

ТЕХНОЛОГИИ ФИЗИЧЕСКОГО УРОВНЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Занятие №14

Методы кодирования

1. Выбор способа кодирования
2. Потенциальный код NRZ
3. Биполярное кодирование AMI
4. Потенциальный код NRZI
5. Биполярный импульсный код
6. Вопросы

Выбор способа кодирования

При выборе способа кодирования нужно одновременно стремиться к достижению нескольких целей:

- минимизировать ширину спектра сигнала, полученного в результате кодирования;
- обеспечивать синхронизацию между передатчиком и приемником;
- обеспечивать устойчивость к шумам;
- обнаруживать и по возможности исправлять битовые ошибки;
- минимизировать мощность передатчика.

Более узкий **спектр сигнала** позволяет на одной и той же линии (с одной и той же полосой пропускания) добиваться более высокой скорости передачи данных. Спектр сигнала в общем случае зависит как от способа кодирования, так и от тактовой частоты передатчика.

Пусть мы разработали два способа кодирования, причем в каждом такте передается один бит информации. Пусть также в первом способе ширина спектра сигнала F равна тактовой частоте смены сигналов f , то есть $F = f$, а второй способ дает зависимость $F=0,8f$. Тогда при одной и той же полосе пропускания B первый способ позволит передавать данные со скоростью B бит/с, а второй $(1/0,8)B = 1,25 B$ бит/с.

Синхронизация передатчика и приемника нужна для того, чтобы приемник точно знал, в какой момент времени считывать новую порцию информации с линии связи. При передаче дискретной информации время всегда разбивается на такты одинаковой длительности, и приемник старается считать новый сигнал в середине каждого такта, то есть синхронизировать свои действия с передатчиком.

Проблема синхронизации в сетях решается сложнее, чем при обмене данными между близко расположенными устройствами, например между блоками внутри компьютера или же между компьютером и принтером. На небольших расстояниях хорошо работает схема, основанная на отдельной *тактирующей линии связи* (рис. 1), так что информация снимается с линии данных только в момент прихода тактового импульса. В сетях использование этой схемы вызывает трудности из-за неоднородности характеристик проводников в кабелях. На больших расстояниях неравномерность скорости распространения сигнала может привести к тому, что тактовый импульс придет настолько позже или раньше соответствующего сигнала данных, что бит данных будет пропущен или считан повторно. Другой причиной, по которой в сетях отказываются от использования тактирующих импульсов, является экономия проводников в дорогостоящих кабелях.



Рис. 1. Синхронизация приемника и передатчика на небольших расстояниях

В сетях для решения проблемы синхронизации применяются так называемые самосинхронизирующиеся коды, сигналы которых несут для приемника указания о том, в какой момент времени начать распознавание очередного бита (или нескольких битов, если код ориентирован более чем на два состояния сигнала). Любой резкий перепад сигнала — **фронт** — может служить указанием на необходимость синхронизации приемника с передатчиком.

При использовании синусоид в качестве несущего сигнала результирующий код обладает свойством самосинхронизации, так как изменение амплитуды несущей частоты дает возможность приемнику определить момент очередного такта.

Распознавание и коррекцию искаженных данных сложно осуществить средствами физического уровня, поэтому чаще всего эту работу берут на себя протоколы, лежащие выше: канальный, сетевой, транспортный или прикладной. В то же время распознавание ошибок на физическом уровне экономит время, так как приемник не ждет полного помещения кадра в буфер, а отбраковывает его сразу при распознавании ошибочных битов внутри кадра.

Требования, предъявляемые к методам кодирования, являются взаимно противоречивыми, поэтому каждый из рассматриваемых далее популярных методов кодирования обладает своими достоинствами и недостатками в сравнении с другими.

Потенциальный код NRZ

Рисунок 2, *a* иллюстрирует уже упомянутый ранее метод *потенциального кодирования*, называемый также кодированием без возвращения к нулю (Non Return to Zero, NRZ).

Последнее название отражает то обстоятельство, что в отличие от других методов кодирования при передаче последовательности единиц сигнал не возвращается к нулю в течение такта.

Итак, достоинства метода NRZ.

