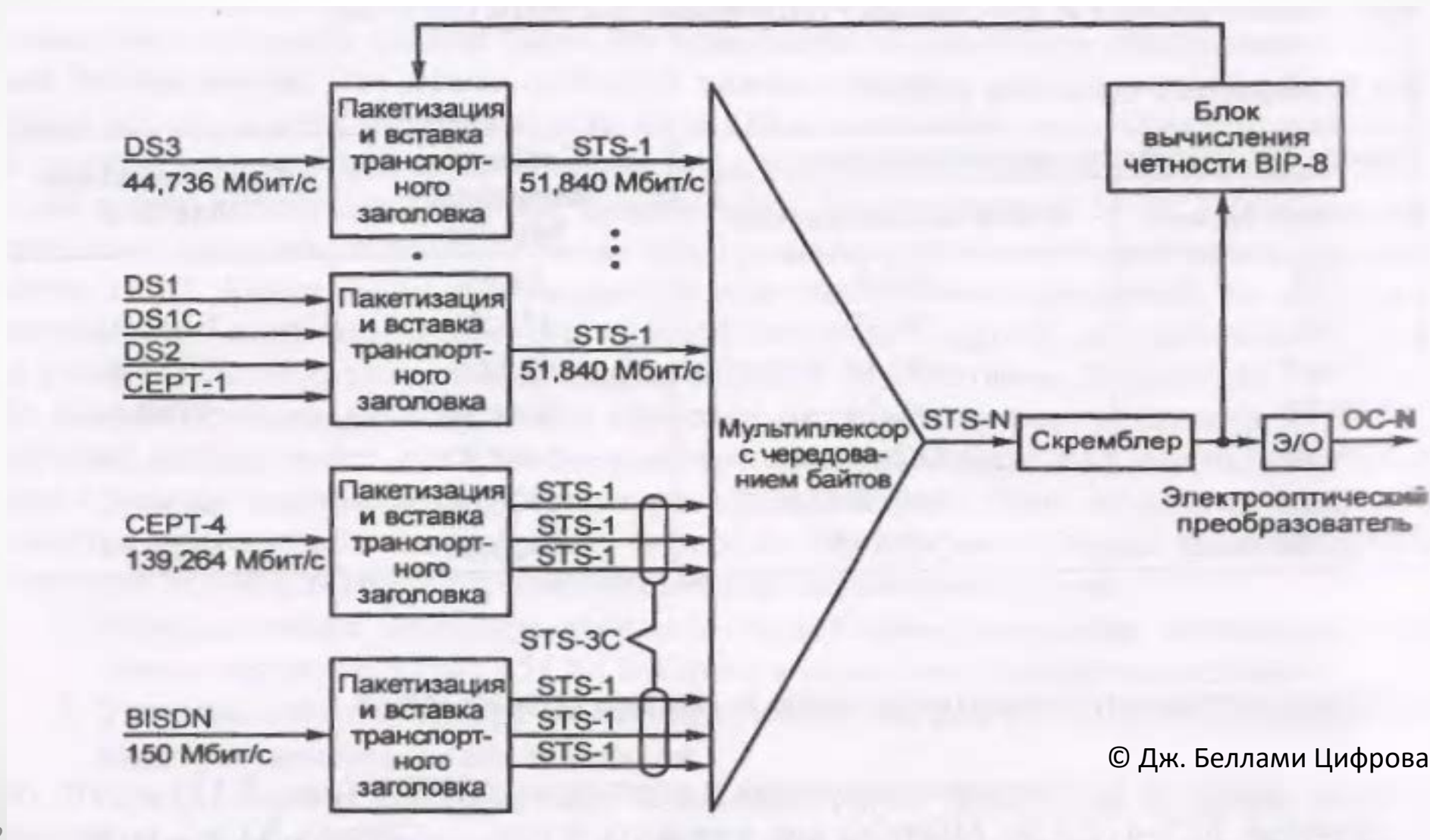
Первый разряд КИ0 отводится для передачи дискретной информации, разряд КИ3 ИЦ - для передачи сигналов аварии о потере цикловой синхронизации "X".

Прием значения 0 соответствует нормальному состоянию, а 1 - аварийному.

В тактовом интервале Р2 постоянно передается 1 (в отличие от Р2 в цикловом синхросигнале), что необходимо для проверки в процессе поиска ЦСС. Остальные разряды могут быть использованы для служебной информации.

Так, в первых модификациях АЦО шестой разряд используется для передачи сигнала контроля остаточного затухания А₆.

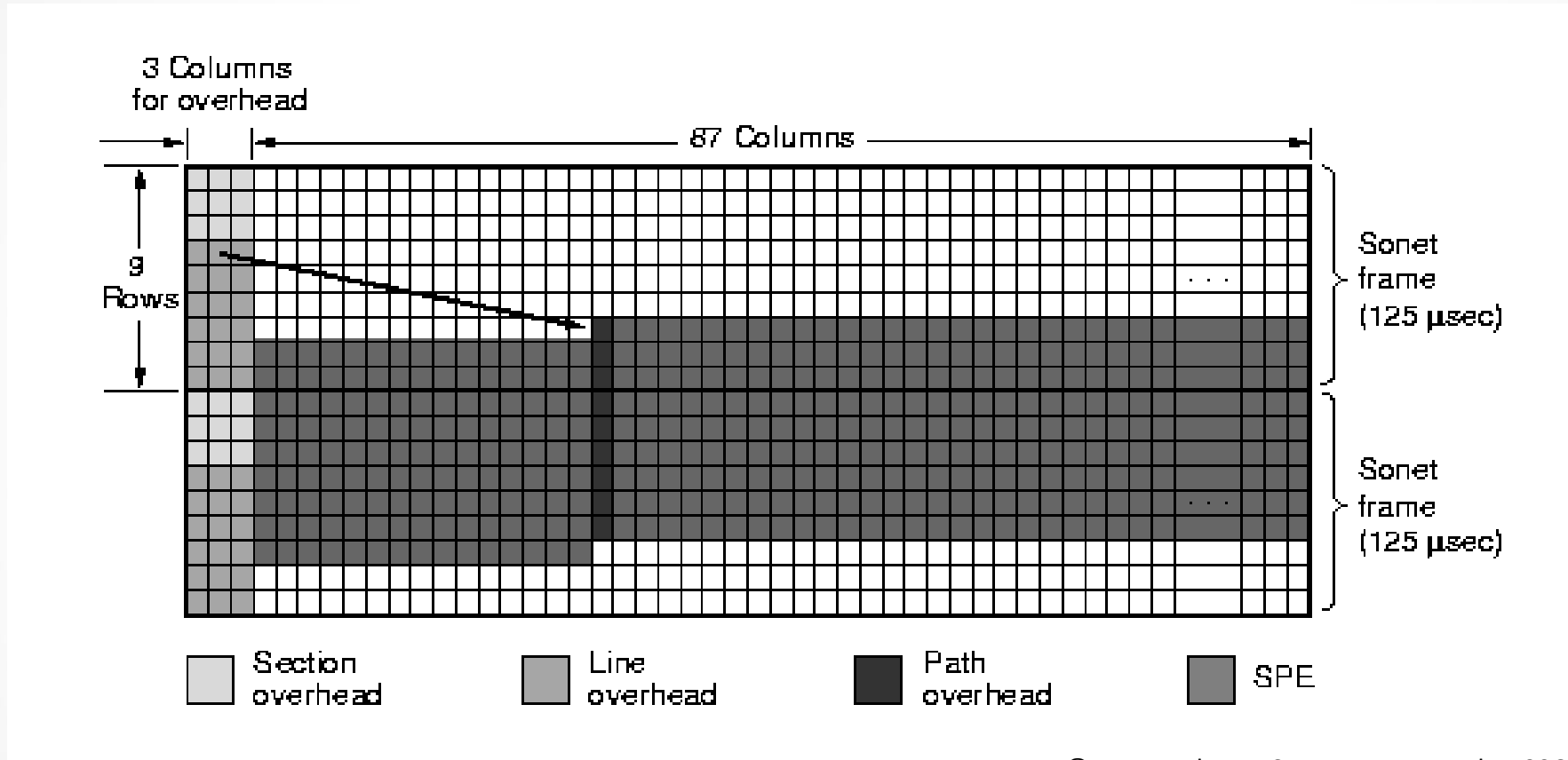
Функциональная схема мультиплексирования в SONET



© Дж. Беллами Цифровая телефония



Два смежных SONET кадра



Кадр SONET

© A. Tenenbaum Computer Networks 1996

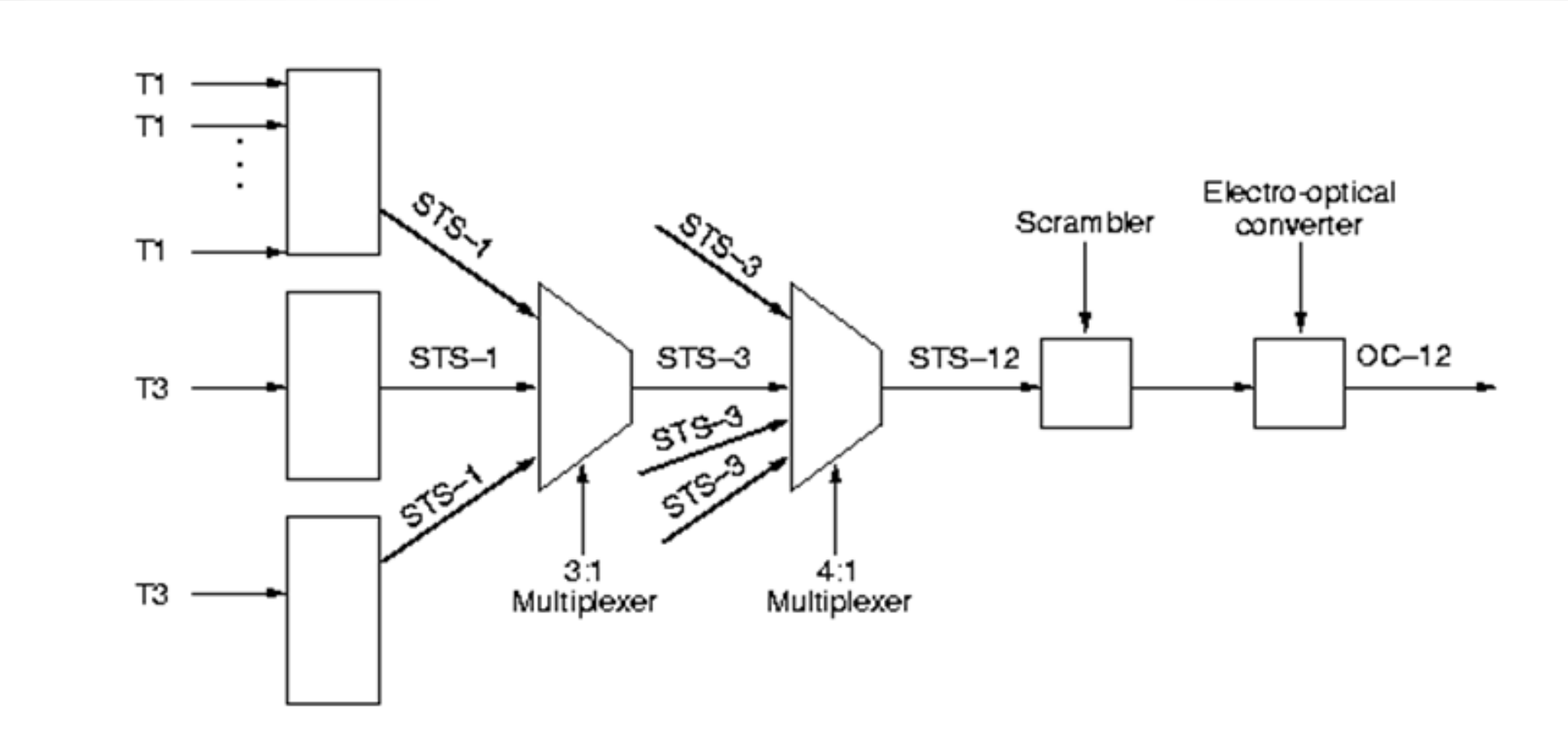


Заголовок STS-1 кадра

	Транспортный заголовок			Информационная полезная нагрузка STS-1	
Секционный заголовок	A1	A2	C1	J1	Маршрутный заголовок 9 строк
	B1	E1	F1	B3	
	D1	D2	D3	C2	
Линейный заголовок	H1	H2	H3	G1	
	B2	K1	K2	F2	
	D4	D5	D6	H4	
	D7	D8	D9	Z3	
	D10	D11	D12	Z4	
	Z1	Z2	E2	Z5	

3 столбца 87 столбцов

Мультиплексирование SONET кадров



© A.Tenenbaum Computer Networks 1996

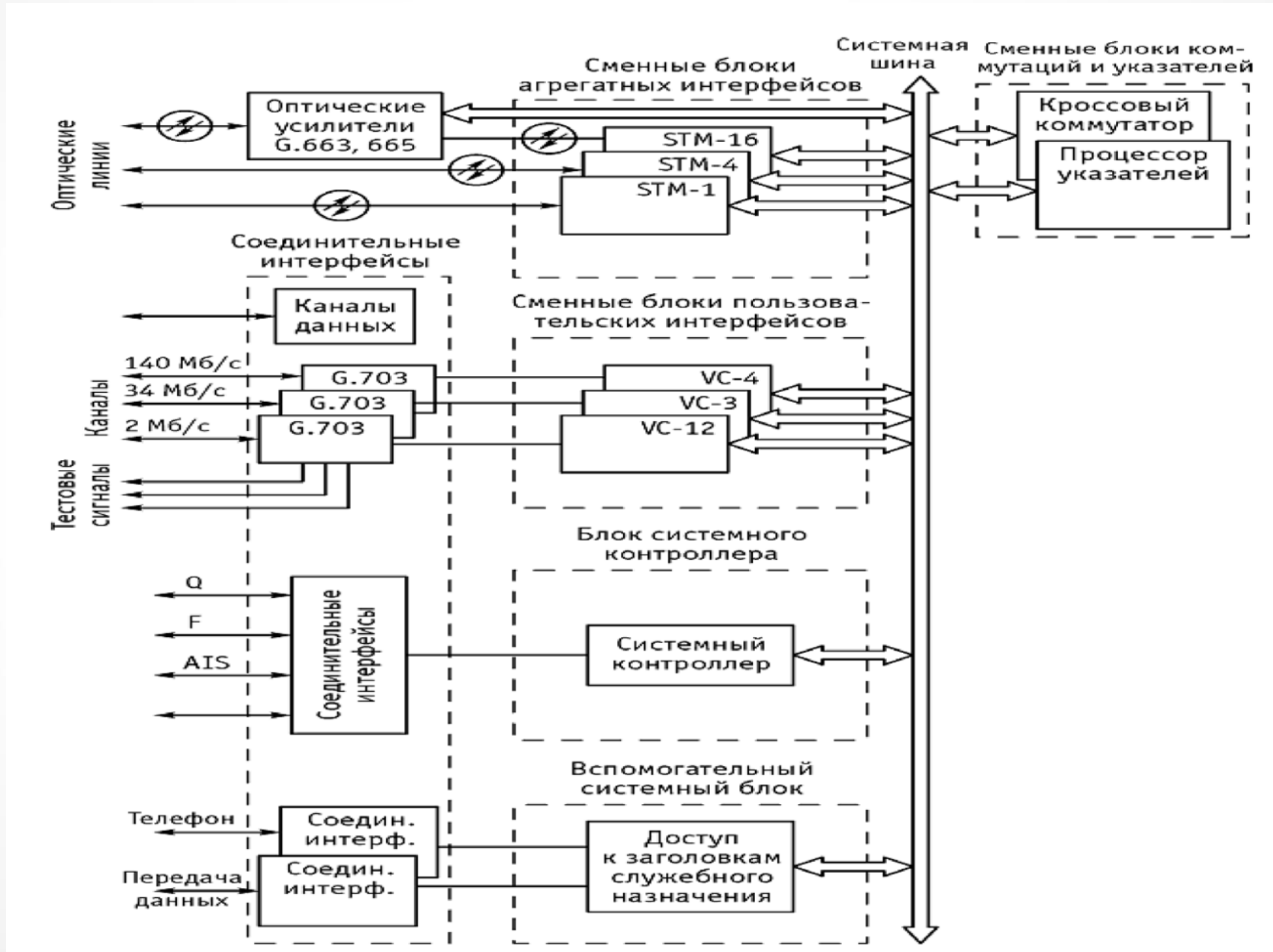


Соотношение скоростей при мультиплексировании в SONET и SDH

SONET		SDH	Data rate (Mbps)		
Electrical	Optical	Optical	Gross	SPE	User
STS-1	OC-1		51.84	50.112	49.536
STS-3	OC-3	STM-1	155.52	150.336	148.608
STS-9	OC-9	STM-3	466.56	451.008	445.824
STS-12	OC-12	STM-4	622.08	601.344	594.432
STS-18	OC-18	STM-6	933.12	902.016	891.648
STS-24	OC-24	STM-8	1244.16	1202.688	1188.864
STS-36	OC-36	STM-12	1866.24	1804.032	1783.296
STS-48	OC-48	STM-16	2488.32	2405.376	2377.728

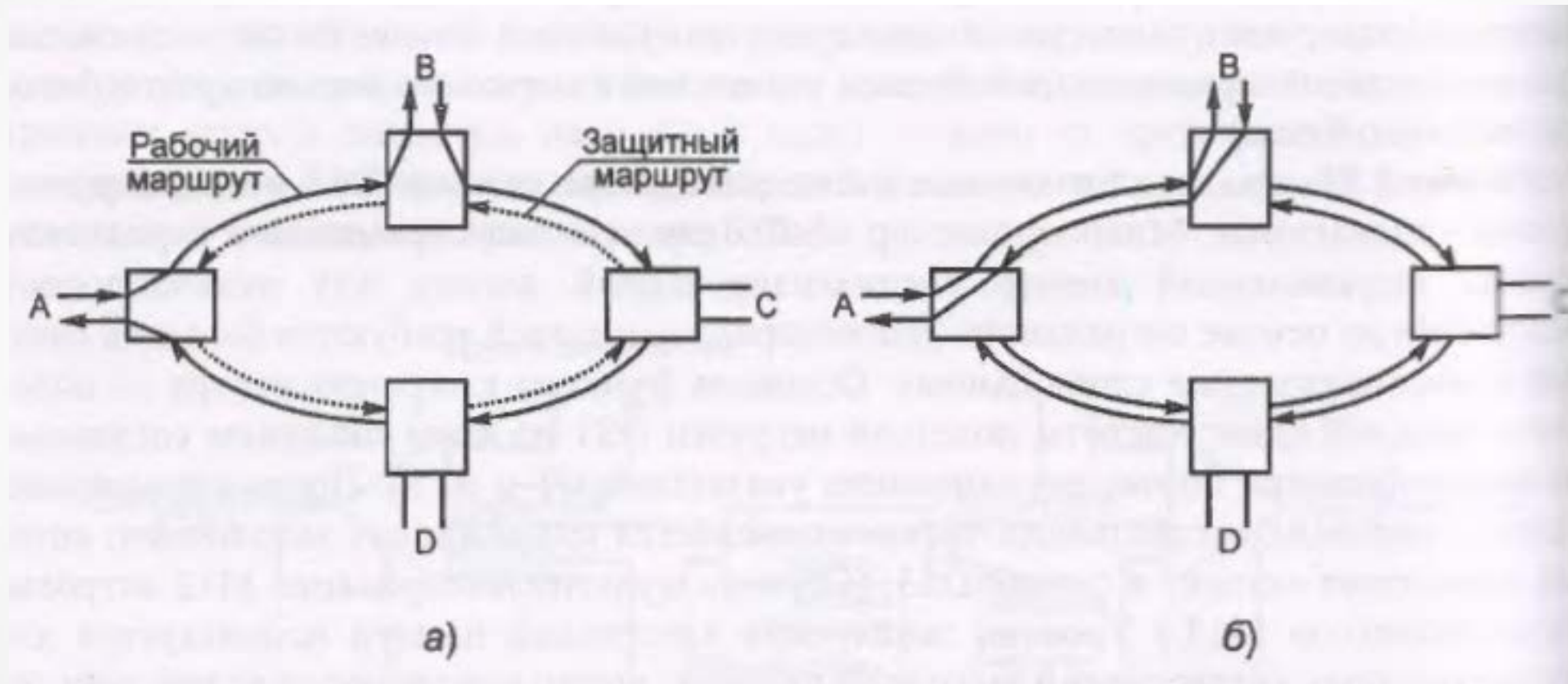
© A.Tenenbaum Computer Networks 1996

Структура оборудования SDH





Кольцо SONET

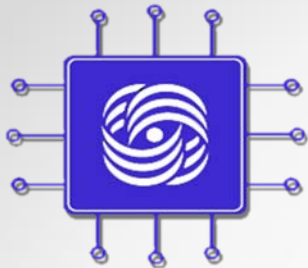


OTN ITU G.709 назначение



“...to cater for the transmission needs of today’s wide range of digital services, and to assist network evolution to higher bandwidths and improved network performance.”

