



Архитектура компьютерных сетей



Останков Александр Иванович

Литература

Олифер В.Г., Олифер Н.А.

Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы

(10-е изд.) СПб: Питер, 2021.- 1005 с.

(5-е изд.) СПб.: Питер, 2016, 2017. – 992 с.

(4-е изд.) СПб.: Питер, 2010, 2011, 2013. – 944 с.

(3-е изд.) СПб.: Питер, 2007. – 960 с.

(2-е изд.) СПб.: Питер, 2004. – 864 с.

СПб.: Питер, 2001, 2002. – 672 с.

Таненбаум Э. и др.

Компьютерные сети

(5-е изд.) СПб.: Питер, 2012, 2013. – 960 с.

(4-е изд.) СПб.: Питер, 2007, 2009. – 992 с.

...

Кроуз Дж., Росс, К.

Компьютерные сети. Многоуровневая архитектура Интернета

(2-е изд.) СПб.: Питер, 2004. – 765 с.

<https://www.rfc-editor.org/>

https://en.wikipedia.org/wiki/Telecommunications_network



План курса

1. Введение в компьютерные сети
2. Основные методы построения СПД
3. Архитектура Internet Protocol Suite (TCP/IP)
4. Архитектура модулей физического уровня
5. Технологии беспроводных сетей
6. Архитектура модулей канального уровня
7. Протоколы транспортного уровня
8. Технологии WWW



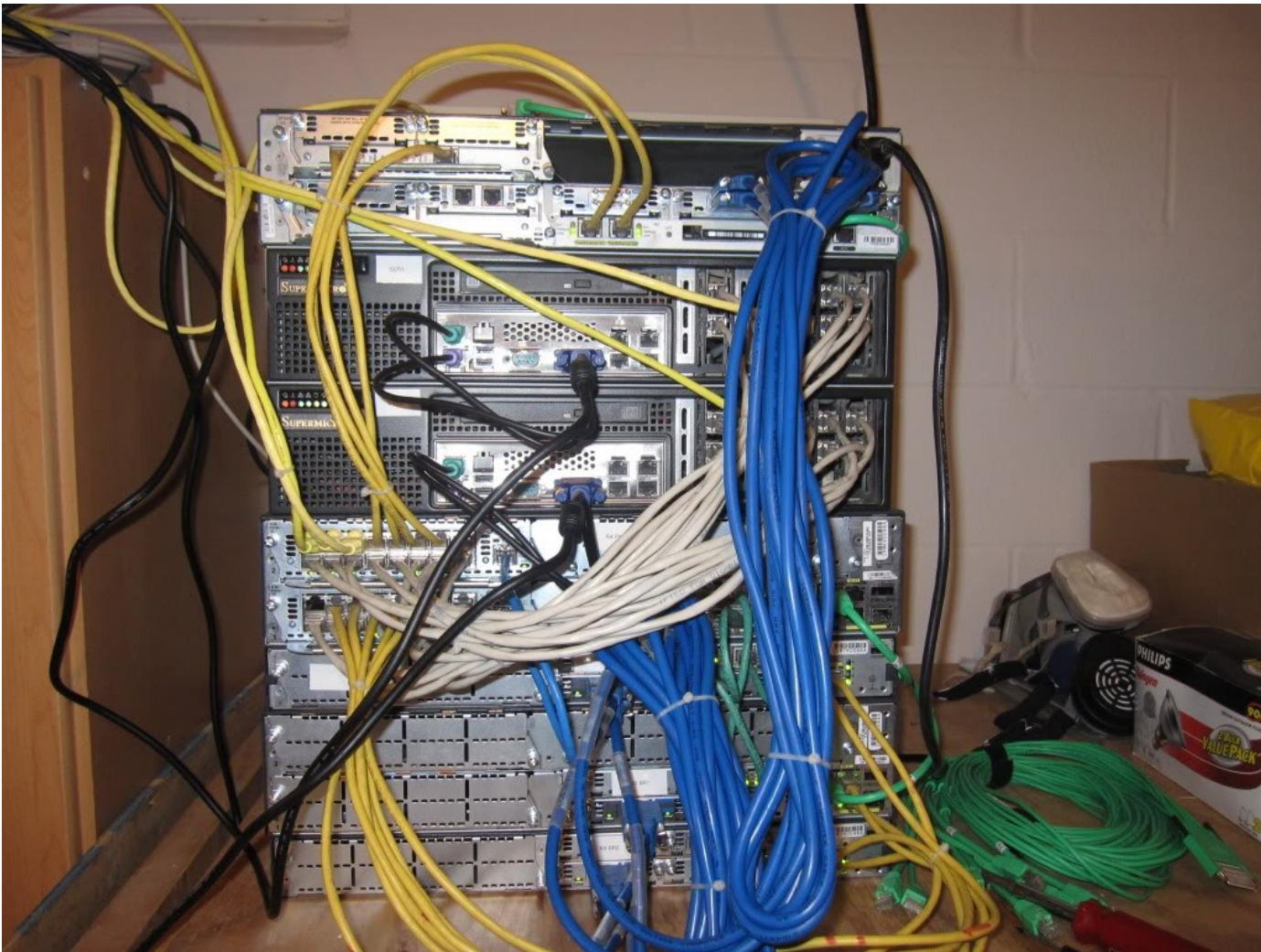
Что такое сеть ?



Что такое сеть ?



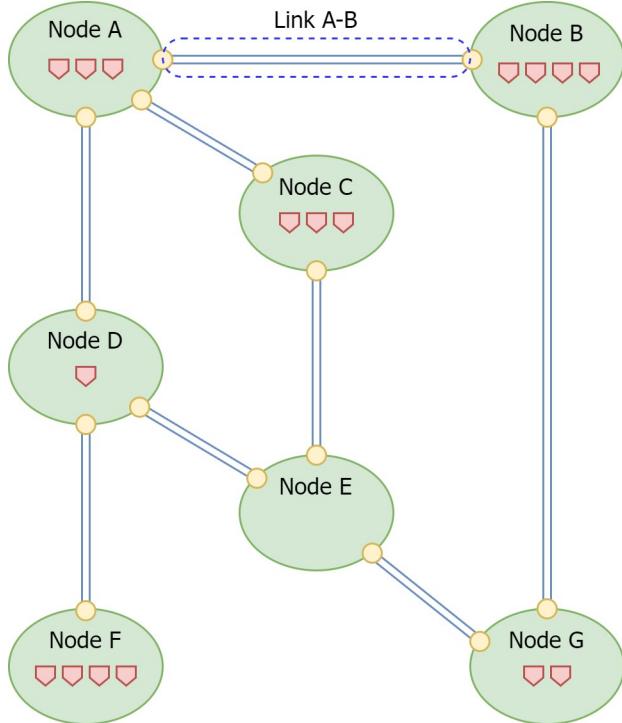
Что такое сеть ?



Что такое сеть ?

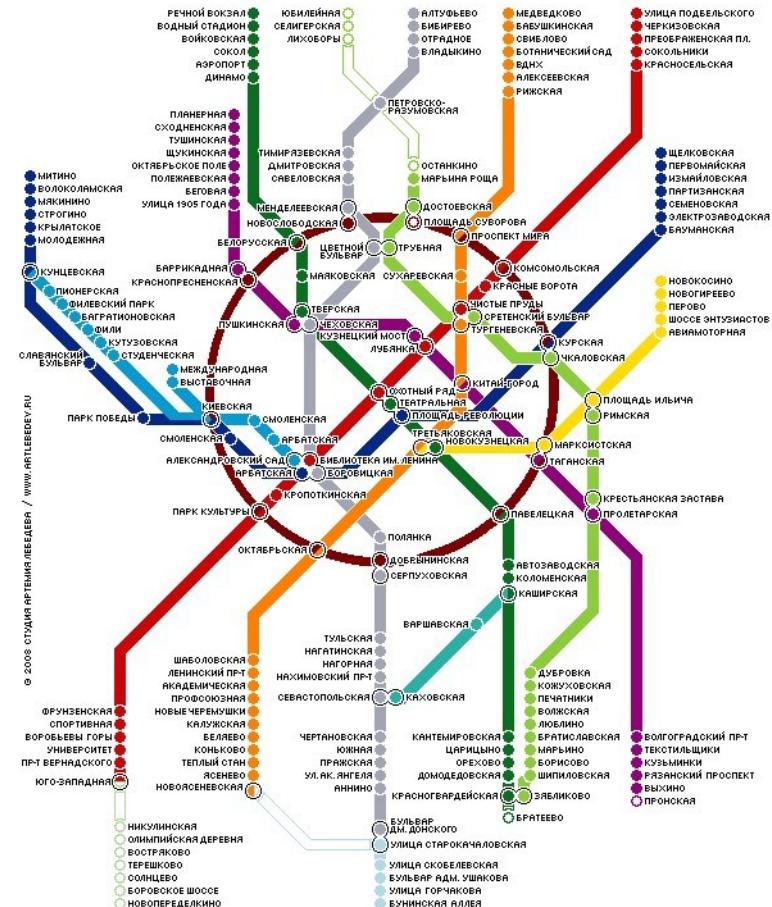


Анатомия сети



- Сеть – система **узлов (nodes)**, связанных друг с другом **звеньями (links)**
- Точка присоединения узла к звену называется (сетевой) **интерфейс**
- Способ соединения узлов звеньями называется **топологией сети**
- В зависимости от *топологии* у разных узлов может быть различное количество **интерфейсов**, присоединённых к соответствующим звеньям
- На узлах сети могут располагаться **конечные точки (endpoints)**, через которые в сеть может поступать (для доставки) **полезная нагрузка (payload, груз)**
- Основная функция сети — доставлять **payload до заданных endpoints**

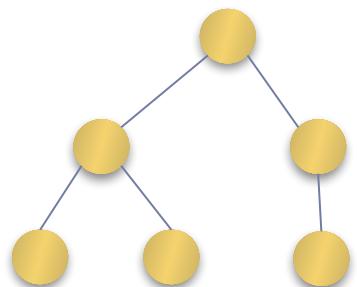
Топология (на примере метро)



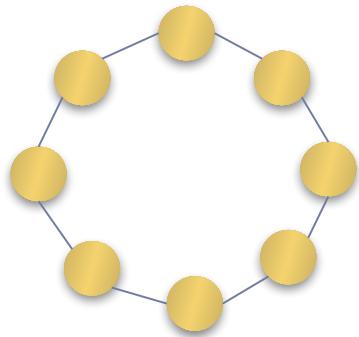
Элементы топологии сетей передачи данных



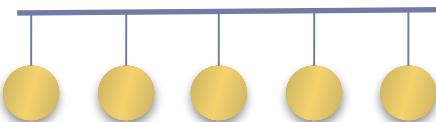
Линейная (Daisy chain)



Древовидная/звезда (Tree/Star)



