

# ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ, СЕТИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Часть 2. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СЕТИ

Профессор, к.т.н. Жигалин Анатолий Георгиевич

# 2 ОСНОВЫ ПЕРЕДАЧИ ДИСКРЕТНЫХ ДАННЫХ

## 2.2 Методы передачи дискретных данных на физическом уровне

При передаче дискретных данных по каналам связи применяются два основных типа физического кодирования — на основе синусоидального несущего сигнала и на основе последовательности прямоугольных импульсов.

Первый способ часто называется также *модуляцией* или *аналоговой модуляцией*, подчеркивая тот факт, что кодирование осуществляется за счет изменения параметров аналогового сигнала.

Второй способ обычно называют *цифровым кодированием*.

Для реализации синусоидальной модуляции требуется более сложная и дорогая аппаратура, чем для реализации прямоугольных импульсов.

В настоящее время все чаще данные, изначально имеющие аналоговую форму — речь, телевизионное изображение, — передаются по каналам связи в дискретном виде.

Процесс представления аналоговой информации в дискретной форме называется дискретной модуляцией.

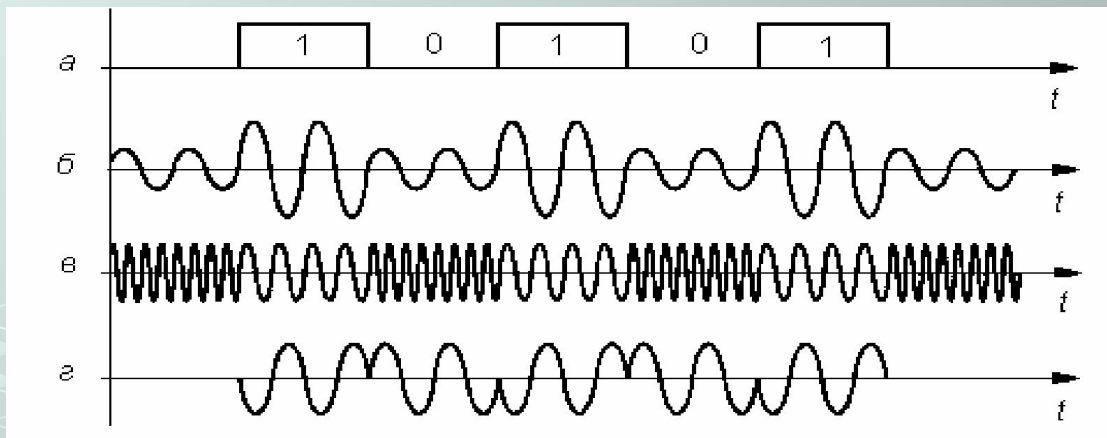
## 2.2.1 Аналоговая модуляция

Аналоговая модуляция применяется для передачи дискретных данных по каналам с узкой полосой частот, типичным представителем которых является канал тональной частоты, предоставляемый в распоряжение пользователям общественных телефонных сетей.

Этот канал передает частоты в диапазоне от 300 до 3400 Гц, таким образом, его полоса пропускания равна 3100 Гц. Хотя человеческий голос имеет гораздо более широкий спектр — примерно от 100 Гц до 10 кГц, — для приемлемого качества передачи речи диапазон в 3100 Гц является хорошим решением. Строгое ограничение полосы пропускания тонального канала связано с использованием аппаратуры уплотнения и коммутации каналов в телефонных сетях.

## **Методы аналоговой модуляции**

Аналоговая модуляция является таким способом физического кодирования, при котором информация кодируется изменением амплитуды, частоты или фазы синусоидального сигнала несущей частоты.



## Различные типы модуляции

**а** - биты исходной информации: потенциал высокого уровня для 1, потенциал нулевого уровня для 0;

**б** - амплитудная модуляция: для логической единицы выбирается один уровень амплитуды синусоиды несущей частоты, а для логического нуля — другой;

**в** - частотная модуляция: значения 0 и 1 исходных данных передаются синусоидами с различной частотой;

**г** - фазовая модуляция: значениям данных 0 и 1 соответствуют сигналы одинаковой частоты, но различной фазы.

## 2.2.2 Цифровое кодирование

При цифровом кодировании дискретной информации применяют *потенциальные* и *импульсные коды*.

