

Цифровые коммуникации в управлении процессами

Понятие информации

Математически информация определяется как **мера упорядоченности множества, состоящего из различных объектов.**

Мера информации I , ассоциируемая с системой, которая может принимать N возможных состояний, есть логарифм N . Если логарифм вычисляется по основанию 2, то результирующая мера в битах есть

$$I = \log_2 N$$

Применение логарифма для измерения информации удобно потому, что:

1. Логарифм представляет собой **возрастающую функцию числа возможных состояний**;
2. Если возможно лишь одно состояние, значение логарифма равно нулю, т. е. **информационное содержание константы — ноль**;
3. **Логарифмирование делает меру информации аддитивной**; для сравнения: число комбинаций состояний независимых переменных есть произведение числа состояний, которое может принимать каждая переменная.

Важным следствием логарифмического характера меры информации является то, что она всегда положительна.

Коммуникации

Коммуникации — это процесс перемещения информации в пространстве. Связь играет фундаментальную роль во всех организованных системах.

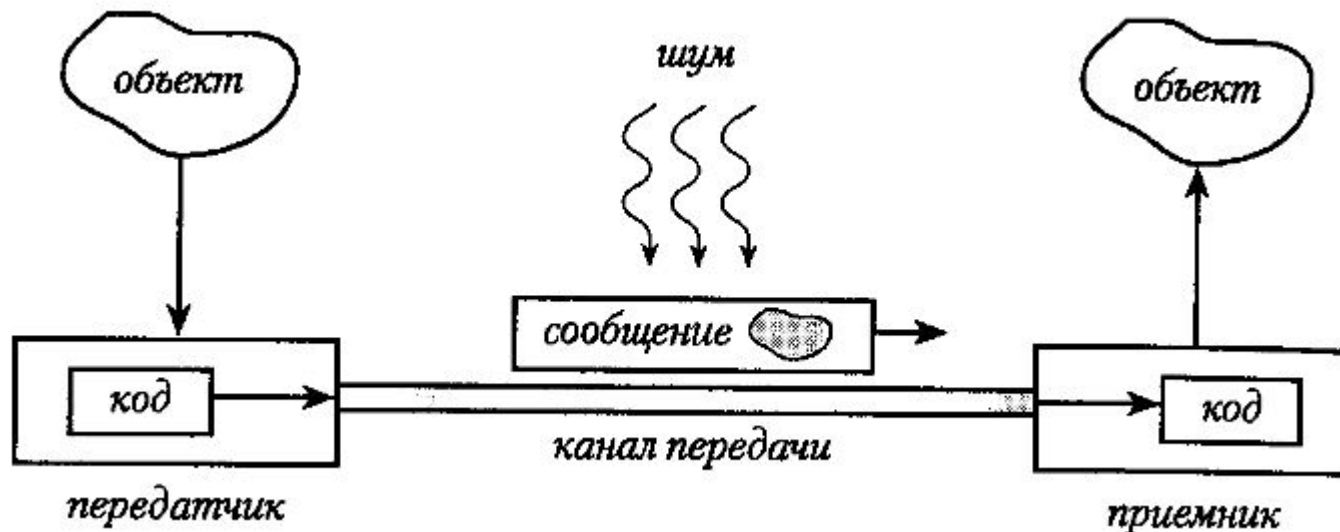


Рис.1. Общая модель процесса коммуникации

Информация сама по себе не имеет физических (материальных) характеристик, следовательно **для передачи сообщения должен применяться какой-либо код**, в соответствии с которым передатчик изменяет некоторые физические свойства канала, а приемник восстанавливает сообщение по изменениям, которые он обнаруживает в канале.

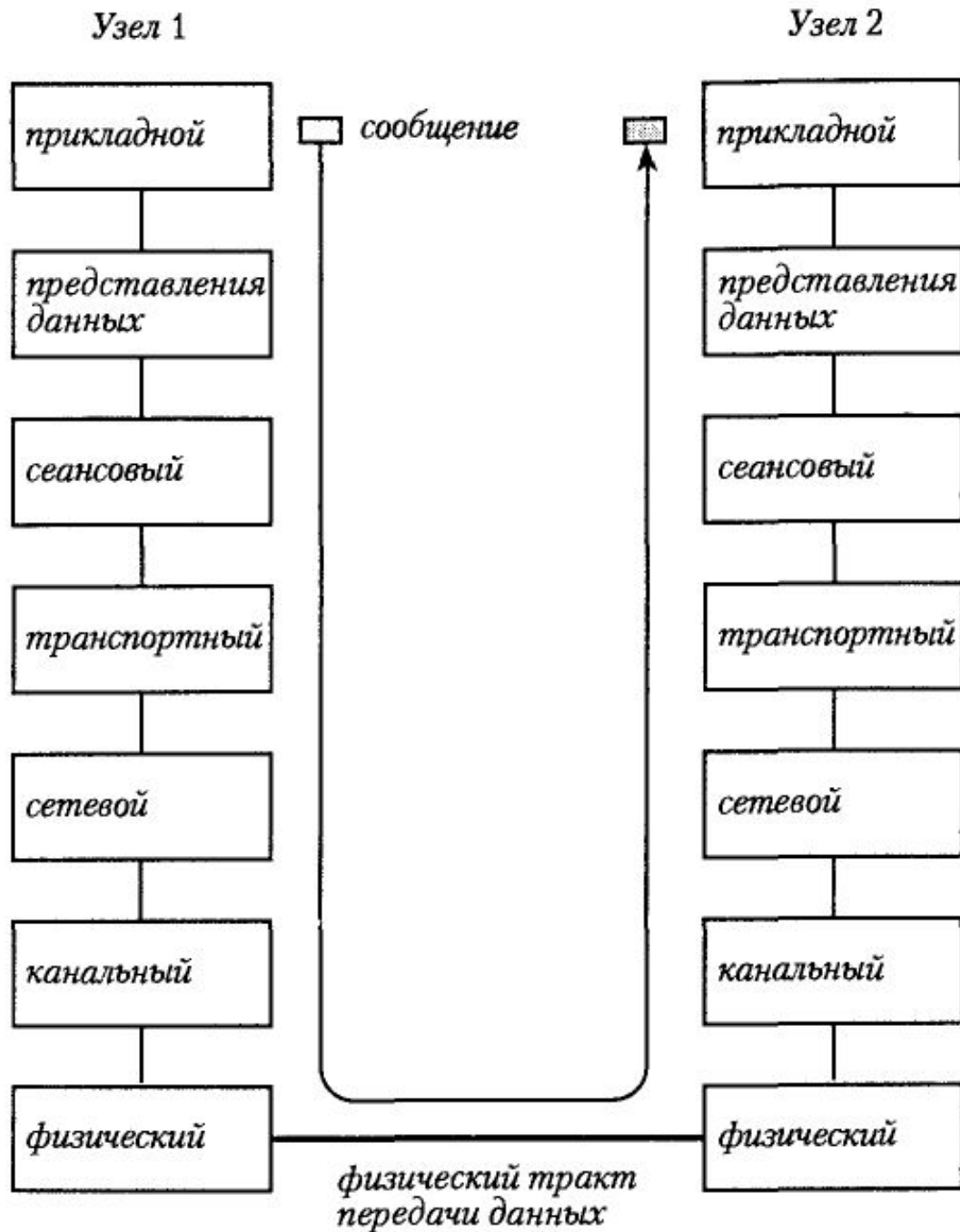
На канал обычно влияет шум, искажающий сообщение и затрудняющий распознавание приемником изменений в канале и правильную интерпретацию сообщения.