ITU-T G.709 Application Note: 1379

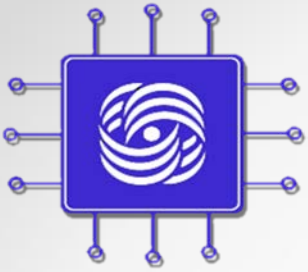


OTN – достоинства

Спецификация G.709 (2003).

1. OTN определяет фрейм (упаковку, wrapper) OTU (Optical Transport Unit) для инкапсуляции кадров прикладных данных, не зависимо от конкретного протокола, породившего кадр.
2. ODU позволяет размещать в нем несколько кадров от разных протоколов и предназначен для 2.5, 10, 40 and 100Gbps Ethernet, SDH/SONET фреймов.
3. Спецификация G.709 включает соглашения о цифровом контейнере (ODU), мониторинг производительности, коррекцию ошибок, механизм мультиплексирования, механизмы восстановления функционирования сети.
4. Механизм коррекции ошибок (FEC – Forward Error Correction) основан на коде Рида-Соломона.
5. Для передачи ODU фрейма спецификация определяет оптический контейнер OTU – optical transport unit.
6. Определяет механизм сквозного мониторинга услуг сети.

Базовые механизмы OTN



- Усиленный механизм обнаружения ошибок
- Многоуровневый сквозной мониторинг соединений
- Прозрачная передача сигналов пользователя
- Масштабируемая коммутация

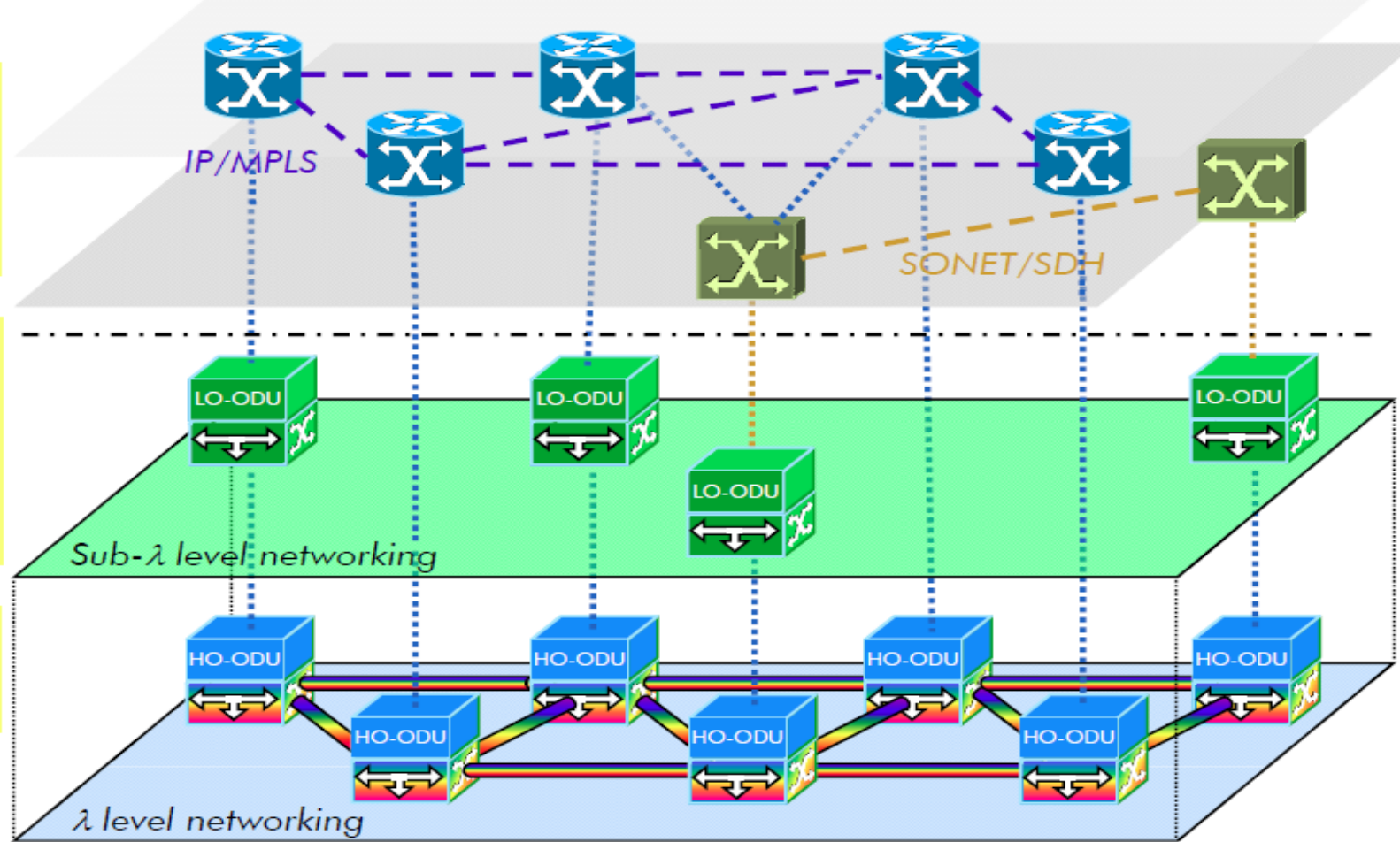
Однако требует нового оборудования и смену системы управления

Комбинация оптики с традиционной IP/MPLS

- **HO-ODU** networking is used when the client throughput does not need further aggregation within a lambda
- **LO-ODU** networking is used when sub- λ multiplexing is needed (no stranded sub- λ)

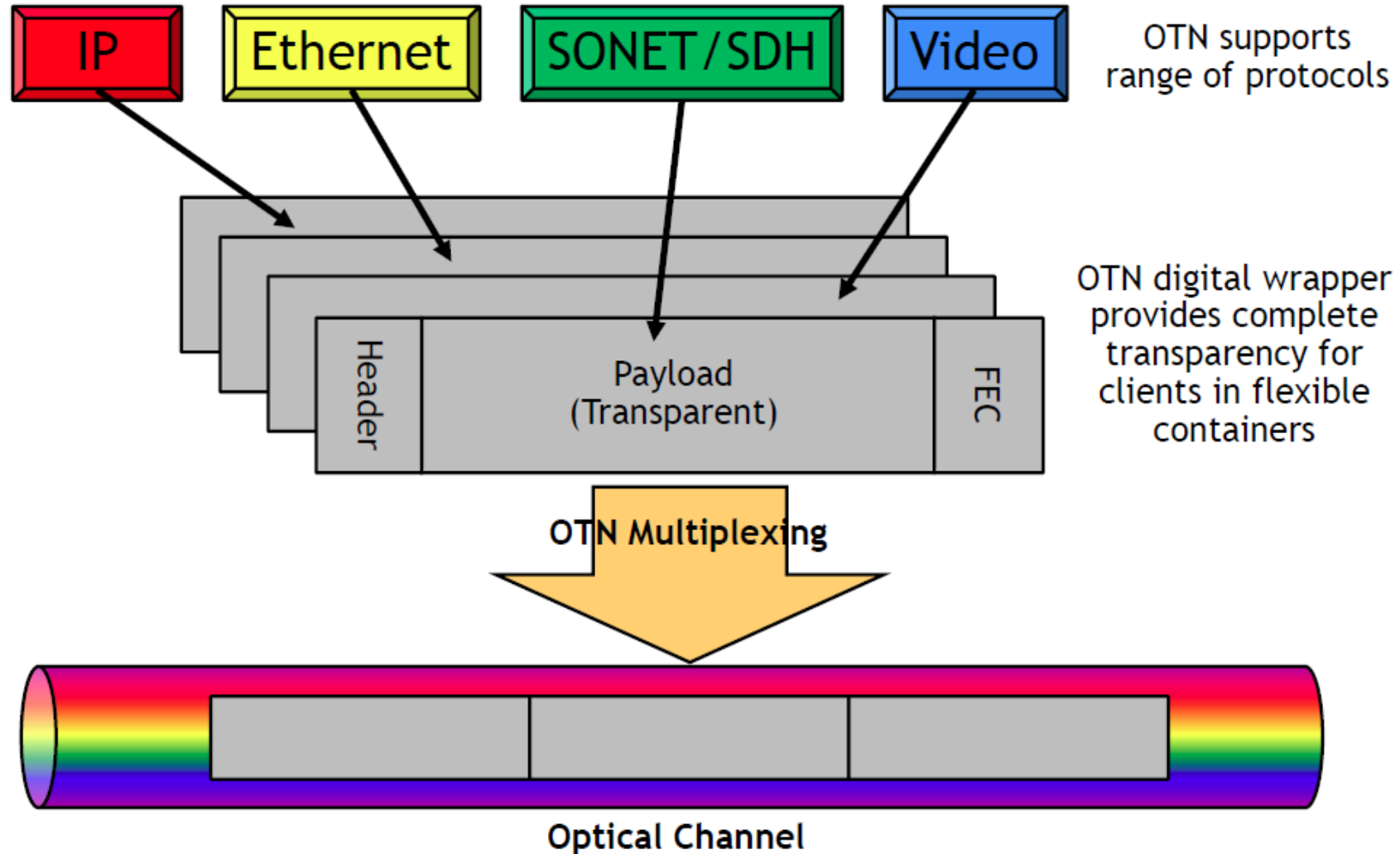
- **ODU Termination** (G.709 OAM) guarantees a clear boundary between client and server organizations
- **Intermediate Monitoring** can be either optical (proprietary WaveTracker) or electronic (standard G709 TC)

- **Switching** can be accomplished by means of fast electronic technology and/or slower photonic technology



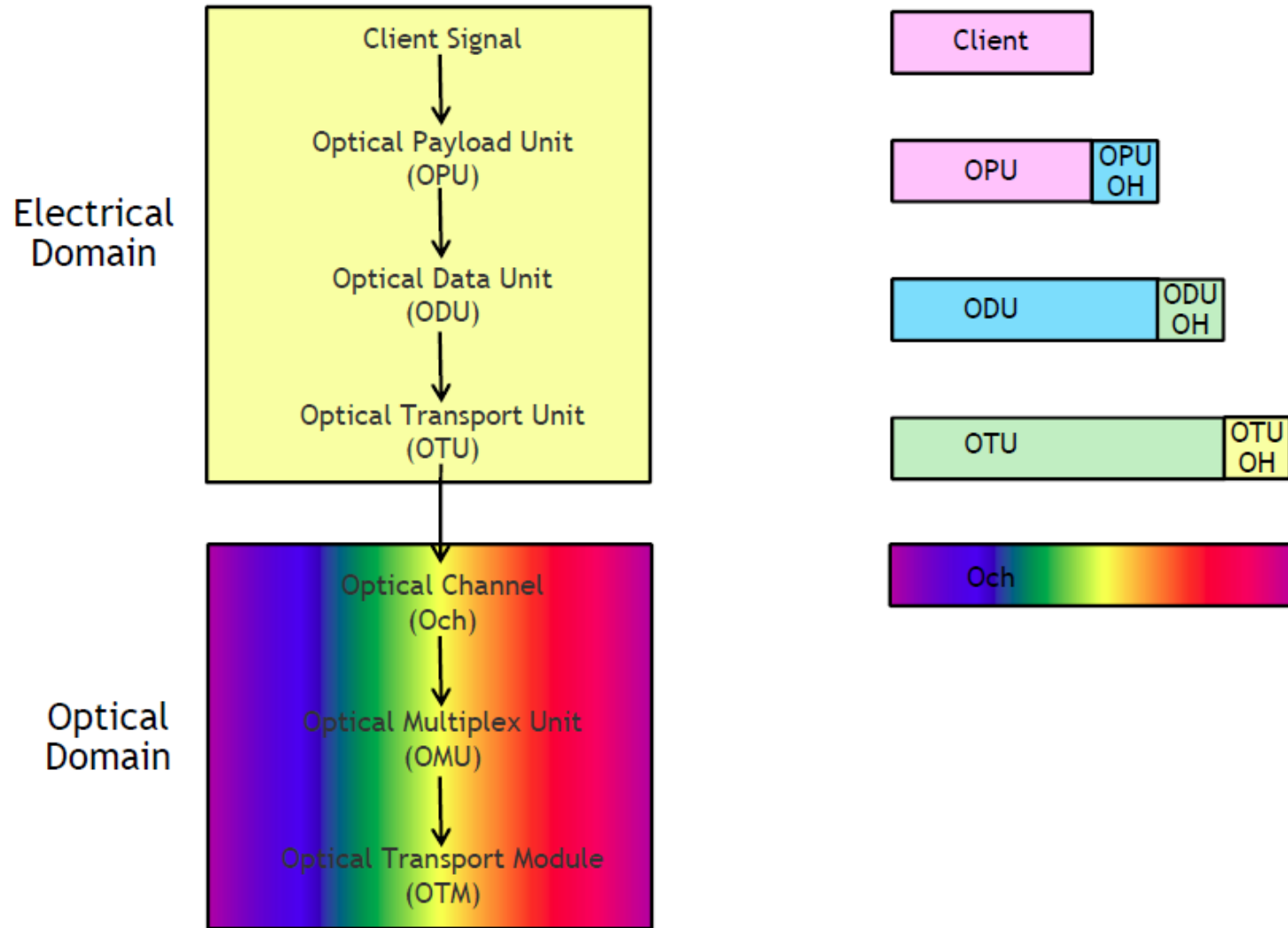


OTN Supports Variety of Protocols

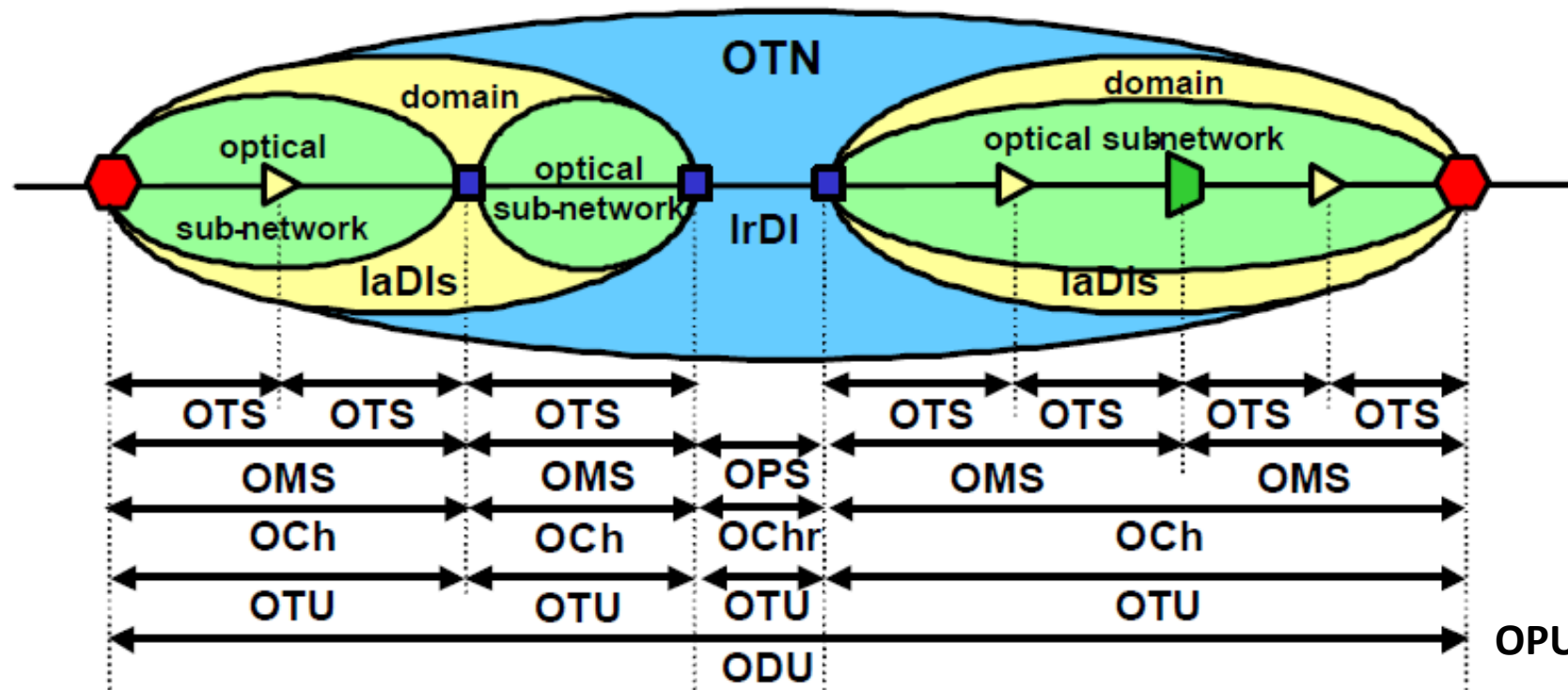




Building an OTN Container



Иерархия интерфейсов OTN

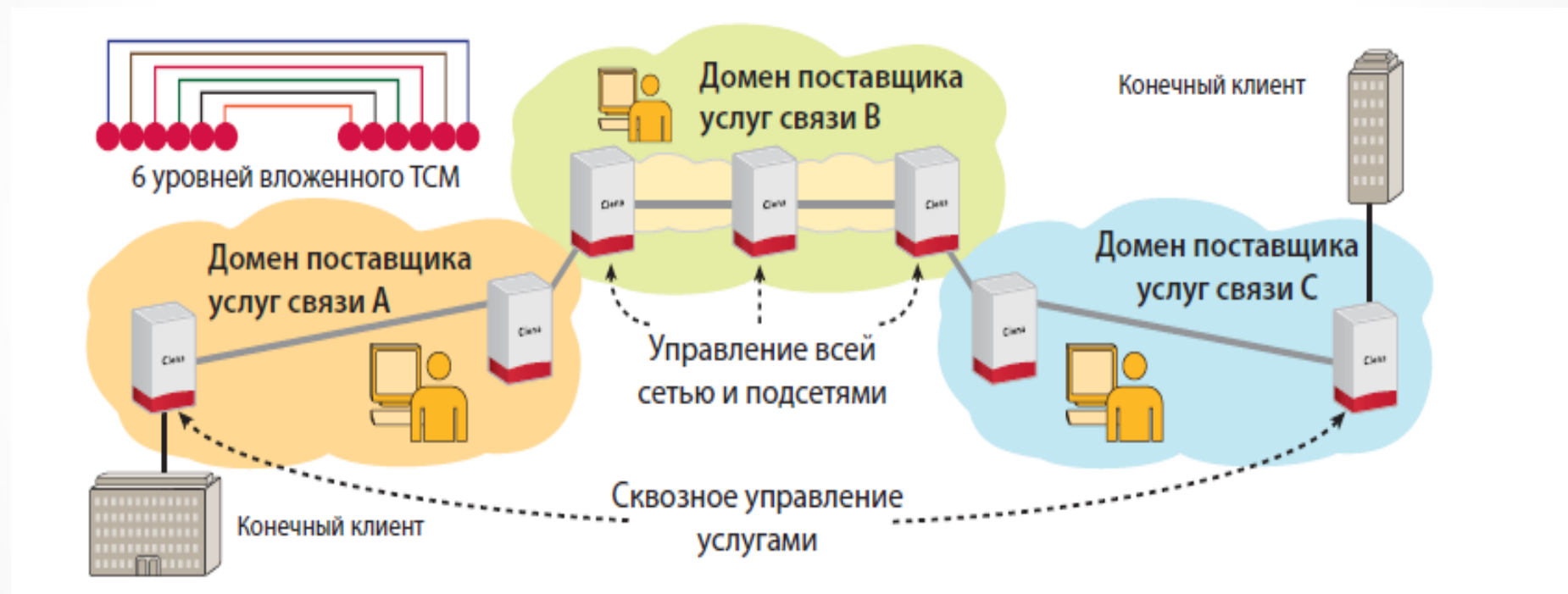


Optical line amplifier (OTS termination)
 Optical cross connect/addrop/terminal mux (OMS termination)