В потенциальных кодах для представления логических единиц и нулей используется только значение потенциала сигнала, а его перепады, формирующие законченные импульсы, во внимание не принимаются.

Импульсные коды позволяют представить двоичные данные либо импульсами определенной полярности, либо частью импульса — перепадом потенциала определенного направления.

### **Требования к методам цифрового кодирования**

- обеспечение синхронизации между передатчиком и приемником;
- способностью распознавать ошибки.

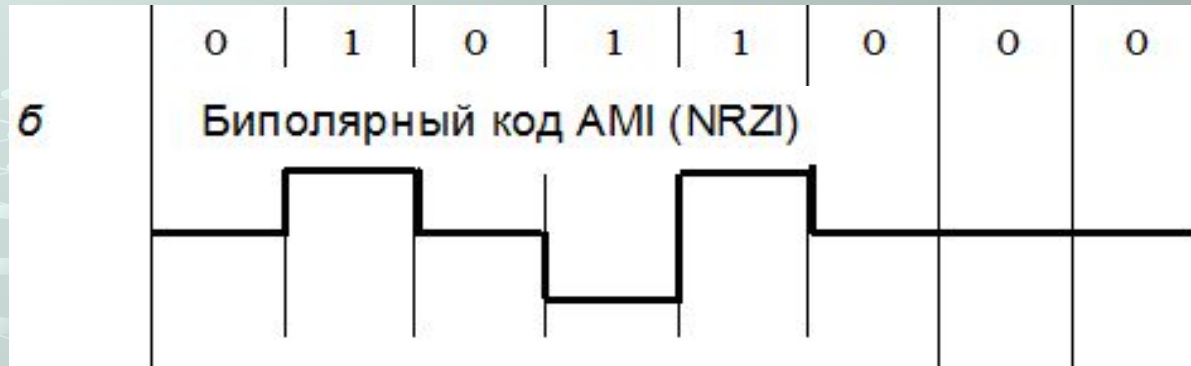
Требования, предъявляемые к методам кодирования, являются взаимно противоречивыми, поэтому каждый из рассматриваемых ниже методов цифрового кодирования обладает своими преимуществами и своими недостатками по сравнению с другими.

### Потенциальный код без возвращения к нулю



Этот метод (*Non Return to Zero, NRZ*) прост в реализации, обладает хорошей распознаваемостью ошибок (из-за двух резко отличающихся потенциалов), но не обладает свойством самосинхронизации.

# Метод биполярного кодирования с альтернативной инверсией



(*Bipolar Alternate Mark Inversion, AMI*) используют три уровня потенциала — отрицательный, нулевой и положительный. Для кодирования 0 используется нулевой потенциал, а 1 кодируется либо положительным потенциалом, либо отрицательным, при этом потенциал каждой новой единицы противоположен потенциалу предыдущей.



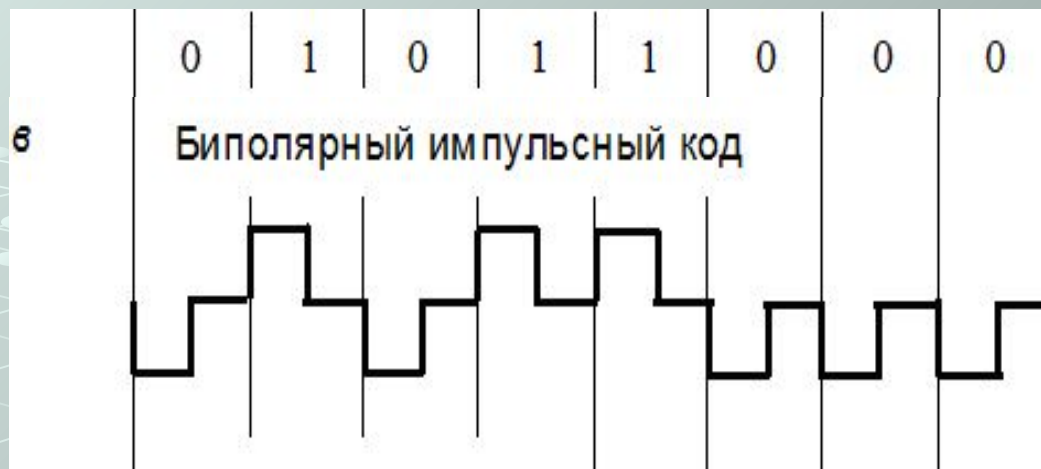
## Потенциальный код с инверсией при единице