Модель взаимодействия открытых систем

Для того чтобы преодолеть трудности, возникающие из-за большого количества несовместимых стандартов, **Международная организация по стандартизации** (*International Organization for Standardization — ISO*) разработала эталонную **модель Взаимодействия Открытых Систем** (*Open System interconnection - OSI*)

Модель ВОС — это концептуальная модель процесса коммуникации, основанная на **разбиении** этого **процесса на несколько функциональных уровней**, каждый из которых взаимодействует только со своими непосредственными соседями, аналогично тому, как это делается при разработке операционных систем. Такой подход позволяет предоставлять услуги, скрывая при этом механизм реализации, а значит, обеспечить определенную степень совместимости и взаимозаменяемости.

В модели ВОС определены **семь функциональных уровней**. Каждый уровень напрямую взаимодействует только с непосредственными соседями, запрашивая услуги у нижележащего и поставляя их вышележащему уровню.



Объекты, расположенные на одном уровне в разных узлах коммуникационной сети, называются **одноранговыми**.

Эти **объекты взаимодействуют** между собой **на основе протоколов**, которые определяют форматы сообщений и правила их передачи.

Модель ВОС определяет услуги, которые каждый уровень должен предоставлять более высокому уровню.

Услуги (что делать) четко отделены от протоколов (как делать).

Взаимодействие базируется на том, что разные системы структурированы вокруг одних и тех же служб и протоколы на каждом уровне совпадают

- 1. Физический уровень** — представляет собой физическую среду передачи — электрическую или оптическую — с соответствующими интерфейсами к сопрягаемым объектам, которые называются **станциями** или **узлами**. Все детали, касающиеся среды передачи, уровня сигналов и частот, рассматриваются на этом уровне. **Физический уровень является единственной материальной связью между двумя узлами.**
- 2. Канальный уровень** или **уровень звена данных** — обеспечивает функции, связанные с **формированием и передачей кадров** от одного узла к другому, **обнаружением и исправлением ошибок**, возникающих на физическом уровне. При появлении ошибки, например из-за помех на линии этом уровне запрашивается повторная передача поврежденного кадра. В результате канальный уровень обеспечивает верхние уровни услугами по безошибочной передаче данных между узлами. Если несколько устройств используют общую среду передачи, то на этом уровне также осуществляется управление доступом к среде.
- 3. Сетевой уровень** — **устанавливает маршрут и контролирует прохождение сообщений от источника к узлу назначения**. Маршрут может состоять из нескольких физических сегментов, не все из которых связаны непосредственно.

4. **Транспортный уровень** — управляет доставкой сообщений от источника к приемнику. Этот уровень представляет собой **интерфейс между прикладным программным обеспечением, запрашивающим передачу данных, и физической сетью**, представленной первыми тремя уровнями. Одна из **главных задач** транспортного уровня — **обеспечить независимость верхних уровней от физической структуры сети**, в частности от маршрута доставки сообщений. Транспортный уровень несет ответственность за проверку правильности передачи данных от источника к приемнику и доставку данных к прикладным программам.
5. **Сеансовый уровень** — отвечает за **установку, поддержку синхронизации и управление соединением** (сеансом связи, диалогом) **между объектами уровня представления данных**. На этом уровне, в частности, происходит удаленная регистрация в сети.
6. **Уровень представления данных** — **обеспечивает кодирование и преобразование неструктурированного потока бит в формат, понятный приложению-получателю** или, иначе говоря, восстановление исходного формата данных — сообщение, текст, рисунки и т. п.
7. **Прикладной уровень** — самый верхний уровень, на котором решаются собственно прикладные задачи — передача файлов, операции с распределенными базами данных и удаленное управление.

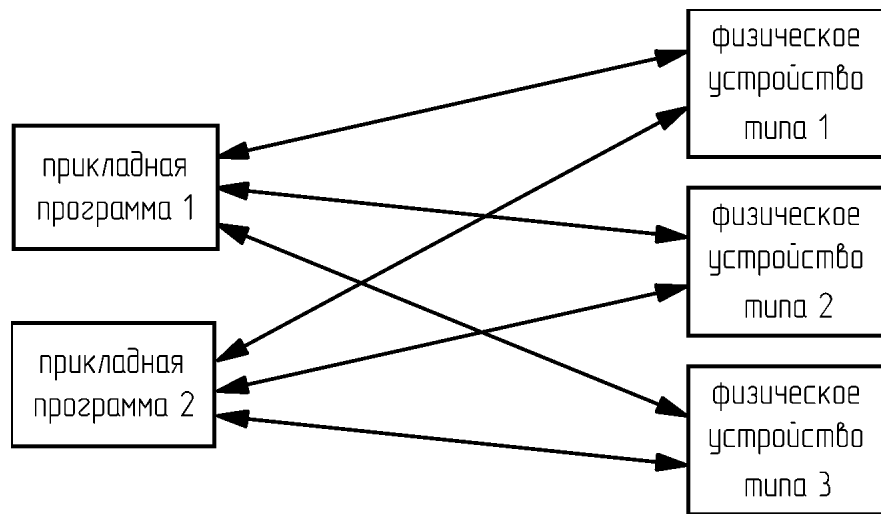
Виртуальные устройства

Виртуальное устройство — понятие, часто применяемое в модели ВОС, равно как и в других областях индустрии связи, операционных и распределенных вычислительных системах.

Виртуальное устройство представляет собой **описание на специальном языке функций и параметров некоторого устройства, которое ведет себя, как реальное.**

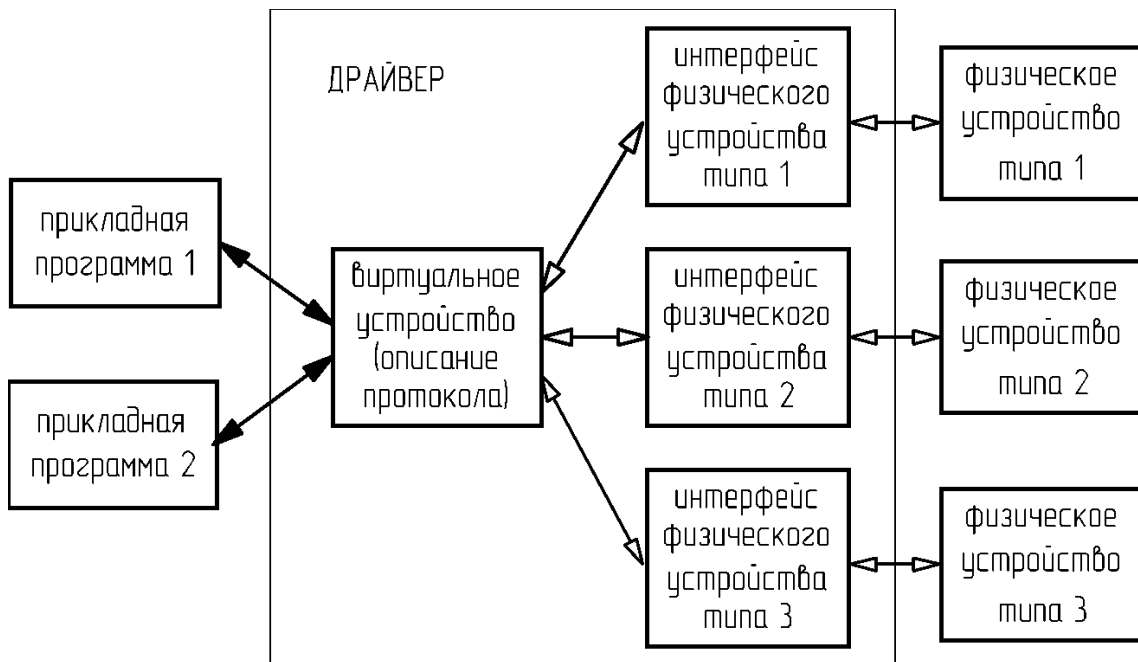
Совокупность процедур, составляющих виртуальное устройство, скрывает механизм выполнения функций реальным устройством и воспринимает и вырабатывает только "чистые" и структурированные команды и данные.

