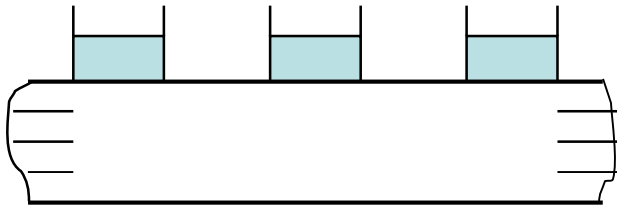
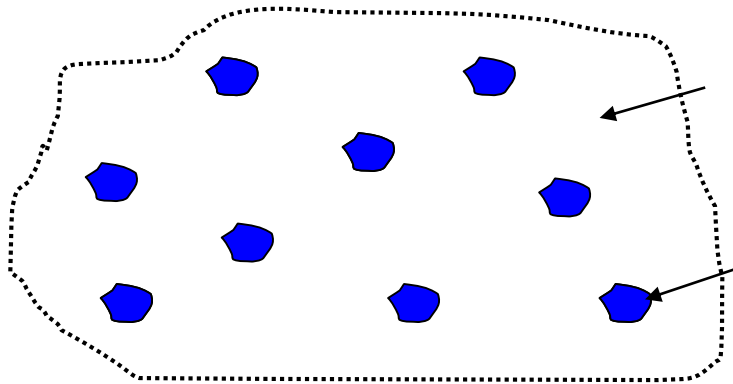


## 2. Транспортировка битовых потоков

### 2.1 Общая организация транспортных сетей



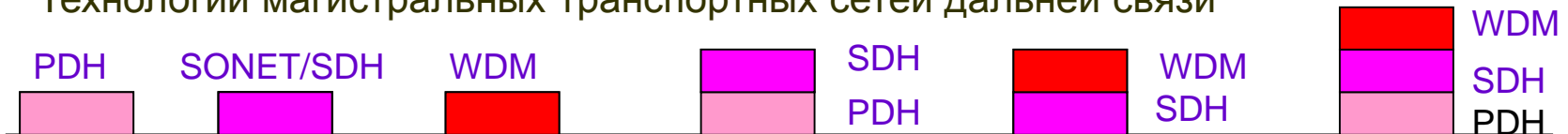
■ Физический уровень сетевых узлов  
Физическая среда современных компьютерных сетей:  
многоуровневая система, транспортирующая структурированные  
потоки битов