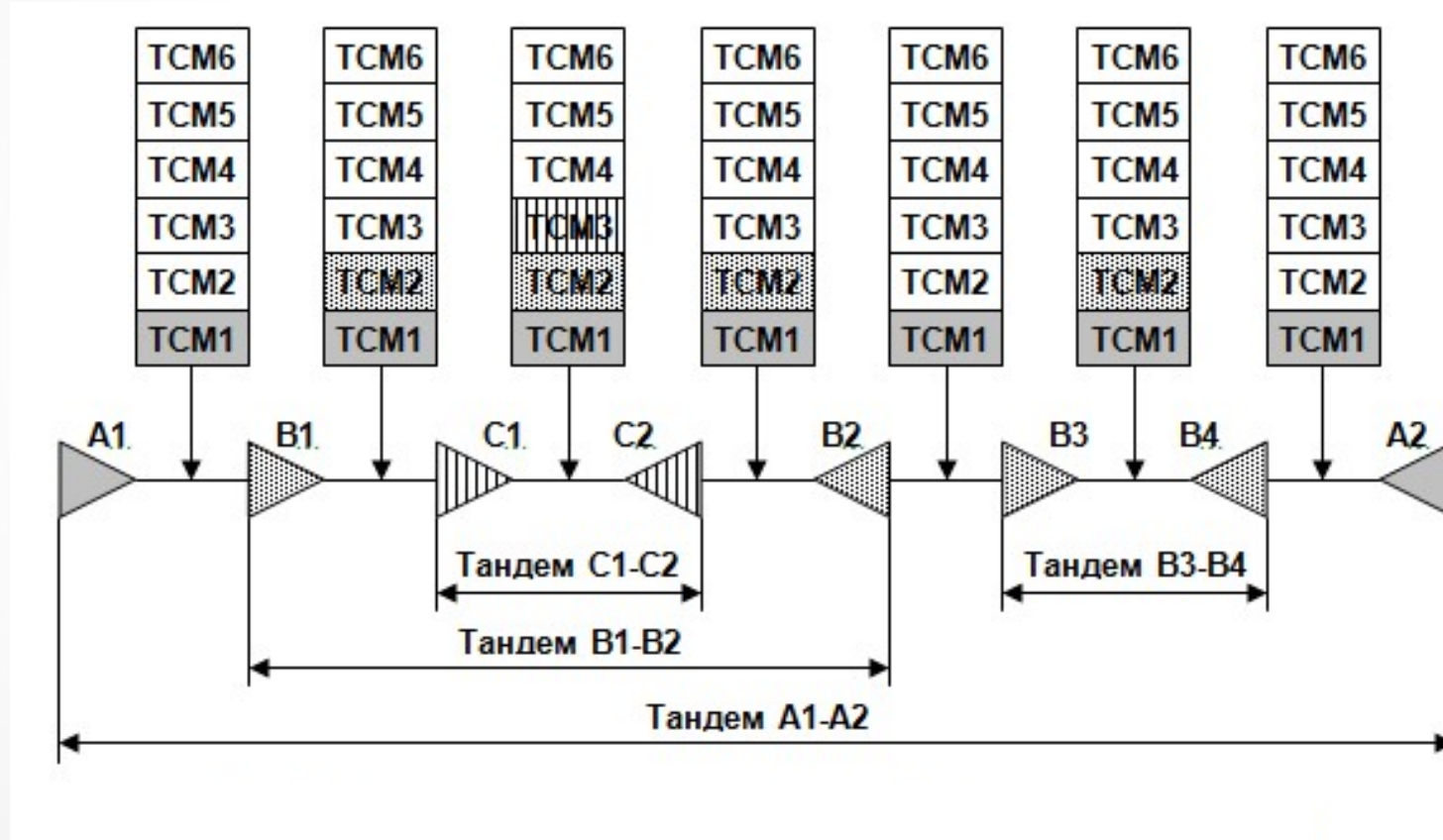
3-R regeneration (OCh, OTU termination)
 Regeneration, Reshaping, Retiming
 Client access (ODU termination)

OPS – Optical Physical Section

Сквозной мониторинг на всех уровнях (ТСМ)

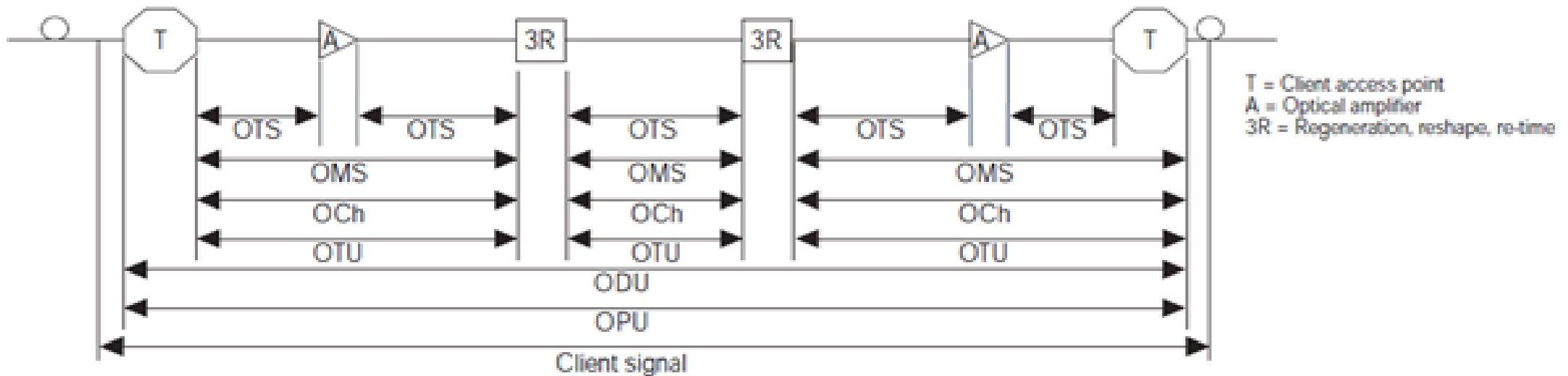
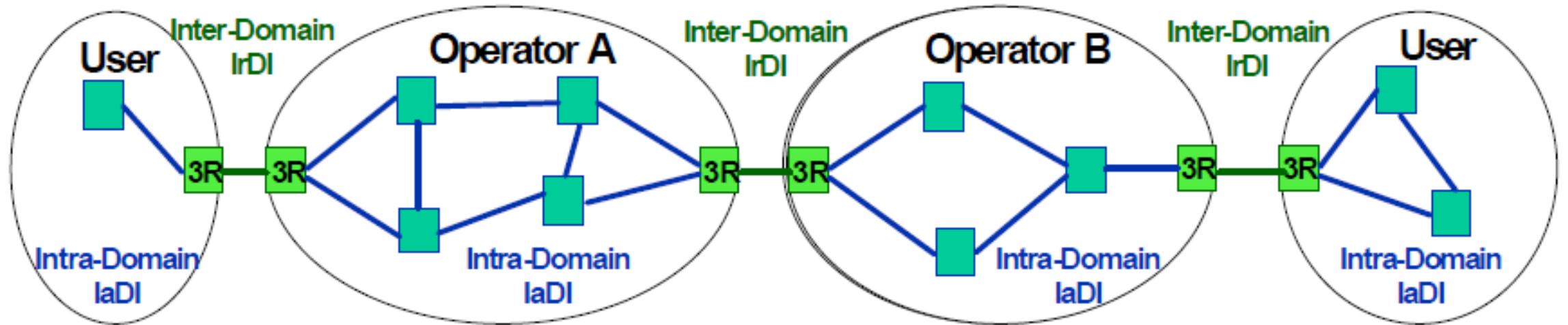


Распределение уровней TCM



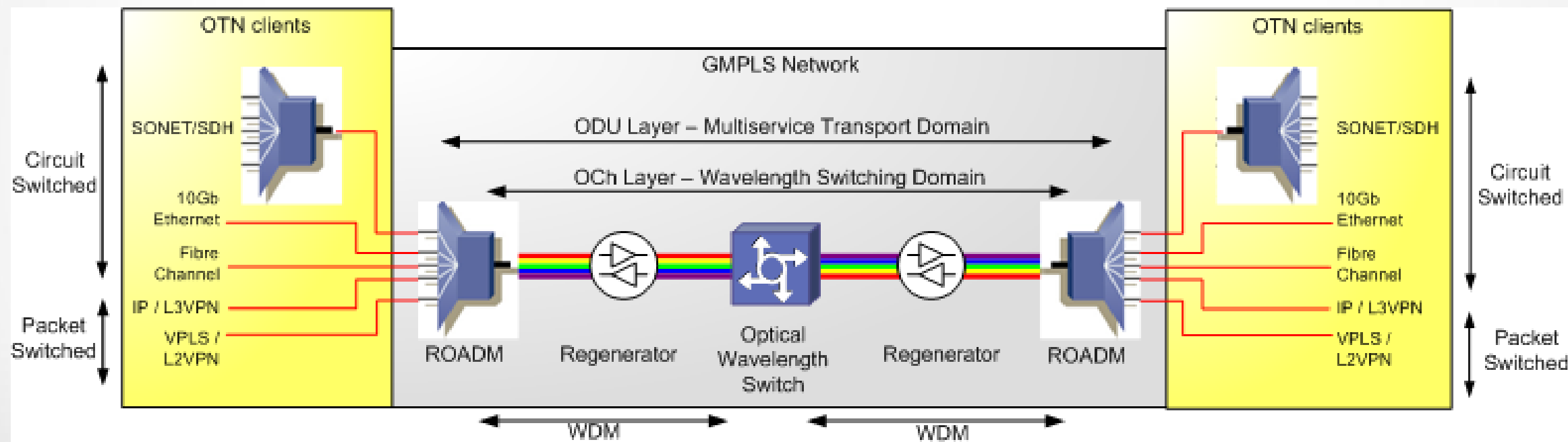


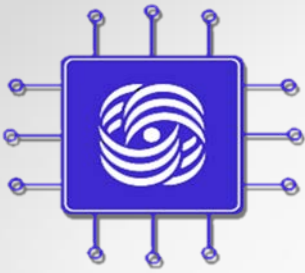
Иерархия интерфейсов OTN сети



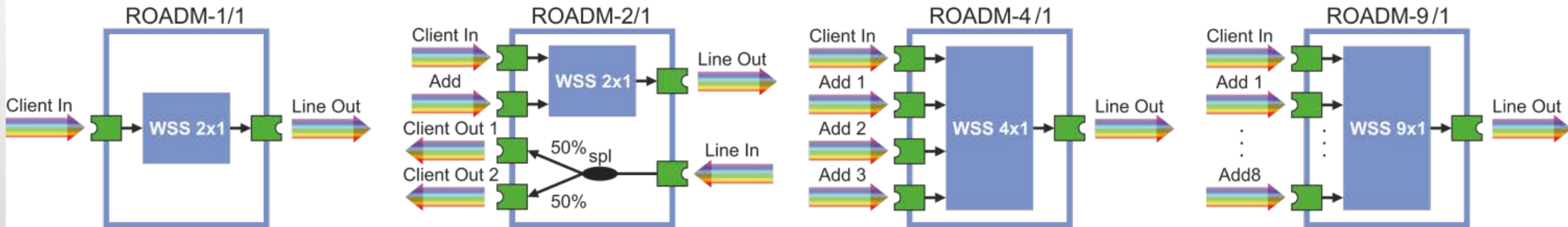
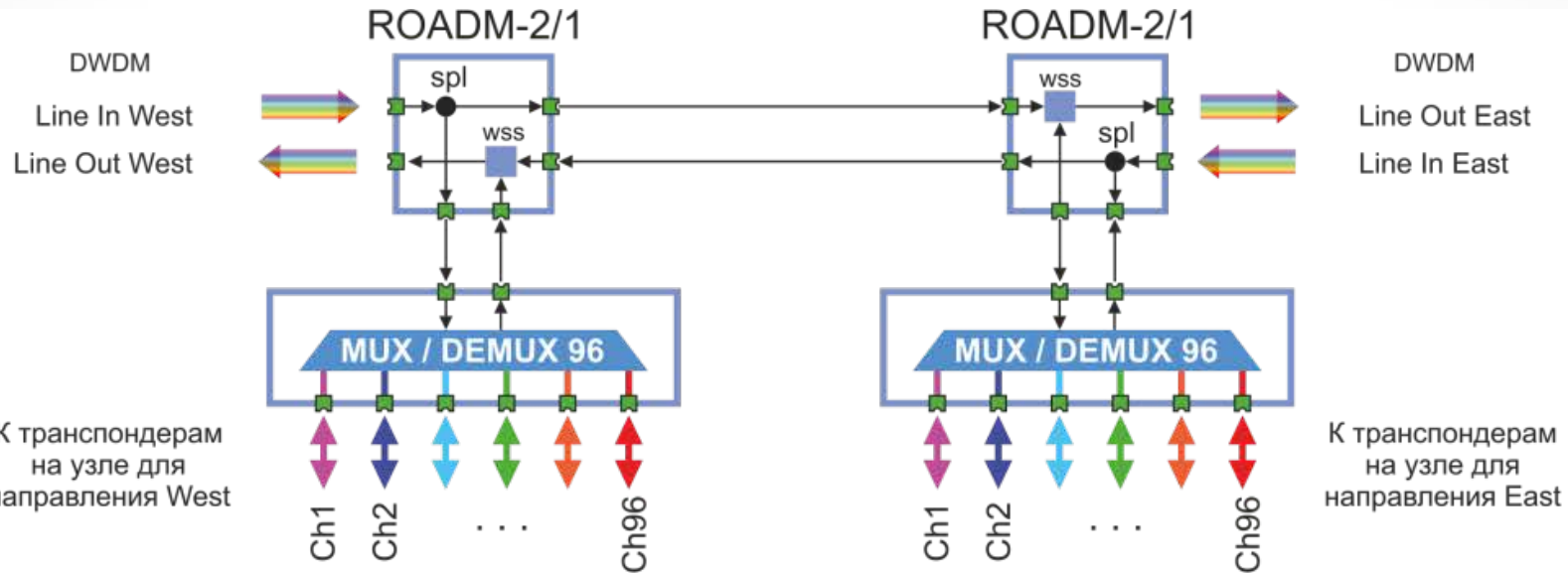