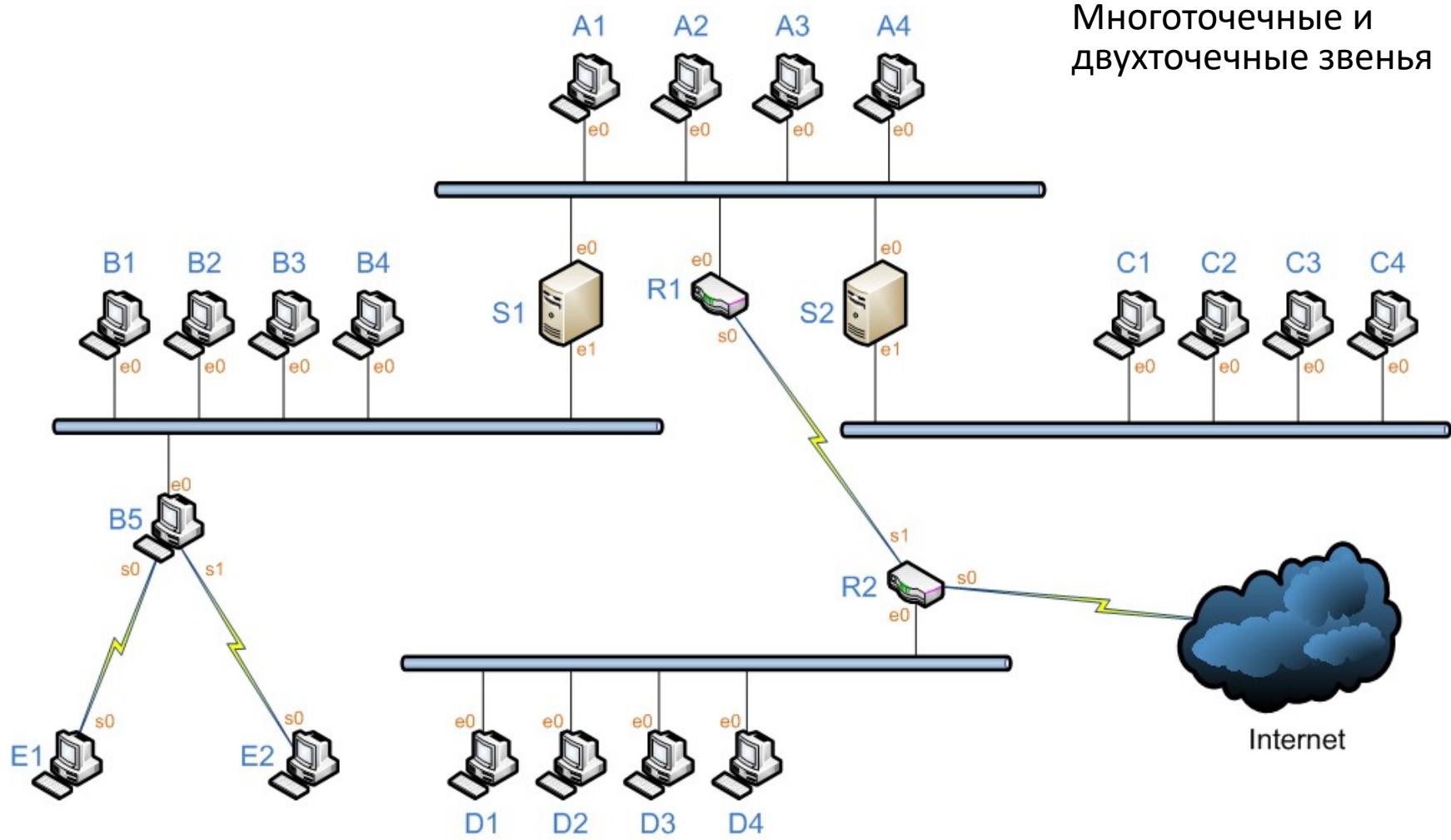
Кольцеобразная (ring)



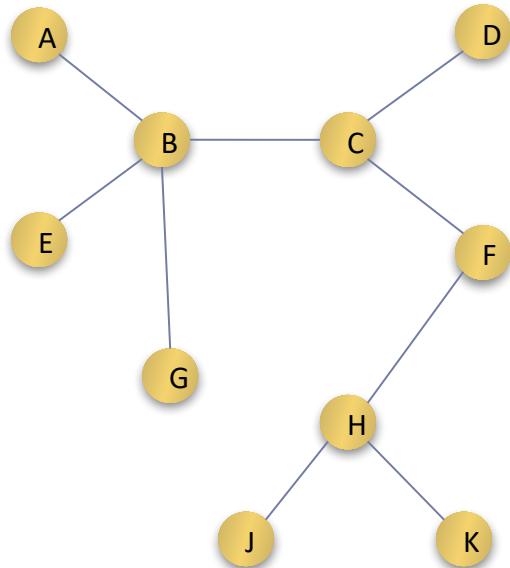
Шина (bus) – многоточечное звено



Комплексная топология (пример)



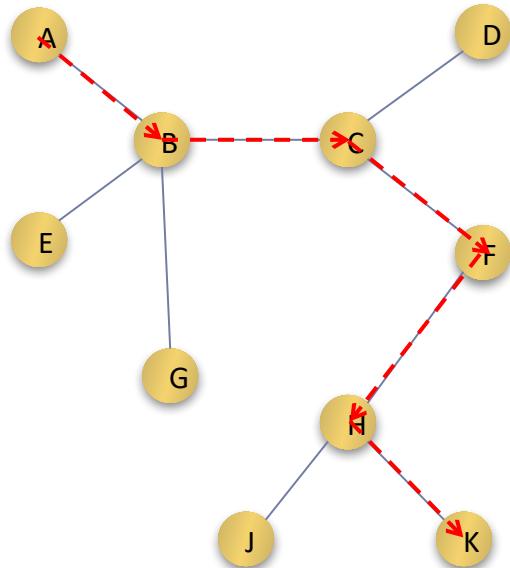
Связность и маршруты



Маршрут (route) – описание пути передачи трафика по сети от одного узла до другого:



Связность и маршруты

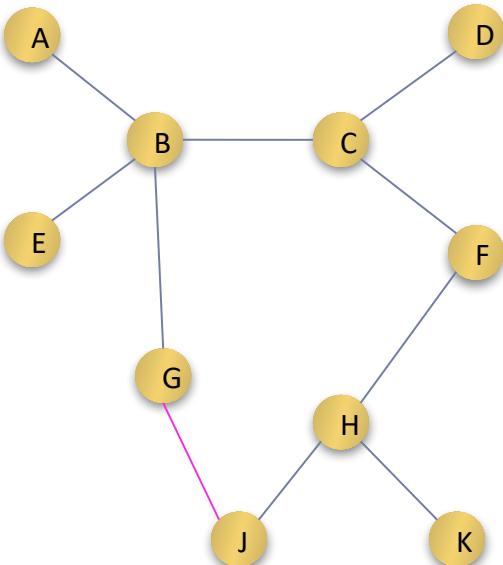


Маршрут (route) – описание пути передачи трафика по сети от одного узла до другого:

Маршрут от А до К:



Связность и маршруты



Маршрут (route) – описание пути передачи трафика по сети от одного узла до другого:

Маршрут от A до K: A-B-C-F-H-K

Узлы называются связными (have connectivity) если между ними имеется, по крайней мере, один путь передачи трафика по сети

Если любая пара узлов сети обладает связностью, то сеть называется полносвязной (full connectivity)

Многосвязность – наличие нескольких альтернативных маршрутов:

Маршрут от A до K (альтернативный): A-B-G-J-H-K



Сети бывают разные

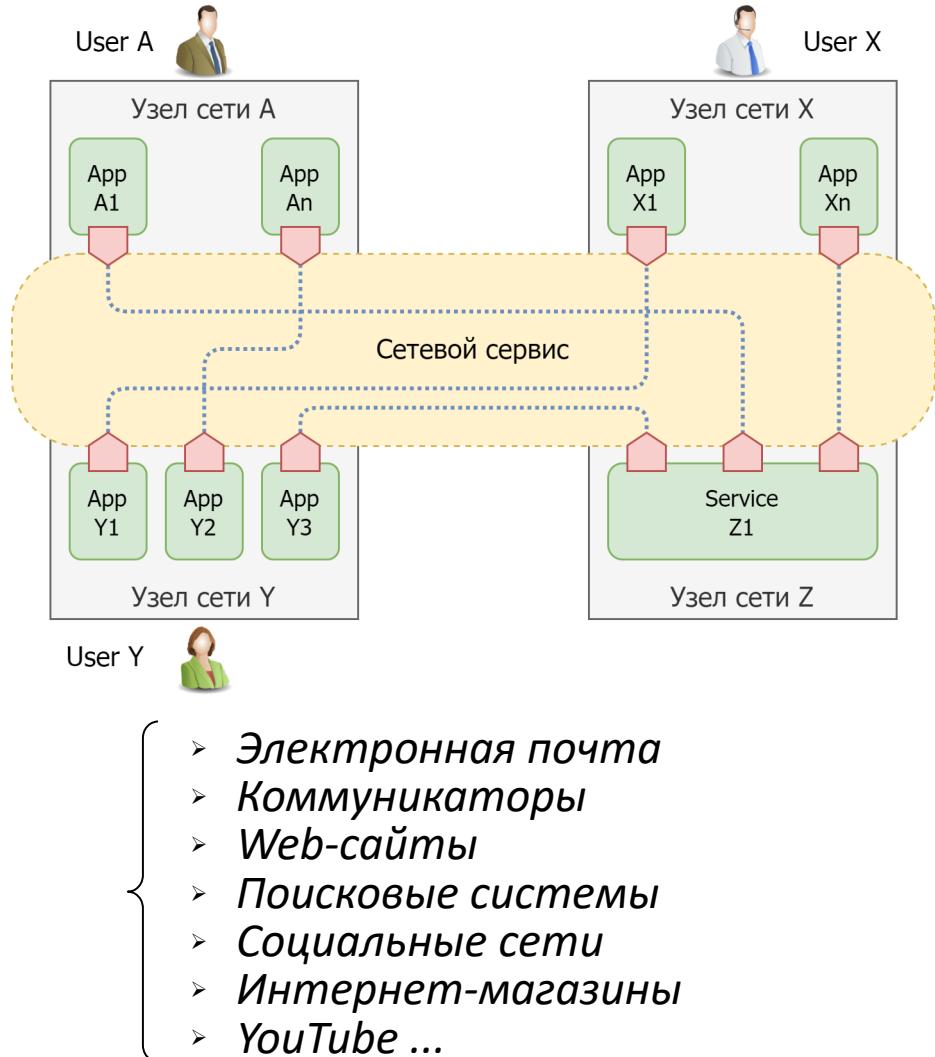
Вид сети	Узлы	Звенья
<u>Сеть автомобильных дорог</u>	Дома, дворы, парковки, перекрестки, развязки	Непрерывные участки дорог
<u>Телефонная сеть</u>	Телефонные аппараты, телефонные станции	Проводные линии связи, зоны радио покрытия (сотовая связь)
<u>Сеть передачи данных (компьютерная сеть)</u>	Компьютеры, сетевые устройства (маршрутизаторы, модемы, точки доступа...), гаджеты	Провода, каналы передачи данных, зоны радио покрытия (WiFi)

Цель существования компьютерных сетей – предоставить возможность членам общества (пользователям) **использовать сетевые сервисы**.



