ТЕХНОЛОГИИ ФИЗИЧЕСКОГО УРОВНЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ
Занятие №16
Методы обнаружения и коррекции ошибок

1. Обнаружение и коррекция ошибок
2. Методы обнаружения ошибок
3. Методы коррекции ошибок
4. Вопросы

Обнаружение и коррекция ошибок

Надежную передачу информации обеспечивают различные методы. Основной принцип работы протоколов, которые обеспечивают надежность передачи информации - повторная передача искаженных или потерянных пакетов. Такие протоколы основаны на том, что приемник в состоянии распознать факт искажения информации в принятом кадре.

Еще одним, более эффективным подходом, чем повторная передача пакетов, является использование самокорректирующихся кодов, которые позволяют не только обнаруживать, но и исправлять ошибки в принятом кадре.

Методы обнаружения ошибок

Методы обнаружения ошибок основаны на передаче в составе блока данных избыточной служебной информации, по которой можно судить с некоторой степенью вероятности о достоверности принятых данных. В сетях с коммутацией пакетов такой единицей информации может быть PDU любого уровня, для определенности будем считать, что мы контролируем кадры.

Избыточную служебную информацию принято называть **контрольной суммой,** или **контрольной последовательностью кадра** (Frame Check Sequence, FCS). Контрольная сумма вычисляется как функция от основной информации, причем *не обязательно 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.

Рассмотрим несколько распространенных алгоритмов вычисления контрольной суммы, отличающихся вычислительной сложностью и способностью обнаруживать ошибки в данных.

Контроль по паритету представляет собой наиболее простой метод контроля данных. В то же время это наименее мощный алгоритм контроля, так как с его помощью можно обнаруживать только одиночные ошибки в проверяемых данных. Метод заключается в суммировании по модулю 2 всех битов контролируемой информации. Нетрудно заметить, что для информации, состоящей из нечетного числа единиц, контрольная сумма всегда равна 1, а при четном числе единиц — 0.

Например, для данных 100101011 результатом контрольного суммирования будет значение 1. Результат суммирования также представляет собой один дополнительный бит данных, который пересылается вместе с контролируемой информацией. При искажении в процессе пересылки любого одного бита исходных данных (или контрольного разряда) результат суммирования будет отличаться от принятого контрольного разряда, что говорит об ошибке.

Однако двойная ошибка, например 110101010, будет неверно принята за корректные данные. Поэтому контроль по паритету применяется к небольшим порциям данных, как правило, к каждому байту, что дает коэффициент избыточности для этого метода 1/8. Метод редко используется в компьютерных сетях из-за значительной избыточности и невысоких диагностических возможностей.

Вертикальный и горизонтальный контроль по паритету представляет собой модификацию описанного метода. Его отличие состоит в том, что исходные данные рассматриваются в виде матрицы, строки которой составляют байты данных. Контрольный разряд подсчитывается отдельно для каждой строки и для каждого столбца матрицы. Этот метод позволяет обнаруживать большую часть двойных ошибок, однако он обладает еще большей избыточностью. На практике этот метод сейчас также почти не применяется при передаче информации по сети.

Циклический избыточный контроль (Cyclic Redundancy Check, CRC) является в настоящее время наиболее популярным методом контроля в вычислительных сетях (и не только в сетях, например, этот метод широко применяется при записи данных на гибкие и жесткие диски).

Метод основан на представлении исходных данных в виде одного многоразрядного двоичного числа.

Например, кадр стандарта Ethernet, состоящий из 1024 байт, рассматривается как одно число, состоящее из 8192 бит. Контрольной информацией считается остаток от деления этого числа на известный делитель *R*. Обычно в качестве делителя выбирается семнадцати- или тридцатитрехразрядное число, чтобы остаток от деления имел длину 16 разрядов (2 байт) или 32 разряда (4 байт). При получении кадра данных снова вычисляется остаток от деления на тот же делитель *R*, но при этом к данным кадра добавляется и содержащаяся в нем контрольная сумма. Если остаток от деления на *R* равен нулю, то делается вывод об отсутствии ошибок в полученном кадре, в противном случае кадр считается искаженным.

Этот метод обладает более высокой вычислительной сложностью, но его диагностические возможности гораздо выше, чем у методов контроля по паритету.

Метод CRC позволяет обнаруживать все одиночные ошибки, двойные ошибки и ошибки в нечетном числе битов.

Метод обладает также невысокой степенью избыточности. Например, для кадра Ethernet размером 1024 байт контрольная информация длиной 4 байт составляет только 0,4 %.

Методы коррекции ошибок

Техника кодирования, которая позволяет приемнику не только понять, что присланные данные содержат ошибки, но и исправить их, называется **прямой коррекцией ошибок** - (Forward Error Correction, FEC). Коды, которые обеспечивают прямую коррекцию ошибок, требуют введения большей избыточности в передаваемые данные, чем коды, только обнаруживающие ошибки.

При применении любого избыточного кода не все комбинации кодов являются разрешенными. Например, контроль по паритету делает разрешенными только половину кодов.

Если мы контролируем три информационных бита, то разрешенными 4-битными кодами с дополнением до нечетного количества единиц будут:

000 1, 001 0, 010 0, 011 1, 100 0, 101 1, 110 1, 111 0

То есть всего 8 кодов из 16 возможных.

Для того чтобы оценить количество дополнительных битов, требуемых для исправления ошибок, нужно знать так называемое расстояние Хемминга между разрешенными комбинациями кода.

Расстоянием Хемминга называется минимальное число битовых разрядов, в которых отличается любая пара разрешенных кодов.

Для схем контроля по паритету расстояние Хемминга равно 2.

Можно доказать, что если мы сконструировали избыточный код с расстоянием Хемминга, равным *n,* то такой код будет в состоянии распознавать (n-1)-кратные ошибки и исправлять (n-1)/2-кратные ошибки.

Так как коды с контролем по паритету имеют расстояние Хемминга, равное 2, то они могут только обнаруживать однократные ошибки и не могут исправлять ошибки.

Коды Хемминга эффективно обнаруживают и исправляют изолированные ошибки, то есть отдельные искаженные биты, которые разделены большим количеством корректных битов.

Однако при появлении длинной последовательности искаженных битов (пульсации ошибок) коды Хемминга не работают.

Пульсации ошибок характерны для *беспроводных каналов,* в которых применяют сверточные коды. Поскольку для распознавания наиболее вероятного корректного кода в этом методе задействуется решетчатая диаграмма, то такие коды еще называют **решетчатыми.**

Эти коды используются не только в беспроводных каналах, но и в модемах.

Методы прямой коррекции ошибок особенно эффективны для технологий физического уровня, которые не поддерживают сложные процедуры повторной передачи данных в случае их искажения.

Примерами таких технологий являются технологии SDH и OTN, которые будут рассмотрены в дальнейшем курсе обучения.

Вопросы

1. Что называется контрольной последовательностью кадра?
2. Что представляет собой контроль по паритету?
3. Что представляет собой вертикальный и горизонтальный контроль по паритету?
4. Что представляет собой циклический избыточный контроль?
5. Что называется прямой коррекцией ошибок?
6. Что называется расстоянием Хемминга?
7. Какие коды называются решетчатыми?
8. Где используются решетчатые коды?