Масштабируемая коммутация



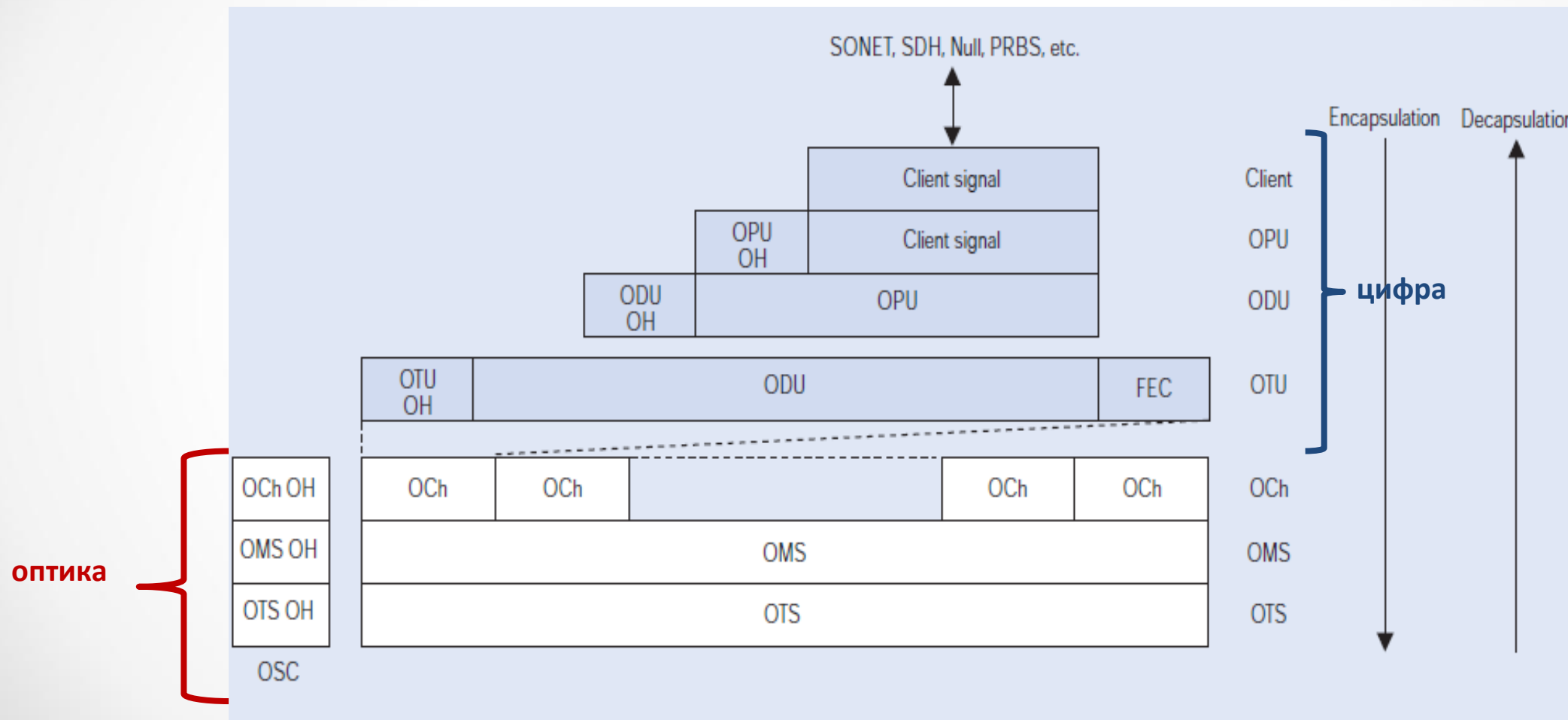


Масштабируемая коммутация



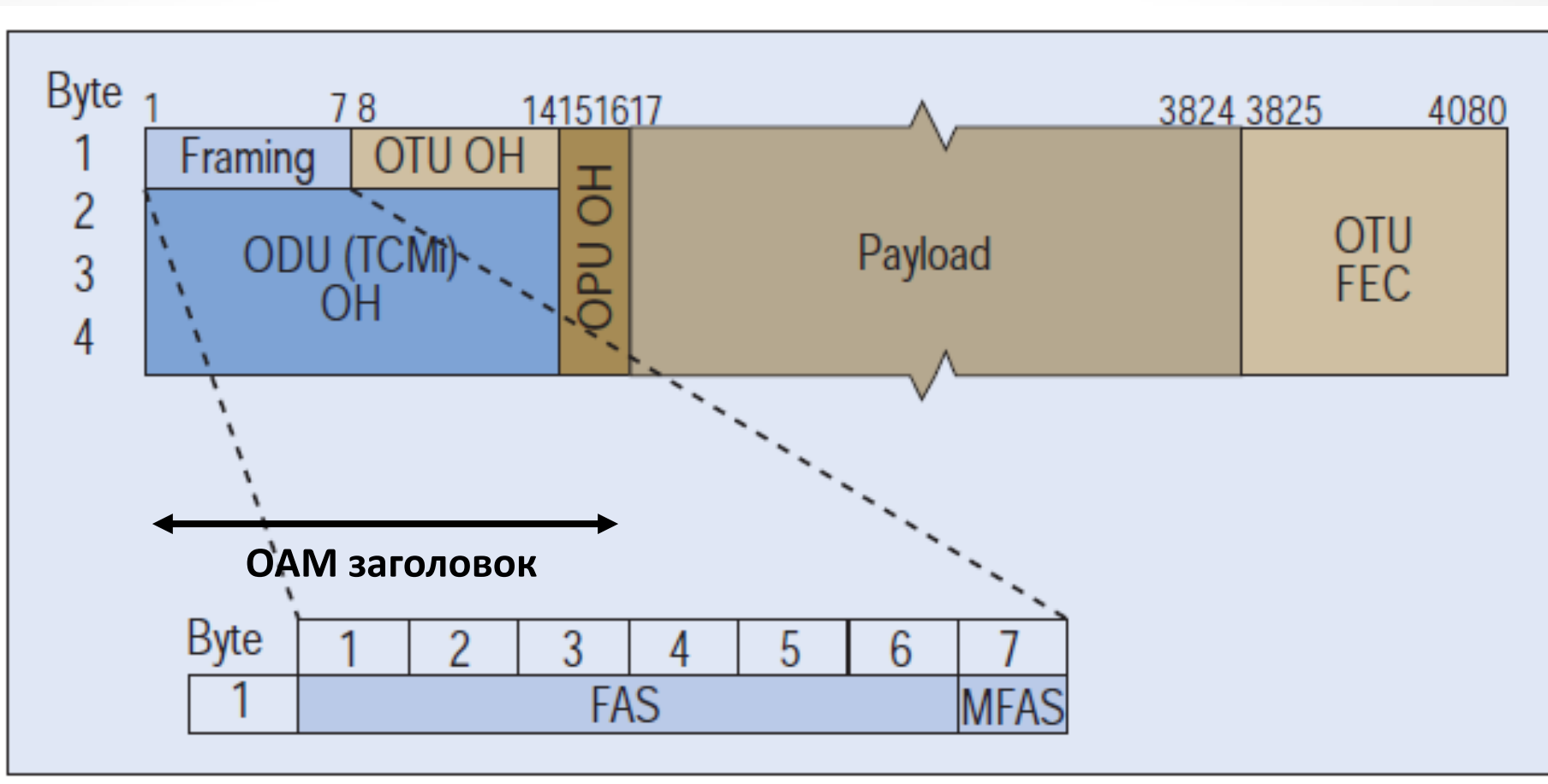


Базовые информационные структуры



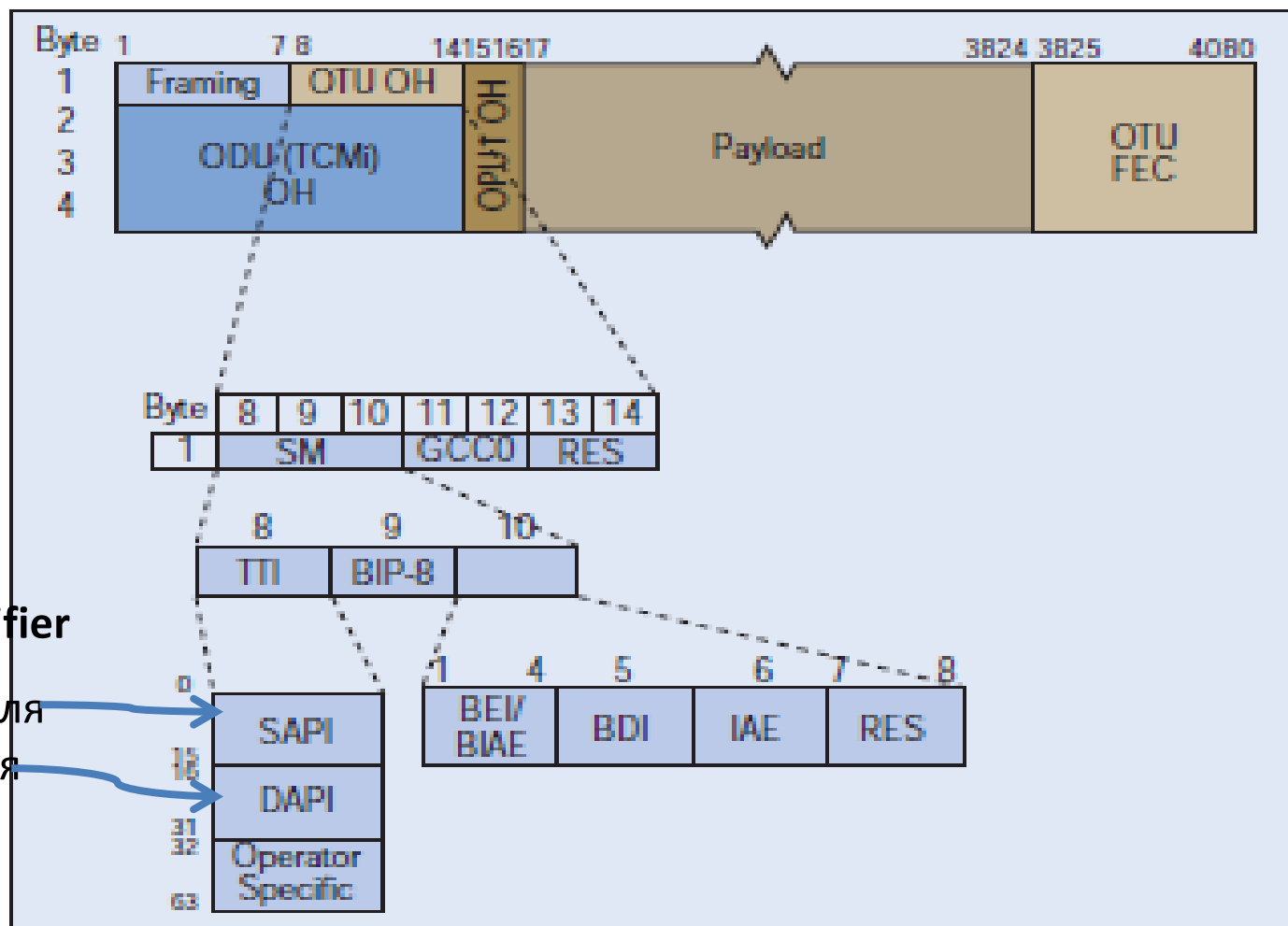


Структура OTU кадра





OTU заголовок



TTI - Traffic Trace Identifier

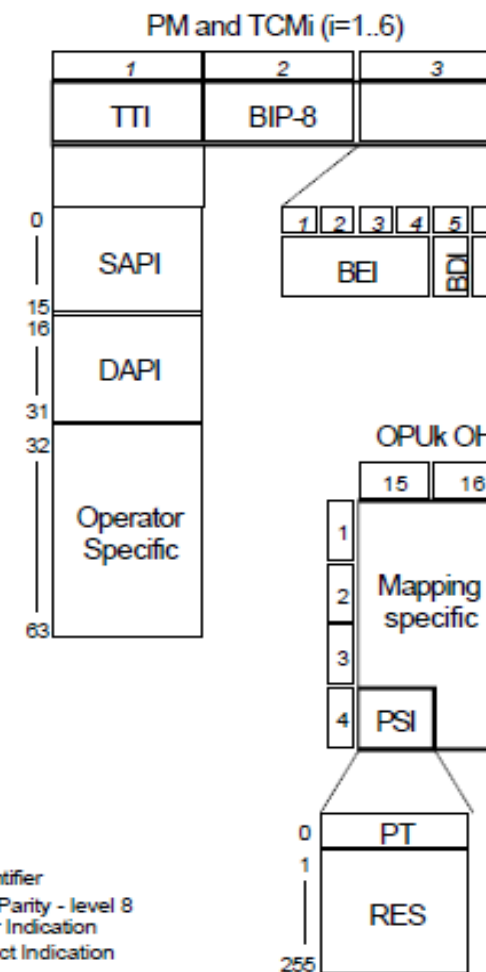
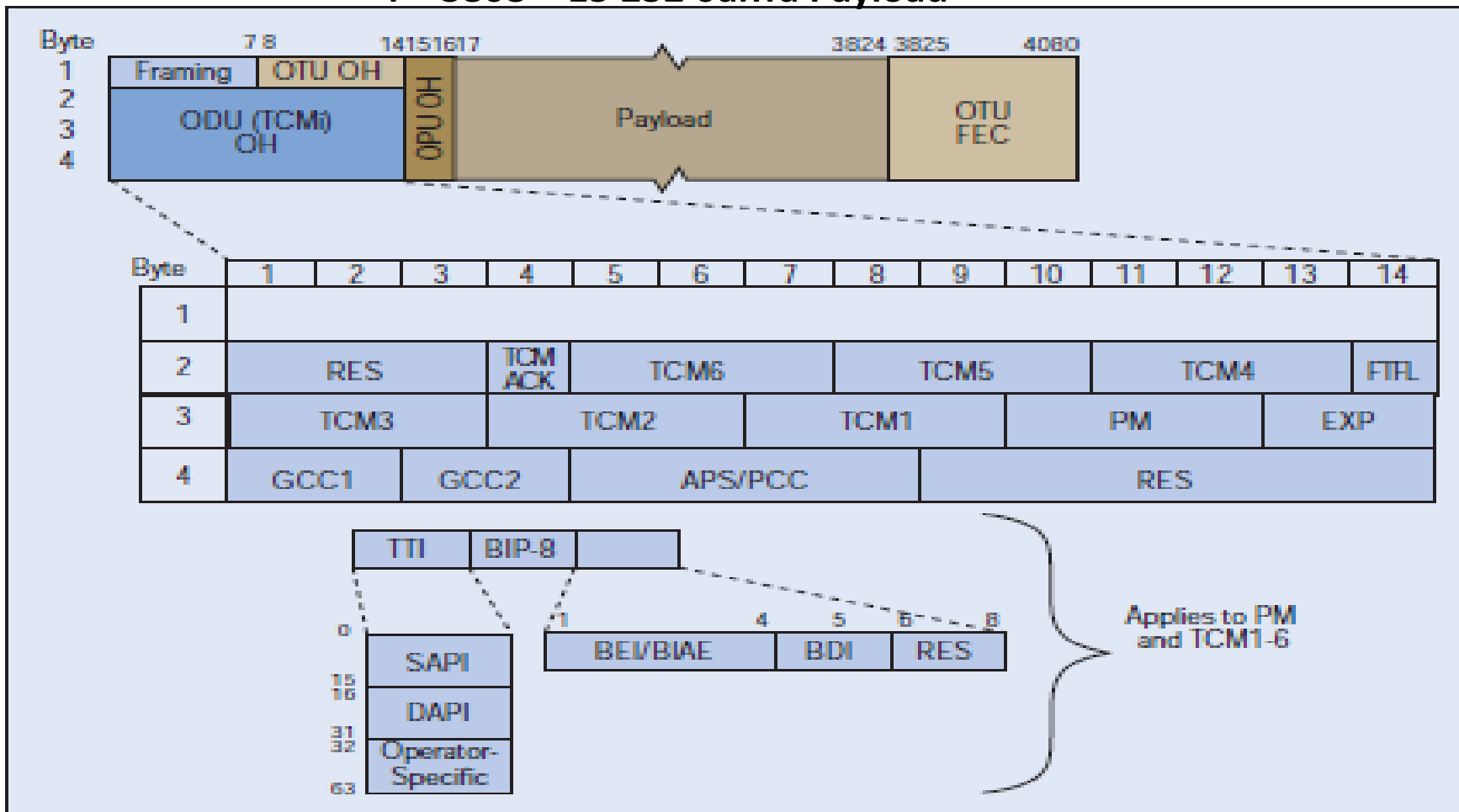
Адрес отправителя

Адрес получателя

Структура ODU кадра

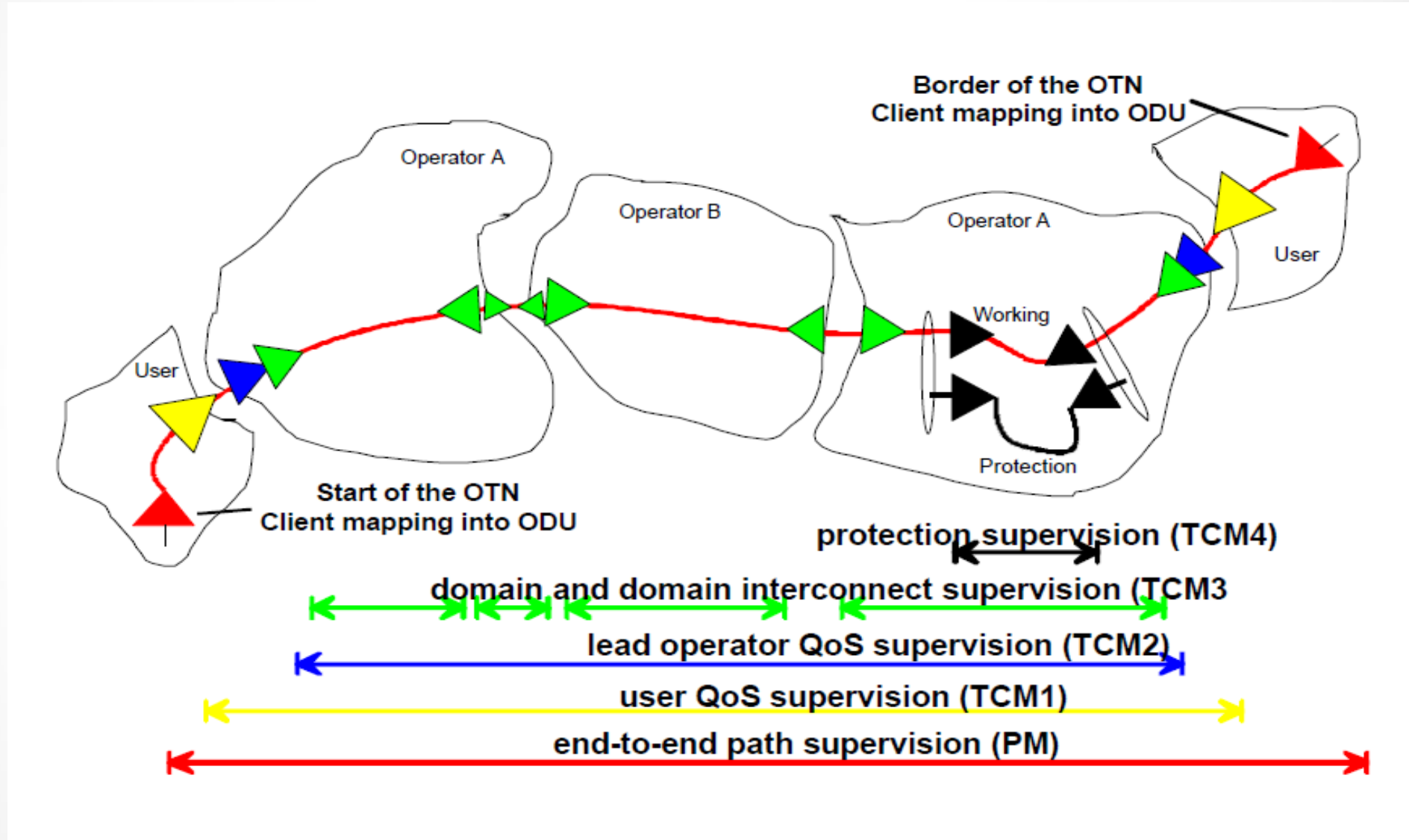


4 * 3808 = 15 232 байта Payload

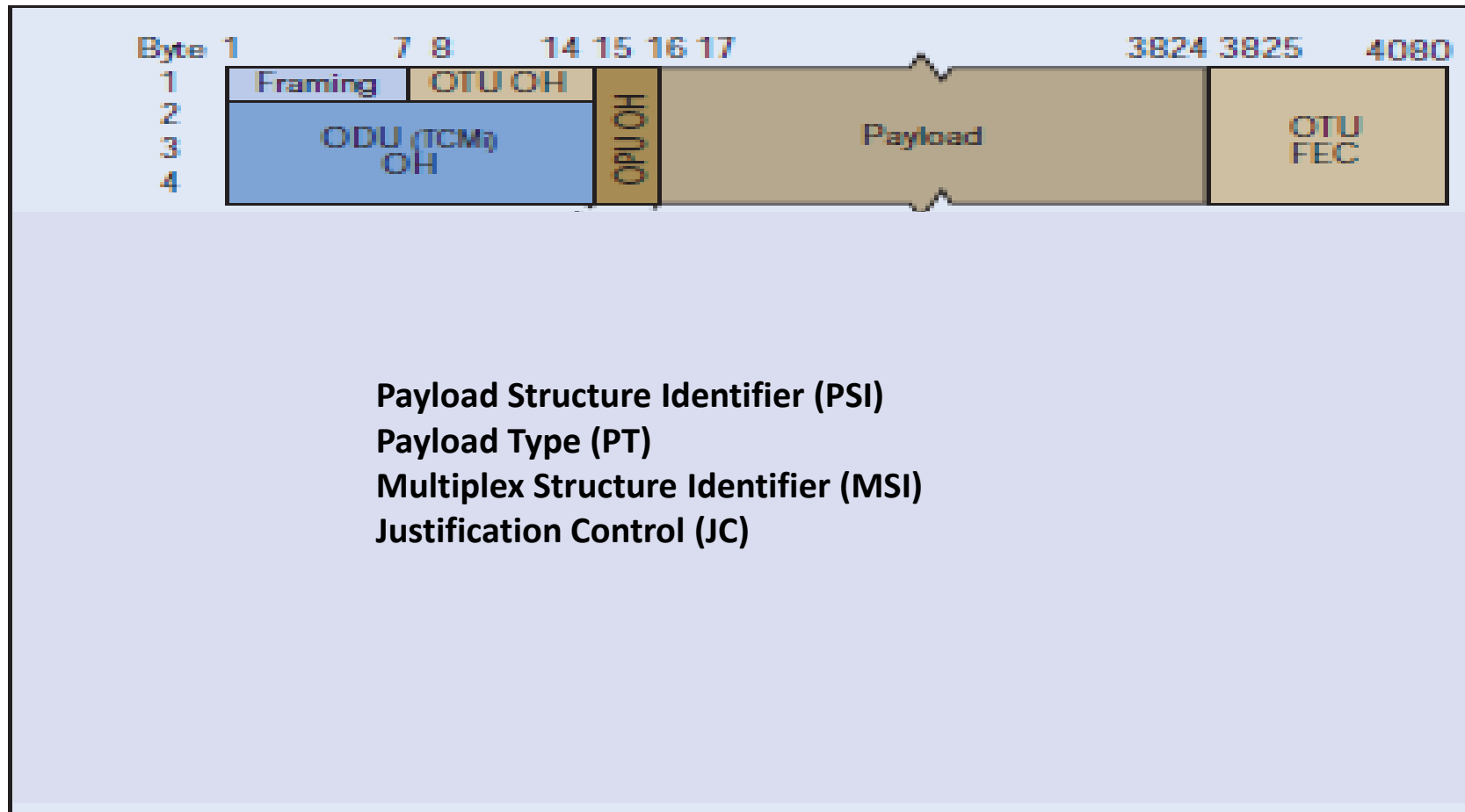


- | | | | | | |
|-------|---|-------|---|-------|-----------------------------------|
| PM: | Path Monitoring | FTFL: | Fault Type & Fault Location reporting channel | TTI: | Trail Trace Identifier |
| TCM: | Tandem Connection Monitoring | EXP: | Experimental | BIP8: | Bit Interleaved Parity - level 8 |
| SAPI: | Source Access Point Identifier | GCC: | General Communication Channel | BEI: | Backward Error Indication |
| DAPI: | Destination Access Point Identifier | APS: | Automatic Protection Switching coordination channel | BDI: | Backward Defect Indication Status |
| RES: | Reserved for future international standardisation | PCC: | Protection Communication Control channel | PSI: | Payload Structure Identifier |
| ACT: | Activation/deactivation control channel | | | PT: | Payload Type |