Существует код, похожий на предыдущий, но только с двумя уровнями сигнала. При передаче 0 он передает потенциал, который был установлен в предыдущем такте (то есть не меняет его), а при передаче 1 потенциал инвертируется на противоположный.

Этот код называется *потенциальным кодом с инверсией при единице (Non Return to Zero With ones Inverted, NRZI)*.

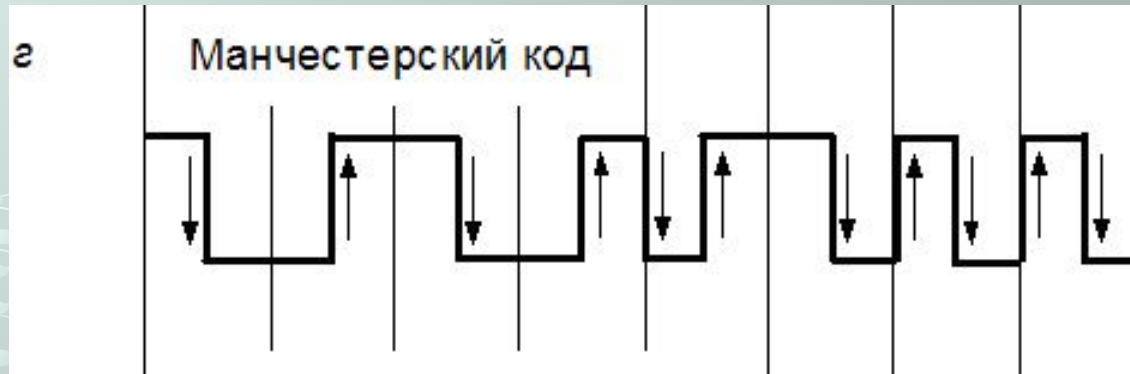
Удобен в тех случаях, когда использование третьего уровня сигнала весьма нежелательно, например, в оптических кабелях, где устойчиво распознаются два состояния сигнала — свет и темнота.

## Биполярный импульсный код



В сетях используются и импульсные коды, когда данные представлены полным импульсом или же его частью — фронтом. Наиболее простым случаем такого подхода является *биполярный импульсный код*, в котором 1 представлена импульсом одной полярности, а 0 — другой. Каждый импульс длится половину такта.

# Манчестерский код



В локальных сетях до недавнего времени был самым распространенным методом кодирования. Для кодирования используется перепад потенциала, то есть фронт импульса. Каждый такт делится на две части. Информация кодируется перепадами потенциала, происходящими в середине каждого такта. 1 кодируется перепадом от низкого уровня сигнала к высокому, а 0 — обратным перепадом. В начале каждого такта может происходить служебный перепад сигнала, если нужно представить несколько 1 или 0 подряд.

## Потенциальный код 2В1Q



Каждые два бита (2В) передаются за один такт сигналом, имеющим четыре состояния (1Q). Паре бит 00 соответствует потенциал -2,5 В, паре бит 01 потенциал -0,833 В, паре бит 11 — потенциал +0,833 В, а паре бит 10 — потенциал +2,5 В.

Недостаток - требуются меры по борьбе с длинными последовательностями одинаковых пар бит, так как при этом сигнал превращается в постоянную составляющую.