Территория магистральных транспортных сетей  
дальней связи

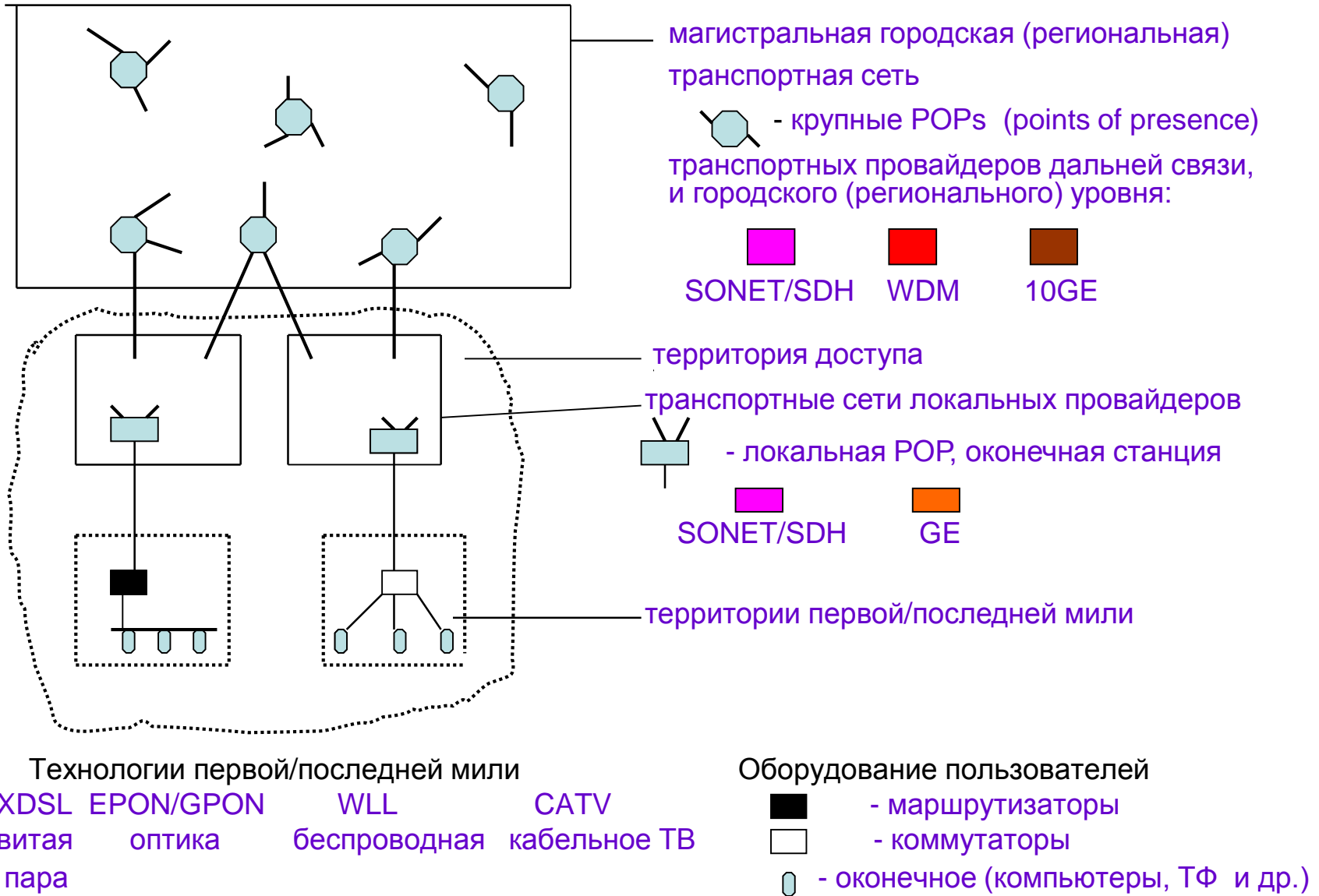
Зона сосредоточения пользователей  
(предоставления транспортных услуг)

#### Технологии магистральных транспортных сетей дальней связи



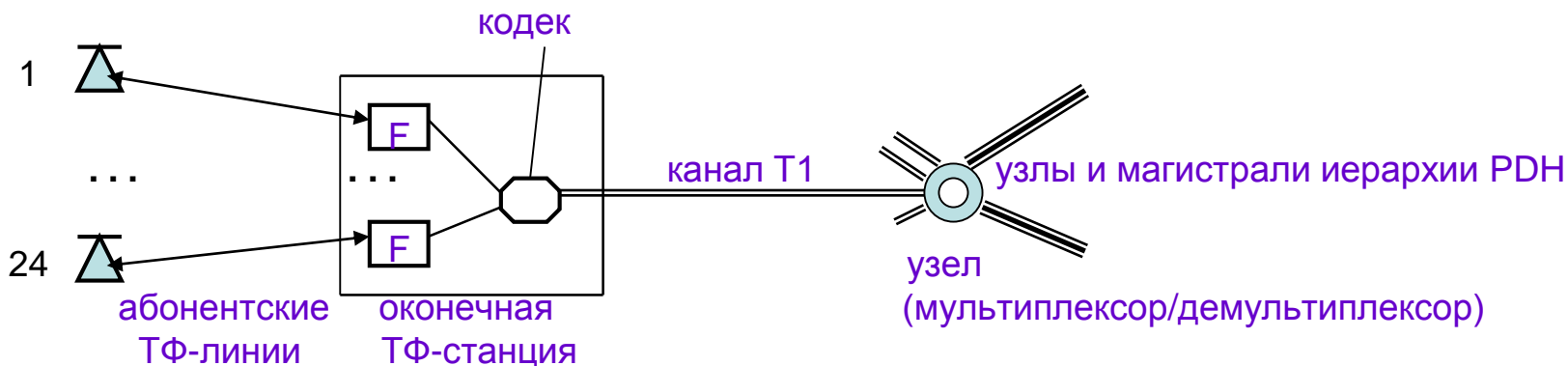
## 2.2 Зона предоставления транспортных услуг