Мониторинг в OTN

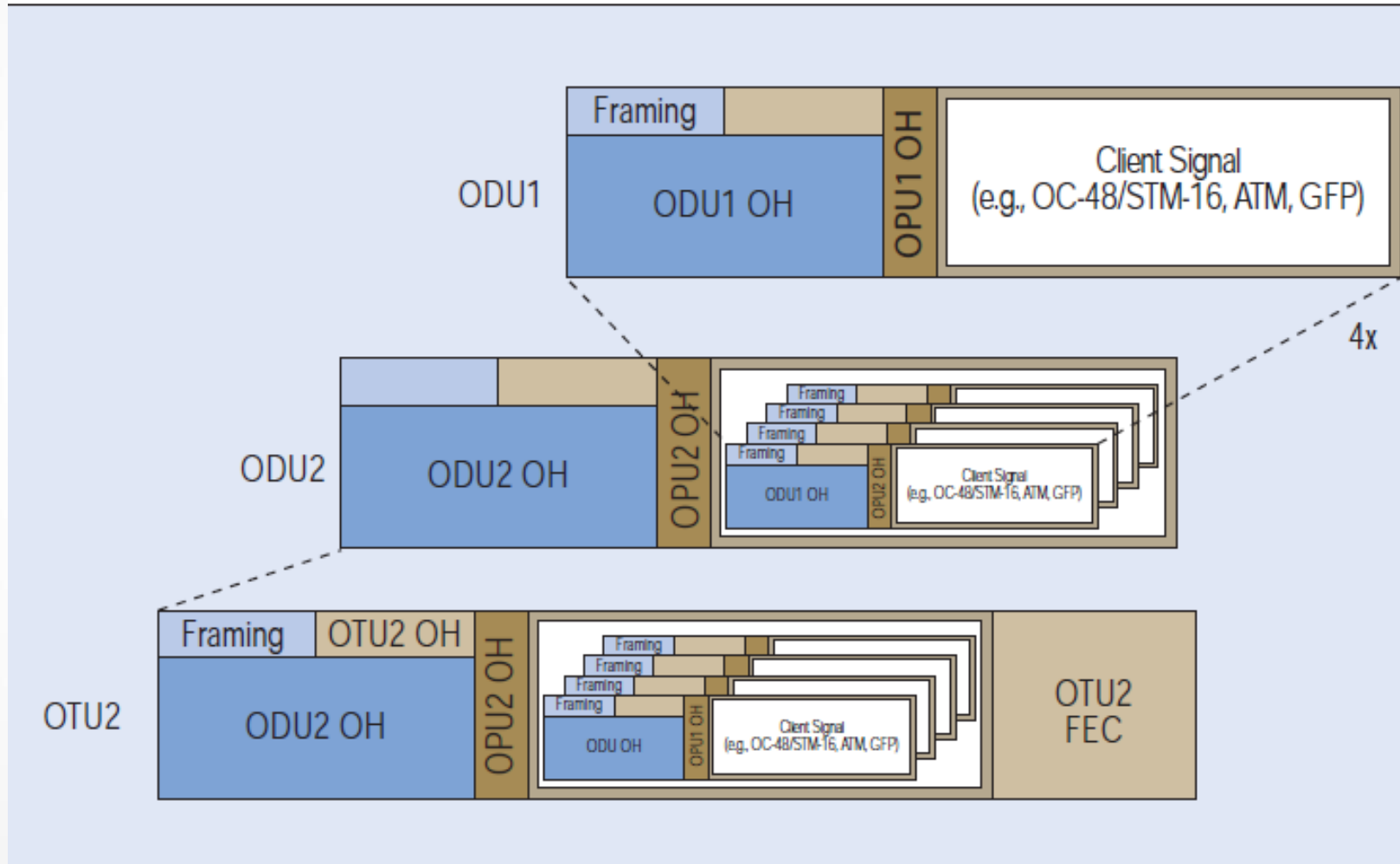


Структура OPU кадра



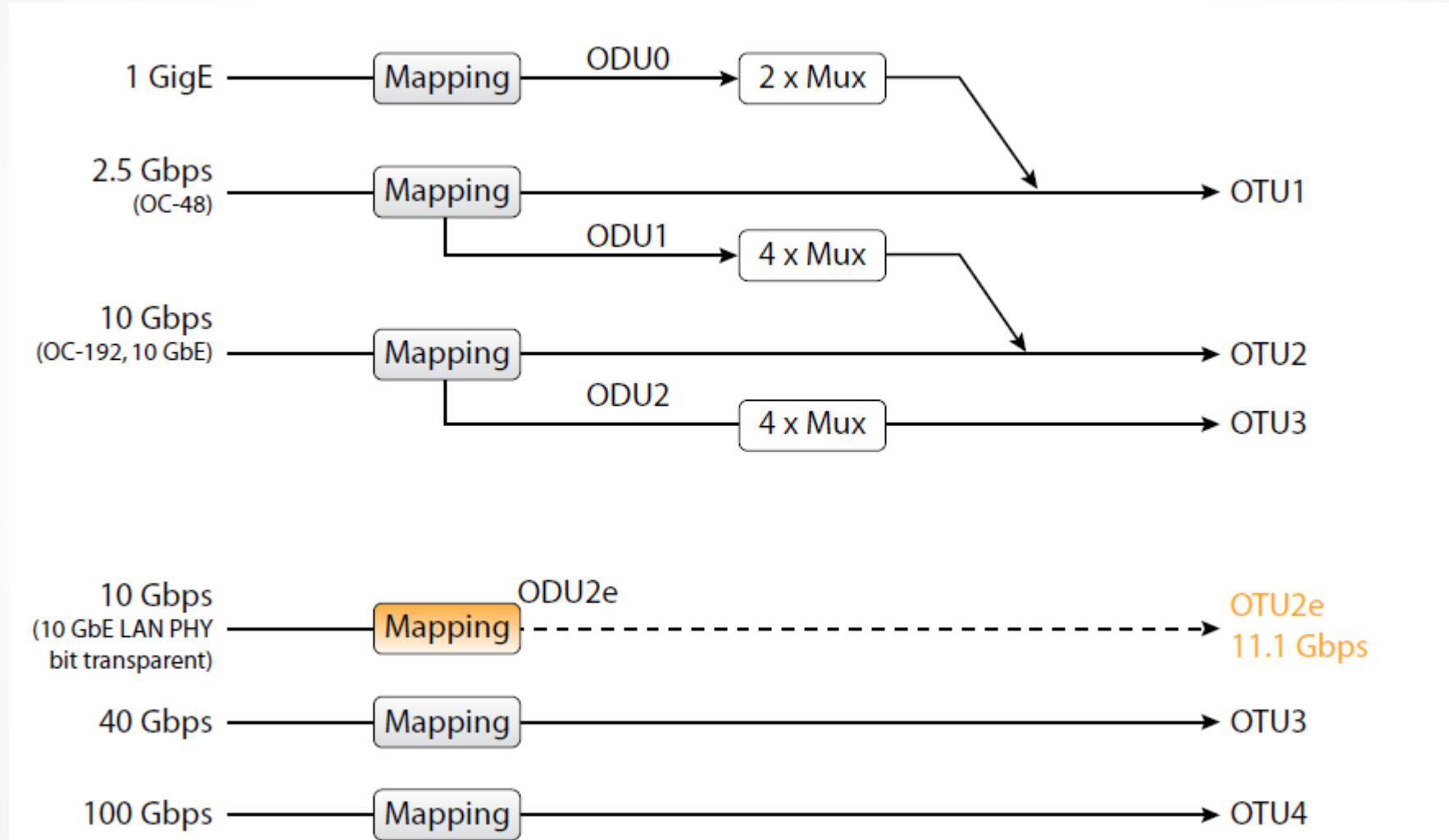


ODU мультиплексирование





Соответствие между ODU и OTU



Типы ODU и их скоростные характеристики



ODU Clients	ODU Server
1.25 Gbit/s bit rate area	ODU0
–	
2.5 Gbit/s bit rate area	ODU1
ODU0	
10 Gbit/s bit rate area	ODU2
ODU0, ODU1, ODUflex	
10.3125 Gbit/s bit rate area	ODU2e
–	
40 Gbit/s bit rate area	ODU3
ODU0, ODU1, ODU2, ODU2e, ODUflex	
100 Gbit/s bit rate area	ODU4
ODU0, ODU1, ODU2, ODU2e, ODU3, ODUflex,	
CBR clients from greater than 2.5 Gbit/s to 100 Gbit/s, or GFP-F mapped packet clients from 1.25 Gbit/s to 100 Gbit/s.	ODUflex
–	

Forward Error Correction (FEC)



- Позволяет увеличить длину линии или число линий для передачи без промежуточных усилений
- Снижает пороговое значение для соотношения S/N, что увеличивает число каналов в DWDM системе

Коды Рида-Соломона

(частный случай Код Боуза — Чоудхури — Хоквингема)

- Поля Галуа (GF(N)): «+», «х»,
 - $a+b = b+a$ и $a*b = b*a$.
 - существуют элементы e и u из GF(N), что для всех a из GF(N) верно $a = a+e$, и $a = a*u$.
 - Определим «+» как XOR, «*» – умножение в столбик
- Рассмотрим GF(2^4) «+» = XOR, «*» – с остатком по модулю 10011
- $13 * 15 = 2^{13} * 2^{12} = 2^{(12+13)} = 2^{(25 \bmod 15)} = 2^{10} = 7$
- Операция умножения обратима - $a^{13} * a^{12} = a^{10}$, то $a^{10} / a^{12} = a^{-2+15} = a^{13}$
- **Построенное поле Галуа задаёт правила арифметики для чисел от 0 до 15 (т.е. для двоичных 4-разрядных чисел) !**
- Аналогично можно построить арифметику для 256-битовых чисел (100011101)
- Код Рида-Соломона задаётся парой чисел N, K, где N – общее количество символов, а K – «полезное» количество символов, N-K символов - избыточный код для обнаружения и исправления с «расстоянием Хэмминга» $D = N - K + 1$

Степень	Результат	
0	1	0001
1	2	0010
2	4	0100
3	8	1000
4	3	0011
5	6	0110
6	12	1100
7	11	1011
8	5	0101
9	10	1010
10	7	0111
11	14	1110
12	15	1111
13	13	1101
14	9	1001
15	1	0001

Forward Error Correction (FEC)



ITU G.709 recommendation - Reed-Solomon Code RS (255,239)

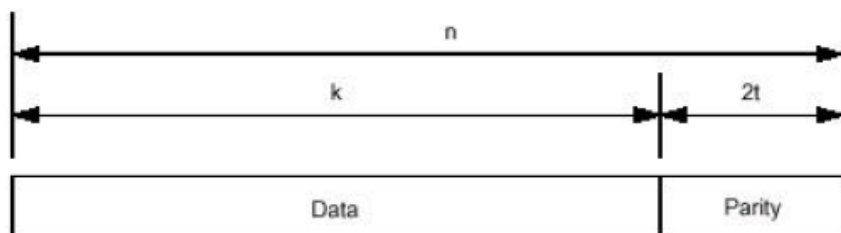
s = Size of the symbol = 8 bits

n = Symbols per codeword = 255 bytes

k = Information symbols per codeword = 239 bytes

$2t = n - k = 255 - 239 = 16$

$t = 8$



RS(255,239) max length $n = 2^s - 1 = 255$

$+$ = XOR

$$g(x) = \prod_{(i=1..D-1)} (x+a_i) = (x+a_1)(x+a_2)...(x+a_{D-1})$$

порождающий многочлен

сообщение «сдвигается» на $N-K$ символов

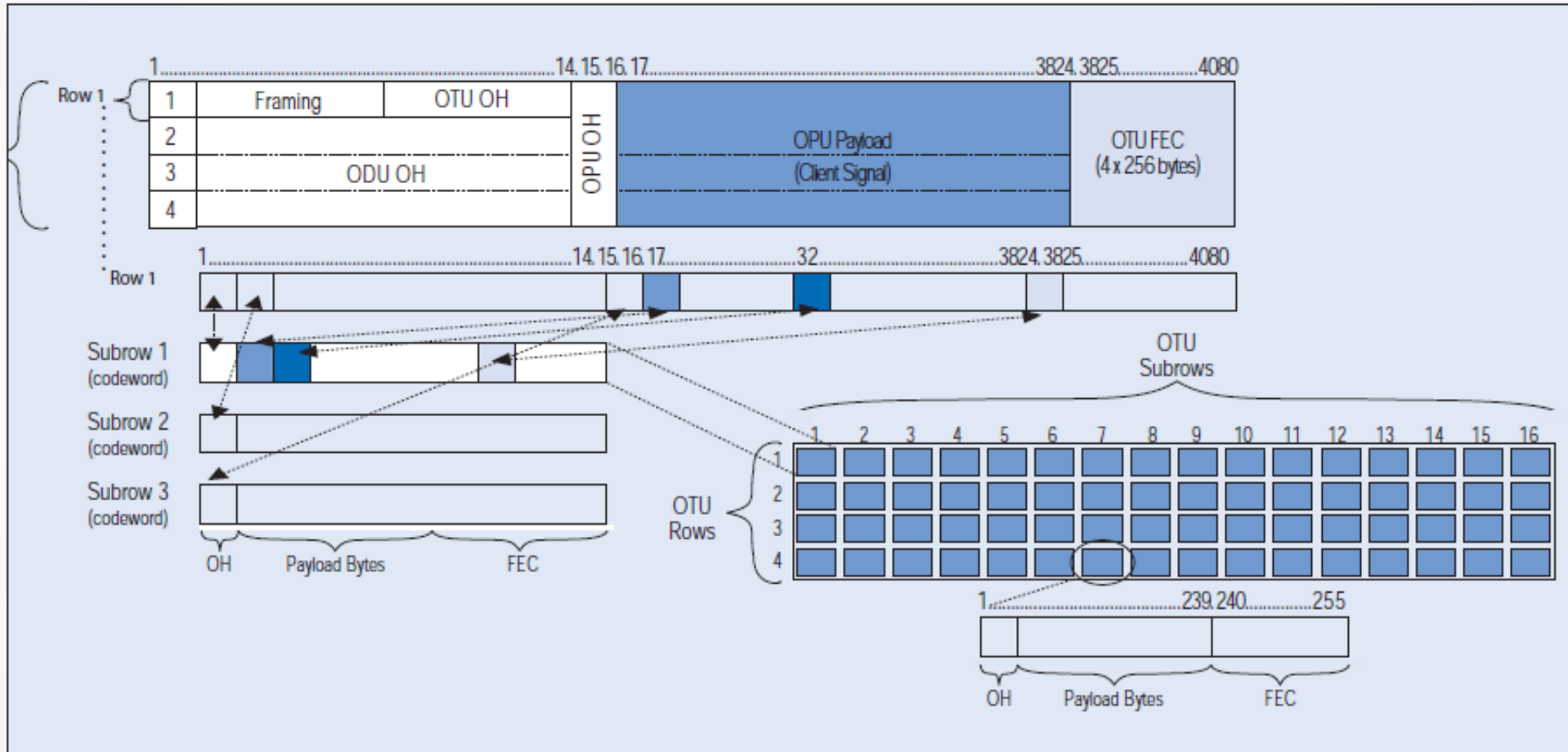
$$C(x) = p'(x) + p'(x) \bmod g(x)$$

$$C'(x) = C(x) + E(x), \text{ тогда}$$

$$C'(x) \bmod g(x) = E(x) \bmod g(x) = e(x) \neq 0.$$



FEC механизм

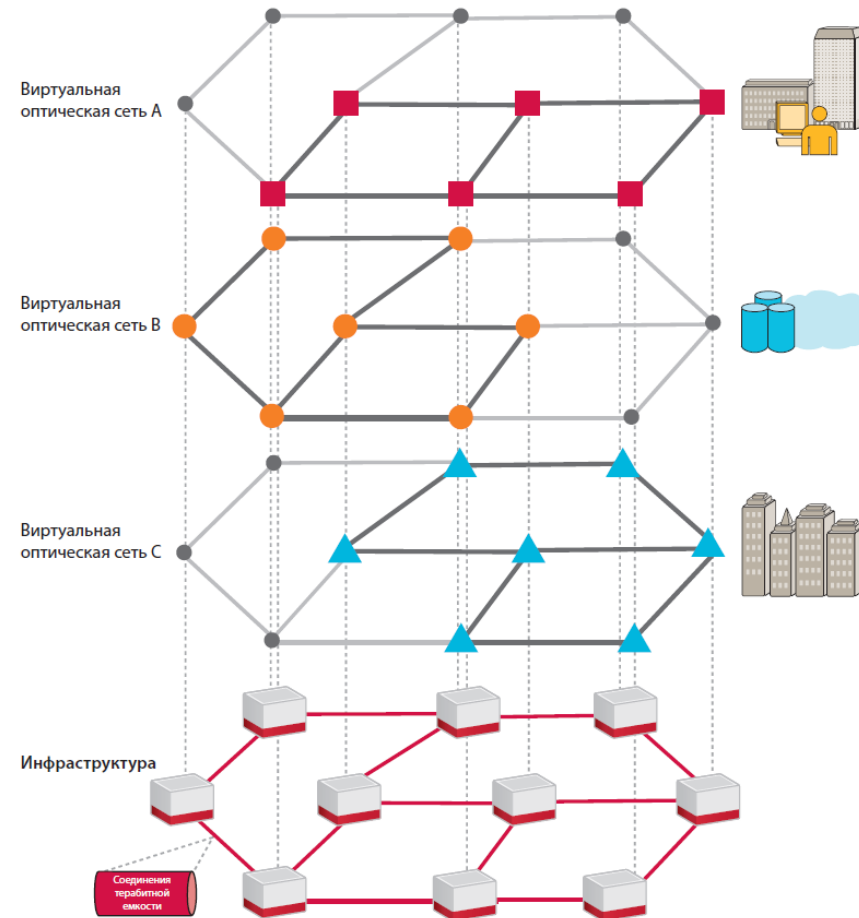




Примеры применения

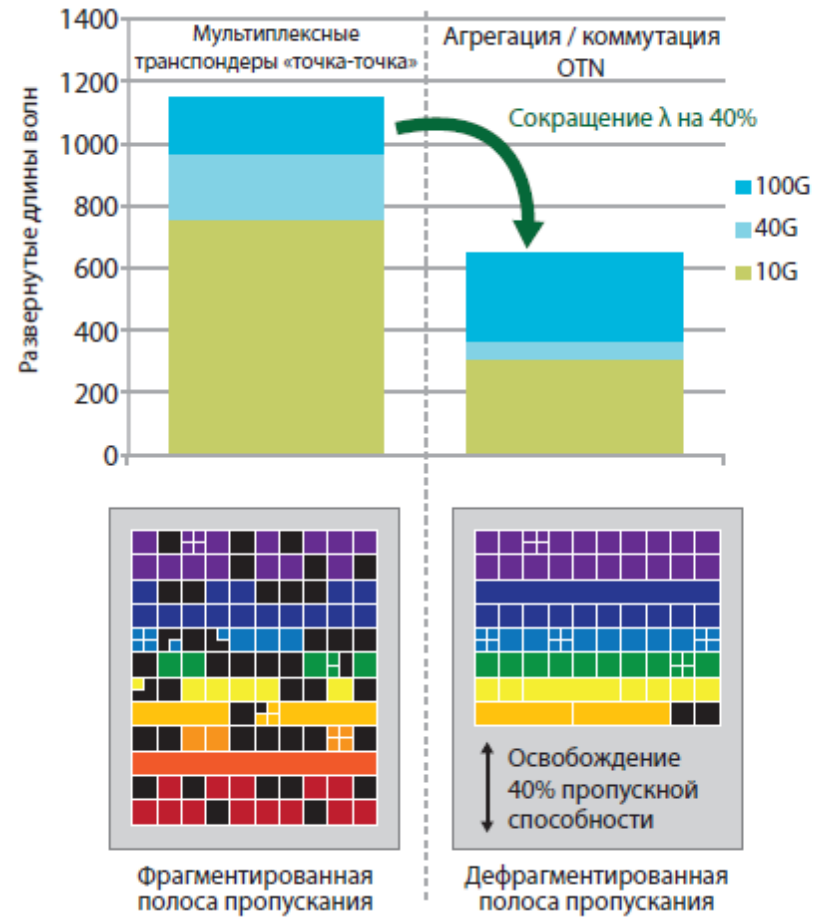


Виртуальные сети на база OTN





Дефрагментирование загрузки линий



OTN и динамическое управление в супероблаке





Заключение

- Услуги для клиентов имеют множество различий: от скорости передачи данных до требований по качеству и уровню надежности.
- Сети с коммутацией пакетов не всегда могут удовлетворить строгие требования высокопроизводительных услуг, такие как минимальный уровень задержки, отсутствие потерь, высокая скорость передачи данных и предсказуемое время восстановления (не более 50 мс).
- OTN обеспечивает предсказуемую и простую модель предоставления услуг, дополняющую сети с коммутацией пакетов, благодаря уникальным возможностям и функциям, таким как прозрачность услуг, сквозной мониторинг, усиленную коррекцию ошибок, встроенные средства измерения задержки, которые необходимы для соответствия строгим требованиям услуг с высоким качеством канала и специальных сервисов.
- Сопряжение с MPLS-TE



Спутниковая связь

Доп. главы Компьютерных сетей и
телекоммуникации
чл-корр. РАН Смелянский Р.Л.