Сервисы компьютерных сетей

- ✓ Компьютерные сети реализуют базовый сервис по доставке данных между endpoint-ами, расположившимися на территориально распределённых узлах
- ✓ Endpoint — это объект ОС, динамически создаваемый программным кодом в процессе исполнения
- ✓ Функционирующие на узлах сети программные модули (приложения, сервисы...) через endpoint-ы имеют возможность отправлять и получать порции данных, а сеть обеспечивает транспортировку и доставку этих порций до указанных endpoint
- ✓ Благодаря этому разрабатывается сетевое ПО и его пользователи (люди) получают полезные сетевые службы:



Базовый функционал компьютерных сетей

Компьютерные сети (aka сети передачи данных) реализуют функционал (сервис) по оперативной доставке между **endpoint-ами данных**, представленных в цифровом виде и, обычно, несущих **информацию** обладающую некоей ценностью для пользователей

- ✓ **Информация** — знания относительно фактов, событий, вещей, идей, понятий и т. п. Информация нематериальна, она существует только в виде идей в мозге и строго говоря, неотделима от субъекта (*human beings*)
- ✓ **Данные** — способ (форма) представления/регистрации информации в виде, пригодном для восприятия (интерпретации), хранения, обработки и **коммуникации** (т. е. социального поведения, в результате которого одни субъекты узнают информацию от других субъектов)
- ✓ **Носитель данных** — материальное тело или физическое явление, которое специальным образом изменяется/модифицируется для того, чтобы представлять данные
- ✓ **Передача данных** – процесс/процедура, в результате которой какой-либо **набор данных** становится известным в другой точке пространства:
 - путём **физического перемещения носителя данных**, с нанесённым на него набором данных (к сетям передачи данных это не относится!)
 - путём **распространения по среде передачи** специально изменяющегося во времени физического **сигнала-носителя**

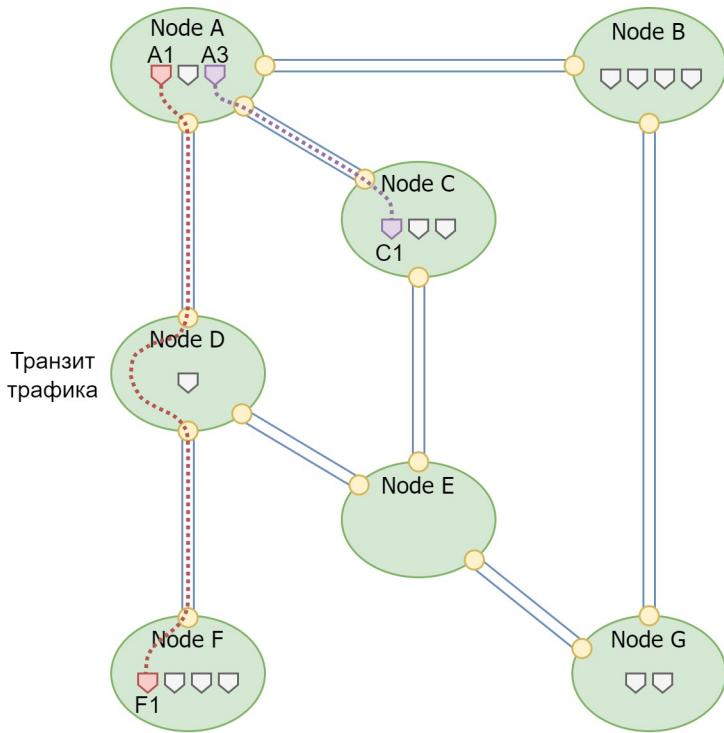


Сетевой трафик

- ✓ Сетевой трафик – это **поток полезной нагрузки (payload)**, транспортируемой по сети (аналогия: автомобильный трафик – это **поток пассажиров и грузов**, путешествующий по сети дорог)
- ✓ Сетевой трафик это не сама полезная нагрузка, а **процесс её транспортировки** (аналогия: автомобильный трафик это не сами автомобили, а процесс их перемещения по сети дорог)
- ✓ Трафик состоит из множества отдельных **единиц полезной нагрузки (units of payload)**, одновременно *транспортируемых по элементам сети: узлам и звеньям*
- ✓ В **компьютерных сетях** (в отличие от автомобильных) всю **активную роль выполняют узлы** сети, а **звенья** лишь пассивно транслируют данные, передаваемые **узлами**
- ✓ Все **узлы компьютерной сети** должны согласованно **выполнять свою часть работы** по доставке **единиц полезной нагрузки**, таким образом, совместно организуя сетевой трафик
- ✓ **Узлы сети ведут себя (относительно) независимо** друг от друга, а вся **сеть** представляет собой **систему массового обслуживания**



Действия узлов по доставке трафика



- ✓ Node A и Node C могут транспортировать трафик между endpoint $A_3 \leftrightarrow C_1$ напрямую, через общее звено A-C:
 - Node A передаёт payload от A_3 (\rightarrow сигнал распространяется) через звено A-C
 - Node C принимает payload из звена A-C и доставляет его в C_1
- ✓ Между Node A и Node F нет общего звена. Тем не менее передавать трафик между endpoint $A_1 \leftrightarrow F_1$ возможно с транзитом на Node D:
 - Node A передаёт payload от A_1 (\rightarrow сигнал распространяется) через звено A-D
 - Node D принимает payload из звена A-D и перенаправляет его в звено D-F (осуществляет транзит «чужого» трафика)
 - Node F принимает payload из звена D-F и доставляет его в F_1

Таким образом, доставка трафика между endpoint требует согласованного выполнения узлами трёх процессов: приема и передачи данных на интерфейсах звеньев, а также коммутации трафика внутри узлов



Понятие о передаче данных

В компьютерных сетях для передачи данных между узлами используется явление **распространения** по **среде передачи** физического **сигнала-носителя**, например:

- электрических сигналов по медным проводникам
- оптических импульсов по оптоволоконным линиям
- электромагнитных сигналов по радио эфиру

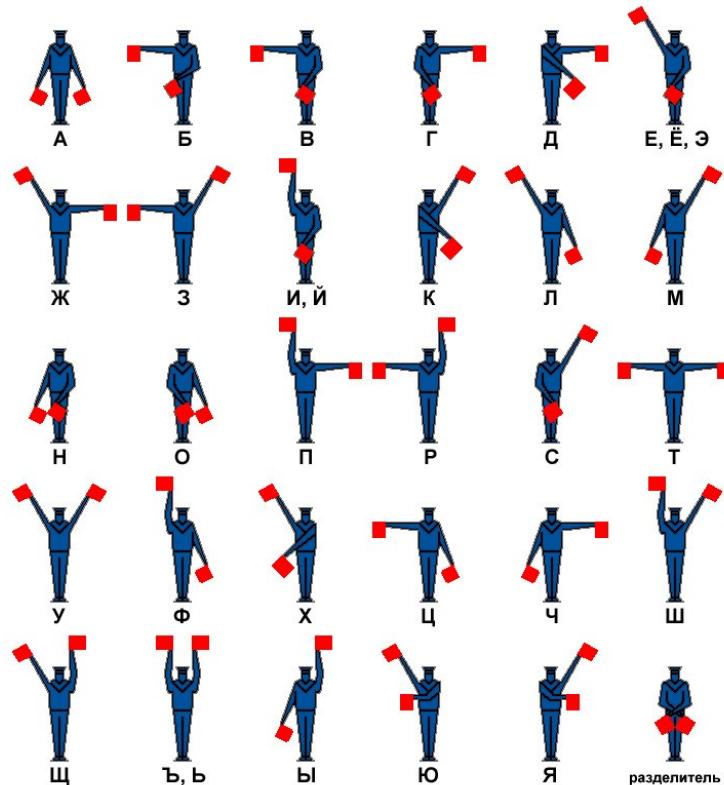
Для того, чтобы выступать **в роли носителя данных** физический **сигнал должен быть модулирован**: т. е. его объективные параметры (амплитуда, частота, фаза...) должны условленным образом изменяться во времени в соответствие с **последовательностью передаваемых данных**

Среда передачи должна покрывать всю длину звена сети (расстояние между узлами) и обеспечивать **приемлемое качество (разборчивость)** сигнала на приёме



Принцип модуляции сигнала-носителя

На примере русской корабельной семафорной азбуки



Сигнал-носитель – изображение сигнальщика (электромагнитная световая волна)

Среда передачи данных – прозрачное для света пространство между кораблями

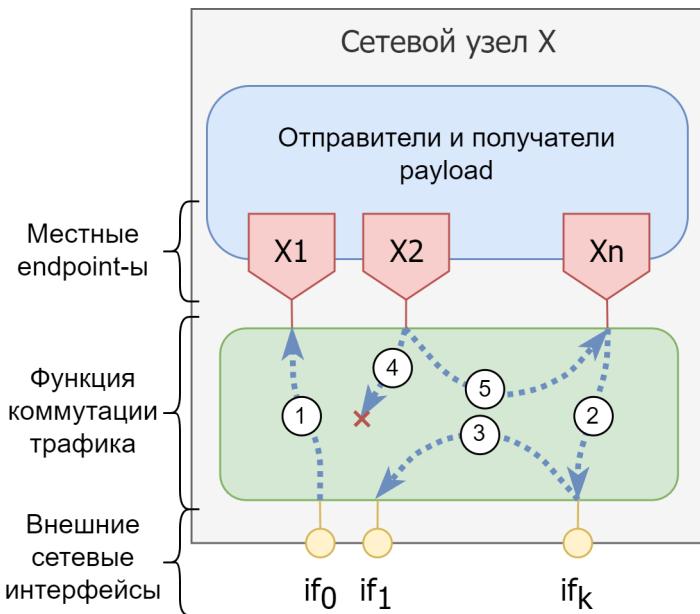
Передатчик-модулятор – сигнальщик с флагжками

Способ передачи – **последовательно, знак за знаком**

Приёмник-демодулятор – наблюдатель, обученный сигнальной азбуке



Понятие о коммутации



Каждый **сетевой узел** должен обеспечивать обработку поступающих **порций трафика**:

- при **получении** новых порций payload от местных **endpoint-ов**
- при **приёме** порций от **внешних сетевых интерфейсов**, подключенных к **звеньям**

При поступлении очередной порции возможен один из 4 вариантов её **коммутации**:

- **входящий (inbound)** — порция доставляется для одного из местных **endpoint**
- **исходящий (outbound)** — местный **endpoint** отправляет в сеть очередную **порцию**
- **транзитный (transit)** — принятая **порция** перенаправляется на другой узел
- **заблокированный (blocked)** — передача **порции** блокируется (это ошибка доставки)

Выбор того или иного варианта осуществляется для каждой поступившей порции трафика исходя из её данных и настроек узла.

Примеры на рисунке:

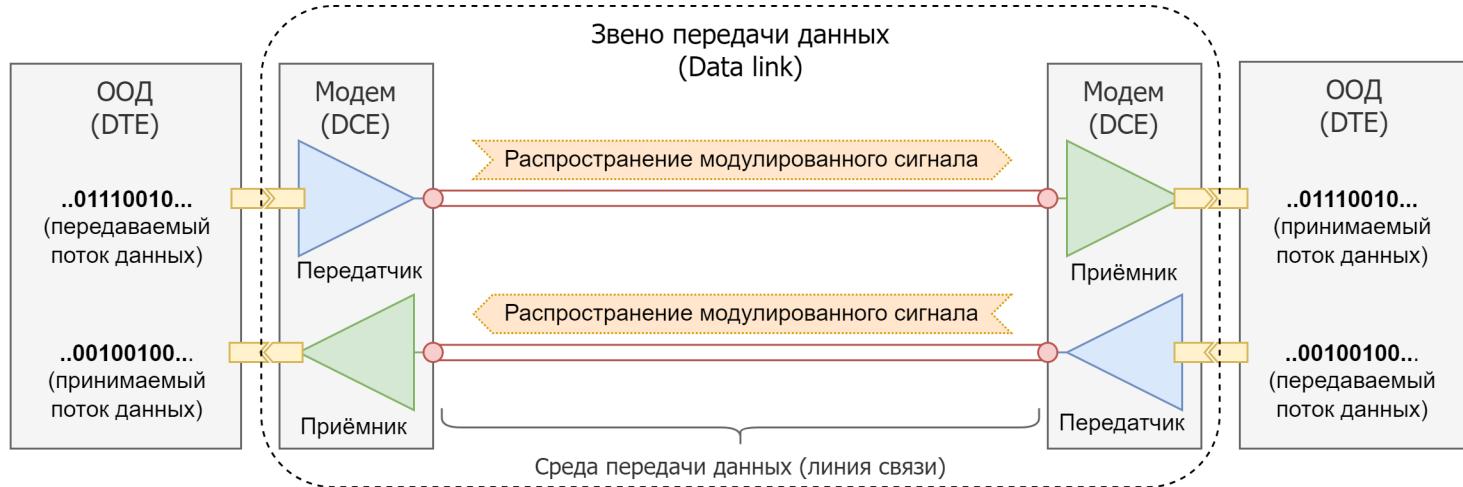
1. inbound
2. outbound
3. transit
4. blocked
5. inbound (local)