## 2.2.3 Логическое кодирование

Используется для улучшения потенциальных кодов типа AMI, NRZI или 2B1Q. Логическое кодирование должно заменять длинные последовательности бит, приводящие к постоянному потенциалу, вкраплениями единиц. Применяются два метода — избыточные коды и скремблирование.

### **Избыточные коды**

Основаны на разбиении исходной последовательности бит на порции, которые называют символами. Затем каждый исходный символ заменяется новым, имеющим большее количество бит, чем исходный. Например, логический код 4B/5B, используемый в технологиях FDDI и Fast Ethernet, заменяет исходные символы длиной в 4 бита на символы длиной в 5 бит. Так как результирующие символы содержат избыточные биты, то общее количество битовых комбинаций в них больше, чем в исходных.

Так, в коде 4В/5В результирующие символы могут содержать 32 комбинации, в то время как исходные символы — только 16. Поэтому в результирующем коде можно отобрать 16 таких комбинаций, которые не содержат большого количества нулей, а остальные считать *запрещенными кодами (code violation)*.

Кроме устранения постоянной составляющей и придания коду свойства самосинхронизации, избыточные коды позволяют приемнику распознавать искаженные биты. Если приемник принимает запрещенный код, значит, на линии произошло искажение сигнала.

Буква *B* в названии кода означает, что элементарный сигнал имеет 2 состояния — от *binary* — двоичный.

Имеются коды и с тремя состояниями сигнала, например, в коде 8В/6Т для кодирования 8 бит исходной информации используется код из 6 сигналов, каждый из которых имеет три состояния.

## Скрэмблирование

Перемешивание данных скрэмблером перед передачей их в линию с помощью потенциального кода является другим способом логического кодирования.

Методы скрэмблирования заключаются в побитном вычислении по определенному соотношению результирующего кода на основании бит исходного кода и полученных в предыдущих тактах бит результирующего кода.

После получения результирующей последовательности приемник передает ее дескрэмблеру, который восстанавливает исходную последовательность на основании обратного соотношения.

## 2.2.4 Дискретная модуляция аналоговых сигналов

Одной из тенденций развития сетевых технологий является передача в одной сети как дискретных, так и аналоговых данных.

Источниками дискретных данных являются компьютеры и другие вычислительные устройства, а источниками аналоговых данных являются такие устройства, как телефоны, видеокамеры, звуко- и видеовоспроизводящая аппаратура.

На ранних этапах решения этой проблемы в территориальных сетях все типы данных передавались в аналоговой форме, при этом дискретные по своему характеру компьютерные данные преобразовывались в аналоговую форму с помощью модемов.



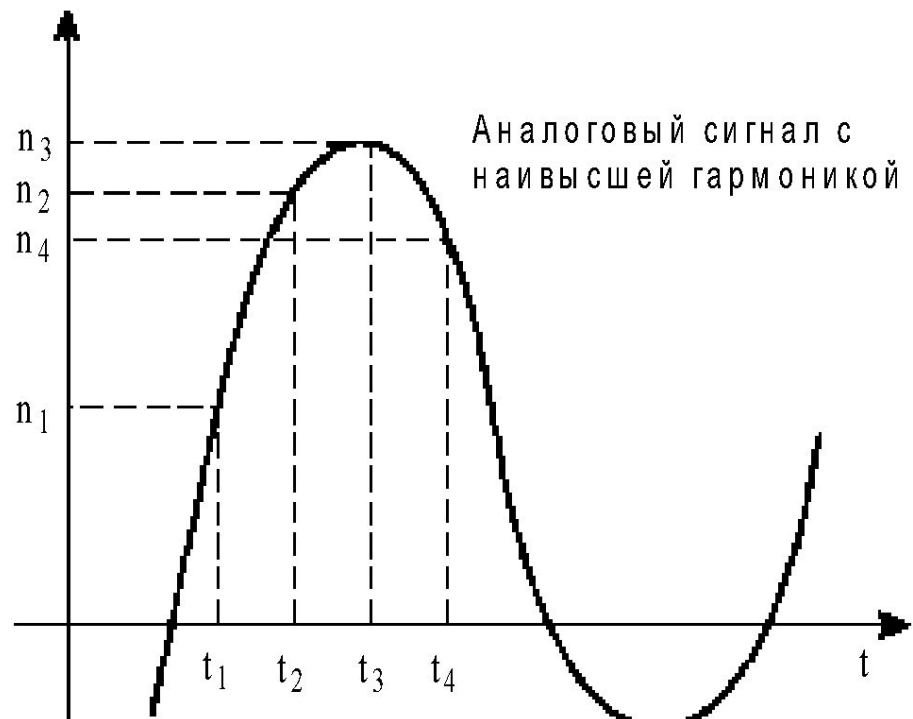
Однако по мере развития техники съема и передачи аналоговых данных выяснилось, что передача их в аналоговой форме не позволяет улучшить качество принятых на другом конце линии данных, если они существенно исказились при передаче. Сам аналоговый сигнал не дает никаких указаний ни о том, что произошло искажение, ни о том, как его исправить, поскольку форма сигнала может быть любой, в том числе и такой, которую зафиксировал приемник.