- Простота реализации.
- Метод обладает хорошей распознаваемостью ошибок (благодаря наличию двух резко отличающихся потенциалов).
- Основная гармоника f_0 имеет достаточно низкую частоту (равную $N/2$ Гц, как было показано в предыдущем разделе), что приводит к узкому спектру.

Теперь недостатки метода NRZ.

- Метод не обладает свойством самосинхронизации. Даже при наличии высокоточного тактового генератора приемник может ошибиться с выбором момента съема данных, так как частоты двух генераторов никогда не бывают полностью идентичными. Поэтому при высоких скоростях обмена данными и длинных последовательностях единиц или нулей небольшое рассогласование тактовых частот может привести к ошибке в целый такт и, соответственно, считыванию некорректного значения бита.
- Вторым серьезным недостатком метода NRZ является наличие низкочастотной составляющей, которая приближается к постоянному сигналу при передаче длинных последовательностей единиц или нулей. Из-за этого многие линии связи, не обеспечивающие прямого гальванического соединения между приемником и источником, этот вид кодирования не поддерживают. Поэтому в сетях код NRZ в основном используется в виде различных его модификаций, в которых устранены проблемы плохой самосинхронизации и постоянной составляющей.

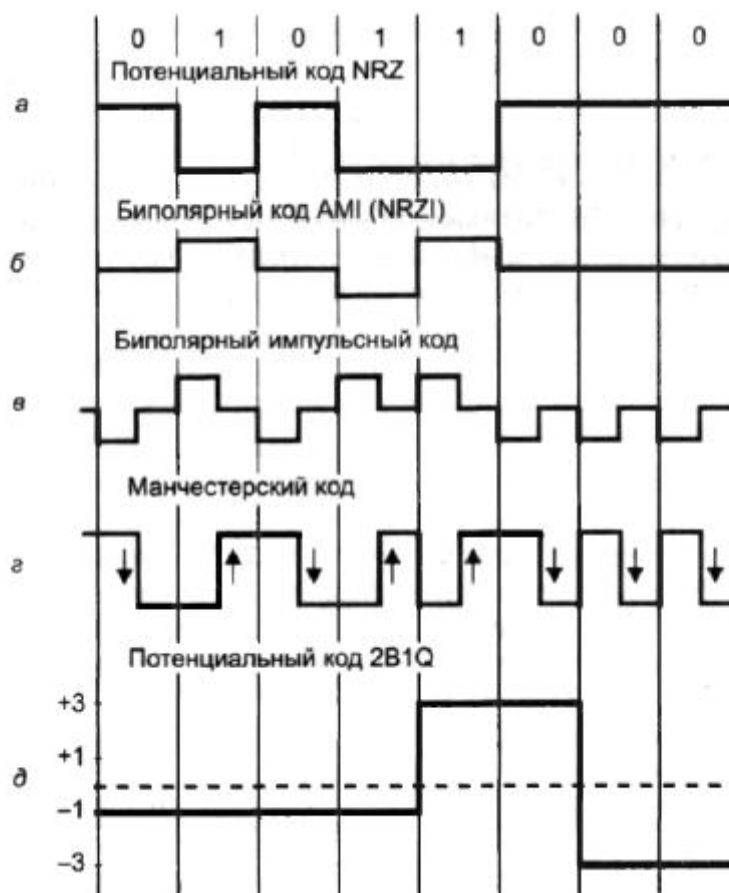


Рис. 2. Способы дискретного кодирования данных

Биполярное кодирование АМІ

Одной из модификаций метода NRZ является метод **биполярного кодирования с альтернативной инверсией** (Alternate Mark Inversion, АМІ). В этом методе применяются три уровня потенциала — отрицательный, нулевой и положительный (см. рис. 2, б). Для кодирования логического нуля используется нулевой потенциал, а логическая единица кодируется либо положительным потенциалом, либо отрицательным, при этом потенциал каждой новой единицы противоположен потенциалу предыдущей.