Основное достоинство концепции виртуального устройства в том, что **прикладные программы не надо модифицировать для работы с новым реальным устройством.** Достаточно снабдить каждое новое физическое устройство программным интерфейсом, сопрягающим его с виртуальным. **Прикладная программа ничего не должны знать о том, какое конкретное физическое устройство используется в системе.**



Без применения концепции виртуального устройства программист должен учитывать различия в управляющих командах для выполнения одних и тех же действий на разных типах оборудования.

Рис. 4. Непосредственная привязка прикладных программ к физическому устройству



При использовании виртуального устройства достаточно записать управляющие команды на абстрактном языке. Драйвер конкретного устройства преобразует эти команды в управляющие последовательности для реального устройства.

Рис. 5. Привязка к физическому устройству через виртуальное

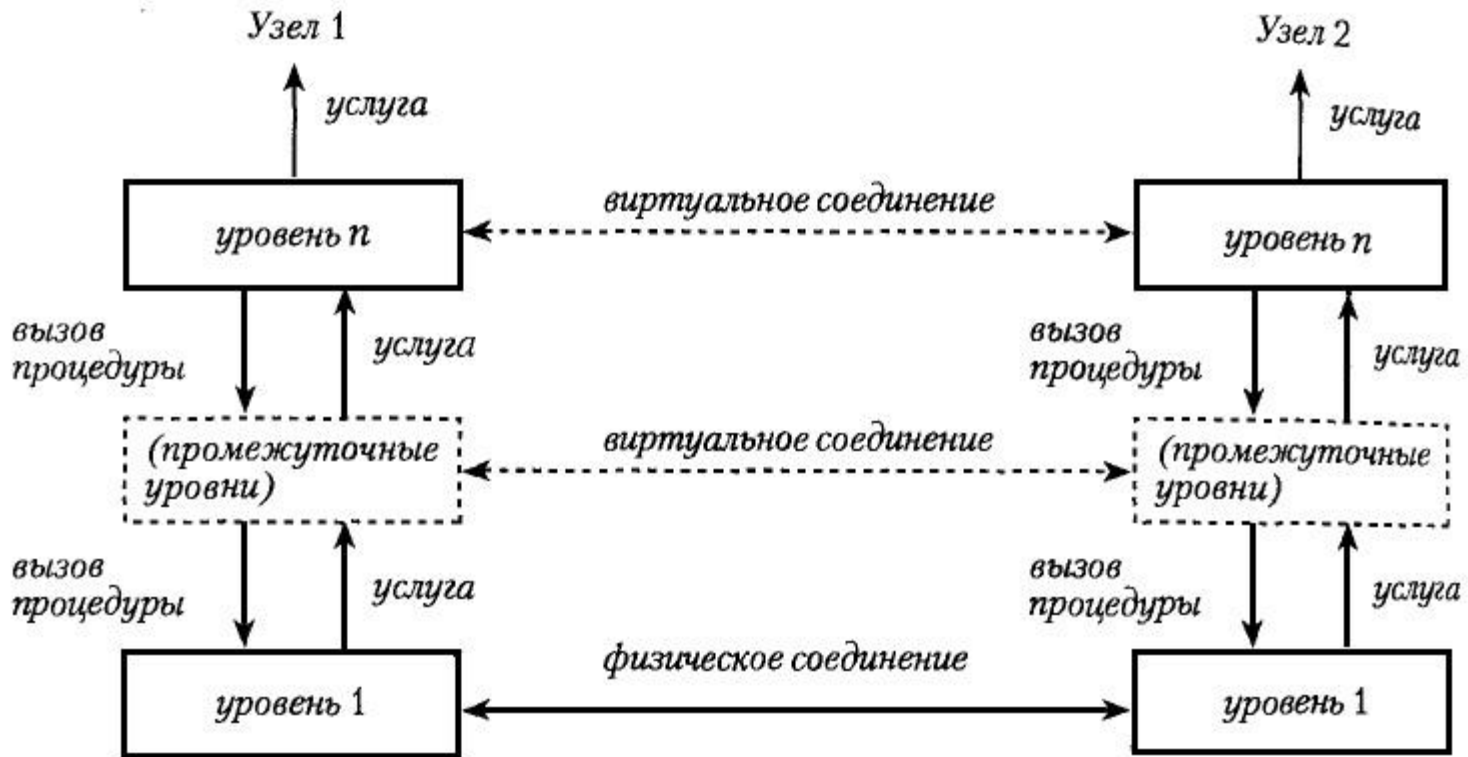


Рис. 6. Виртуальное соединение одноранговых объектов в модели ВОС

Два одноранговых объекта соединены **виртуальной** (логической) связью.

Для объектов **виртуальная связь** представляется **реальным каналом связи**, хотя виртуальное и физическое соединения совпадают только на первом уровне.

Объекты обмениваются данными в соответствии с протоколами, определенным для их уровня.

Например, объект уровня 4 одного узла может взаимодействовать только с объектами уровней 3 и 5 того же узла и уровня 4 другого узла.

Протокол представляет собой **набор правил**, определяющих начало, проведение и окончание процесса связи между одноранговыми объектами.

Сообщения, которыми обмениваются одноранговые объекты, **содержат** либо **пользовательские данные**, либо являются **протокольными (управляющими) сообщениями**.

Перед передачей на 'нижележащий уровень' к сообщению добавляется **управляющая информация** — **заголовок уровня** — в соответствии с протоколом, принятым на данном уровне.



Рис. 7. Общая схема передачи информации между уровнями

Основные количественные характеристика канала связи

Пропускная способность – количество информации, которое может быть передано за единицу времени.

Единица измерения – бит/сек. **Экономический критерий** – передать больше информации при меньших затратах. Чем выше пропускная способность тем дороже канал.

Полоса пропускания – диапазон частот, который канал связи способен передать с затуханием менее 3 дБ (50% падения уровня мощности).

Измеряется в герцах (Гц) или в кратных единицах.

Например, обычная телефонная линия передает сигналы в частотном диапазоне от 300 до 3400 Гц, а полоса пропускания равна 3,1 кГц. Типичная ширина полосы пропускания телевизионного канала составляет 5,5 МГц.