к магистральным транспортным сетям  
дальней связи



## 2.3 Технология PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)

### Обобщенная структура сети PDH на основе технологии T1



кодeк – реализация технологии РAМ для каждого абонента (раздел 1.3.4.1), по-байтовое мультиплексирование/демультиплексирование в канале Т1.

F – фильтр голосового сигнала (300 – 3400 Гц)

Нижний уровень иерархии – технологии Т1 (США, Канада, Япония) и Е1 (Европа)

Т1: 24 байта в кадре, 1 синхробит на кадр, скорость  $(24 \times 8 + 1) / (125 \times 10^{-6}) = 1.544$  Мбит/с

Е1: 32 байта в кадре, 1 синхробайт и 1 служебный байт на кадр, скорость 2.048 Мбит/с

Иерархия стандартных скоростей

	DS1	DS2	DS3	DS4	
Т1:	1.544	x4 6.132	x7 44.736	x6 274.176	Мбит/с
Е1:	2.048	x4 8.488	x4 34.368	x4 139.264	Мбит/с

Возможности

Передача оцифрованных аналоговых данных (ТФ/ТВ) и цифровых данных (компьютер и др.)

Аренда каналов любой стандартной скорости

Коммутация каналов X → Y: перемещение байтов с позиции X в позицию Y в структуре кадра

Ограничения

Недостаточная скорость

Проблемы синхронизации: необходимость демультиплексирования (и повторного мультиплексирования) общего канала при извлечении одного потока в промежуточном узле

## 2.4 Технология SONET/SDH

SONET (Synchronous Optical Network) – стандарт AT&T

SDH (Synchronous Digital Hierarchy) – стандарт ITU-U

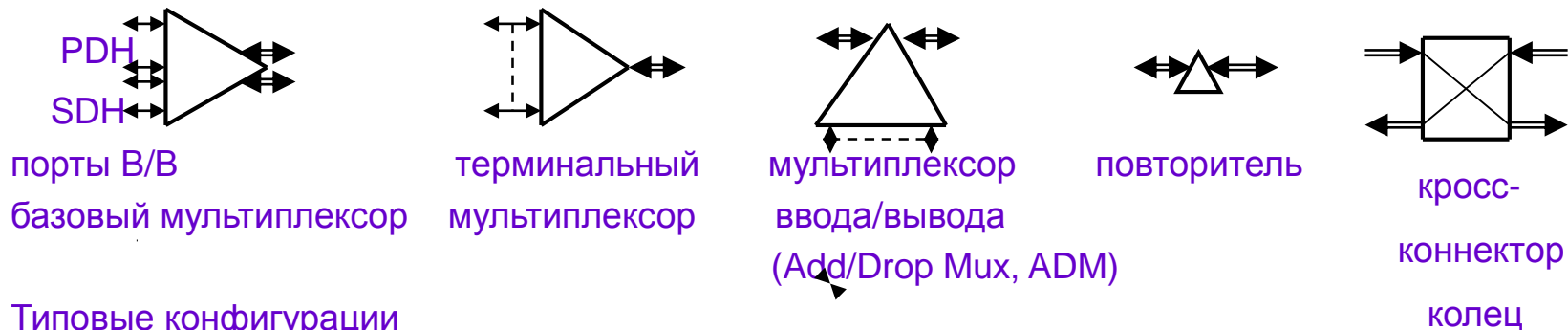
### Сигналы

Скорость передачи данных:

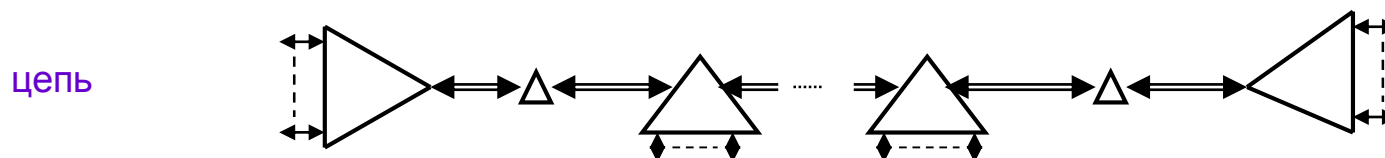
SONET	SDH
от 51.84 Мбит/с	155.520 Мбит/с (Synchronous Transfer Module, STM-1)
до 39.81 Гбит/с	39.81 Гбит/с (STM-256)

Единая синхросистема всего оборудования сети с общим тактовым генератором, дающая возможность в приемнике промежуточного узла выделить направленные к нему данные, зная их расположение (число тактов) относительно начала общего кадра.

### Типовое оборудование



### Типовые конфигурации



кольцо (основная и резервная кольцевые шины с ADMs)

## Обеспечение прозрачности синхронной сети в мультиплексорах SONET/SDH

Проблема передачи зависящей от времени информации от источника к приемнику с минимумом временных искажений при ее прохождении через сетевые мультиплексоры.

*Передача служебной информации в составе кадра STM-1*



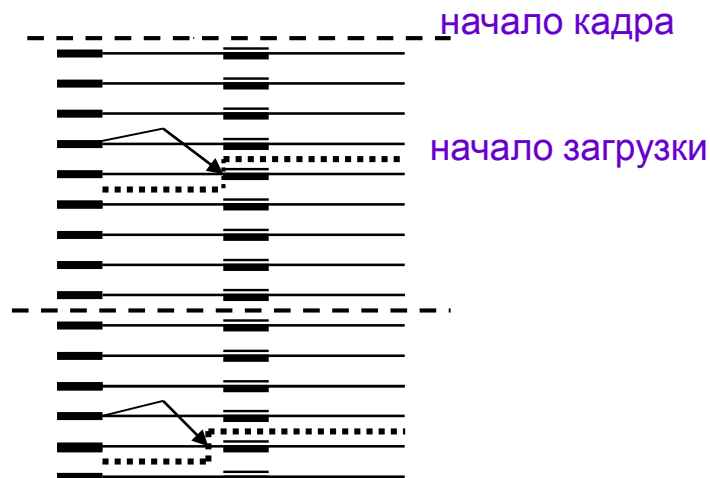
Общая структура кадра STM-1 (длины в байтах):

служебная информация сети — распределена в кадре малыми квантами между информацией загрузки (payload).

При интервале передачи кадров 125 мкс скорость передачи данных равна

$$(((9 + 261) \times 9) \times 8) / (125 \times 10^{-6}) = 155.52 \text{ Мбит/с}$$

### *Взаимодействие с портами В/В*



«Плавающее» поле загрузки со служебной информацией — (байтовый столбец) для получателя :

начало кадра и начало загрузки от портов независимы

*Компоновка данных от портов В/В в поле загрузки кадра, передаваемого мультиплексором*  
Данные поступают в мультиплексор STM-1 через порты В/В из «внешних контейнеров», заполняемых за 125 мкс от внешних источников, «трибов», например, каналов в иерархии сети PDH - DS1(T1), DS2, DS3.