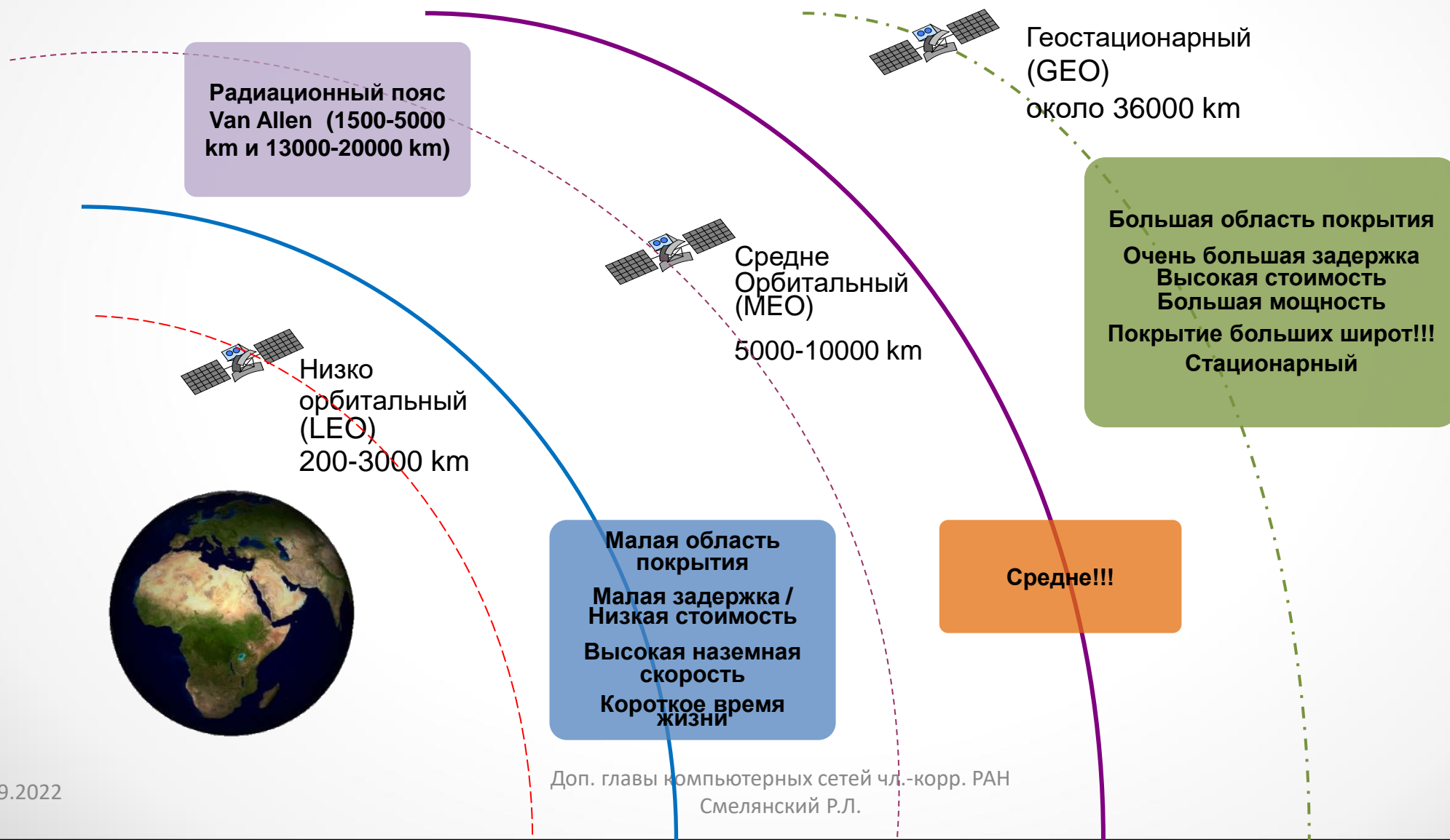


Спутниковые системы

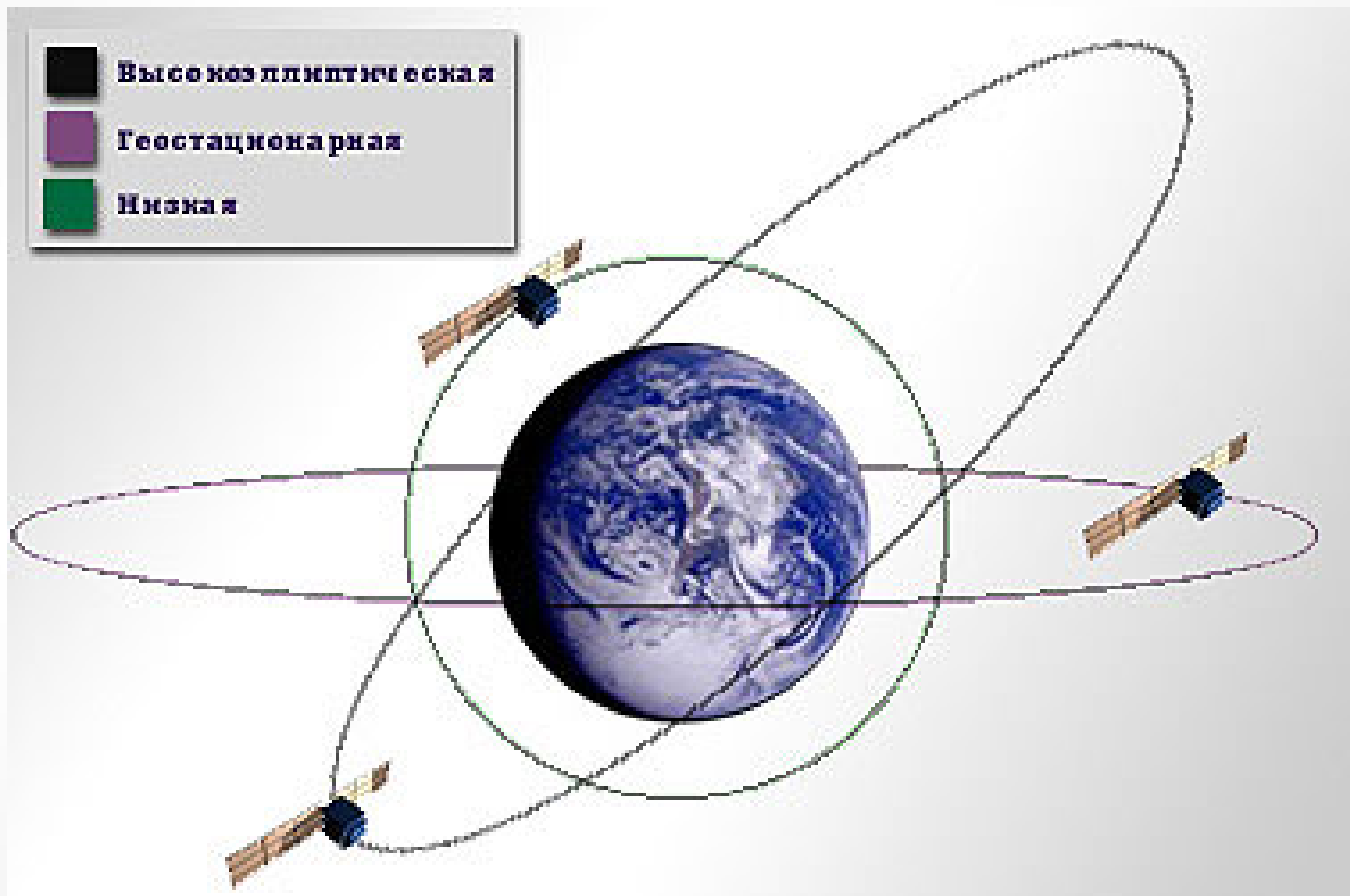
- По расположению
 - Геостационарные спутники
 - Средне орбитальные спутниковые системы
 - Низкоорбитальные системы
 - С высоко эллиптическими орбитами
- По назначению
 - Персональная связь
 - Корпоративные VSAT системы
 - Телевизионные системы



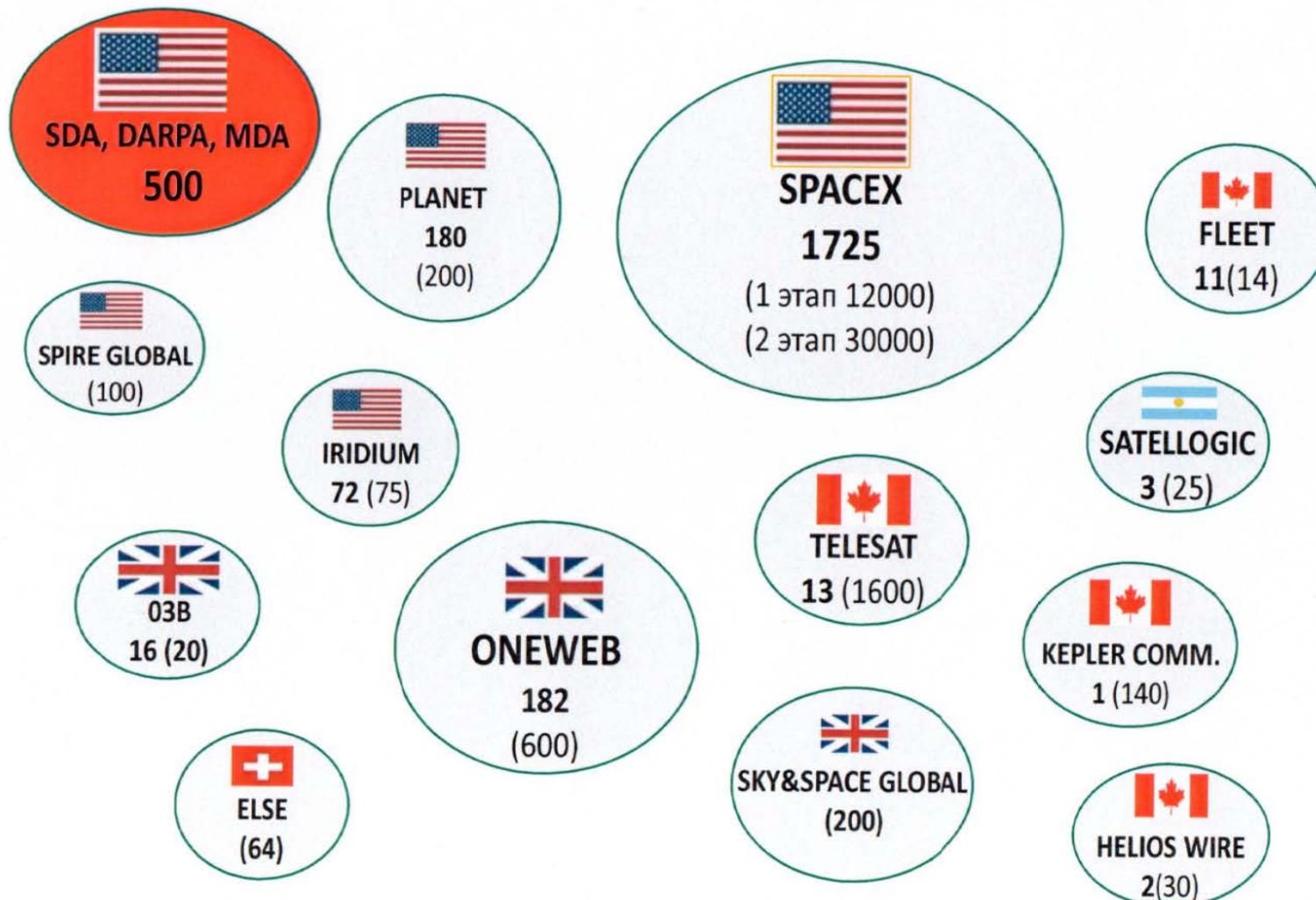
Спутники



Высоко эллиптическая орбита



СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ





Высоко эллиптическая орбита

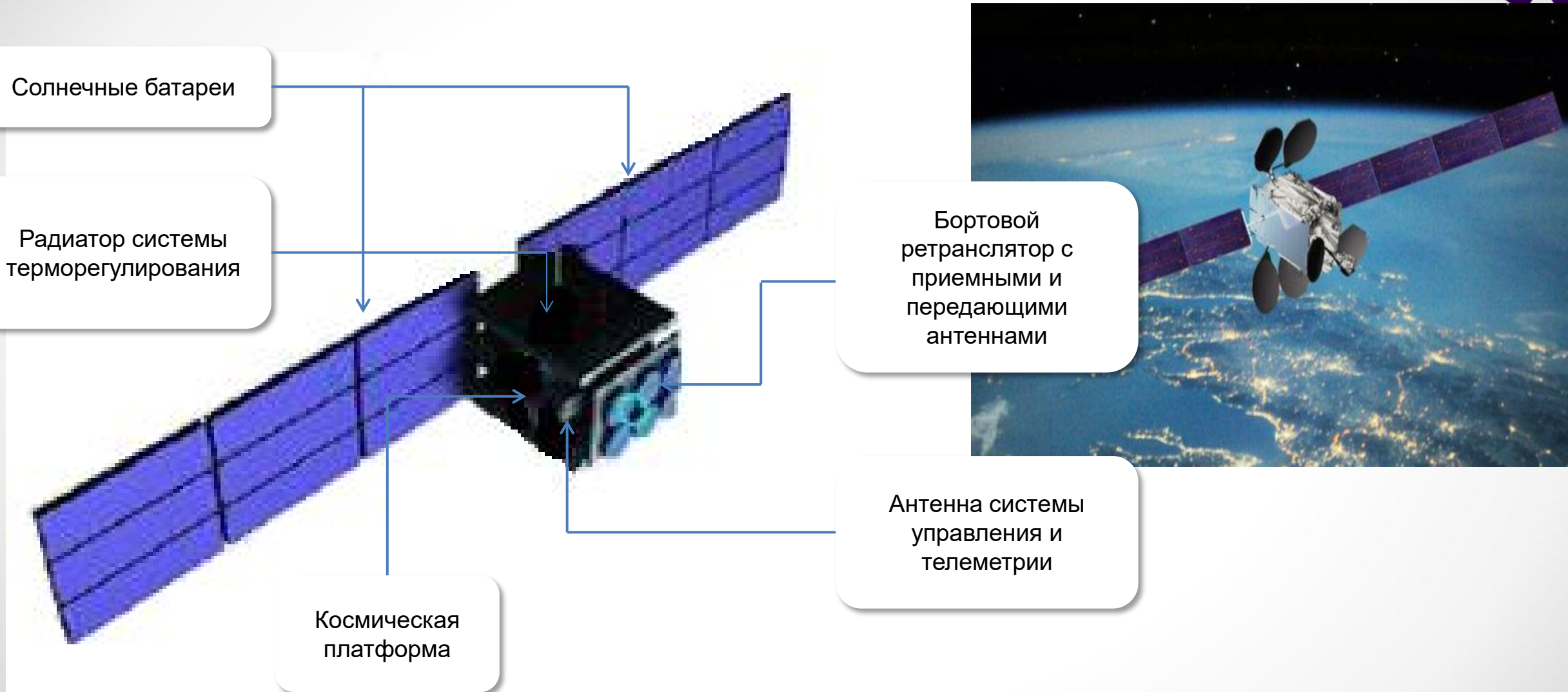
Период обращения (час)	Число витков в сутки	Высота круговой орбиты	Высота эллиптической орбиты (км)	
			апогей	перигей
4	6	6750	500	13000
6	4	10750	500	21000
8	3	14250	500	28000
12	2	20325	500	40250
24	1	35878	500	71250



Геостационарные спутники

- Принцип функционирования
- Устройство антенной системы
- Устройство спутника – транспондерная система
- Частотное распределение

Архитектура спутника связи



Основные диапазоны спутниковых частот





Низко орбитальные спутники

- S^3 индивидуального пользования – актуальность
- Принцип работы
- Иридиум – 1990 Моторола
 - 77 спутников (позднее 66) на 750 км по 11 на меридиан
 - межспутниковая связь
 - каждый спутник 48 пятен по 174 дуплексных телефонных каналов (283 272 канала)

Низко орбитальные спутники





Спутниковые системы связи – СЗ

- Большая задержка при передаче - 250-300 мсек, против 3-5мксек/км на коаксиале, оптоволокне и т.д.
- Спутниковые системы принципиально вещательного типа. Для некоторых приложений это очень важно. Стоимость передачи не зависит скольким получателям сообщение предназначено. Однако, проблема безопасности передаваемой информации здесь требует особого внимания - все слышат все, что передается. Решение этой проблемы - только шифрование.
- Стоимость передачи не зависит от расстояния.
- Этот способ передачи имеет очень низкий коэффициент ошибок при передаче.



Основные категории СЗ

- Персональной связи (Iridium, Inmarsat, Globalstar, ICO, Ellipso, Thuraya)
- VSAT системы корпоративной связи (Памир, Ямал, Банкир)
- Системы телевизионного вещания



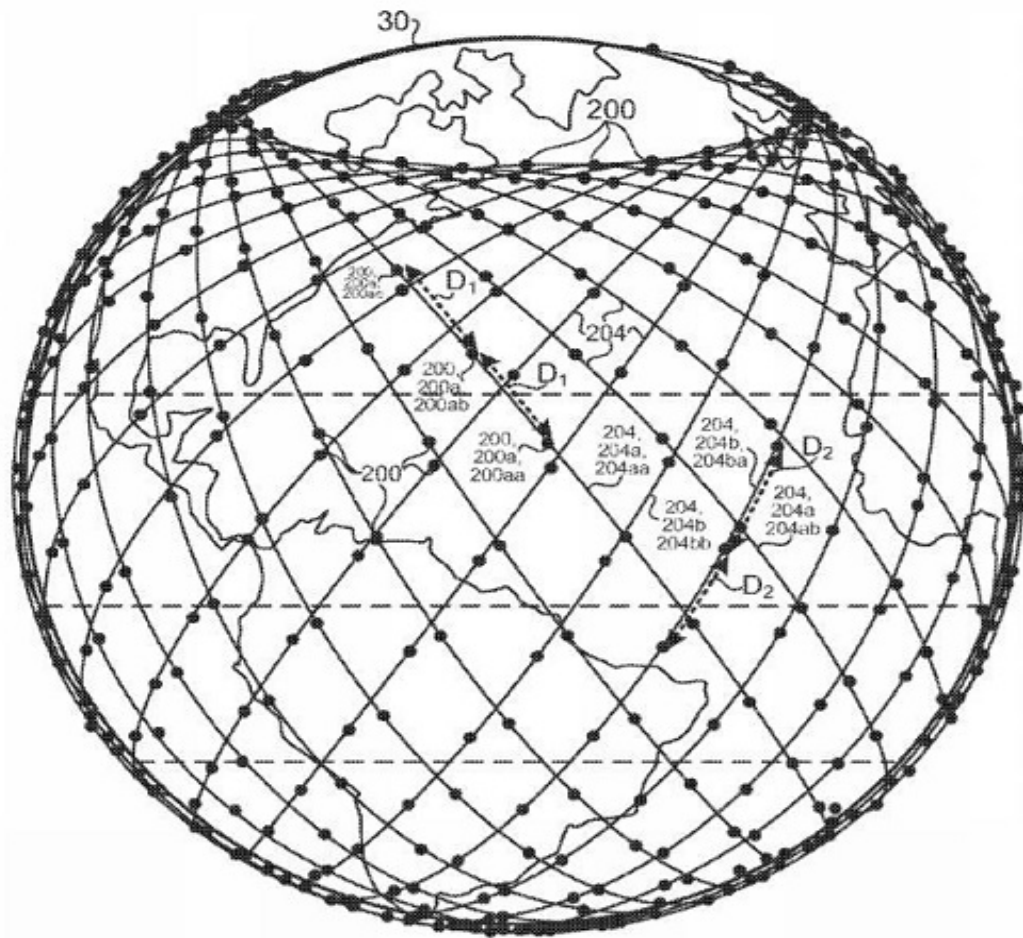
Персональная спутниковая связь

- Iridium – 17.03.00 прекратил свое функционирование как система общего доступа
- Inmarsat – среднеорбитальная С³ обслуживает 143 тыс. наземных терминалов, **скорость 2.4 – 64 Кб/сек**
- Globalstar – низкоорбит. система в С диапазоне (март 2000)
 - 48 спутников на 1414 км. + 4 резерв
 - Наземные станции Москва, Новосибирск, Хабаровск
 - Интегрирована в тел.сеть России (954)
 - Технология CDMA
 - Скорость 1.2 – 9.6 Кб/сек
- ICO (Intermediate Circular Orbit) - выделилась из Inmarsat в 1995
 - Среднеорбитальная система из 10 спутников на 10 390 км.
 - 6 часов в зоне радиоприема
 - 43 SAN станции



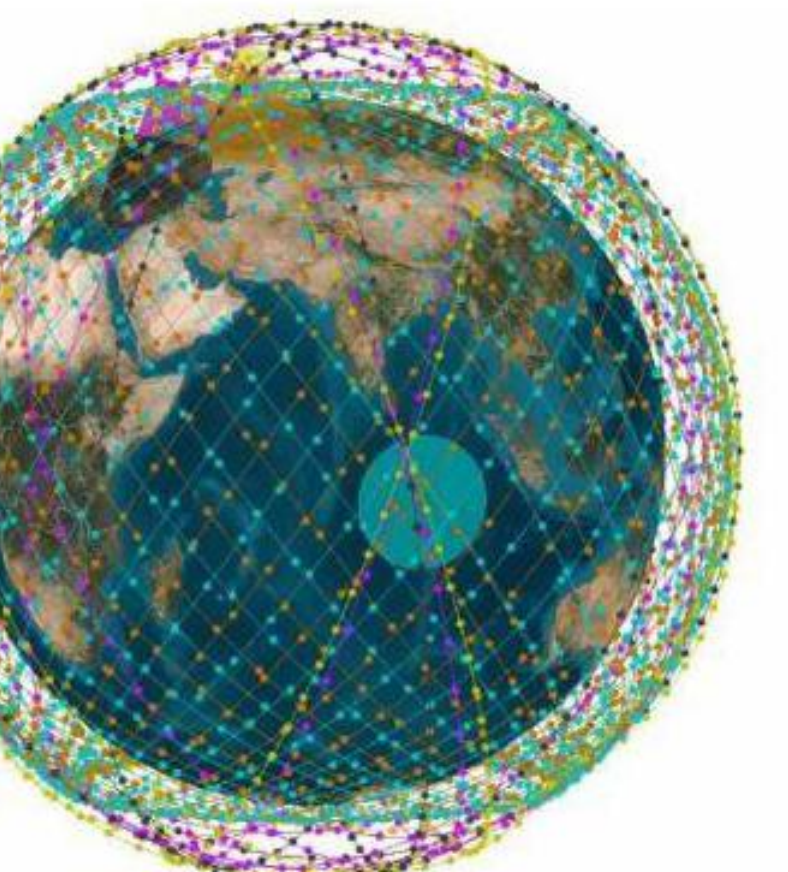


Starlink



Группировка VLEO системы Starlink:

Высота орбиты, км	Наклонение орбиты, градусов	Число орбит/плоскостей с данным наклонением	Количество спутников в каждой плоскости	Кол-во спутников на орбите			
				2,547	2,478	2,493	
1150	53	32	50	Высота орбиты, км	345,6	340,8	335,9
1110	53.8	32	50	Наклонение, град.	53	48	42
1130	74	8	50				
1275	81	5	75				
1325	70	6	75				



Starlink

На 31.12.2021

число спутников = 1944, подписчиков – 100 000,
задержка = 9 мс, скорость передачи = 560 Мб/с
планируется $72 * 22 = 1564$