Резюме по устройству сетей ПД

- ✓ Сеть представляет собой совокупность **узлов**, связанных друг с другом **звеньями передачи данных**. (Сетевой) **интерфейс** — точка присоединения узла к звену
 - ✓ **Топология** сети — способ соединения узлов и звеньев. **Топология** определяет состав узлов, звеньев и **интерфейсов** на узлах, а также набор возможных **маршрутов передачи**
 - ✓ Цель функционирования сети — **транспортировка данных** между **endpoint-ами**, располагающимися на узлах сети. **Трафик** — процесс транспортировки payload (т. е. порций данных) по элементам (звеням, узлам) сети
 - ✓ Транспортировка данных сетью включает последовательное выполнение по **маршруту передачи** процессов двух видов:
 - **передачи данных** по звеньям между узлами
 - **коммутации** порций трафика внутри узлов
 - ✓ Каждый узел сети должен быть готов к участию в транспортировке трафика и выполнению необходимых сетевых действий:
 - **приёму** данных (на **интерфейсах звеньев**)
 - **передаче** данных (на **интерфейсах звеньев**)
 - **доставке** данных в endpoint-ы
 - осуществлению **транзита** данных (от одного **интерфейса** к другому)
 - ✓ Таким образом, сеть — это пример **распределённой системы массового обслуживания**, в которой активные действующие лица - узлы
-



Устройство звена (передачи данных)



Логически звено передачи данных (data link) рассматривается как совокупность:

- двух модемов (DCE – data communication equipment)
- линии связи по которой между узлами распространяется модулированный сигнал

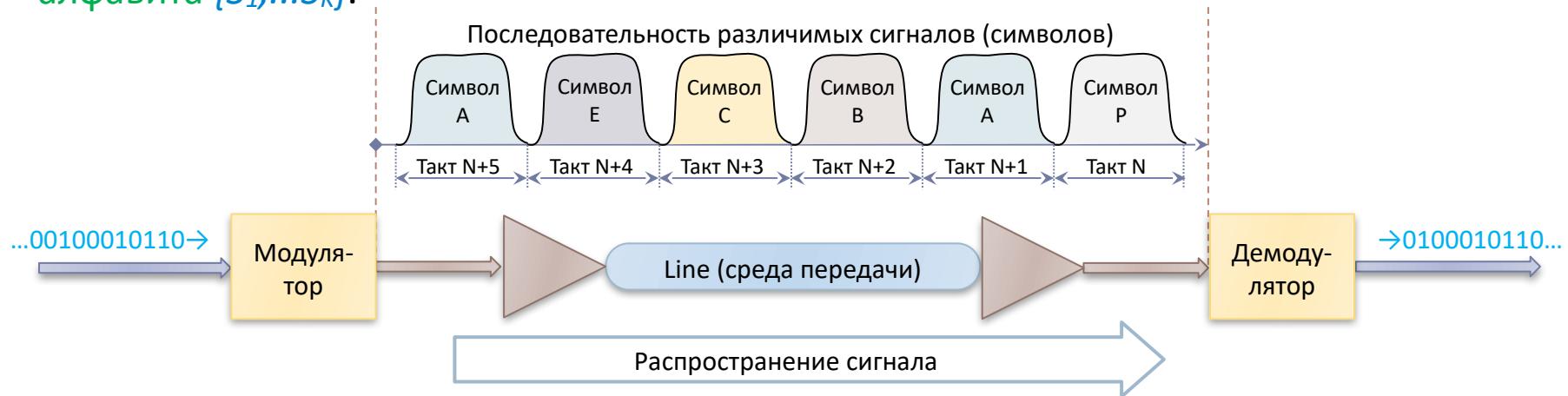
Модем состоит из модулятора/передатчика, обеспечивающего формирование сигнала носителя из передаваемого потока данных и демодулятора/приёмника, обеспечивающего распознавание в принятом сигнале модулированных данных и формирование принимаемого потока данных

Потоки цифровых данных (передаваемый и принимаемый) получаются/доставляются через интерфейс из/в ООД - оконечное оборудование данных (DTE – data terminal equipment), в качестве которого и выступает оборудование узла сети



Принцип действия звена передачи данных

Модулятор генерирует и передаёт в линию последовательность **различимых сигналов** определённой длительности T_s . Каждый сигнал это **символ** из заранее определённого алфавита $\{S_1, \dots, S_k\}$.



- ✓ Какие именно символы из алфавита передаются в последовательности, определяется содержимым **передаваемого потока данных**
- ✓ Частота формирования символов определяется модулятором и называется **частотой манипуляции** $V_m=1/T_s$ [измеряется в **Бодах**]
- ✓ При размере алфавита K каждый символ может кодировать $E=\log_2(K)$ бит входных данных (обычно K выбирается из ряда $2, 4, 8, 16 \dots$). Таким образом, эффективная **скорость передачи данных** по звену составляет $V=V_m \cdot \log_2(K)$ [бит/сек]

Особенности передачи данных по звену

- ✓ Данные всегда **передаются последовательно**, т.е. бит за битом. Иными словами в конкретный момент времени звено может передавать данные только какого-то одного определённого потока (что не исключает **мультиплексирования потоков**)
- ✓ Чаще всего **скорость передачи данных V [бит/сек]** у конкретного звена **фиксирована** (например, у обычного Ethernet бывает 10 мбит/сек, 100 мбит/сек или 1 гбит/сек). Исключения наблюдаются в тех случаях когда модем имеет функцию автоподстройки скорости под условия линии связи (например, ADSL)
- ✓ По допустимости **пауз в передаваемом потоке** символов звенья разделяются на:
 - **асинхронные** — допускающие паузы произвольной длительности в потоке передачи
 - **синхронные** — работающие без пауз: после активации такого звена, передача осуществляется с постоянной скоростью V (даже если нет трафика всё равно нужно заполнять канал каким-то «холостым» потоком битов)
- ✓ Сетевой обмен данными, как правило, двухсторонний: необходимо и принимать и передавать данные. Для реализации такой возможности применяют:
 - **дуплексные звенья**, использующие две отдельные линии (среды передачи) — по одной в каждом направлении (такие звенья способны одновременно передавать и принимать разные данные встречных направлений)
 - **полудуплексные** звенья, использующие одну среду, но с переключением приём ↔ передача



Изображение передачи в виде графика

Процесс **передачи данных по звену** удобно изображать (и анализировать) в виде графика **мгновенной скорости передачи payload** — $W(t)$ [бит/сек]

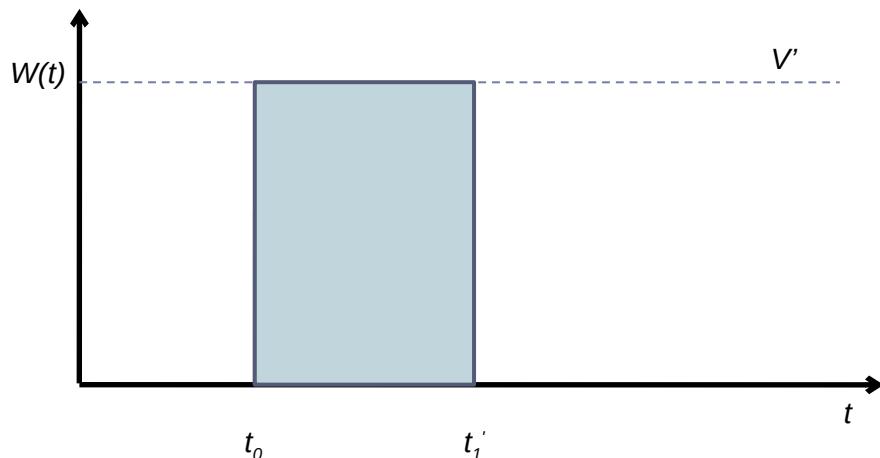


Процесс передачи одиночной порции данных размером S [бит]:

- t_0 — момент начала передачи
- t_1 — момент окончания передачи

В интервале времени t_1-t_0 данные порции передаются **последовательно без пауз** со скоростью звена V [бит/сек]

$$(t_1-t_0) = S/V$$

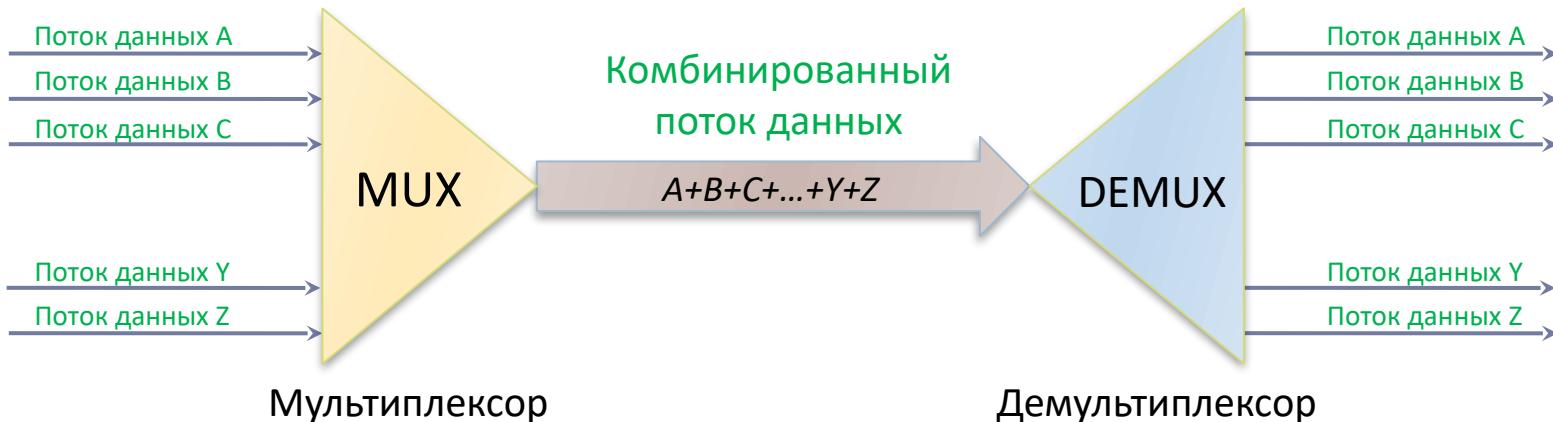


Та же порция, но по другому звену с большей скоростью передачи $V' > V$

Время передачи (t_1-t_0) меньше, но площадь под графиком та же.