Соотношение между шириной полосы пропускания электрического канала [Гц] и максимальной скоростью передачи данных R_{max} [бит/с] было установлено **Найквистом** в 1924 году.

$$R_{max} = 2W \cdot \log_2 N$$

Достаточную информацию о сигнале с **полосой пропускания** W можно получить при частоте выборки $2W$. Более высокая частота выборки ничего не прибавляет к информации, необходимой для восстановления сигнала.

Это соотношение аналогично тому, которое применяется при дискретизации восстановлении сигнала

Помехи

Важным фактором, отрицательно влияющим на связь, являются помехи

Помехи – это неизбежная реальность окружающего мира и неотъемлемое **свойство канала связи**. В электромагнитном канале помехи связаны со случайным тепловым движением электронов, а их влияние пропорционально полосе пропускания канала. Помехи могут возникать в электрическом проводнике и под воздействием окружающей среды, при этом проводник ведет себя как приемная антенна.

Шумы в линии рассматриваются **относительно уровня мощности передаваемых сигналов**.

Приемник может неправильно расшифровать сообщение и выполнить не то действие, которое предусматривалось передатчиком. Если для кодирования символов используется много близких уровней напряжения, то символы становится трудно выделить и однозначно идентифицировать.

Поэтому **защита от шума и восстановление искаженных данных являются важными проблемами связи**. При выборе параметров каналов связи шум является одним из факторов, определяющим большинство принимаемых компромиссов. В принципе, шум можно устранить, но ценой излишних затрат; на практике существуют способы борьбы с шумом, позволяющие снизить его до безопасного уровня.

Проблемы связи в условиях шума изучались американским математиком **Клодом Шенноном**. В 1948 году, в работе, которая по сей день считается основой теории связи, Шеннон предложил соотношение, описывающее канал с полосой пропускания W [Гц], находящийся под влиянием шума.

Шеннон ввел **характеристику канала** — **отношение сигнал/шум**. Она представляет собой отношение средних уровней мощности исходного сигнала и шума. Соотношение S/N обычно выражается в логарифмических единицах — **децибелах** [дБ].

Согласно Шеннону, максимальная **пропускная способность канала** R_{max} [бит/с] полосой пропускания W [Гц] и отношением сигнал/шум S/N выражается

$$R_{max} = W \cdot \log_2(1 + S/N)$$

Соотношение Шеннона дает **максимальную скорость передачи данных без искажения при определенном уровне шума**.

Ее следует рассматривать как **фундаментальный физический предел, который нельзя достигнуть на практике**. Скорость передачи равная 1/3 от предела считается очень и очень хорошей.

Максимальную скорость передачи можно повысить за счет увеличения полосы пропускания, уровня мощности сигнала и снижения уровня шума. При неизменном уровне шума **расширение полосы пропускания более эффективно, чем увеличение уровня мощности**

Следует обратить внимание, что выражение $R_{max} = 2W \cdot \log_2 N$
не является частным случаем выражения $R_{max} = W \cdot \log_2(1 + S/N)$ (2)

при отсутствии шума ($S/N \rightarrow$ бесконечность).

Соотношение Найквиста представляет собой функцию числа кодирующих символов и приводит к теоретически бесконечной пропускной способности для любого канала. Утверждение Шеннона представляет собой функцию отношения S/N . В соответствии с выражением (1) при отсутствии шума и любой полосе пропускания $W > 0$, можно передавать сколько угодно информации при условии, что выбран подходящий способ кодирования.

В случае телефонной линии с полосой пропускания 3000 Гц и типичном отношении S/N в 30дБ (мощность сигнала превышает шум в 1000 раз) предел Шеннона равен 30 кбит/с. Соотношение Найквиста определяет, что для передачи этого количества информации должна быть использована схема кодирования с 32 различными уровнями сигнала

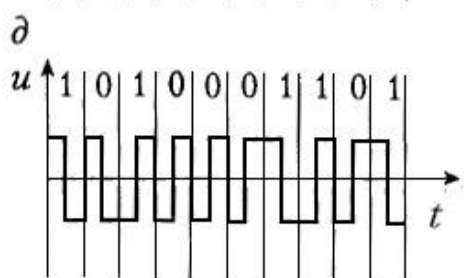
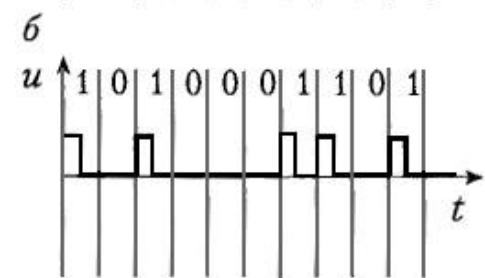
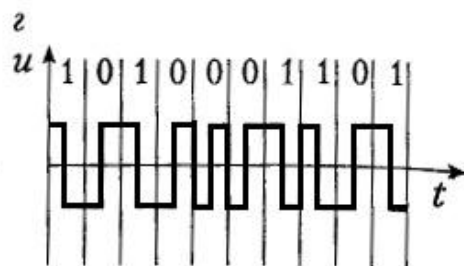
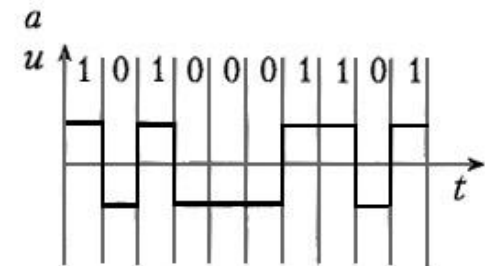
Во многих приложениях, связанных с управлением промышленными и технологическими объектами, физический носитель имеет ограниченную пропускную способность, а уровень шума гораздо выше, чем, например, в офисе.

Рабочая станция в офисной среде обычно постоянно соединена с сервером высокоскоростными каналами практически при отсутствии внешних помех, поэтому скорость передачи существенно выше.

Физическое кодирование бит

Существуют два основных способа передачи битовой последовательности по физическому каналу:

1. **посылка бит в линию в непосредственном или закодированном виде при сохранении цифрового характера данных;**
2. **модуляция несущей** по амплитуде/частоте/фазе и передача модулированного сигнала.



Способы цифрового кодирования:

a – прямое двоичное без возвращения к нулю (**NRZ**);

б – прямое двоичное с возвращением к нулю (**RZ**);

в – трехуровневое с возвращением к нулю;

з – манчестерское

д – дифференциальное манчестерское кодирование.

Знание опорного уровня (нуля) необходимо только при трехуровневом кодировании; в остальных случаях для распознавания соответствующих данных абсолютный уровень сигнала не играет роли

Модуляция

Модуляция несущей это изменение некоторых параметров (амплитуды, частоты, фазы) **высокочастотной несущей** как функции исходного **информационного сигнала** и используется для согласования информационного сигнала с линией, по которой он передается.

В качестве несущей используется высокочастотный синусоидальный или импульсный сигнал. Приёмник выделяет исходный сигнал из модулированного. Различные типы модуляции определяются типом несущей и процедурой модуляции. Частота несущей может изменяться в широком диапазоне частот.

Амплитудная модуляция (АМ) каждый уровень напряжения исходного сигнала соответствует определенной амплитуде несущей и редко используется при передаче цифровых данных. Более распространены **частотная (ЧМ, FM)** изменение частоты в определенном диапазоне и **фазовая модуляция (ФМ, PM)** определенный фазовый сдвиг несущего сигнала. При применении каждого из видов модуляции соответствующий параметр несущей изменяется как функция входного сигнала.