<https://ru.wikipedia.org/wiki/Starlink>

<https://trends.rbc.ru/trends/industry/5f72f4e39a7947caaf0f5bf1>

Starlink 550km



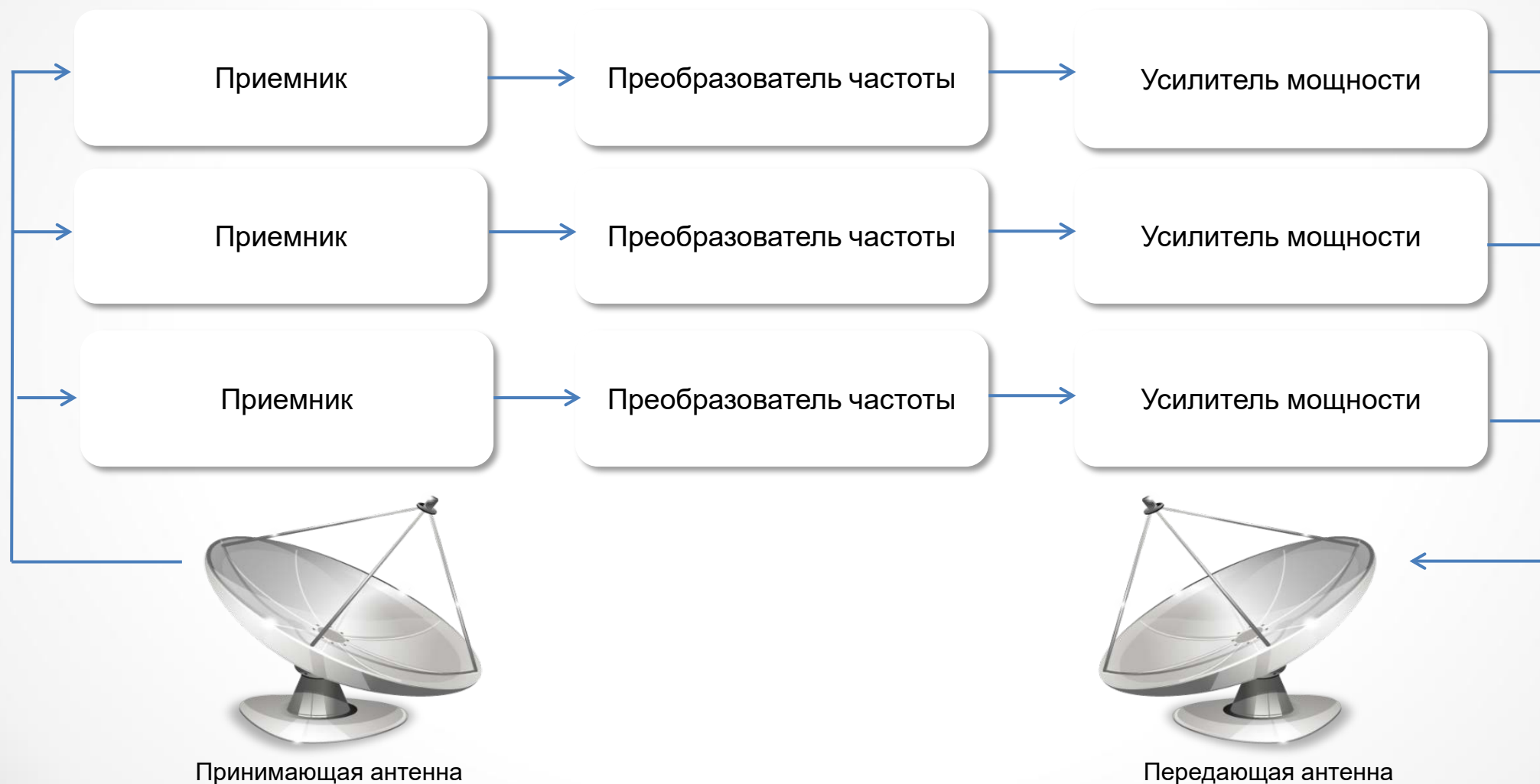
Число
орбит/плоскостей
с данным
наклоением

Кол-во спутников
каждой
плоскости

Высота орбиты, км

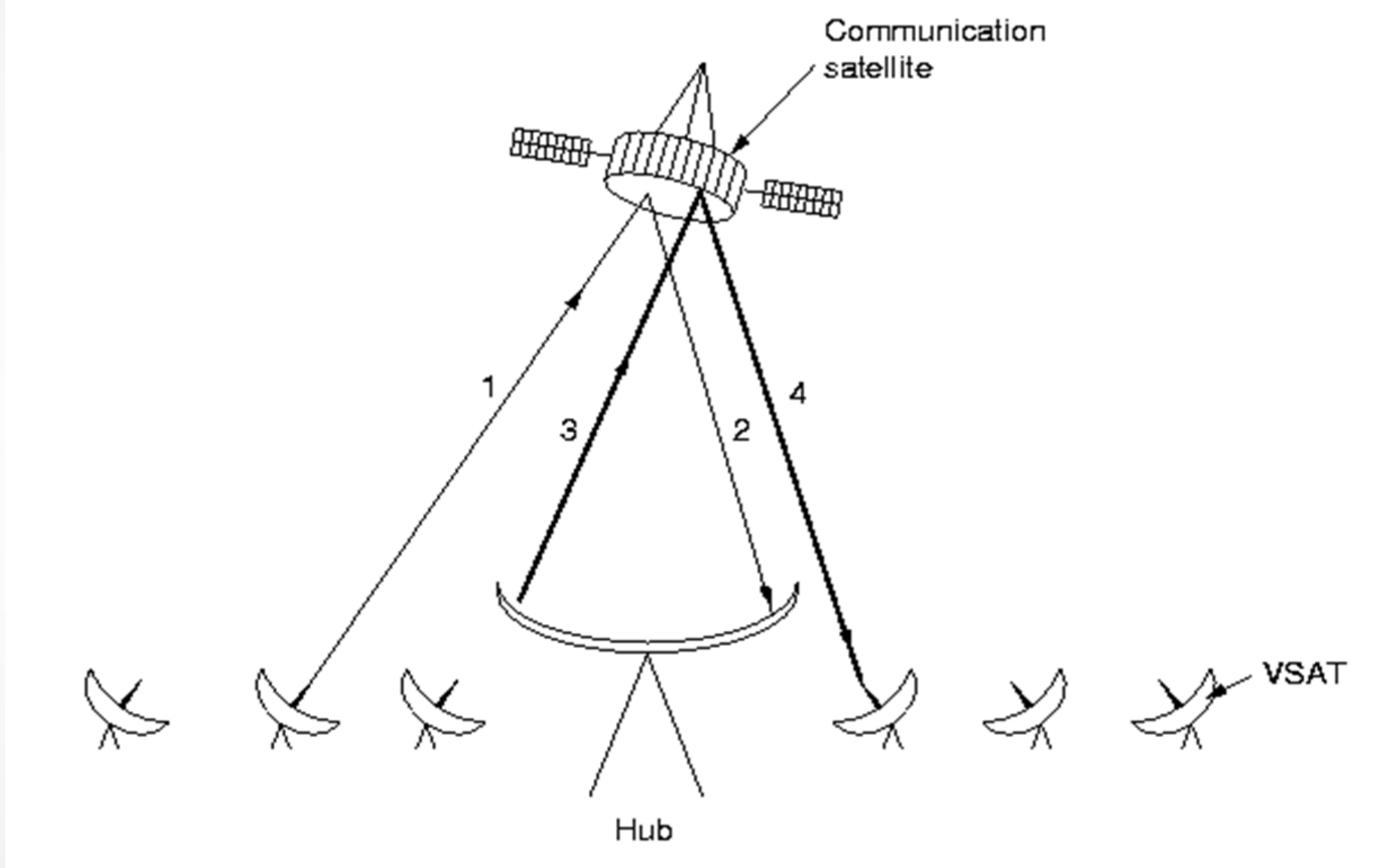
Наклонение, град.

Архитектура VSAT систем связи

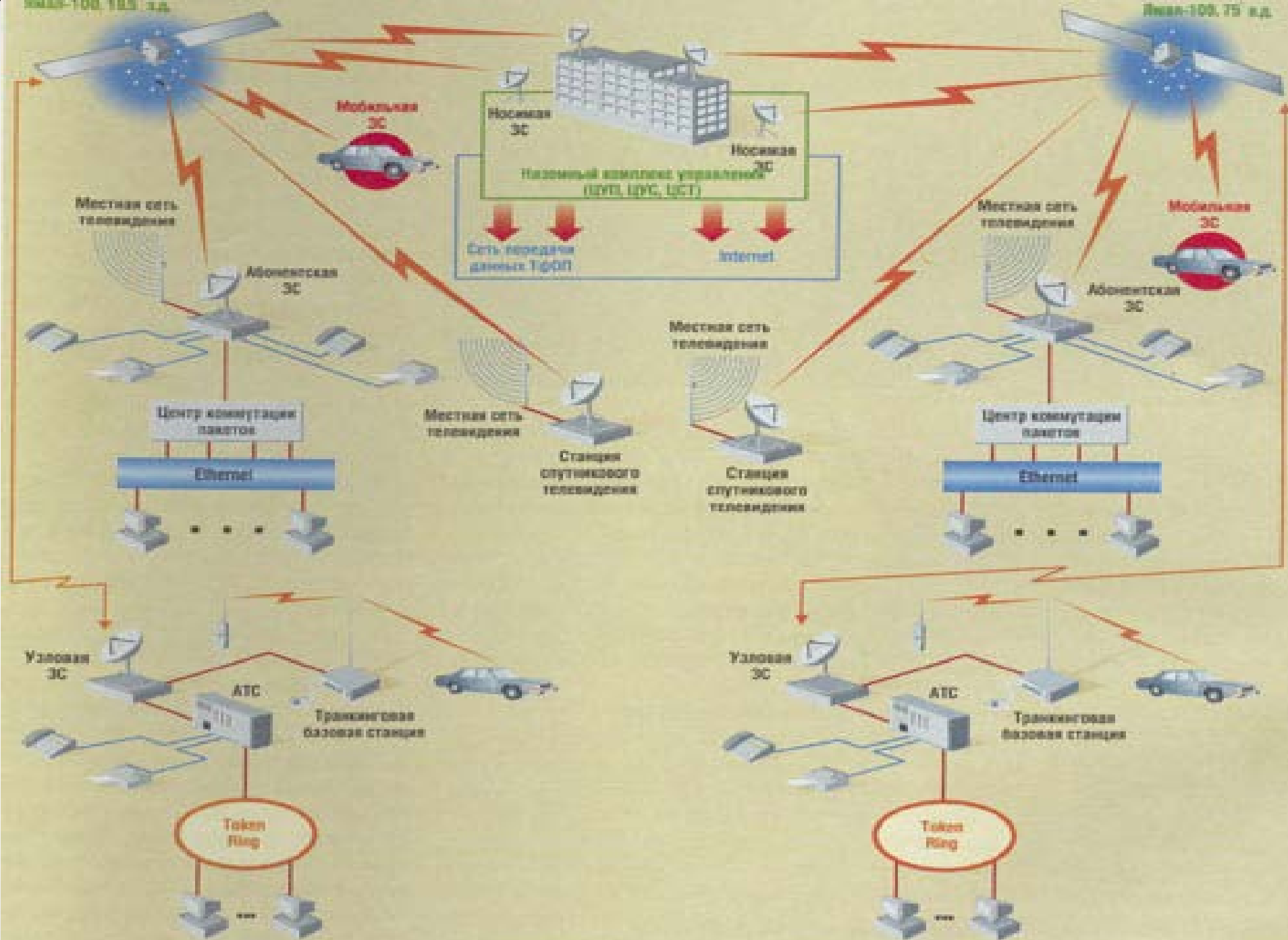




VSAT станции, использующие hub







Характерные особенности технической реализации систем



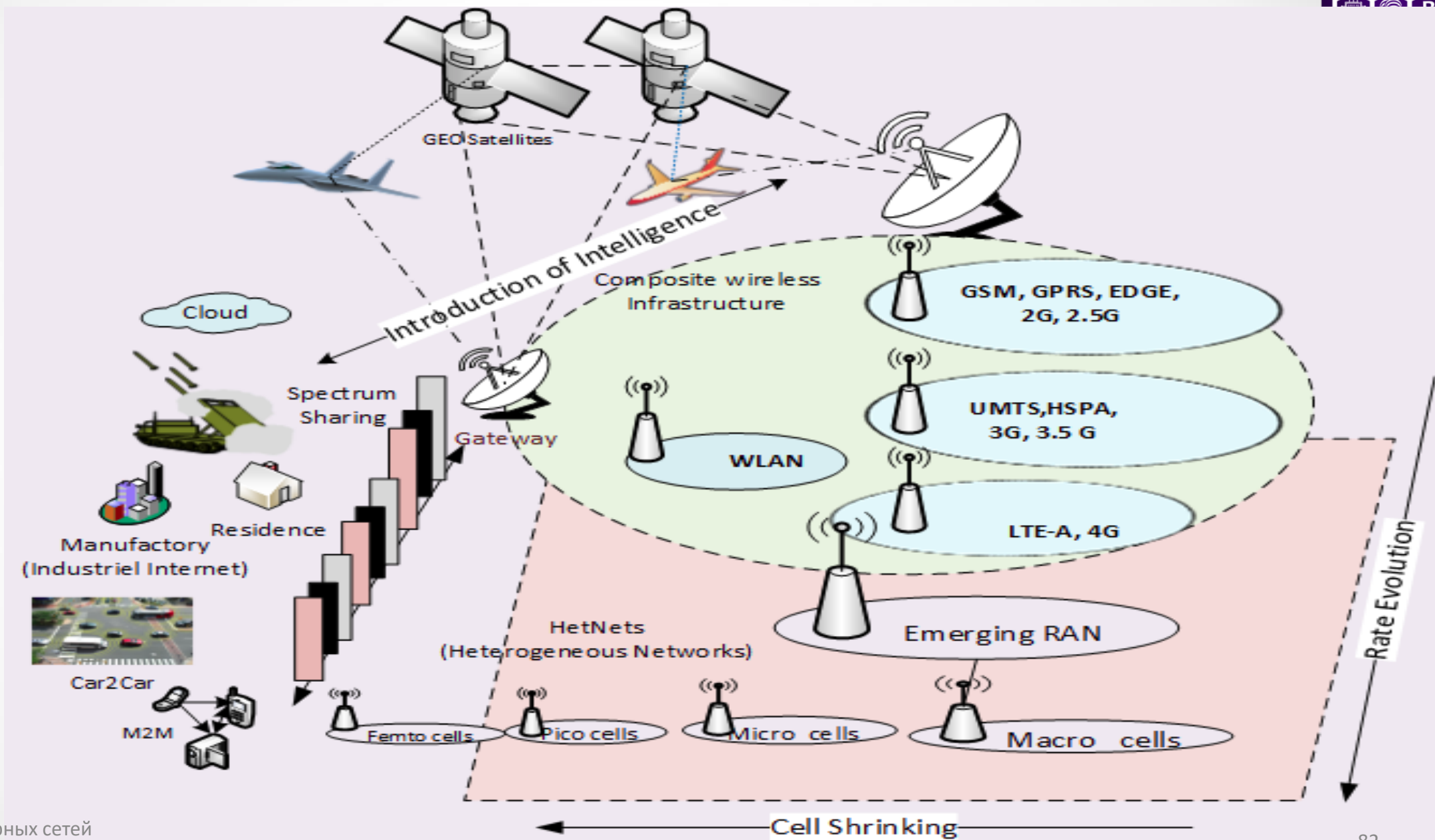
- Практически все заявленные системы будут работать в Ка-диапазоне частот (20/30 ГГц)
- Наличие межспутниковых радиолиний (60ГГц)
- Многолучевые антенны (десятки лучей) на геостационарных системах
- Использование ФАР на низкоорбитальных системах
- Коммутация каналов каждый_с_каждым
 - Земля-КА – FDMA
 - КА-Земля - TDMA
- Принципиально новый сервис

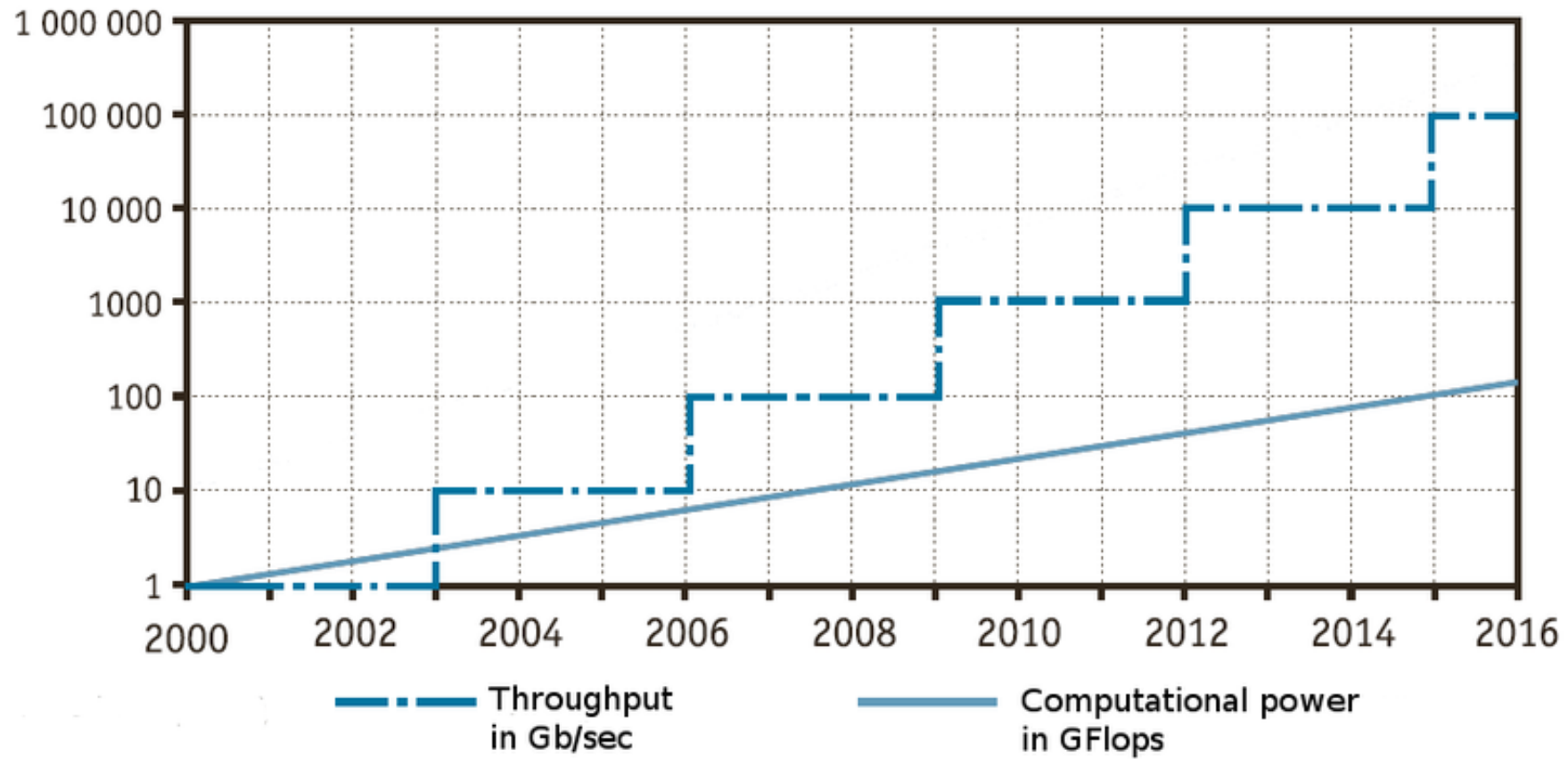
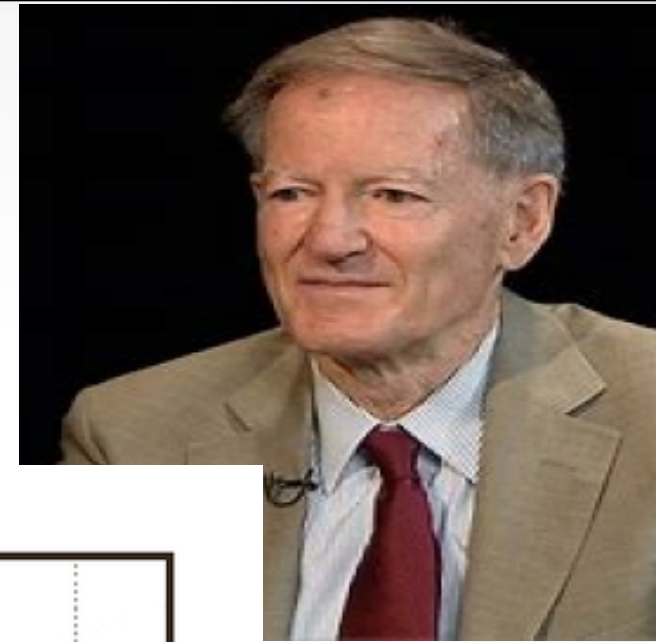
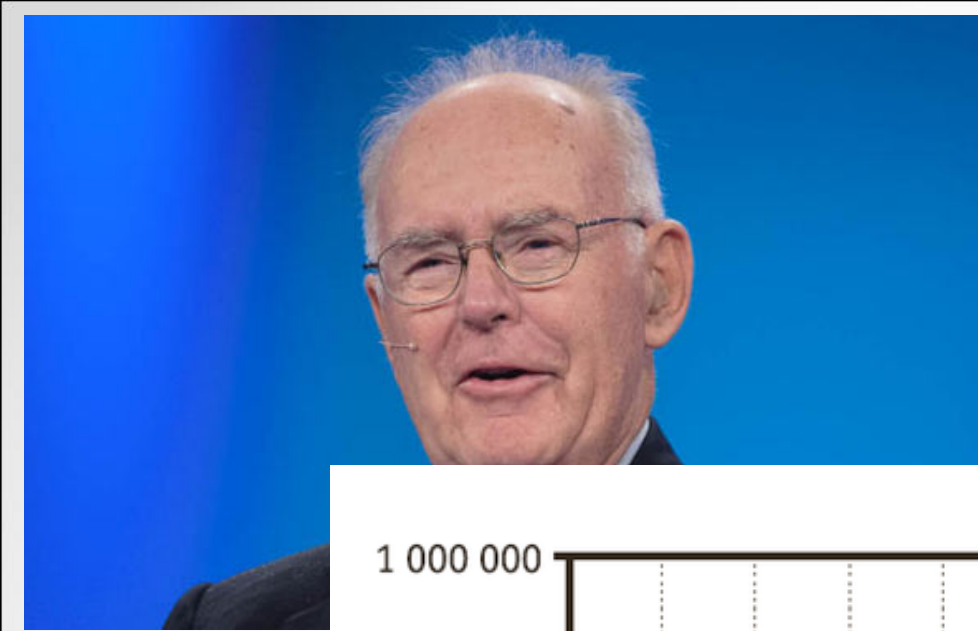
Достоинства спутниковых систем СВЯЗИ



- Достаточно установить антенну на крыше, и вам доступна вся пропускная способность спутника.
- Спутник доступен практически всегда.
- Мобильность. Сейчас люди хотят иметь связь всегда: на прогулке, путешествуя. Сочетание сотовой связи и оптоволокна не всегда решает эту проблему: как быть на корабле или самолете?
- Там где вещание принципиально необходимо - спутник не заменим.
- Спутник не заменим там, где географические условия не позволяют создать развитую кабельную систему или развернуть сеть радиодоступа.
- Спутник хорош везде где надо быстро развернуть систему передачи данных. Где нет времени или средств создавать кабельную инфраструктуру или сеть радиодоступа.