Мультиплексирование потоков данных



Мультиплексирование – объединение нескольких отдельных **независимых потоков** в единый **комбинированный поток** для передачи по звену

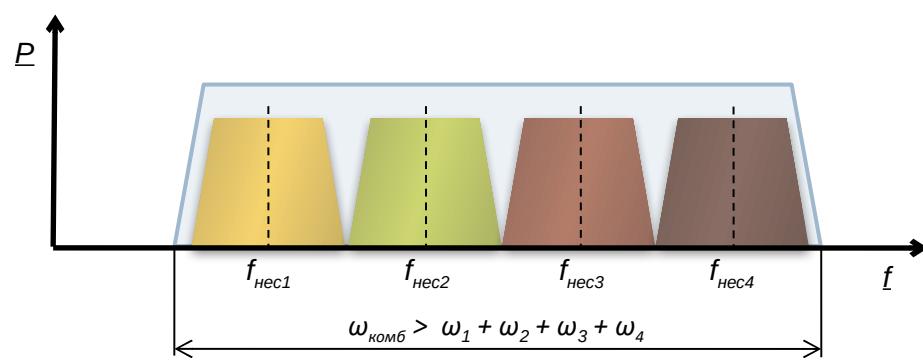
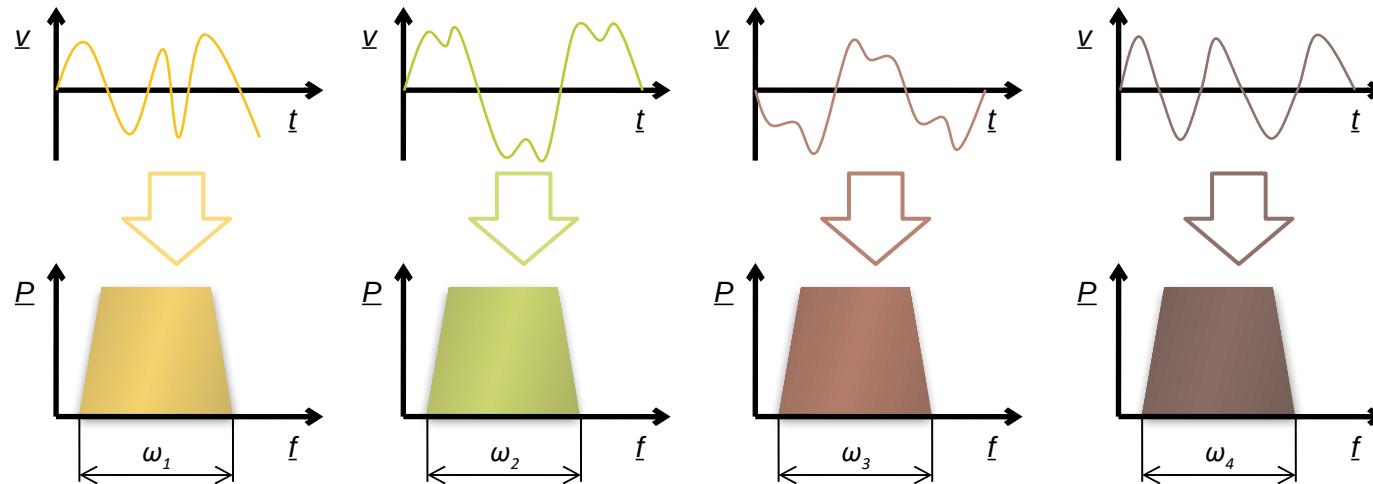
Смешать, но не перемешивать – **комбинированный поток** должен обладать **различимой структурой**, позволяющей без потерь разделить его на **исходные потоки** в **демультиплексоре**

Способы мультиплексирования:

- **Статическое мультиплексирование** – **фиксированное разбиение** одного канала со скоростью V [бит/сек] на n подканалов со скоростью V/n : TDM, FDM
- **Статистическое (aka динамическое) мультиплексирование** – **передача по очереди** на полной скорости **порций данных** разных подканалов

Статическое мультиплексирование (FDM – frequency division multiplexing)

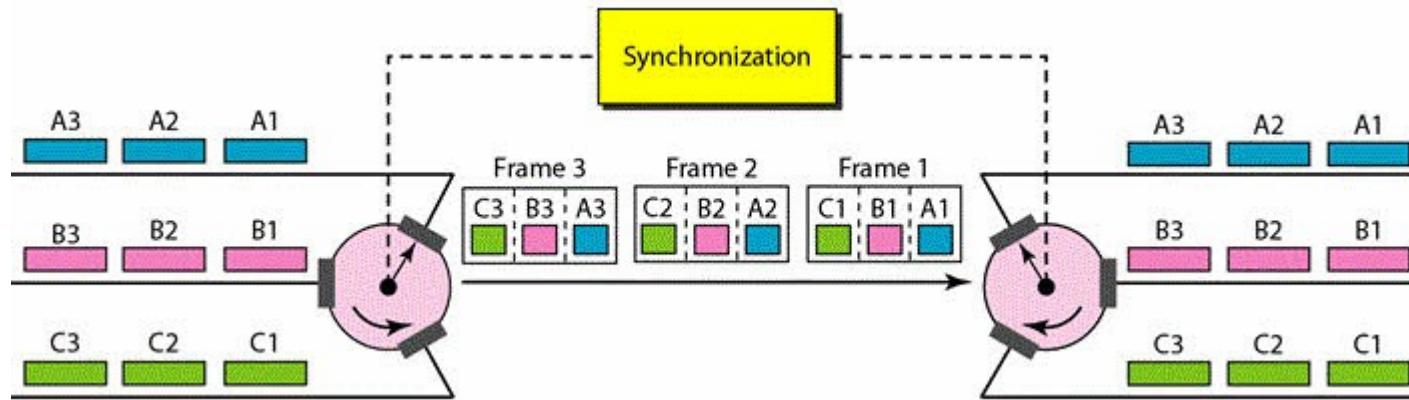
Frequency division multiplexing – частотное мультиплексирование



Ресурс (полоса пропускания) широкополосного тракта распространения сигналов делится на несколько полос, внутри каждой из которых организуется отдельный тракт для передачи узкополосного сигнала
Преобразование осуществляется на уровне сигнала (в аналоговом виде!)



Статическое мультиплексирование (TDM – time division multiplexing)

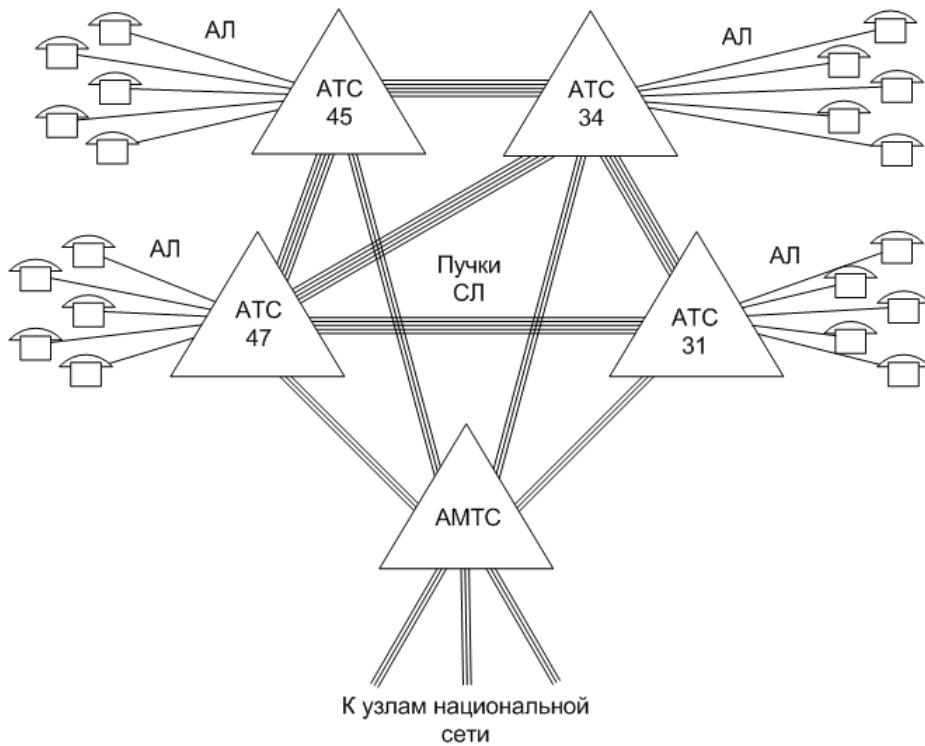


- ✓ Высокоскоростной изохронный комбинированный поток битов со скоростью V [бит/сек] формируется методом поочерёдной передачи битов из (n) менее скоростных потоков со скоростями $V_i = V/n$
- ✓ Комбинированный поток представляет собой непрерывную последовательность циклов, каждый из которых содержит фиксированное количество битов каждого из исходных потоков в определённом порядке (обычно в форме чередования одиночных битов каждого из потоков по порядку их номеров)
- ✓ Для корректной работы звена необходимо, чтобы приёмник и передатчик были синхронизированы, т. е. воспринимали начало цикла в один и тот же момент
- ✓ Преобразование потоков может осуществляться в цифровом виде (т. е. на уровне демодулированного потока данных, а не аналогового сигнала)



Коммутация каналов — первая технология

- ✓ Для нормального функционирования сети каждый узел обязан выполнять коммутацию трафика (единиц payload). Это именно то, что делает совокупность отдельных узлов и звеньев связной сетью
- ✓ (Стационарная проводная) телефонная сеть (ТфОП - PSTN), появившаяся ещё в XIX веке, стала первой коммуникационной сетью и в её рамках была создана и развилаась исторически первая технология коммутации каналов

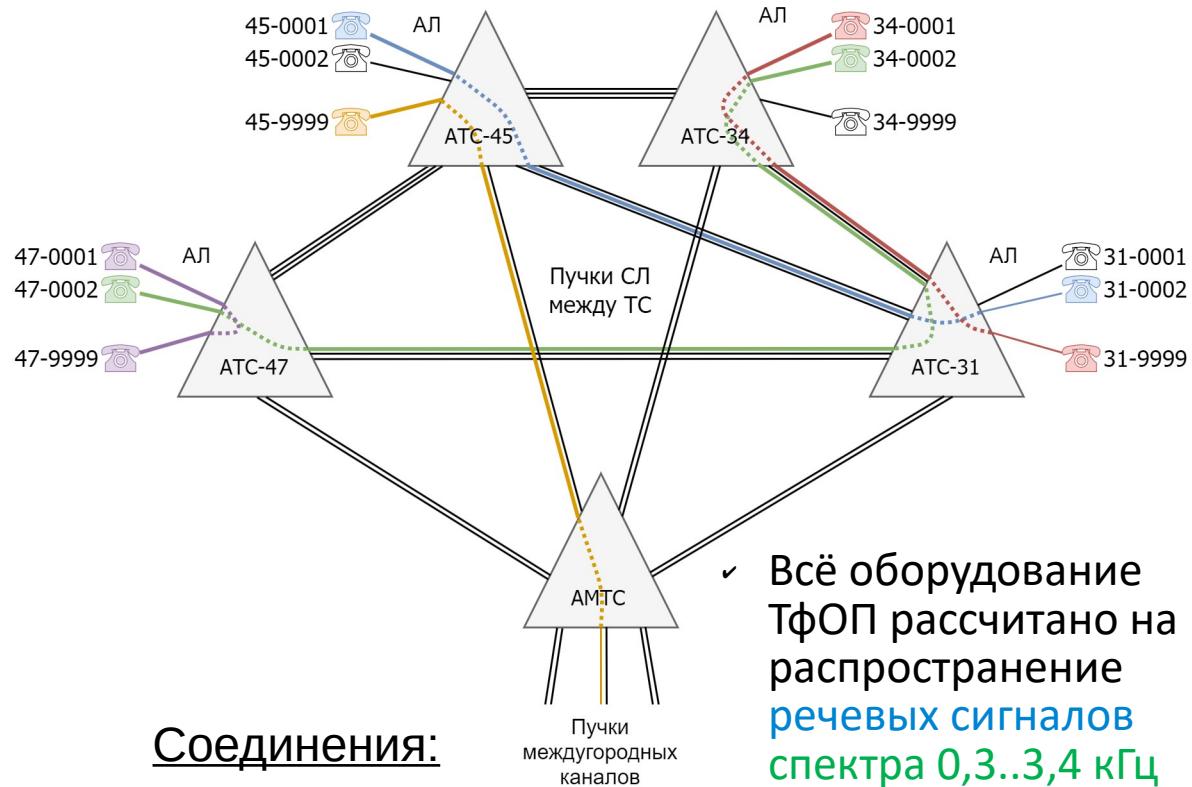


- ✓ Узлами ТфОП являются:
 - телефонные аппараты
 - телефонные станции
- ✓ Звеньями ТфОП являются телефонные линии разных видов - АЛ, СЛ, МГЛ...
- ✓ Единицей payload телефонной сети выступает телефонное соединение — ограниченный период времени, в течение которого через сеть установлен сквозной разговорный тракт между телефонами двух абонентов. Именно за это время (до сих пор), как правило, начисляется оплата