Улучшение же качества линий, особенно территориальных, требует огромных усилий и капиталовложений. Поэтому на смену аналоговой технике записи и передачи звука и изображения пришла цифровая техника. Эта техника использует так называемую дискретную модуляцию исходных непрерывных во времени аналоговых процессов.

Дискретные способы модуляции основаны на дискретизации непрерывных процессов как по амплитуде, так и по времени.

Рассмотрим принципы дискретной модуляции на примере *импульсно-кодовой модуляции, ИКМ (Pulse Amplitude Modulation, PAM)*, которая широко применяется в цифровой телефонии.

Амплитуда исходной непрерывной функции измеряется с заданным периодом — за счет этого происходит дискретизация по времени. Затем каждый замер представляется в виде двоичного числа определенной разрядности, что означает дискретизацию по значениям функции — непрерывное множество возможных значений амплитуды заменяется дискретным множеством ее значений.



Устройство, выполняющее эту функцию, называется *аналого-цифровым преобразователем (АЦП)*.

После этого замеры передаются по каналам связи в виде последовательности единиц и нулей.

На приемной стороне линии коды преобразуются в исходную последовательность бит, а специальная аппаратура, называемая *цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП)*, производит демодуляцию оцифрованных амплитуд непрерывного сигнала, восстанавливая исходную непрерывную функцию времени.

Преимуществом цифровых методов записи, воспроизведения и передачи аналоговой информации является возможность контроля достоверности считанных с носителя или полученных по линии связи данных.

Для этого можно применять те же методы, которые применяются для компьютерных данных — вычисление контрольной суммы, повторная передача искаженных кадров, применение самокорректирующихся кодов.

## 2.2.5 Асинхронная и синхронная передачи

При обмене данными на физическом уровне единицей информации является бит, поэтому средства физического уровня всегда поддерживают побитовую синхронизацию между приемником и передатчиком.

Канальный уровень оперирует кадрами данных и обеспечивает синхронизацию между приемником и передатчиком на уровне кадров. В обязанности приемника входит распознавание начала первого байта кадра, распознавание границ полей кадра и распознавание признака окончания кадра.

Достаточно обеспечить синхронизацию на указанных двух уровнях — битовом и кадровом, — чтобы передатчик и приемник смогли обеспечить устойчивый обмен информацией.

При плохом качестве линии связи (обычно это относится к телефонным коммутируемым каналам) для удешевления аппаратуры и повышения надежности передачи данных вводят дополнительные средства синхронизации на уровне байт.

Такой режим работы называется *асинхронным* или *старт-стопным*. Другой причиной использования такого режима работы является наличие устройств, которые генерируют байты данных в случайные моменты времени. Так работает клавиатура терминального устройства, с которого человек вводит данные для обработки их компьютером.

В асинхронном режиме каждый байт данных сопровождается специальными сигналами «старт» и «стоп».

