

Системы документальной электросвязи и телематические службы

Лекция № 15 Системы с обратной связью

доц. каф. СС и ПД, к.т.н. С. С. Владимиров

2016 г.

Обратная связь в технике

Это процесс, приводящий к тому, что результат функционирования какой-либо системы влияет на параметры, от которых зависит функционирование этой системы.

Различают положительную и отрицательную обратную связь. *Отрицательная обратная связь изменяет входной сигнал таким образом, чтобы противодействовать изменению выходного сигнала.* Это делает систему более устойчивой к случайному изменению параметров. *Положительная обратная связь, наоборот, усиливает изменение выходного сигнала.* Системы с сильной положительной обратной связью проявляют тенденцию к неустойчивости, в них могут возникать незатухающие колебания, то есть система становится генератором.

В зависимости от назначения ОС различают

- ▶ Системы с решающей обратной связью (РОС)
- ▶ Системы информационной обратной связью (ИОС)
- ▶ Системы с комбинированной обратной связью (КОС)

Решающая обратная связь (РОС)

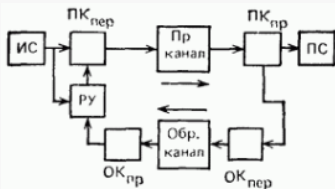


В системах с РОС приемник, приняв кодовую комбинацию и проанализировав ее на наличие ошибок, принимает окончательное решение о выдаче комбинации потребителю информации или о ее стирании и посылке по обратному каналу сигнала о повторной передаче этой кодовой комбинации (переспрос). Поэтому системы с РОС часто называют системами с переспросом, или системами с автоматическим запросом ошибок (АЗО, Automatic repeat-request, ARQ). В случае принятия кодовой комбинации без ошибок приемник формирует и направляет в канал ОС сигнал подтверждения, получив который, передатчик передает следующую кодовую комбинацию.

Таким образом, в системах с РОС активная роль принадлежит приемнику, а по обратному каналу передаются вырабатываемые им сигналы решения (отсюда и название — решающая ОС).

Передача с РОС аналогична телефонному разговору в условиях плохой слышимости, когда один из собеседников, плохо расслышав какое-либо слово или фразу, просит другого повторить их еще раз, а при хорошей слышимости или подтверждает факт получения информации, или во всяком случае не просит повторения.

Информационная обратная связь (ИОС)



В системах с ИОС по обратному каналу передаются сведения о поступающих на приемник кодовых комбинациях (или элементах комбинации) до их окончательной обработки и принятия заключительных решений. При разговоре по телефону часто используют ретрансляционную ИОС, когда в условиях сильных помех просят собеседника повторить переданное сообщение, чтобы убедиться, что он его воспринял правильно. При правильном повторении передающий дает подтверждение, а при неправильном — повторяет сообщение еще раз.

Частным случаем ИОС является полная ретрансляция поступающих на приемную сторону кодовых комбинаций или их элементов. Соответствующие системы получили название ретрансляционных. В более общем случае приемник вырабатывает специальные сигналы, имеющие меньший объем, чем полезная информация, но характеризующие качество ее приема, которые по каналу ОС направляются передатчику. Если количество информации, передаваемое по каналу ОС (квитанции), равно количеству информации в сообщении, передаваемом по прямому каналу, то ИОС называется полной. Если же содержащаяся в квитанции информация отражает лишь некоторые признаки сообщения, то ИОС называется укороченной.

Таким образом, по каналу ОС передается или вся полезная информация, или информация о ее отличительных признаках, поэтому такая ОС называется информационной.

Полученная по каналу ОС информация (квитанция) анализируется передатчиком, и по результатам анализа передатчик принимает решение о передаче следующей кодовой комбинации или о повторении ранее переданных. После этого передатчик передает служебные сигналы о принятом решении, а затем соответствующие кодовые комбинации. В соответствии с полученными от передатчика служебными сигналами приемник или выдает накопленную кодовую комбинацию получателю информации, или стирает ее и запоминает вновь переданную. В системах с укороченной ИОС, естественно, меньше загрузка обратного канала, но больше вероятность появления ошибок по сравнению с полной ИОС.

Классификация ОС (прочее)

Комбинированная обратная связь (КОС)

В системах с КОС решение о выдаче кодовой комбинации получателю информации или о повторной передаче может приниматься и в приемнике, и в передатчике системы ПДС, а канал ОС используется для передачи как квитанций, так и решений.

Системы с ОС подразделяют также на системы с ограниченным числом повторений и с неограниченным числом повторений.