В составе поля загрузки каждому из них выделяется свой «виртуальный контейнер» для данных и служебной информации. Виртуальные контейнеры имеют иерархию - каждый тип (формат) виртуального контейнера соответствует определенному типу триба.

Байты кадра передаются в канал сети строка за строкой, каждая строка - от начала до конца, поэтому порядок и временная диаграмма передачи байтов каждого виртуального контейнера зависит от его расположения в поле загрузки кадра.

Прозрачность синхронной сети поддерживается расположением, при котором байты данного виртуального контейнера передаются в том порядке и с таким равномерным интервалом, который соответствует их поступлению во внешний контейнер из триба.

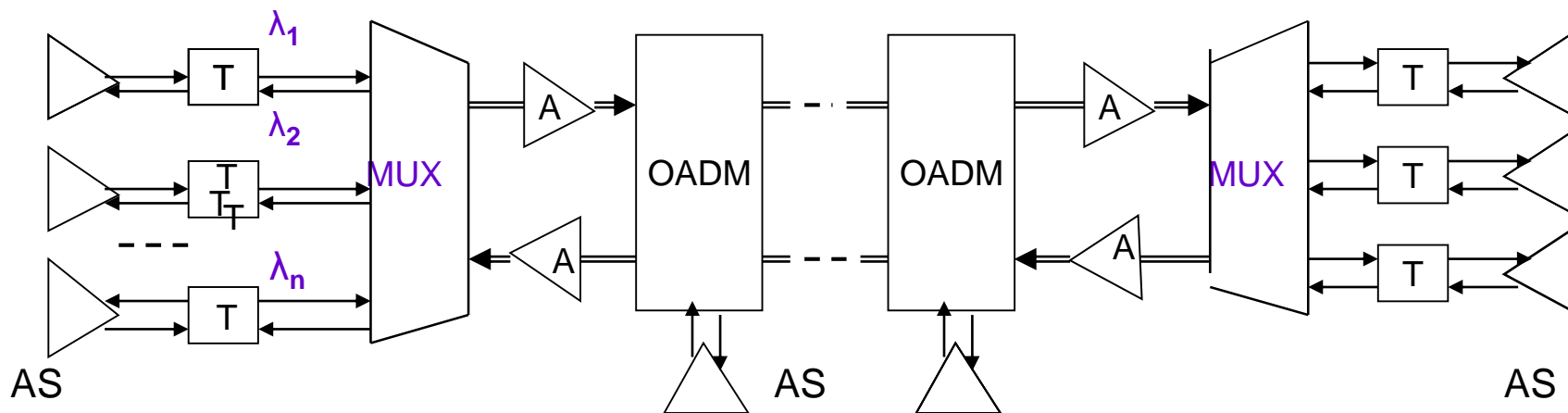
С соблюдением принципа прозрачности данные от мультиплексоров любого уровня могут располагаться в поле загрузки мультиплексоров более высокого уровня, образующих иерархию в составе сети SDH.

### Основные факторы использования технологии SONET/SDH

Доступность и целесообразность использования младших моделей мультиплексоров для различных типов внешних источников. Большой объем оборудования, сложность и стоимость высших моделей.

## 2.5 Технология спектрального уплотнения каналов (Wave Division Multiplexing, WDM)

Базовая цепь системы: скорость до десятков Тбит/с



AS – агрегируемые сервисы (PDH, SDH, Fast Eth, GE, 10 GE)

T – транспондеры (двусторонние преобразователи сигналов (электричество<>свет))

MUX – терминальный мультиплексор/демультиплексор

Частотные планы: DWDM (Dense WDM)

Разнесение каналов:		
$\Delta f$ (ГГц)	$\Delta \lambda$ (нм)	Число каналов
100	0.8	41
50	0.4	81
25	0.2	162

Жесткие требования  
к оборудованию,  
дороговизна

CWDM (Coarse WDM)

$\Delta \lambda = 20$  нм  
8 – 16 каналов

Более простое  
и дешевое  
оборудование

C/D WDM

Реально  
4 CWDM – 64 DWDM

A – оптические усилители:

легированное эрбием волокно, внешняя накачка

Типы усилительных участков: 80 км – 7 усилителей / 120 км – 4 усилителя / 160 км – отсутствие.