Назначение этих сигналов в том, чтобы, во-первых, известить приемник о приходе данных и, во-вторых, чтобы дать приемнику достаточно времени для выполнения функций, связанных с синхронизацией, до поступления следующего байта.

Сигнал «старт» имеет продолжительность в один тактовый интервал, а сигнал «стоп» может длиться один, полтора или два такта, поэтому говорят, что используется один, полтора или два бита в качестве стопового сигнала, хотя пользовательские биты эти сигналы не представляют.

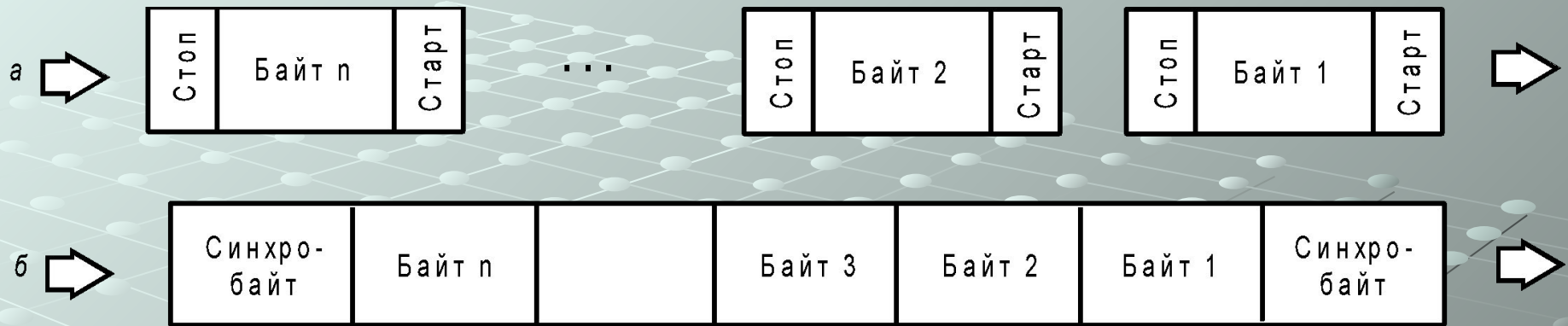
Асинхронным описанный режим называется потому, что каждый байт может быть несколько смещен во времени относительно побитовых тактов предыдущего байта.

При синхронном режиме передачи старт-стопные биты между каждой парой байт отсутствуют.

Пользовательские данные собираются в кадр, который предваряется байтами синхронизации. Байт синхронизации — это байт, содержащий заранее известный код, который оповещает приемник о приходе кадра данных. При его получении приемник должен войти в байтовый синхронизм с передатчиком, то есть правильно понимать начало очередного байта кадра.

Иногда применяется несколько синхробайт для обеспечения более надежной синхронизации приемника и передатчика. Так как при передаче длинного кадра у приемника могут появиться проблемы с синхронизацией бит, то в этом случае используются самосинхронизирующиеся коды.





Асинхронная (а) и синхронная (б) передачи на уровне байт

## 2.3 Методы передачи данных канального уровня

Канальный уровень обеспечивает передачу пакетов данных, поступающих от протоколов верхних уровней, узлу назначения, адрес которого также указывает протокол верхнего уровня.

Протоколы канального уровня оформляют переданные им пакеты в кадры собственного формата, помещая указанный адрес назначения в одно из полей кадра, а также сопровождая кадр контрольной суммой. Протокол канального уровня имеет локальный смысл, он предназначен для доставки кадров данных, как правило, в пределах сетей с простой топологией связей и однотипной или близкой технологией.

Другой областью действия протоколов канального уровня являются связи типа «точка-точка» глобальных сетей, когда протокол канального уровня ответственен за доставку кадра непосредственному соседу.

Адрес в этом случае не имеет принципиального значения, а на первый план выходит способность протокола восстанавливать искаженные и утерянные кадры, так как плохое качество территориальных каналов часто требует выполнения подобных действий.