При модуляции несущей цифровым сигналом, модуляции называются **амплитудной манипуляцией (АМн, ASK)**, **частотной манипуляцией (ЧМн, FSK)** и **фазовой манипуляцией (ФМн, PSK)** соответственно.

Фазовая манипуляция наиболее устойчива к помехам для одного и того же отношения сигнал/шум, чем другие виды манипуляций.

Модуляция несущей не должна точно следовать цифровому входному сигналу. Изменение некоторого параметра несущей частоты можно связать с последовательностью из нескольких бит, а не только с одним битом. Это позволяет передавать больше информации на той же несущей частоте. Например, **при фазовой модуляции** можно использовать непосредственное соответствие: **"0" фазовый сдвиг – 0° и "1" – 180°.** В другом варианте битовые последовательности 00, 01, 10, 11 могут кодироваться фазовыми сдвигами в 0°, 90°, 180° и 270° соответственно. **При этом тот же сигнал несет двойной объем данных.**

Смешанные типы модуляций. Квадратурно-амплитудная модуляция (QAM), при которой амплитудная и фазовая модуляции сочетаются для передачи нескольких бит в соответствии с каждым изменением огибающей несущего сигнала.

Число изменений в секунду одного из параметров несущей называется сигнальной скоростью или скоростью передачи в бодах (Baud rate).

Скорости передачи **в битах и в бодах** совпадают, когда изменение модулируемого параметра соответствует одному биту, т.е. когда несущая имеет лишь два состояния, каждое из которых соответствует "0" или "1".

В QAM-модуляции, например, комбинированные изменения амплитуды и фаз может соответствовать четырем битам, и битовая скорость в четыре раза выше, чем скорость в бодах. **Скорость в бодах неудобна как практическая мера скорости передачи поскольку она требует дополнительно указать метод кодирования;** Скорость в битах этого не требует

Синхронизация

Для правильной обработки сообщений необходимо, чтобы передатчик и приемник использовали один и тот же источник времени, т. е. чтобы они были **синхронизированы**.

Синхронизирующая посылка представляет собой **импульсный сигнал определенной частоты**, генерируемый либо передатчиком, либо приемником или каким-либо внешним устройством.

Синхронизирующий сигнал передается либо **по специальному проводу**, либо **вместе с передаваемой цифровой информацией**, как, например, при **RZ** или **манчестерском кодировании**, в которых изменение в середине каждого импульса представляет собой синхронизирующий сигнал. В первом случае требуется дополнительный провод, во втором — дополнительная полоса пропускания.

Передача данных осуществляющаяся без определенного источника времени называется **асинхронной**. При асинхронной передаче приемник должен "знать" заранее все параметры связи — в первую очередь, **скорость** — для того, чтобы правильно идентифицировать поступающие сигналы. Приемник **должен различать границы между отдельными битами** и соответственно настраивать свой отсчет времени. Если у передатчика и приемника некоторые параметры связи имеют различную настройку, то приемник либо не сможет синхронизироваться поступающим потоком данных, либо быстро потеряет синхронизацию.

Сетевые топологии

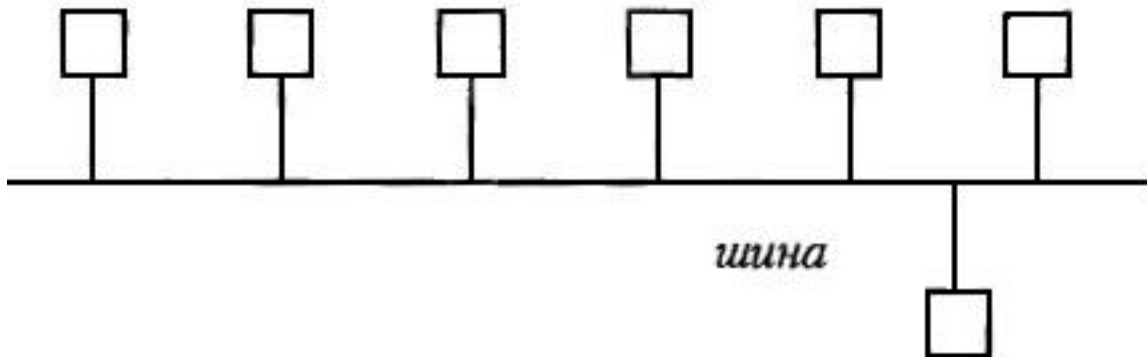
В локальных сетях используется несколько различных **топологий** (геометрически конфигураций).

Любая пара станций может быть соединена **либо непосредственно, либо через другие станции**, которые **ретранслируют данные** получателю.

Топология сети зависит от нескольких факторов

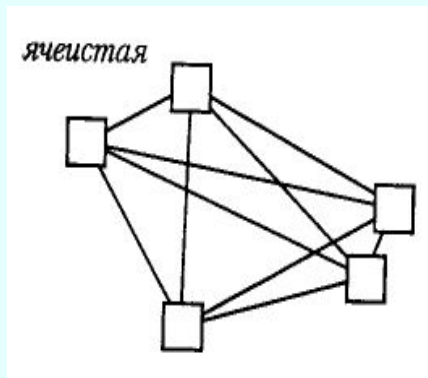
1. типа трафика,
2. расстояния между узлами,
3. характера помех, которые могут влиять на данные в канале,
4. требуемых скорости,
5. пропускной способности и надежности передачи данных.

Шина – станции разделяют общий физический тракт передачи;
широковещательная топология.



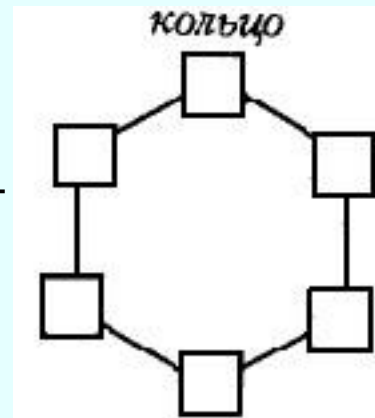
Звезда –

центральный узел (концентратор) соединен непосредственно с каждым узлом по двухточечному принципу.



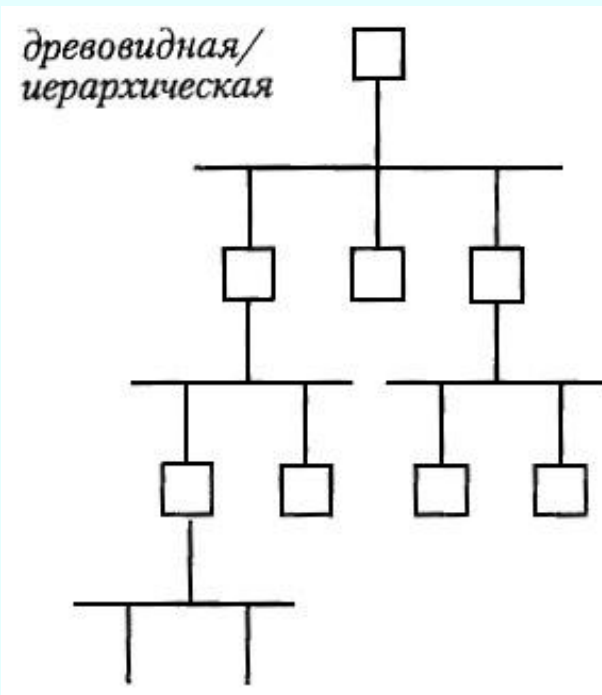
Кольцо –

каждая станция соединена с двумя другими, а вместе они образуют кольцо. Сообщение от любой станции может достичь пункта назначения двумя различными путями.