Принципы коммутации каналов

- Перед началом соединения телефонные станции устанавливают перемычки, формируя временный разговорный тракт из цепи АЛ, СЛ, МГЛ по маршруту между абонентами
- В течение всего периода соединения задействованные линии остаются занятыми, через разговорный тракт свободно распространяется сигнал между абонентами
- По окончании соединения перемычки снимаются, а задействованные сетевые ресурсы (линии, аппараты АТС) освобождаются для последующих соединений

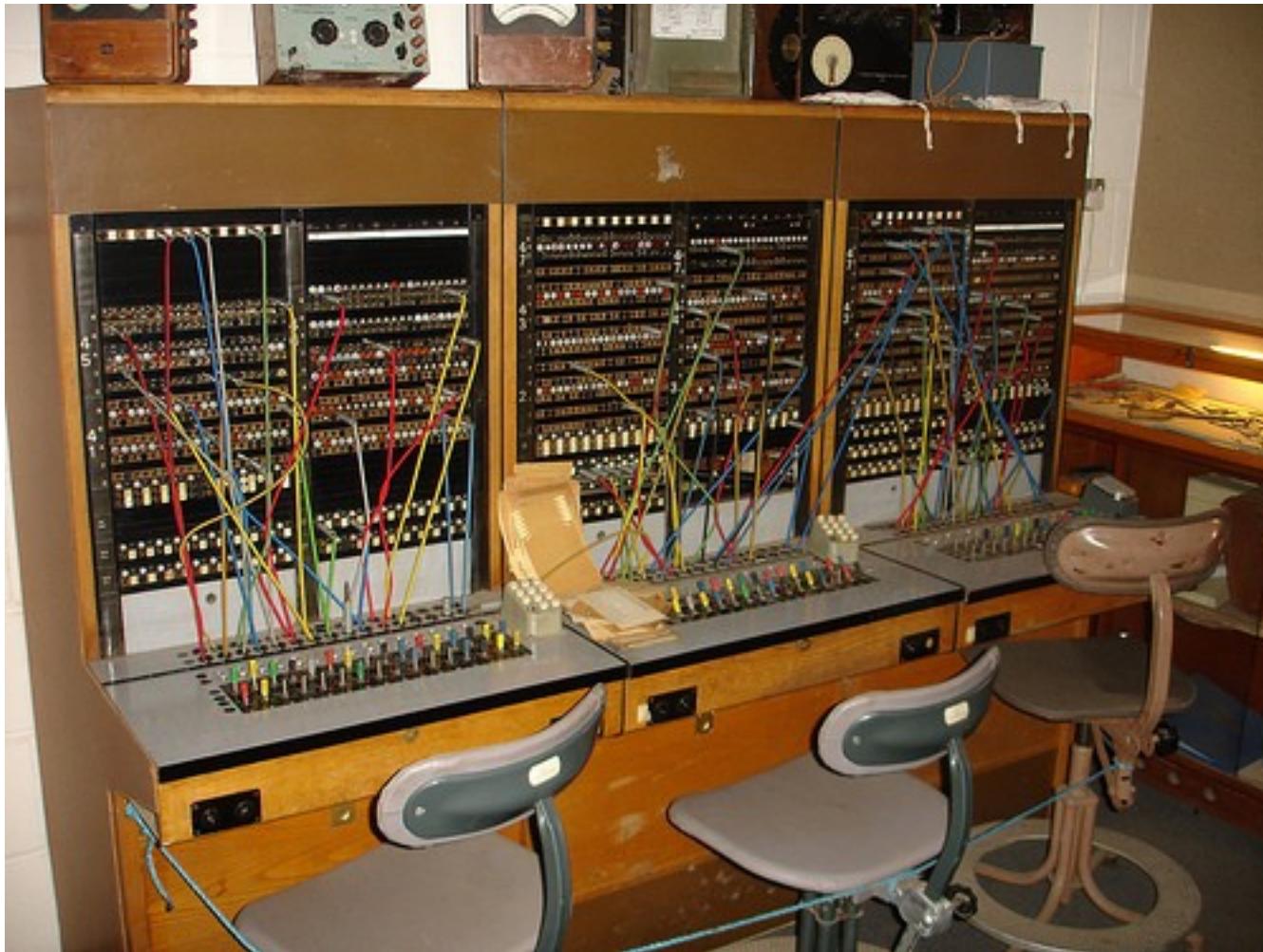


Соединения:

- 45-0001 ↔ 31-0002
- 45-9999 ↔ межгород
- 34-0001 ↔ 31-9999
- 34-0002 ↔ 47-0002
- 47-0001 ↔ 47-9999

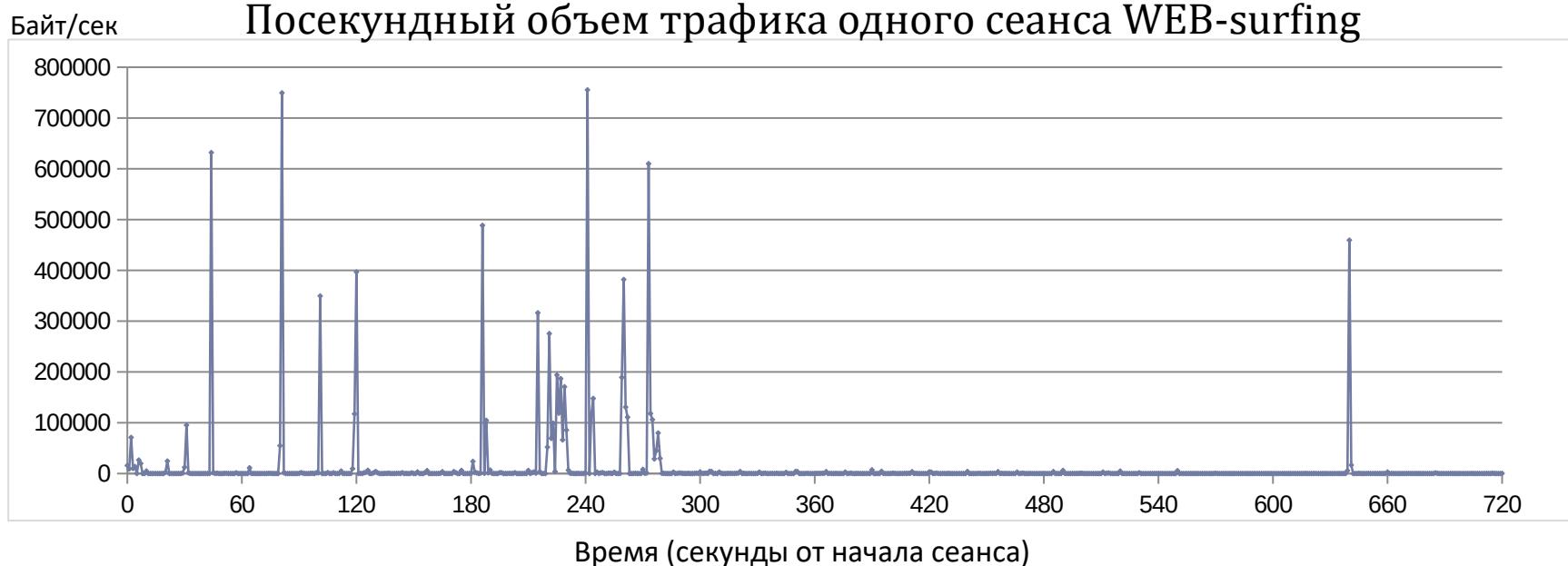
- Всё оборудование ТфОП рассчитано на распространение речевых сигналов спектра 0,3..3,4 кГц (64 кбит/сек)
- Пучки линий могут создаваться с помощью систем уплотнения TDM, FDM

Что такое коммутатор (на самом деле)



Характер трафика в СПД

Трафик СПД формируется множеством передач отдельных порций данных случайно (или не очень случайно) генерируемыми узлами сети. При этом для множества сетевых приложений интенсивность трафика весьма **неравномерна**, например:



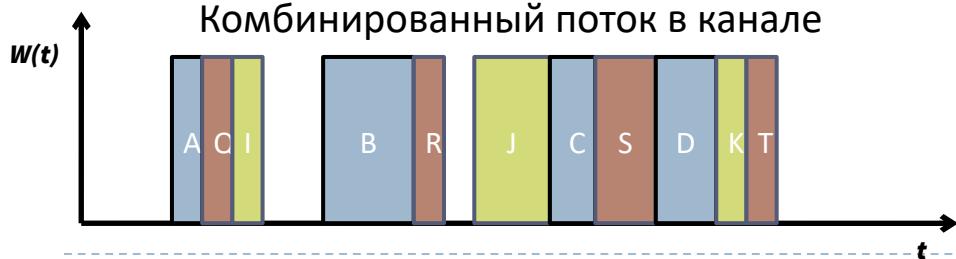
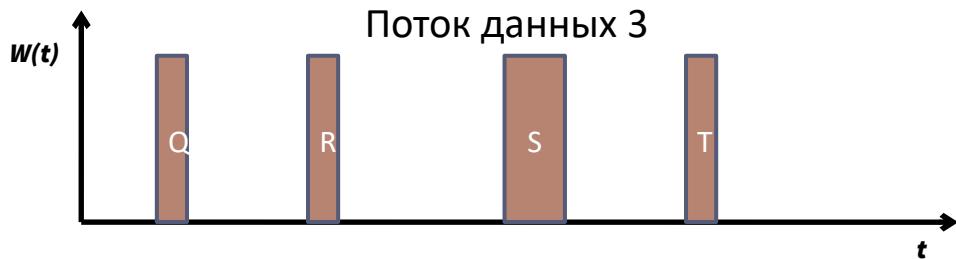
При среднем значении около 11 кбайт/сек наблюдаются множественные кратковременные **всплески трафика** до 755 кбайт/сек на 1-2 сек. с длительными паузами почти без трафика (открытие WEB-страниц с последующим их чтением)

Недостатки КК для СПД

<p>Соединения, предоставляемые сетью КК, могут быть только стандартной скорости (в телефонной сети это узкополосные голосовые соединения 64000 бит/сек).</p>	<p>Не универсально. В большинстве случаев ПД - слишком медленно.</p>
<p>Соединение точка-точка позволяет осуществлять обмен данными только с одним конкретным узлом. Для того, чтобы одновременно общаться с несколькими узлами необходимо открывать и поддерживать несколько соединений.</p>	<p>Типовой вариант использования СПД в стиле «WEB-surfing» затруднителен.</p>
<p>Пока соединение установлено оно занимает ресурсы сети вне зависимости от того разговаривают абоненты или молчат.</p>	<p>Неэффективно используется пропускная способность сети, особенно при неравномерном трафике.</p>