Наиболее существенными характеристиками метода передачи, а значит, и протокола, работающего на канальном уровне, являются следующие:

- асинхронный/синхронный;
- с предварительным установлением соединения / дейтаграммный;

- с обнаружением искаженных данных/без обнаружения;
- с обнаружением потерянных данных/без обнаружения;
- с восстановлением искаженных и потерянных данных/без восстановления;
- с поддержкой динамической компрессии данных/без поддержки.

## 2.3.1 Асинхронные протоколы

Асинхронные протоколы представляют собой наиболее старый способ связи. Эти протоколы оперируют не с кадрами, а с отдельными символами, которые представлены байтами со start-стоповыми символами. В этих протоколах применяются стандартные наборы символов, чаще всего ASCII или EBCDIC.

## 2.3.2 Передача с установлением соединения и без установления соединения

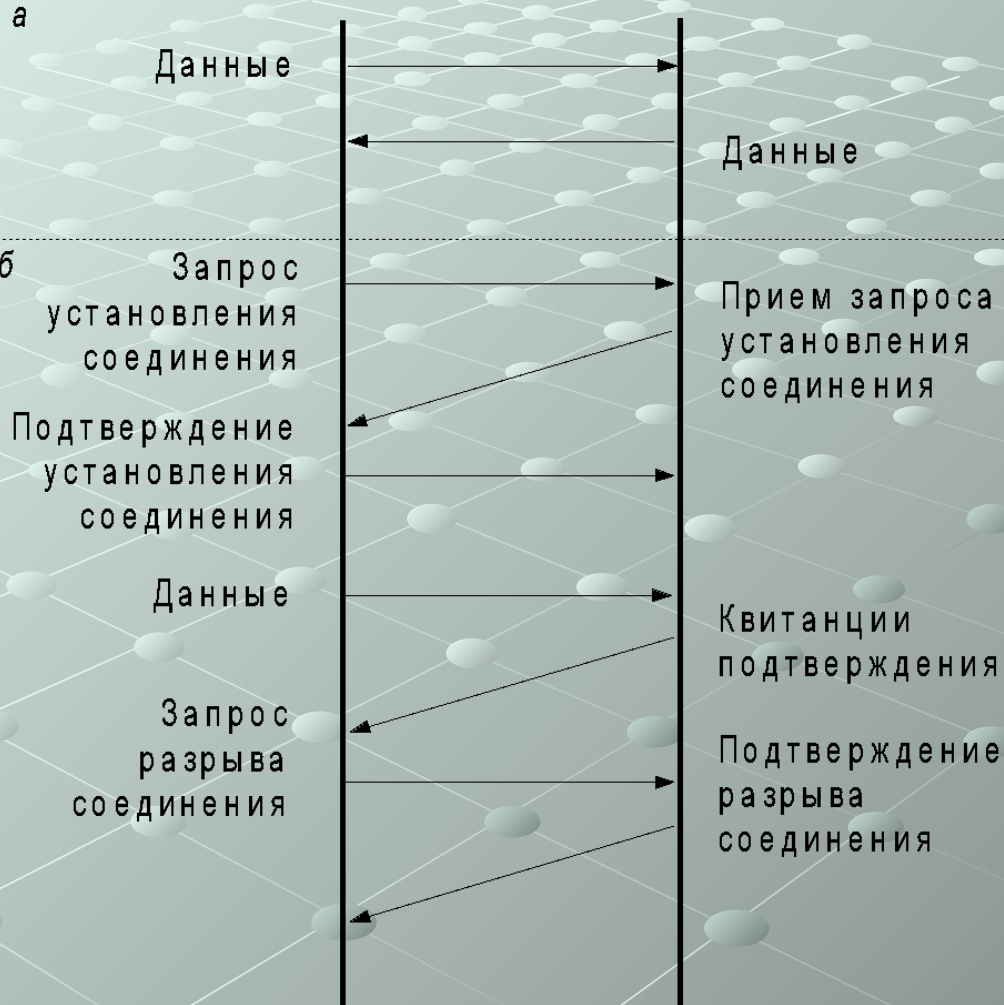
При передаче кадров данных на канальном уровне используются как *дейтаграммные* процедуры, работающие без установления соединения (*connectionless*), так и процедуры с предварительным установлением логического соединения (*connection-oriented*).