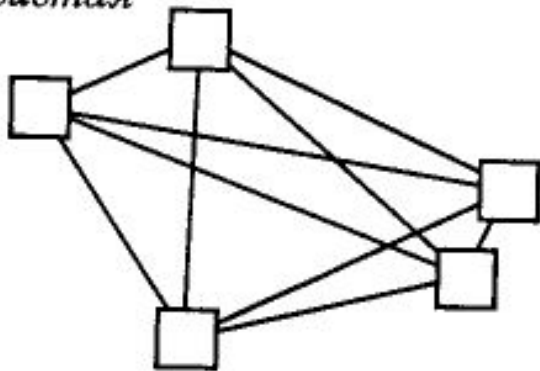
Древовидная/иерархическая

отдельные станции / концентраторы соединены каскадно с другими концентраторами или оконечными станциями. Сообщения от источника к пункту назначения проходят по иерархическому пути.



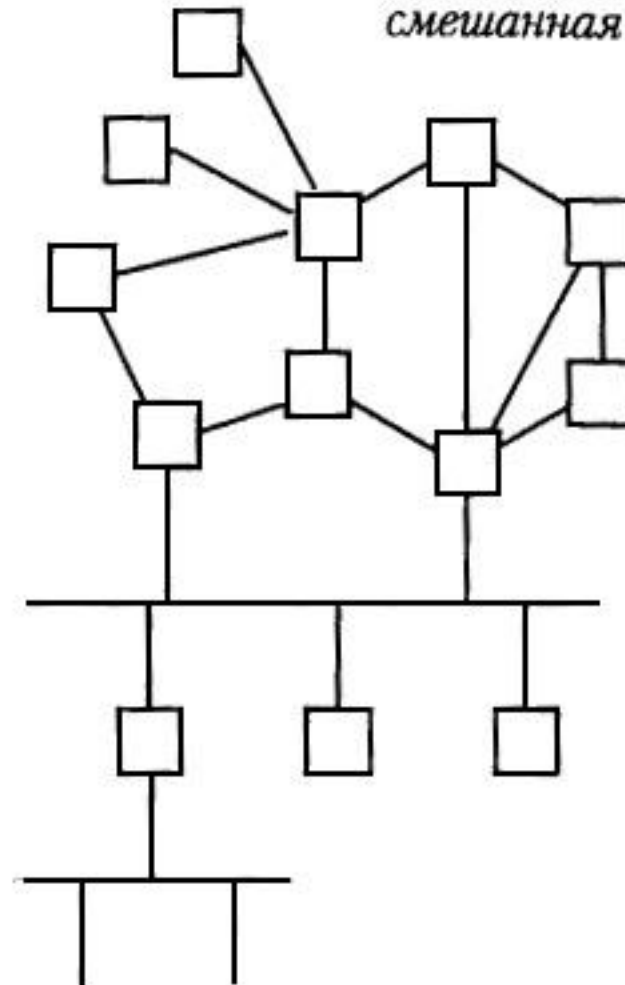
Ячеистая технология – между каждой парой узлов установлено соединение "точка-точка". Сообщения могут передаваться по множеству различных путей.

ячеистая



Смешанная технология – одновременное использование нескольких типов топологий

смешанная



Промышленная сеть

Промышленная сеть — сеть передачи данных, связывающая различные датчики, исполнительные механизмы, промышленные контроллеры и используемая в промышленной автоматизации.

Термин употребляется преимущественно в автоматизированной системе управления технологическими процессами (АСУ ТП). Описывается стандартом IEC 61158.

Устройства используют сеть для:

- передачи данных, между датчиками, контроллерами и исполнительными механизмами
- диагностики и удалённого конфигурирования датчиков и исполнительных механизмов
- калибрования датчиков
- питания датчиков и исполнительных механизмов
- передачи данных между датчиками и исполнительными механизмами минуя центральный контроллер
- связи между датчиками, исполнительными механизмами, ПЛК и АСУ ТП верхнего уровня
- связи между контроллерами и системами человеко-машинного интерфейса (операторскими системами)

В промышленных сетях для передачи данных применяют:

- о кабели
- о оптоволоконные линии
- о беспроводную связь (радиомодемы 433МГц, Bluetooth и Wi-Fi).

Промышленные сети могут взаимодействовать с обычными компьютерными сетями, в частности использовать глобальную сеть Internet.

В сравнении с подключением периферийного оборудования к контроллеру отдельными проводами **промышленная сеть** имеет следующие **достоинства**:

- В несколько раз **снижается расход** на кабель и его прокладку
- **Увеличивается допустимое расстояние** до подключаемых датчиков и исполнительных устройств
- **Упрощается управление** сетью датчиков и исполнительных механизмов
- **Упрощается модификация** системы при изменении типа датчиков, используемого протокола взаимодействия, добавлении устройств ввода-вывода
- Позволяют **дистанционно настраивать датчики** и **проводить их диагностику**.

Недостатки

- ❖ При обрыве кабеля теряется возможность получать данные и управлять не одним, а несколькими устройствами (в зависимости от места обрыва и топологии сети остаётся возможность автономного функционирования сегмента сети и схемы управления).
- ❖ Для повышения надёжности приходится резервировать каналы связи или использовать кольцевую топологию сети

Термин **промышленная сеть** является более точным переводом английского термина *fieldbus* и в настоящее время именно он используется в профессиональной технической литературе.

Термин **полевая шина** является дословным переводом английского термина *fieldbus*.

Виды промышленных сетей

Modbus – самая простая, дешёвая и широко распространённая промышленная сеть основана на стандарте RS-232 или RS485, использующем защищенную витую пару

- Modbus RTU и
- Modbus ASCII,
- Modbus TCP для передачи данных по сетям Ethernet поверх TCP/IP

Profibus – промышленная сеть, международный стандарт, созданный с активным участием фирмы Siemens AG, содержащий ряд профилей, например:

- Profibus DP
- Profibus PA
- Profibus FMS

AS-Interface – дешёвая и помехозащищённая сеть для дискретных датчиков малой производительности

CAN – промышленная сеть для автоматизации транспорта и машиностроения

- CANbus
- CANopen
- DeviceNet

Modbus

Modbus — коммуникационный протокол, основанный на архитектуре «клиент-сервер». Широко применяется в промышленности для организации связи между электронными устройствами. Может использовать для передачи данных последовательные линии связи RS-232, RS-485, RS-422, а также сети TCP/IP (Modbus TCP).

Modbus был разработан фирмой **Modicon** (в настоящее время принадлежит **Schneider Electric**) для использования в её контроллерах с программируемой логикой. Впервые спецификация протокола была опубликована в 1979 году. Это открытый стандарт, описывающий формат сообщений и способы их передачи в сети состоящей из различных электронных устройств.

Первоначально контроллеры MODICON использовали последовательный интерфейс RS-232 (MODBUS RTU, MODBUS ASCII). Позднее стал применяться интерфейс RS-485 (Modbus+), так как он обеспечивает более высокую надёжность, позволяет использовать более длинные линии связи и подключать к одной линии несколько устройств.