## 2.6 Технологии первой/последней мили

Абонентская ТФ-линия (витая пара) в типовом варианте имеет фильтр на ТФ-станции (300-3400 Гц). Стандарт V.90 (предельные нормы): 33.6 Кбит/с – к ТФ-станции, 56Кбит/с – от ТФ-станции.

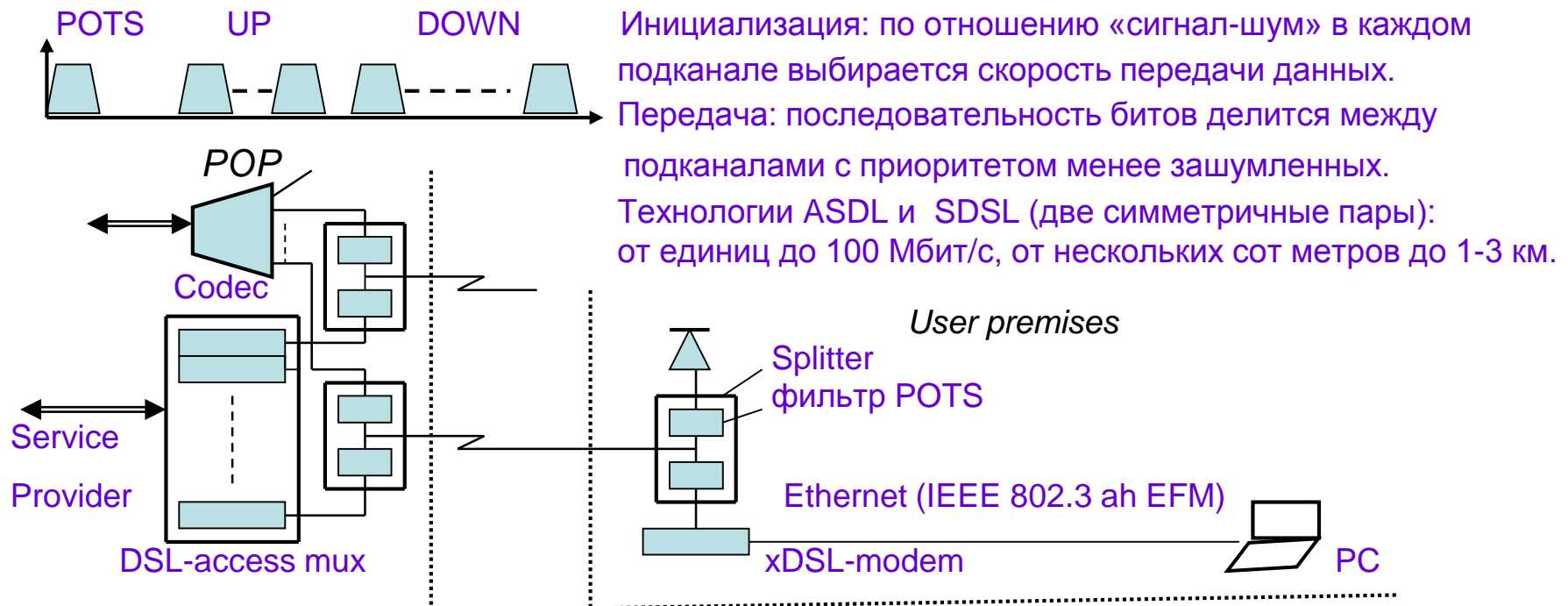
Digital Subscriber Line (DSL) Вариант: Asymmetric DSL, ADSL

При отключении фильтра полоса абонентской линии (около 1.1 МГц) разделяется на:

- POTS (Plain Old Telephone Service) 0 – 4312.5 Гц
- Upstream Communication (к провайдеру) 25.875 – 131 КГц
- Downstream Communication (от провайдера) 138 – 1104 КГц

Дискретная многоточечная модуляция (Discrete Multitone, DMT):

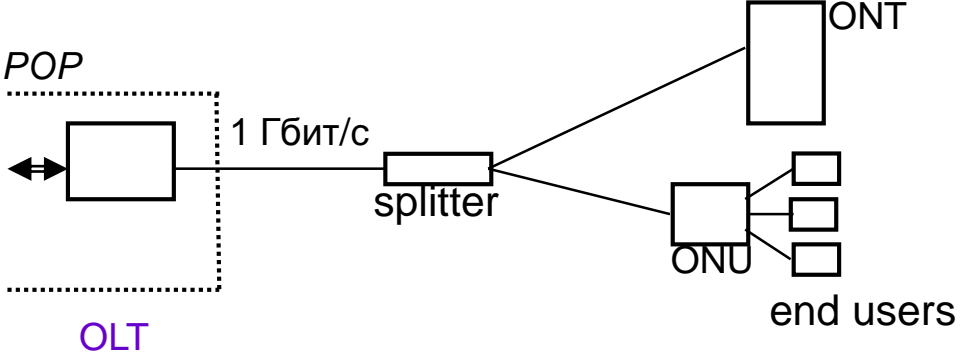
спектр линии разбивается на 256 подканалов с полосой 4312.5 Гц ,  
двухступенчатая модуляция в каждом подканале.





Ethernet на базе пассивной оптической сети (passive optical network, PON) IEEE 802.3 ah EPON

PON обеспечивает широкую полосу при ограниченной стоимости, исключены активные энергопотребляющие элементы.



OLT (optical line terminal) - на стороне POP:

16-32 абонента на порт

splitter – распределение полосы оптического канала

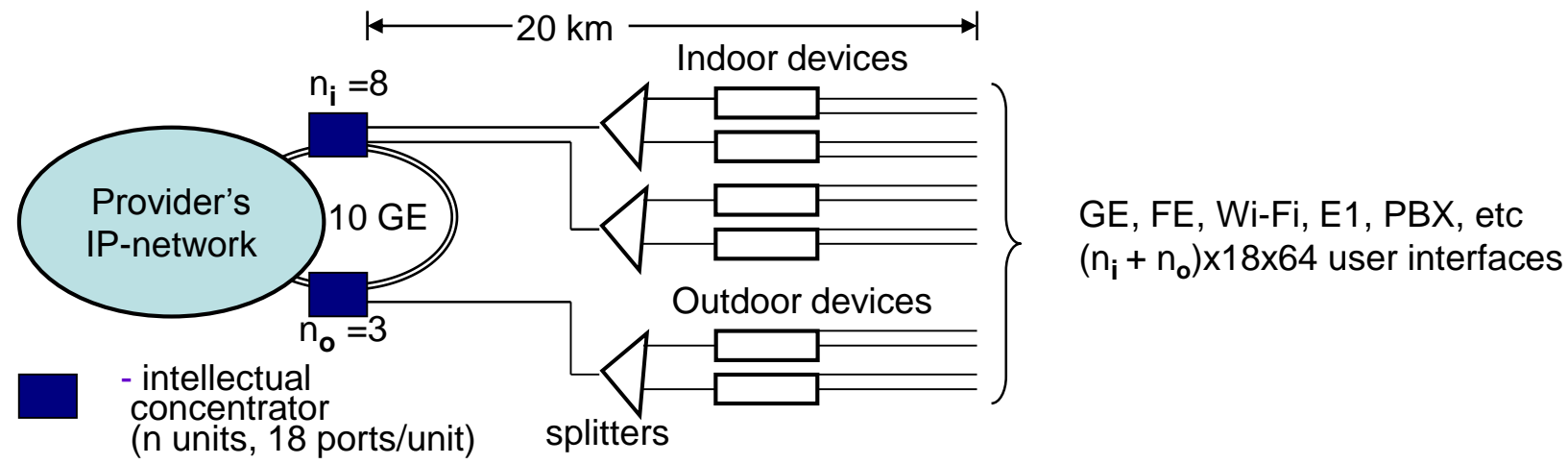
ONT (optical network terminal) – на стороне абонента (связь с крупным абонентом)

ONU (optical network unit) – на стороне группы абонентов (интерфейсы для 10/100 Мбит/с Eth, голоса, PBX.