При дейтаграммной передаче кадр посылается в сеть «без предупреждения», и никакой ответственности за его утерю протокол не несет.

Предполагается, что сеть всегда готова принять кадр от конечного узла. Дейтаграммный метод работает быстро, но не гарантирует доставку пакета.

Передача с установлением соединения более надежна, но требует больше времени для передачи данных и вычислительных затрат от конечных узлов.

Узел 1                      Узел 2



Протоколы без установления соединения (а) и с установлением соединения (б)

Процедура установления соединения может использоваться для достижения различных целей.

- Для взаимной аутентификации пользователей или оборудования (маршрутизаторы тоже могут иметь имена и пароли, которые нужны для уверенности в том, что злоумышленник не подменил корпоративный маршрутизатор и не отвел поток данных в свою сеть для анализа).
- Для согласования изменяемых параметров протокола.
- Для обнаружения и коррекции ошибок. Установление логического соединения дает точку отсчета для задания начальных значений номеров кадров. При потере нумерованного кадра приемник, во-первых, получает возможность обнаружить этот факт, а во-вторых, он может сообщить передатчику, какой в точности кадр нужно передать повторно.

## 2.3.3 Обнаружение и коррекция ошибок

Канальный уровень должен обнаруживать ошибки передачи данных, связанные с искажением бит в принятом кадре данных или с потерей кадра, и по возможности их корректировать.

Большая часть протоколов канального уровня выполняет только первую задачу — обнаружение ошибок, считая, что корректировать ошибки, то есть повторно передавать данные, содержавшие искаженную информацию, должны протоколы верхних уровней.

### **Методы обнаружения ошибок**

Основаны на передаче в составе кадра служебной избыточной информации, по которой можно судить с некоторой степенью вероятности о достоверности принятых данных.



Эту служебную информацию принято называть *контрольной суммой* (или *последовательностью контроля кадра* — *Frame Check Sequence, FCS*). Контрольная сумма вычисляется как функция от основной информации, причем необязательно только путем суммирования. Принимающая сторона повторно вычисляет контрольную сумму кадра по известному алгоритму и в случае ее совпадения с контрольной суммой, вычисленной передающей стороной, делает вывод о том, что данные были переданы через сеть корректно.

### **Методы восстановления искаженных и потерянных кадров**

Основаны на повторной передаче кадра данных в том случае, если кадр теряется и не доходит до адресата или приемник обнаружил в нем искажение информации.

Чтобы убедиться в необходимости повторной передачи данных, отправитель нумерует отправляемые кадры и для каждого кадра ожидает от приемника так называемой положительной квитанции — служебного кадра, извещающего о том, что исходный кадр был получен и данные в нем оказались корректными.

Время этого ожидания ограничено — при отправке каждого кадра передатчик запускает таймер, и, если по его истечении положительная квитанция не получена, кадр считается утерянным.

Приемник в случае получения кадра с искаженными данными может отправить отрицательную квитанцию — явное указание на то, что данный кадр нужно передать повторно.

## 2.3.4 Компрессия данных

*Компрессия* (сжатие) данных применяется для сокращения времени их передачи. Так как на компрессию данных передающая сторона тратит дополнительное время, к которому нужно еще прибавить аналогичные затраты времени на декомпрессию этих данных принимающей стороной, то выгоды от сокращения времени на передачу сжатых данных обычно бывают заметны только для низкоскоростных каналов.

Этот порог скорости для современной аппаратуры составляет около 64 Кбит/с.

Многие программные и аппаратные средства сети способны выполнять *динамическую компрессию* данных в отличие от статической, когда данные предварительно компрессируются (например, с помощью популярных архиваторов типа WinRAR), а уже затем отсылаются в сеть.