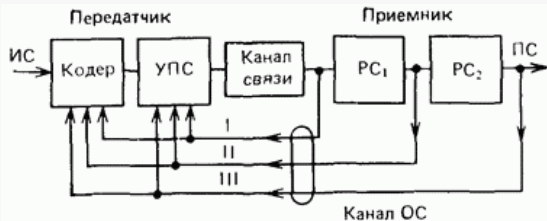
Системы с ограниченным и неограниченным числом повторений

В системах с ограниченным числом повторений каждая кодовая комбинация может повториться не более i раз, и в системах с неограниченным числом повторений передача комбинаций повторяется до тех пор, пока приемник или передатчик не примет решение о выдаче этой комбинации потребителю. При ограниченном числе повторений вероятность выдачи получателю неправильной комбинации больше, но зато меньше потери времени на передачу и проще реализация аппаратуры. Заметим, что в системах с ОС время передачи сообщения не остается постоянным и зависит от состояния канала.

Системы с памятью и без памяти

Системы с ОС могут отбрасывать либо использовать информацию, содержащуюся в забракованных кодовых комбинациях, с целью принятия более правильного решения. Системы первого типа получили название систем без памяти, а второго — систем с памятью.

ОС в различных частях системы



Обратной связью могут быть охвачены различные части системы:

1. *Канал связи*, при этом по каналу ОС передаются сведения о принимаемом сигнале до принятия какого-либо решения;
2. *Дискретный канал*, при этом по каналу ОС передаются решения, принятые первой решающей схемой на основе анализа единичных элементов сигнала;
3. *Канал передачи данных*, при этом по каналу ОС передаются решения, принятые второй решающей схемой на основе анализа кодовых комбинаций.

В первом случае для контроля канала связи используют устройства типа детектора качества, которые анализируют те или иные параметры принимаемого сигнала (амплитуду, частоту, длительность) или уровень помех. При этом по каналу ОС могут передаваться команды на изменения параметров передаваемых сигналов: мощности, спектрального состава, темпа передачи, избыточности кода и т. п. На передающей стороне должны быть предусмотрены соответствующие органы воздействия на источники сигналов: регуляторы мощности, корректоры, кодопреобразователи, управляемые сигналами, поступающими по каналам ОС.

В качестве примера таких устройств можно привести:

- ▶ *Автоматическая регулировка усиления, АРУ (Automatic Gain Control, AGC)* — процесс, при котором выходной сигнал некоторого устройства, как правило электронного усилителя, автоматически поддерживается постоянным по некоторому параметру (например, амплитуде простого сигнала или мощности сложного сигнала), независимо от амплитуды (мощности) входного сигнала.
- ▶ *Фазовая автоподстройка частоты (ФАПЧ)* — система автоматического регулирования, подстраивающая фазу управляемого генератора так, чтобы она была равна фазе опорного сигнала, либо отличалась на известную функцию от времени. Регулировка осуществляется благодаря наличию отрицательной обратной связи. Выходной сигнал управляемого генератора сравнивается на фазовом детекторе с опорным сигналом, результат сравнения используется для подстройки управляемого генератора.

Во втором случае в качестве анализатора также обычно используют детекторы качества, контролирующие амплитуду, или краевые искажения сигнала после демодуляции, или и то, и другое.

В третьем случае анализатором служит сам декодер канала, принимающий решение о наличии или отсутствии ошибок в принятых кодовых комбинациях.

Наличие ошибок в каналах ОС приводит к тому, что в системах с РОС возникают специфические потери верности, состоящие в появлении лишних кодовых комбинаций — вставок — и пропадания кодовых комбинаций — выпадений.

Вставки получаются в тех случаях, когда *приемник посылает сигнал решения о правильности принятой кодовой комбинации, а в канале ОС он трансформируется в сигнал переспроса*. В этом случае передатчик повторяет предыдущую кодовую комбинацию, а приемник воспринимает ее как следующую, т. е. потребителю одна и та же кодовая комбинация выдается дважды.

Выпадения получаются тогда, *когда выработанный приемником сигнал переспроса в канале ОС трансформируется в сигнал подтверждения правильности приема*. В этом случае передатчик передает следующую кодовую комбинацию, а предыдущая стирается приемником и к получателю не поступает.

В системах с ИОС также возможны потери верности за счет ошибок в каналах ОС.

В укороченных ИОС такие ошибки возникают по причинам, аналогичным вышеизложенным, когда квитанция, соответствующая искаженному сигналу в канале ОС, трансформируется в квитанцию, соответствующую неискаженному сигналу. В результате передатчик не в состоянии обнаружить факт ошибочного приема. В полных ИОС в канале ОС возможны искажения, полностью компенсирующие искажения в прямом канале, в результате чего ошибки не могут быть обнаружены. Поэтому вопросам образования каналов ОС в системах ПДС уделяется очень большое внимание. Каналы ОС обычно образуются в каналах обратного направления связи с помощью методов частотного (ЧРК) или временного (ВРК) разделения от каналов передачи полезной информации. Методы ЧРК используют обычно в системах со сравнительно небольшой удельной скоростью передачи, например, при передаче данных со скоростью 600–1200 бит/с по каналам тональной частоты (ТЧ). Во многих системах с РОС применяется структурный метод разделения, когда для сигнала переспроса используется специальная кодовая комбинация, а любая разрешенная кодовая комбинация в приемнике дешифруется как сигнал подтверждения и любая неразрешенная комбинация — как сигнал переспроса. Для защиты от искаженных сигналов, передаваемых по каналам ОС, применяют те же способы, что и для повышения верности полезной информации: корректирующие коды, многократную и параллельную передачи.