Modbus относится к **протоколам прикладного уровня** сетевой модели **OSI**.

Контроллеры на шине Modbus взаимодействуют, используя **клиент-серверную модель**, основанную на транзакциях, состоящих из **запроса** и **ответа**.

Обычно **в сети** есть только **один сервер** – главное устройство (*master*), и **несколько клиентов** – подчиненных (*slaves*) устройств.

Главное устройство инициирует запросы. Подчиненные устройства передают запрашиваемые главным устройством данные, или производят запрашиваемые действия.

Главное устройство может адресоваться к конкретному подчиненному устройству или инициировать передачу широковещательного сообщения для всех подчиненных устройств. Подчиненное устройство формирует сообщение и возвращает его в ответ на запрос, адресованный именно ему.

При получении широковещательного запроса ответное сообщение не формируется.

Спецификация Modbus описывает структуру запросов и ответов. Их основа – элементарный пакет протокола, так называемый **PDU** (*Protocol Data Unit*). **Структура PDU не зависит от типа линии связи** и включает в себя код (номер) функции и поле данных. Код функции кодируется однобайтовым полем и может принимать значения в диапазоне 1...127. Диапазон значений 128...255 зарезервирован для кодов ошибок. Поле данных может быть переменной длины. Размер пакета PDU ограничен 253 байтами.

Modbus PDU

номер функции	данные
1 байт	N < 253 (байт)

Для передачи пакета по физическим линиям связи PDU помещается в другой пакет, содержащий дополнительные поля. Этот пакет носит название ADU (*Application Data Unit*).

Формат ADU зависит от типа линии связи.

Общая структура ADU следующая (в зависимости от реализации, некоторые из полей могут отсутствовать):

адрес ведомого устройства	код функции	данные	блок обнаружения ошибок
---------------------------	-------------	--------	-------------------------

Максимальный размер ADU:

- для последовательных сетей RS232/RS485 – 256 байт,
- для сетей TCP – 260 байт.

В сетях MODBUS может быть использован один из двух способов передачи:

ASCII или **RTU**.

Пользователь выбирает необходимый режим вместе с другими параметрами (скорость передачи, режим паритета, количество стоповых бит и т.д.) во время конфигурации каждого контроллера.

Режим ASCII. При использовании ASCII – режима каждый байт сообщения передается как два ASCII символа.

Главное преимущество: время между передачей символов может быть до 1 сек. без возникновения ошибок при передаче.

Формат каждого байта в ASCII-режиме:

Система кодировки: Шестнадцатиричная, ASCII-символы 0-9, A-F

Назначение битов: 1 старт бит, 7 бит данных(младшим битом вперед), 1 бит паритета, 1 стоп бит если есть паритет; 2 бита если нет паритета

Контрольная сумма: *Longitudinal Redundancy Chek* (LRC) (проверка чётности)

Режим RTU. При использовании RTU – режима каждый байт сообщения содержит два 4-х битных шестнадцатиричных числа (тетрадами).

Каждое сообщение передается непрерывным потоком

Формат каждого байта в RTU-режиме:

Система кодировки: 8-ми битовая двоичная, шестнадцатиричная: 0-9, A-F

Две шестнадцатиричные цифры содержатся в каждом 8-ми битовом байте сообщения.

Назначение битов: 1 старт бит, 8 бит данных (младшим значащим разрядом вперед), 1 бит паритета, 1 стоп бит если есть паритет; 2 бита если нет паритета

Контрольная сумма: *Cyclical Redundancy Check* (CRC)

PROFIBUS

PROFIBUS (*PRO*cess *Field* *BUS*) (читается – Профи бас) – открытая промышленная сеть, прототип которой был разработан компанией **Siemens AG** для своих промышленных контроллеров SIMATIC, на основе этого прототипа

Организация пользователей **Profibus** разработала международные стандарты, принятые затем некоторыми национальными комитетами по стандартизации. Промышленная сеть Profibus очень широко распространена в Европе, особенно в машиностроении и управлении промышленным оборудованием.

Сеть **PROFIBUS** это комплексное понятие, она основывается на нескольких стандартах и протоколах. Сеть отвечает требованиям международных стандартов IEC 61158 и EN 50170.

Поддержкой, стандартизацией и развитием сетей стандарта PROFIBUS занимается PROFIBUS NETWORK ORGANISATION (PNO).

PROFIBUS объединяет технологические и функциональные особенности последовательной связи полевого уровня. Она позволяет объединять разрозненные устройства автоматизации в единую систему на уровне датчиков и приводов.

Требования пользователей к получению открытой, независимой от производителя системе связи, базируется на использовании стандартных протоколов **PROFIBUS**. Открытость и независимость от производителя гарантирует стандарт EN 50170, все остальное реализовано в соответствии со стандартом DIN 19245 (а именно: техника передачи данных, методы доступа, протоколы передачи, сервисные интерфейсы для уровня приложений, спецификация протоколов, кодирование, коммуникационная модель и т. д.).

С помощью PROFIBUS, устройства разных производителей могут работать друг с другом без каких-либо специальных интерфейсов.

Семейство **PROFIBUS** состоит из трех совместимых друг с другом версий:

PROFIBUS PA, PROFIBUS DP и PROFIBUS FMS.

PROFIBUS использует обмен данными **между ведущим и ведомыми** устройствами (протоколы **DP** и **PA**) или **между несколькими ведущими устройствами** (протоколы **FDL** и **FMS**).

Сеть **PROFIBUS** построена в соответствии с многоуровневой моделью OSI. PROFIBUS определяет следующие уровни:

1. физический уровень – отвечает за характеристики физической передачи
2. канальный уровень – определяет протокол доступа к шине
3. уровень приложений – отвечает за прикладные функции

Протоколы сети PROFIBUS

Одни и те же каналы связи сети PROFIBUS допускают одновременное использование нескольких протоколов передачи данных:

- **PROFIBUS DP** (*Decentralized Peripheral* – распределенная периферия) – протокол, ориентированный на обеспечение скоростного обмена данными между:
 - системами автоматизации (ведущими DP-устройствами)
 - устройствами распределённого ввода-вывода (ведомыми DP-устройствами).

Протокол характеризуется **минимальным временем реакции и высокой стойкостью к воздействию внешних электромагнитных полей.**

Оптимизирован для высокоскоростных и недорогих систем. Эта версия сети была спроектирована специально для связи между автоматизированными системами управления и распределенной периферией. Электрически близка к RS-485, но сетевые карты используют 2-х портовую рефлексивную память, что позволяет устройствам обмениваться данными без загрузки процессора контроллера.

PROFIBUS PA (*Process Automation* – автоматизация процесса) – протокол обмена данными с оборудованием полевого уровня, расположенным в обычных или взрывоопасных зонах. Протокол отвечает требованиям международного стандарта IEC 61158-2. Позволяет подключать датчики и приводы на одну линейную шину или кольцевую шину.

PROFIBUS FMS (*Fieldbus Message Specification* – спецификация сообщений полевого уровня) – универсальный протокол для решения задач по обмену данными между интеллектуальными сетевыми устройствами (контроллерами, компьютерами/программаторами, системами человеко-машинного интерфейса) на полевом уровне. Некоторый аналог промышленного *Ethernet*, обычно используется для высокоскоростной связи между контроллерами и компьютерами верхнего уровня и используемыми диспетчерами. Скорость до 12 Мбит/с.