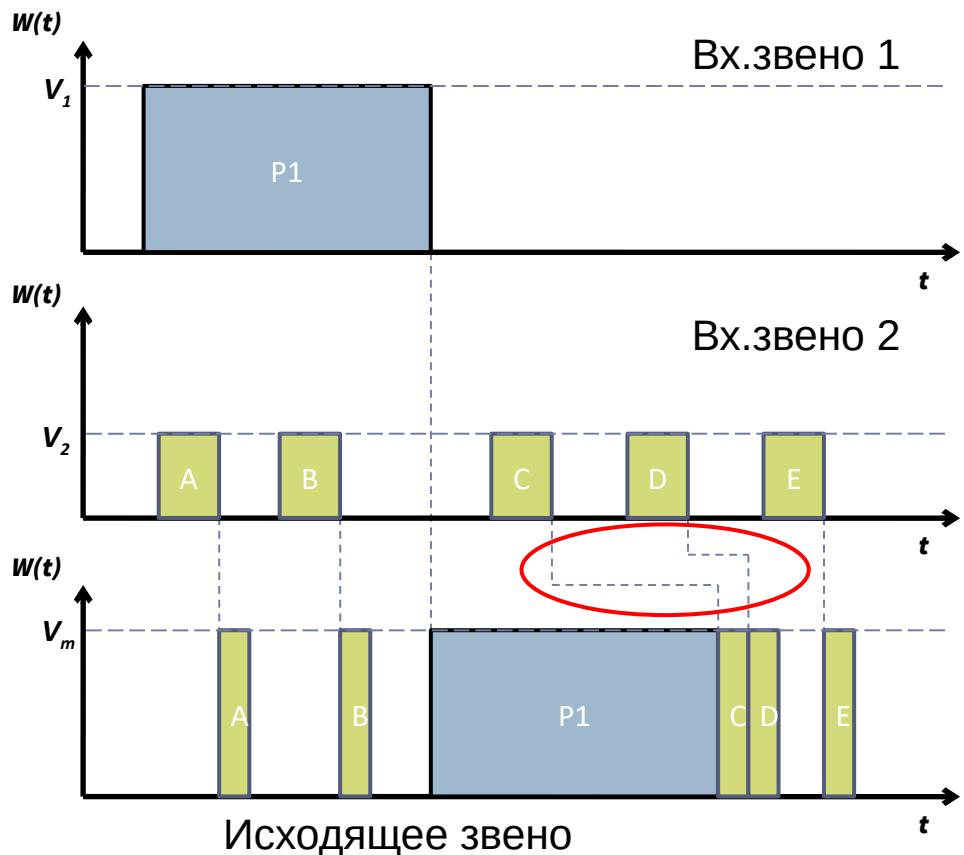
Принцип динамического мультиплексирования



- Порции трафика отдельных потоков передаются по комбинированному каналу по очереди, но на **максимальной скорости**
- Полоса пропускания канала **динамически распределяется** между потоками трафика, благодаря наличию **очереди буферов на передачу**
- В паузах одних потоков могут передаваться порции других потоков и **степень утилизации** ресурсов канала может быть высокой (до 100%)



Буферизация данных



Скорость передачи в подканале 2 меньше ($V_2 < V_m$)

Порции трафика могут поступать в произвольные моменты времени и приниматься со скоростью, не совпадающей со скоростью передачи исходящего звена:

- ✓ **Конфликт 1:** передача порции трафика по исходящему звену может начинаться только после завершения приема всей единицы от входящего звена из-за различия скоростей
- ✓ **Конфликт 2:** единицы трафика (C,D) не могут быть немедленно переданы по исходящему звену, поскольку оно в эти моменты занято передачей единицы трафика (P_1)

Для разрешения этих конфликтов порции трафика сначала **принимаются в буферную память** и только затем **перенаправляются в очередь** соответствующего исходящего звена или Endpoint-a → **Store & Forward**

Динамическое мультиплексирование

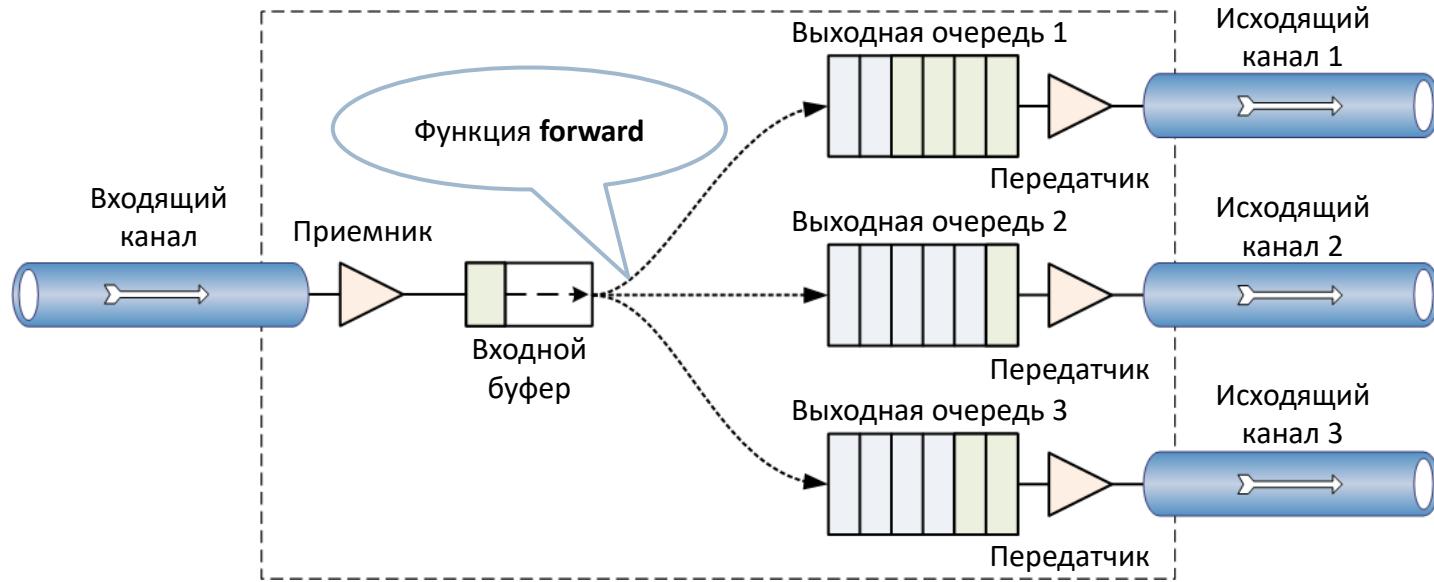
- ✓ сетевой трафик складывается из множества индивидуальных потоков данных (каждый между определёнными endpoint-ами)
- ✓ каждый поток данных рассматривается как транспортировка через сеть законченных порций данных — сообщений (генерируемых endpoint-ами)
- ✓ сообщения между узлами по звеньям передаются только целиком: с начала и до конца без пауз
- ✓ разные сообщения могут передаваться по звену последовательно друг за другом: пока идёт передача данных текущего сообщения, другие сообщения (если они имеются) должны ожидать своей очереди на отправку
- ✓ пропускная способность звеньев динамически распределяется между потоками: паузы в одних потоках могут заполняться сообщениями других потоков

Суть решения:

- ✓ узлы оборудуются (промежуточной) памятью, в которой выделяются буферы, способные хранить целое сообщение
- ✓ любое поступающее сообщение (от соседнего узла через внешний интерфейс, либо от локального endpoint-а) сначала размещается в буфере и только потом коммутируется
- ✓ применяется метод **Store and Forward**



Принцип коммутации Store and Forward



- ✓ принимаемые по звену данные, байт за байтом, размещаются во входном буфере (**Store** — запомни/сохрани)
- ✓ в момент, когда **последний байт порции (сообщения)** принят и размещён в буфере, **выполняется процедура коммутации**: анализируются данные принятого сообщения и, в зависимости от выбранного варианта, буфер либо **ставится в очередь требуемого исходящего звена**, либо **доставляется в локальный endpoint**, либо **сбрасывается (Forward** – направь)
- ✓ передатчики **работают асинхронно**: последовательно передавая **порции**, находящиеся в **выходной очереди** данного исходящего канала (пока она не пуста)

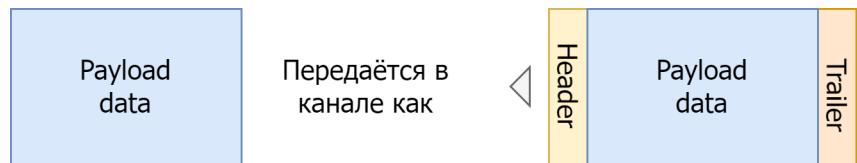


Структура передаваемого потока данных (инкапсуляция)

Если передавать исходные единицы трафика в канал “как есть”, то приемник не сможет отделить порции друг от друга (это будет просто сплошной поток битов с возможными паузами)



Кроме того, коммутатору на приемном узле требуется информация о том, к какому потоку относится эта порция и куда далее её отправлять. Поэтому передатчику необходимо добавлять в поток **служебную информацию**



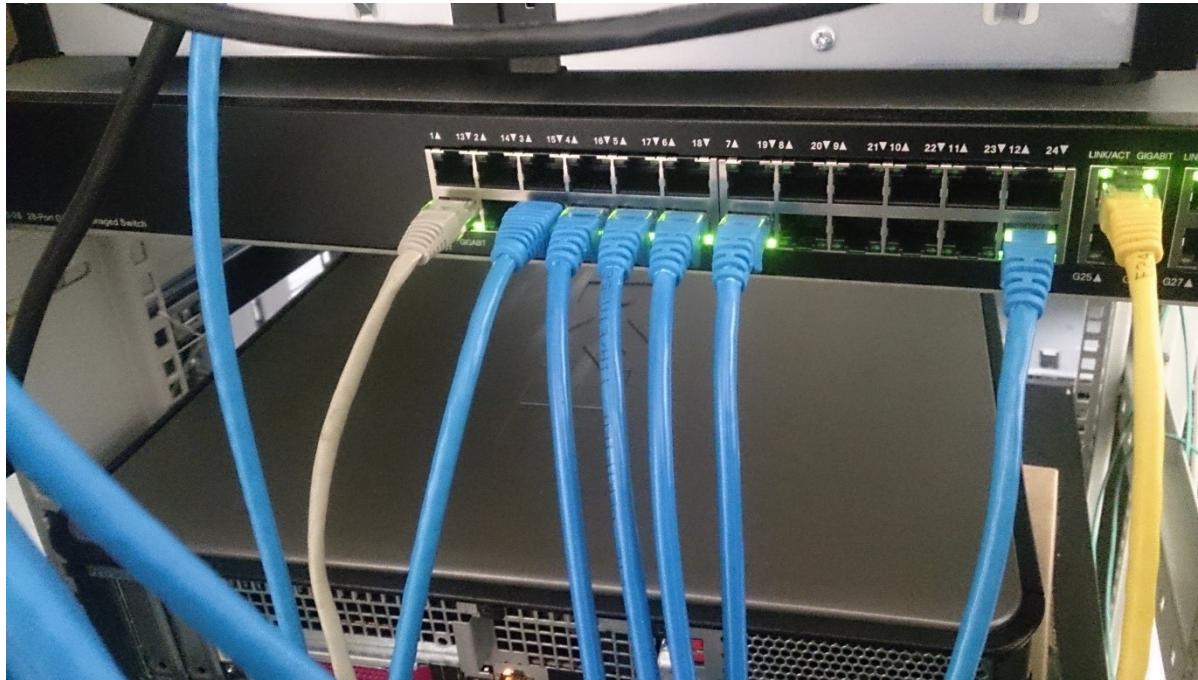
К каждой порции добавляется спереди **заголовок (header)**, а сзади – **хвостовик (trailer)** определенного известного формата и размера