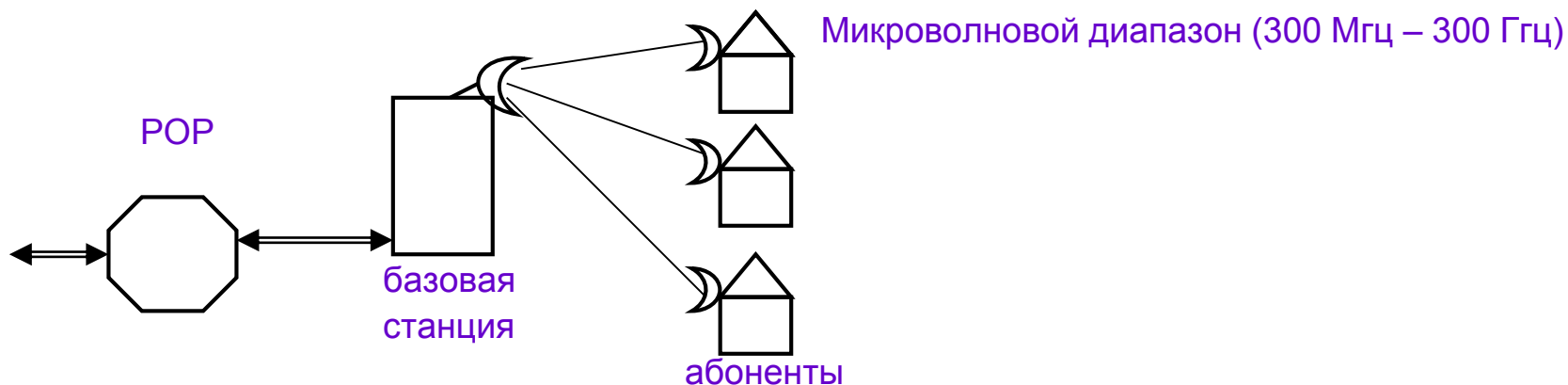
OLT → ONU – широковещательные кадры с номером логического канала

ONU → OLT – TDMA-квант времени для каждого абонента

Gigabit PON: гигабитный интерфейс – пользователю (пример системы)



## Беспроводная абонентская линия (Wireless Local Loop, WLL)



### *Виды услуг*

#### MMDS (Multi-channel Multi-Point Distribution Service)

Полоса частот от 2.1500 до 2.680 ГГц.

Разделяется на лицензируемые каналы шириной 33.6 МГц (31 в США): мультиплексирование TV, радио, Интернет. Скорость п.д. в канале – 34 Мбит/с (64 QAM) или 48 Мбит/с (256 QAM), Передача от станции к абонентам – point-to-multipoint, от абонента к станции – point-to-point. Скорости для абонента – от 300 Кбит/с до 3 Мбит/с.

#### Local (Local MDS)

Полоса частот от 27.500 до 31.300 гц. Радиус зоны обслуживания (cell) – до 2(4) км.

Одна антенная система разделяет зону обслуживания на секторы: (в градусах) от 90<sup>0</sup> и ниже.

Типичная ширина полосы частот, выделяемой на сектор - 250 МГц.

При ширине спектра, выделяемой одному абоненту, 5 МГц, в зависимости от метода модуляции можно получить скорости п.д. от 7.5 до 1250 Мбит/с.