При передаче *длинных последовательностей единиц* код АМІ частично решает проблемы наличия постоянной составляющей и отсутствия самосинхронизации, присущие коду NRZ. В этих случаях сигнал на линии представляет собой последовательность разнополярных импульсов с тем же спектром, что и у кода NRZ, передающего чередующиеся нули и единицы, то есть без постоянной составляющей и с основной гармоникой $N/2$ Гц (где N — битовая скорость передачи данных). *Длинные же последовательности нулей* для кода АМІ столь же опасны, как и для кода NRZ — сигнал вырождается в постоянный потенциал нулевой амплитуды.

В целом, для различных комбинаций битов на линии использование кода АМІ приводит к *более узкому спектру сигнала*, чем для кода NRZ, а значит, и к более высокой пропускной способности линии. Например, при передаче чередующихся единиц и нулей основная гармоника f_0 имеет частоту $N/4$ Гц.

Код АМІ предоставляет также некоторые возможности по распознаванию ошибочных сигналов. Так, нарушение строгой очередности в полярности сигналов говорит о ложном импульсе или исчезновении с линии корректного импульса.

В коде АМІ используются не два, а три уровня сигнала на линии. Дополнительный уровень требует увеличение мощности передатчика примерно на 3 дБ для обеспечения той же достоверности приема битов на линии, что является общим недостатком кодов с

несколькими состояниями сигнала по сравнению с кодами, в которых различают только два состояния.

Потенциальный код NRZI

Существует код, похожий на AMI, но только с двумя уровнями сигнала. При передаче нуля он передает потенциал, который был установлен на предыдущем такте (то есть не меняет его), а при передаче единицы потенциал инвертируется на противоположный. Этот код называется **потенциальным кодом с инверсией при единице** (Non Return to Zero with ones Inverted, NRZI). Он удобен в тех случаях, когда наличие третьего уровня сигнала весьма нежелательно, например в оптических кабелях, где устойчиво распознаются только два состояния сигнала — свет и темнота.

Код NRZI хорош тем, что в среднем требует меньше изменений сигнала при передаче произвольной двоичной информации, чем манчестерский код, за счет чего спектр его сигналов уже. Однако код NRZI обладает плохой самосинхронизацией, так как при передаче длинных последовательностей нулей сигнал вообще не меняется (например, при передаче последних 3-х нулей на рис. 2, а), и, значит, у приемника исчезает возможность синхронизации с передатчиком на значительное время, что может приводить к ошибкам распознавания данных.

Для улучшения потенциальных кодов, подобных AMI и NRZI, используются два метода.

Первый метод основан на добавлении в исходный код избыточных битов, содержащих логические единицы. Очевидно, что в этом случае длинные последовательности нулей прерываются, и код становится самосинхронизирующимся для любых передаваемых данных.

Исчезает также постоянная составляющая, а значит, еще более сужается спектр сигнала.

Однако этот метод снижает полезную пропускную способность линии, так как избыточные единицы пользовательской информации не несут.

Другой метод основан на предварительном «перемешивании» исходной информации таким образом, чтобы вероятность появления единиц и нулей на линии становилась близкой к нулю. Устройства, или блоки, выполняющие такую операцию, называются **скремблерами**. При скремблировании используется известный алгоритм, поэтому приемник, получив двоичные данные, передает их на **дескремблер**, который восстанавливает исходную последовательность битов.

Биполярный импульсный код

Помимо *потенциальных кодов* в сетях используются и *импульсные коды*, в которых данные представлены полным импульсом или же его частью — фронтом. Наиболее простым кодом такого рода является **биполярный импульсный код**, в котором единица представляется импульсом одной полярности, а ноль — другой (см. рис. 2, в). Каждый импульс длится половину такта. Подобный код обладает отличными самосинхронизирующими свойствами, но постоянная составляющая может присутствовать, например, при передаче длинной последовательности единиц или нулей. Кроме того, спектр у него шире, чем у потенциальных кодов. Так, при передаче всех нулей или единиц частота основной гармоники кода равна МГц, что в два раза выше основной гармоники кода NRZ и в четыре раза выше основной гармоники кода AMI при передаче чередующихся единиц и нулей. Из-за слишком широкого спектра биполярный импульсный код используется редко.

Вопросы

1. Какие цели нужно стремиться достичь при выборе способа кодирования?
2. Что является наиболее важной характеристикой способа кодирования?
3. Что можно отнести к достоинствам и недостаткам кода NRZ?