Заголовок и хвостовик выступают в роли **конверта** в который вкладываются передаваемые (полезные) данные. Такой процесс называется **инкапсуляция (encapsulation)**. Коммутатор-приемник, ориентируясь на информацию содержащуюся в заголовках и хвостовиках, осуществляет коммутацию

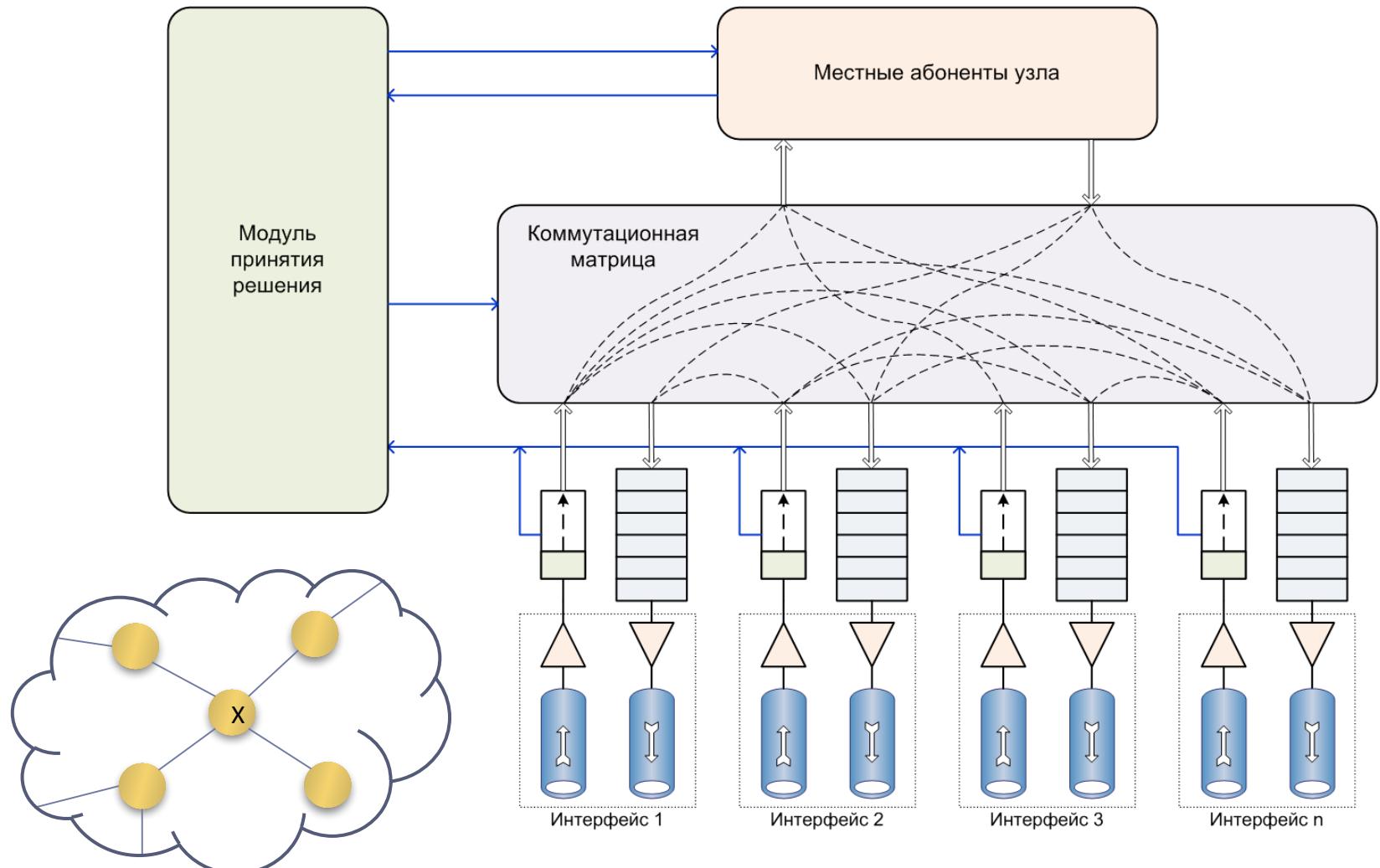
Что такое коммутатор



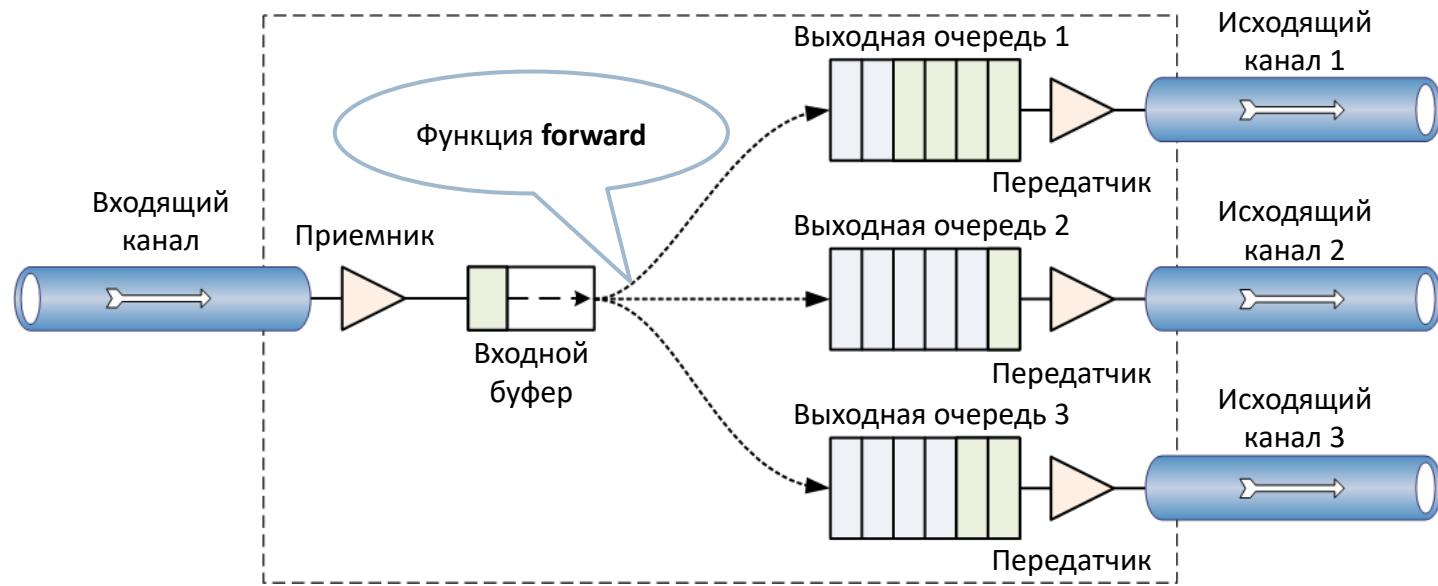
Структура узла коммутации



Структура узла коммутации



Задержки при коммутации



Задержки по стадиям обработки порции данных:

- ✓ Прием порции в во входной буфер:
размер порции / скорость передачи вх.канала
- ✓ Принятие решения и коммутация:
в пределах единиц микросекунд
- ✓ Ожидание в выходной очереди:
объем данных в очереди на передачу / скорость передачи вых.канала

Как определить объем данных в очереди ?



Технология коммутации сообщений

- ✓ Сети с коммутацией сообщений используют метод *Store & Forward* и динамическое мультиплексирование
- ✓ В качестве порций трафика выступают **сообщения (messages)** – «естественные» порции данных прикладных сетевых служб
- ✓ В зависимости от вида службы (услуги) сообщения могут быть **очень разными**:
 - SMS (140 (70) символов);
 - Электронное письмо (от сотен байт до десятков мегабайт);
 - Видеофайл (до десятков гигабайт).

Большой (потенциальный) размер сообщения создает **серьезные технические проблемы**:

- Буферная память каждого узла должна вмещать несколько (в зависимости от глубины очереди) сообщений **наибольшего возможного размера**
- Передача длинного сообщения задерживает все остальные передачи на данном звене



Технология коммутации пакетов



- ✓ Узел-отправитель **разбивает** исходное сообщение произвольного размера **на последовательность пронумерованных** фрагментов – **пакетов**
- ✓ Размер пакета **не может превышать** некую зафиксированную величину P_{max} (чаще всего около 1500 байтов). Пакеты **меньшего размера – допускаются**
- ✓ Каждый **пакет** отправляется по маршруту и **коммутируется** независимо от других **пакетов** сообщения как автономная единица трафика.
- ✓ Сборку исходного сообщения **осуществляет** узел-получатель в процессе приема пакетов - фрагментов.
- ✓ Транзитным узлам нет необходимости буферизовать все сообщение. Каждый успешно полученный фрагмент может быть немедленно поставлен в очередь на отправку по дальнейшему маршруту (конвейерная передача).

Коммутация пакетов - Pros & Cons

- + Кардинальное снижение требований к необходимому **объему буферной памяти** в узлах
- + Передача длинных сообщений **не задерживает передачу** другого трафика надолго
- + Уменьшение общего времени доставки длинного сообщения за счет **эффекта конвейерной передачи**

- Более **сложный алгоритм работы оконечных узлов** (проблемы корректной сборки сообщения из фрагментов)
- Выше **накладные расходы** за счет добавления служебной информации к каждому пакету

Преимущества настолько существенны, что на сегодняшний момент **все функционирующие сети** передачи данных построены по методу **коммутации пакетов**.

Даже традиционная телефонная сеть сегодня развивается в направлении технологии коммутации пакетов для передачи голосового трафика.



Основные методы построения СПД

Метод построения СПД	Единица трафика	Способ коммутации	Способ мультиплексирования каналов
<u>Коммутация каналов</u>	Сквозное соединение	Перемычки на узлах коммутации	Статическое
<u>Коммутация сообщений</u>	Сообщение – блок данных неограниченной длины	Store and forward (буферизация)	Статистическое (динамическое)
<u>Коммутация пакетов</u>	Пакет – блок данных ограниченной длины	Store and forward (буферизация)	Статистическое (динамическое)



Сравнение методов коммутации

	КК	КС	КП
Потребность в объеме буферной памяти	Не требуется	Очень высокая (мегабайты-гигабайты)	Умеренная (килобайты-мегабайты)
Макс. полоса пропускания, предоставляемая абоненту	Низкая (соединение фиксированной скорости)	Ограничивается только каналами передачи	Ограничивается только каналами передачи
Работа с неравномерным трафиком	Не поддерживается	Поддерживается	Поддерживается
Вносимая задержка доставки сообщения	Не вносит	Высокая (особенно для длинных сообщений и/или большом количестве транзитов)	Минимальная (за счет конвейерного эффекта)
Степень утилизации пропускной способности каналов передачи	Низкая (ресурсы, занятые простояющими соединениями не могут быть задействованы)	Самая высокая	Очень высокая (требуется передавать несколько больше служебного трафика, чем при КС)
Гарантия наличия полосы пропускания между узлами	Обеспечивается архитектурой сети	Не обеспечивается (из-за монополизации каналов длинными сообщениями)	Может быть обеспечена дополнительными средствами резервирования
Возможность параллельного обмена данными с несколькими узлами	Крайне ограничена (количество одновременных соединений, как правило, минимально: 1-2)	Не ограничена	Не ограничена