Виды РОС

▶ С ожиданием сигнала ОС.

Системы с ожиданием после передачи кодовой комбинации либо ожидают сигнал обратной связи, либо передают ту же кодовую комбинацию, но передачу следующей кодовой комбинации начинают только после получения подтверждения по ранее переданной комбинации.

Пример: протокол Xmodem

▶ С безадресным повторением и блокировкой приемника.

Системы с блокировкой осуществляют передачу непрерывной последовательности кодовых комбинаций при отсутствии сигналов ОС по предшествующим S комбинациям. После обнаружения ошибок в комбинации выход системы блокируется на время приема S комбинаций, в запоминающем устройстве приемника системы ПДС стираются S ранее принятых комбинаций и посылается сигнал переспроса. Передатчик повторяет передачу S последних переданных кодовых комбинаций.

Такие системы часто используются в криптопередаче.

Такой метод РОС хорошо работает при пакетном распределении ошибок. Объясняется это тем, что приемник, обнаруживая первую ошибку пакета, блокируется на S кодовых комбинаций, благодаря чему часть ошибок этого пакета им не воспринимается. Таким образом, увеличение емкости накопителя передатчика приводит к некоторому увеличению верности передачи. Однако при этом снижается пропускная способность системы, так как при запросе приемник блокируется на большее время.

▶ С адресным повторением.

Системы с адресным повторением отличает то, что кодовые комбинации с ошибками отмечаются условными номерами, в соответствии с которыми передатчик производит повторную передачу только этих комбинаций.

Такая схема используется при записи в память под управлением контроллера прямого доступа с использованием квитанций по контрольным суммам.

Сравнение систем с РОС и ИОС

Выберем в качестве объектов сравнения системы с РОС и ИОС (далее просто РОС и ИОС), использующие помехоустойчивый код. Если каналы прямого и обратного направлений передачи одинаковы и ошибки в них независимы, то вероятности одинаковой трансформации проверочных разрядов в обоих каналах одинаковы. Поэтому *обнаруживающая способность кода не зависит от того, где происходит сравнение проверочных разрядов: на передающей (в ИОС) или на приемной (в РОС) стороне системы*. Следовательно, *при равной помехозащищенности прямого и обратного каналов и при условии безошибочной передачи служебных сигналов ИОС и РОС обеспечивают одинаковую верность передачи*. Отсюда следует, что и среднее число повторных передач (переспросов) в обеих системах совпадает.

Средняя скорость передачи сообщений по прямому каналу в РОС меньше, чем в ИОС, поскольку в первых с каждым сообщением длиной k дополнительно передается еще несколько проверочных единичных элементов. В ИОС эти проверочные элементы передаются по обратному каналу. Если помехоустойчивость обратного канала выше, чем прямого, то верность передачи в ИОС также выше, чем в РОС. Такое положение может иметь место, например, при передаче информации с искусственного спутника Земли (ИСЗ) на землю, когда обратный канал может быть организован с помощью мощного передатчика и высокоэффективной антенны. В случае группирующихся ошибок в ИОС часто возникает естественная (за счет разноса во времени передачи по прямому и обратному каналам) декорреляция ошибок в прямом и обратном каналах. В РОС информационные и проверочные разряды передаются слитно и такая декорреляция отсутствует.

Верность передаваемой информации в РОС и ИОС в значительной степени определяется свойствами выбранного кода, обнаруживающего ошибки. Например, код с длинными кодовыми комбинациями больше подвержен влиянию ошибок в канале. Однако, невыгодны и очень короткие кодовые комбинации, поскольку для обеспечения заданных корректирующих свойств отношение k/n в них меньше, чем в длинных кодовых комбинациях, т.е. больше относительная избыточность. Существуют оптимальные значения длин кодов, которые для каналов с определенными характеристиками и заданными скоростями модуляции обеспечивают максимальную скорость передачи информации при необходимой помехоустойчивости.

При заданной верности передачи оптимальная длина кода в ИОС несколько меньше, чем в РОС, что удешевляет реализацию устройств кодирования и декодирования. Однако общая сложность реализации ИОС больше, чем РОС. Поэтому РОС нашла более широкое применение. ИОС применяют в тех случаях, когда обратный канал может быть без ущерба для других целей эффективно использован для передачи квитанций.

- ▶ Передача дискретных сообщений. Учебник для вузов / В.П. Шувалов, Н.В. Захарченко, В.О. Шварцман и др.; под ред. В.П. Шувалова. —М.: Радио и связь, — 1990 — 464 с.