Все протоколы используют одинаковые технологии передачи данных и общий метод доступа к шине, поэтому они могут функционировать на одной шине. Дополнительно к перечисленным протоколам, поддерживаются следующие возможности обмена данными:

Службы FDL (*Field Data Link* – Канал полевых данных – Отправить/Получить), позволяют легко и быстро установить соединение с любым устройством, поддерживающим FDL.

Физический уровень PROFIBUS

Физически PROFIBUS может представлять из себя:

- электрическая сеть с шинной топологией, использующая экранированную витую пару, соответствующая стандарту RS-485.
- оптическая сеть на основе оптоволоконного кабеля.
- инфракрасная сеть.

Скорость передачи по ней может варьироваться от 9,6 Кбит/сек до 12 Мбит/сек.

Протокол доступа к шине

Для всех версий PROFIBUS существует единый протокол доступа к шине. Этот протокол реализуется на **втором уровне модели OSI**. Данный протокол реализует процедуру доступа с помощью **маркера (*token*)**. Сеть PROFIBUS состоит из ведущих (*master*) и ведомых (*slave*) станций. Ведущая станция может контролировать шину, то есть может передавать сообщения (без удалённых запросов), когда она имеет право на это (то есть когда у неё есть маркер). Ведомая станция может лишь распознавать полученные сообщения или передавать данные после соответствующего запроса.

Маркер циркулирует в логическом кольце, состоящем из ведущих устройств. Если сеть состоит только из одного ведущего, то маркер не передаётся (в таком случае в чистом виде реализуется система *master-slave*). Сеть в минимальной конфигурации может состоять либо из двух ведущих, либо из одного ведущего и одного ведомого устройства.

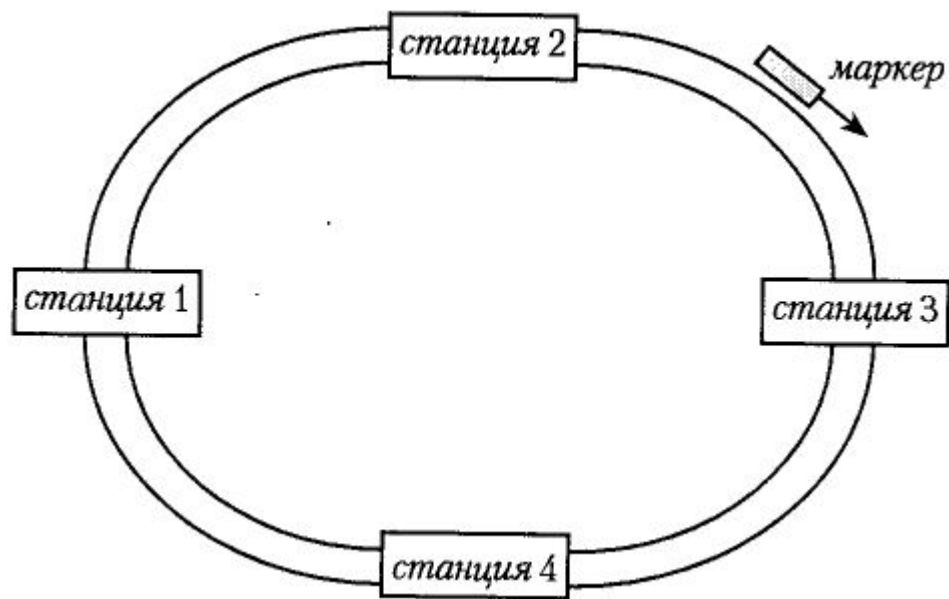


Рис. 7. Принцип работы маркерного кольца

Маркер циркулирует между станциями. **Станция может послать сообщение, только если она владеет маркером.** Каждая станция распознает сообщения, предназначенные именно ей, и ретранслирует остальные дальше. **Сообщение передается до тех пор, пока не достигнет отправителя**

Когда станция, имеющая сообщение для передачи, получает маркер, она удаляет его из кольца и в течение максимально разрешенного времени передает свои пакеты данных. По истечении этого времени маркер передается следующей станции. Сообщения могут передаваться вместо маркера (передатчик не отдает маркер до тех пор пока не закончил передачу) или вместе с маркером, при этом маркер может находиться как в начале, так и в конце пакета.

Цифровые сети

К наиболее важным способам передачи цифровых данных относятся:

- коммутация цепей (устройств);
- выделенные линии;
- коммутация сообщений;
- коммутация пакетов.

Коммутация цепей (устройств) – это непосредственное соединение двух устройств с помощью физического тракта передачи, например модемов через телефонную сеть. Название происходит от старых **декадно-шаговых АТС** при установке соединения происходит **замыкание контактов соответствующих реле**, после него возникает **прямой физический тракт передачи** между двумя оконечными устройствами

Выделенная линия – это постоянно установленное соединение между двумя определенными точками. Для передачи данных используются **обычные аналоговые линии повышенного качества**, т. е. специально протестированные и экранированные, чтобы обеспечивать большую **полосу пропускания**, **отношение сигнал/шум** и, соответственно, **пропускную способность**.

Коммутация сообщений. Цифровое сообщение целиком отправляется в сеть и передается от узла к узлу, пока не достигнет конечного пункта, при этом используется **метод передачи данных с промежуточным хранением**. Этот способ применяется при передаче телексных сообщений и сообщений электронной почты и практически не представляет интереса в задачах промышленной автоматизации.

Особым типом сети коммутации сообщений является **Интернет**, который **является исключительно гибкой сетью** где используются все возможные комбинации цифровых сетей. В основном применяется протокол **TCP/IP**.

Однако **Интернет не дает гарантий какого-либо определенного качества работы, т.е. того, что сообщение достигнет адресата за определенное время или что это произойдет вообще.**

Поэтому **Интернет нельзя рассматривать в качестве надежного средства передачи информации для производственной системы реального времени.**

Для наблюдения за каким-либо действительно удаленным объектом, например, на другом континенте, можно воспользоваться Интернет, но для этого необходимо обеспечить цифровую связь этого объекта с ближайшим сервером Интернета, от которого сообщения будут передаваться к центральной системе обработки информации.

Коммутации пакетов — это современное состояние в области цифровых коммуникаций, устанавливающая **виртуальный канал связи** между узлами. **Сообщение** от передатчика **делится на пакеты** ограниченной длины. Каждый пакет содержит протокольную информацию, в частности, последовательный номер пакета и адрес получателя.

Пакеты направляются к адресату **по виртуальным каналам**.

Маршрут каждого пакета **вырабатывается независимо**, поэтому пакеты, предназначенные одному адресату, **могут передаются по разным физическим каналам**.

Пакеты от различных пользователей **мультиплексируются** в магистральных каналах, поэтому **пропускная способность сети используется более эффективно, чем при выделенных линиях или коммутации цепей**.

Загрузка сети становится более равномерной, поскольку каждый абонент не использует постоянно всю емкость канала связи, а спорадически передает значительные объемы данных в течение коротких промежутков времени.

Другим **важным достоинством коммутации пакетов** является **возможность прозрачного для пользователя изменения маршрута при выходе из строя промежуточного узла или канала связи**. Благодаря этим свойствам, **сети с коммутацией пакетов обычно имеют хороший показатель готовности**.