В качестве заключения





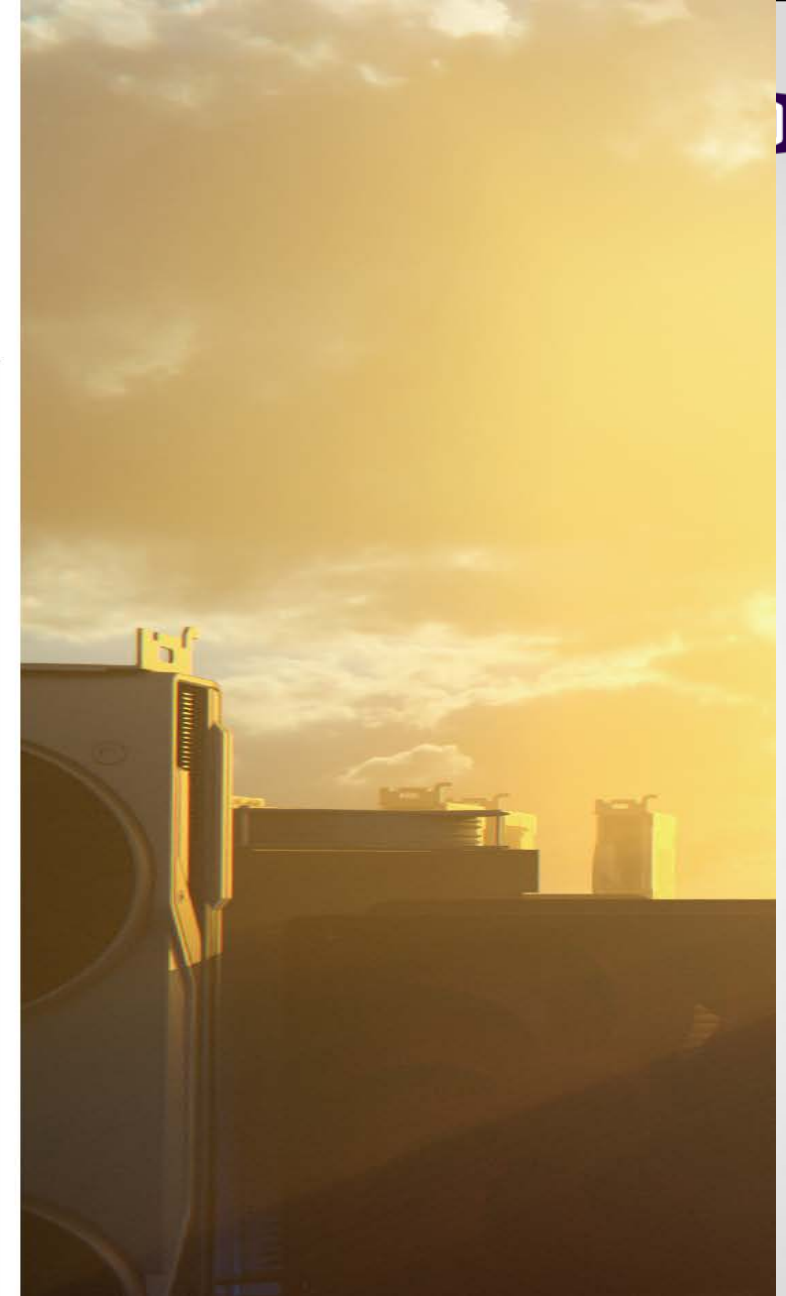
turing lecture

DOI:10.1145/3282307

Innovations like domain-specific hardware, enhanced security, open instruction sets, and agile chip development will lead the way.

BY JOHN L. HENNESSY AND DAVID A. PATTERSON

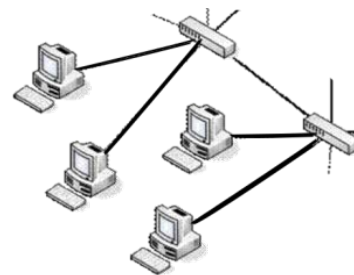
A New Golden Age for Computer Architecture





New Golden Age of Computational Infrastructure

- the end 60-s – Computer installation with job packet processing;
- 70-s - mainframe computer center with terminal network;
- 80-s – Client-Server infrastructure with network access;
- 90-s – Servers Farm with Frontend server with access via LAN;
- 2000-s – monstrous DC with access via high speed WAN;
- Quo Vadis?



Application Requirements + Hardware Capabilities + Software Engineering

The main force of computational infrastructure developments are applications needs!

Applications suite of features

- **Distributed** – applications are composed of a set of functions/services that run in parallel on different nodes and have to integrate geographically distributed data;
- **Serverless** - unlike classic applications, the user does not care about installing, allocation and configuring the application;
- **Elasticity** – the power of the computing system is transparent to the application and can be performed without service interruption;
- **Real-Time mode** – applications are sensitive to delays and have the limitation for response time;
- **Cross-platform** - it doesn't matter what software environment or hardware platform is available for the application;
- **Interaction and Synchronization** - combining the results of different stages of computations, regardless of their location, aggregation of service chains;
- **Maintainability** - updating the application does not require any action on the part of the user;
- **Reliability and Availability** - all types of resources are always available, including data and code, in case of any failure of the physical infrastructure.





Computational Infrastructure Requirements

- **Deterministic behavior** – it behaves as expected to be;
- **Safety** – it does not pose unacceptable risks to the application and its data like Confidentiality, Integrity;
- **Survivability** – the infrastructure services should be robust enough to withstand accidents and attacks;
- **Maintainability** – its hardware and services should not be difficult or excessively expensive;
- **Velocity and efficiency** – the infrastructure must ensure the delivery and processing of data continuously, reliably, with minimal impact on the rest of the traffic;
- **Resilient** - it must react in real time to changes in topology, traffic flows and shape routing in accordance with the requirements of applications;
- **Fairness** - Satisfy SLA requirements for all data flows according to their priorities, without controllable mutual affecting;
- **Availability, Reliability and Fault Tolerance** - the infrastructure and its services are mostly available, with very little or no down time and remain operational in the face of failures, minimize packet loss and retransmission;
- **Scalability** - it should be efficiently scalable depend on the number of data, services and applications points of presence in terms of performance;
- **Serverless** - the environment distributes application components (data handlers) and ensures their interaction, relieving the programmer or user from such worries;
- **Virtualization** - virtualization of all types of resources (computing, storage, network).

Network is a Super Large Scalable Computer



Fully Controllable Programmable Virtualized Infrastructure

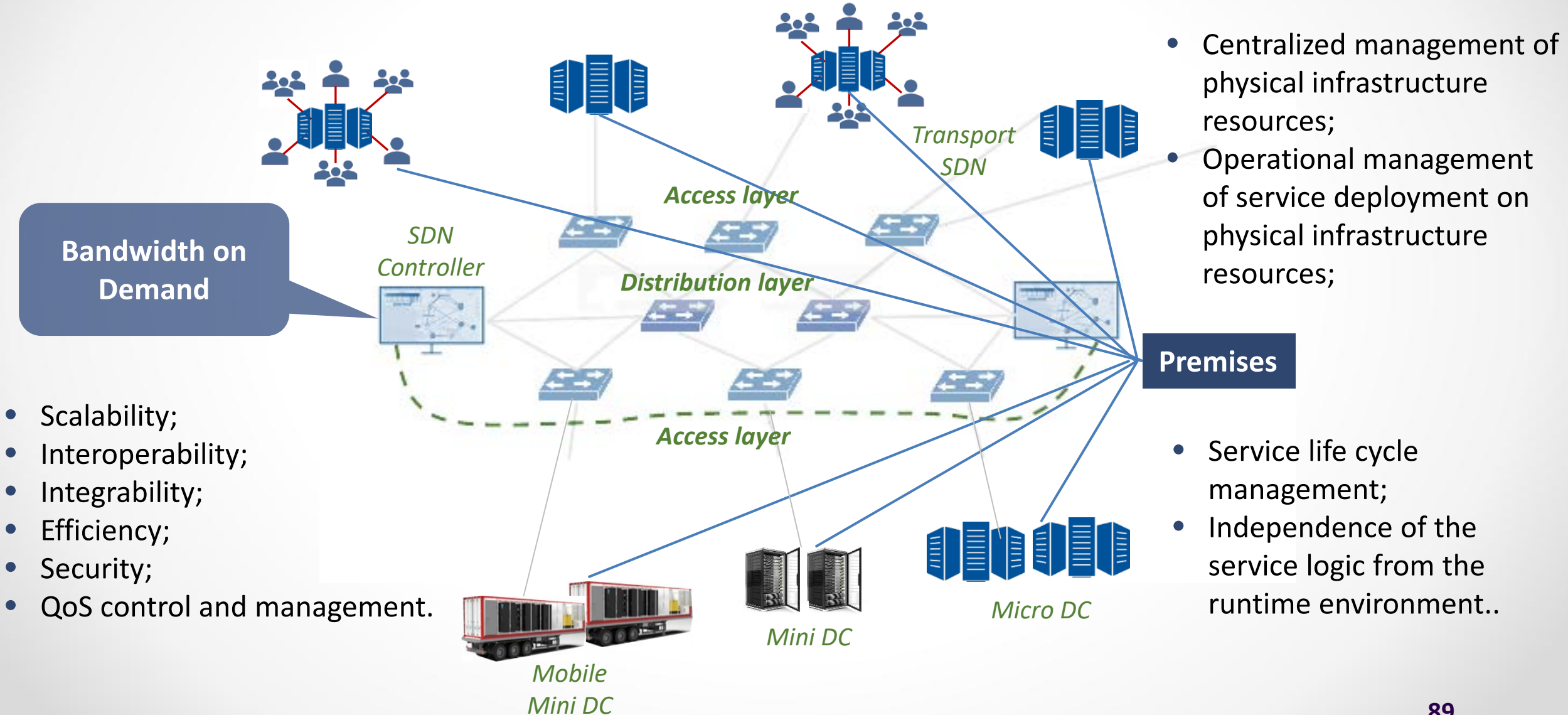
John Gage: SunMicrosystems

- distributed hierarchical control;
- intellectual control; hierarchical control;
- cooperative management;
- trade off centralized and decentralized control;
- active use of forecasting methods based on ML.

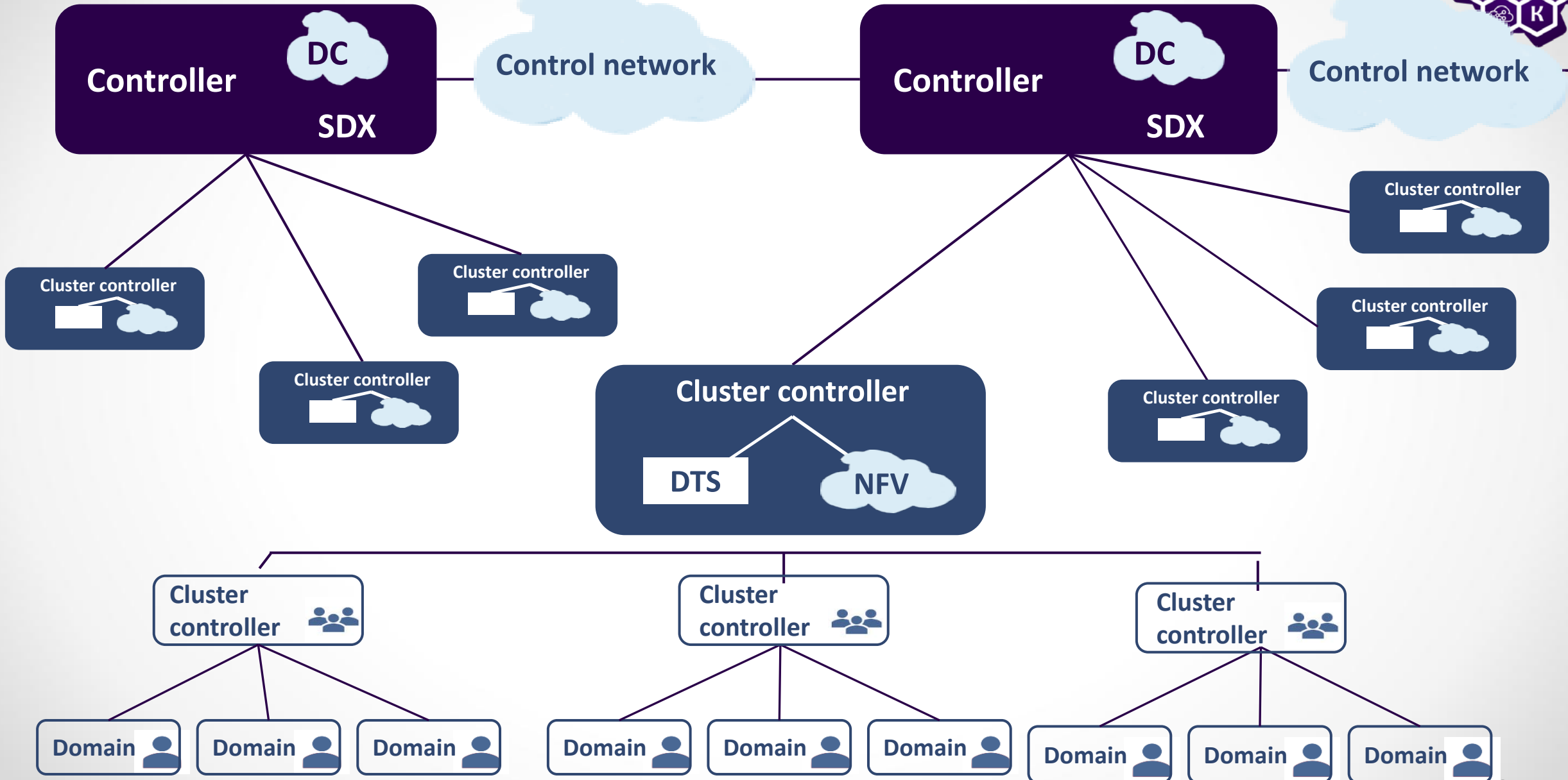
Software Defined Network



Data Consumers and Data Sources



Distributed Control Plane



Service Centric Network

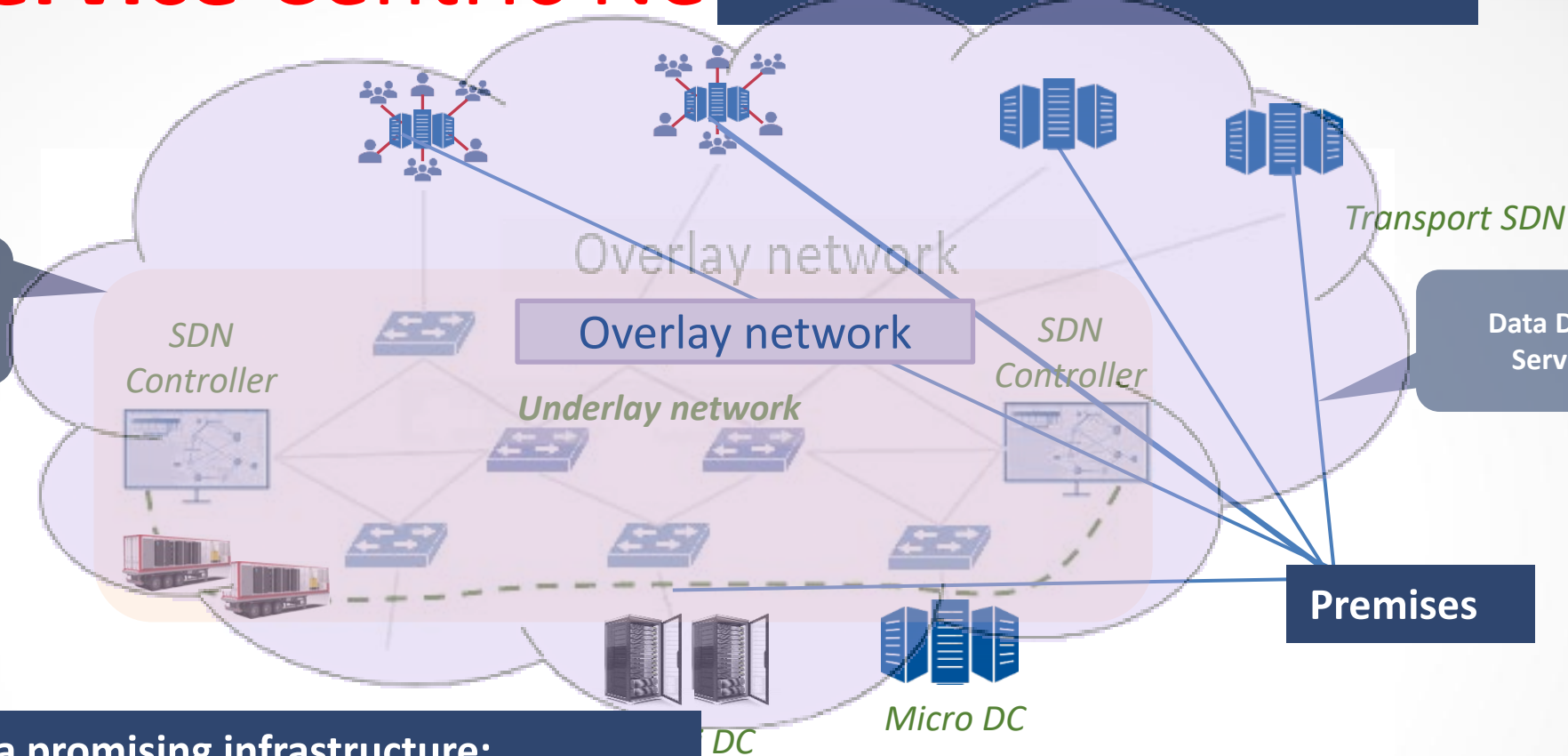


Consumers and data sources

Virtualized Service Environment (BCC)

Data Distribution Service (DDS)

Premises



Basic components of a promising infrastructure:

- QoS monitoring and forecasting system;
- Underlay network management system based on SDN;
- Overlay network management system;
- System of optimal underlay network resource distribution;
- Systems for coordinated management of transport SDN domains based on SDN/ NFV technologies, including basic services and functions;
- Service lifecycle management systems in distributed data centers based on NFV technology;
- System for monitoring and managing the service operation;
- System of optimal service deployment and migration;
- Computational tasks scheduling and distributing system.

Efficient and Predictable Behavior



- Forecasting the computing execution time;
- The ability to adjust a computing node for application - dynamically configurable computer;
- To make a packet flow to be deterministic, it is necessary:
 - to control the end-to-end delay and jitter via network;
 - to control the packet loss probability in the network at a given SLA level.
- use the available bandwidth as efficiently as possible (massive excessive use of resources is prohibited, like a flooding);
- unpredictable transmission delays caused by Data Communication Network (DCN) are unacceptable, for example, packet delay due to out-of-order packets, transition from BEC to FEC, congestion feedback;
- channel QoS prediction and optimal channel selection.

The scaling range of the network service is huge and in real time, which put high demands on the algorithm time complexity

Efficient and Predictable Behavior



- The operating environment must meet the application requirements;
- A variety of ML methods for distribution, balancing, shaping, filtering and other TE methods at each hop in DTN;
- Reliable isolation of the control plane and the data plane from errors in the switching equipment, as well as the isolation of different data flows in these planes;
- Multi-Agent methods in TEs and tasks distribution.



Because of algorithmic complexity restriction, only sub-optimal solutions are available using methods based on machine learning