

УДК 681.3.06

### **О ДОСТОВЕРНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ**

*А. А. Борисенко, д-р техн. наук, профессор;  
А. Е. Горячев, аспирант;  
А. Н. Кобяков, доцент;  
С. А. Дегтярь, аспирант,  
Сумский государственный университет,  
ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, 40007, Украина*

*В статье рассматриваются способы повышения достоверности передачи информации. Приводятся характеристики основных видов помех и каналов связи. Предлагаются методы обнаружения и исправления ошибок на основе применения корректирующих помехоустойчивых кодов и переспроса поврежденной информации.*

***Ключевые слова:** достоверность передачи информации, помехи, канал связи, исправление ошибок*

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Системы связи приобрели сегодня особое значение практически во всех областях деятельности современного человека, так как они являются объединяющим их звеном. При этом наблюдаются все возрастающие требования к получению высокой точности передаваемой информации и к простоте реализации соответствующей приемо-передающей техники, что достигается использованием цифровой формы представления информации. Как следствие, передача информации в аналоговой форме постепенно теряет свои позиции, заменяясь цифровой. Поэтому в дальнейшем, говоря о системах связи, будут подразумеваться цифровые системы, как наиболее надежные, точные и перспективные.

#### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Точность передачи информации во многом зависит от уровня ее достоверности. Под достоверностью обычно понимается мера соответствия принятого сообщения переданному сообщению [1, 2]. Она, как правило, оценивается вероятностью появления ошибки, состоящей в замене во время передачи или хранения символов 1 на 0 или 0 на 1 или появление стертых символов, который с равной вероятностью можно принять как за единицу, так и за нуль. Сегодня более или менее приемлемым считается появление одной ошибки в среднем на миллион двоичных символов, то есть наличие вероятности ошибки, достигаемой величины 0,000001, а в особых случаях и одной ошибки на миллиард двоичных символов [1, 2, 3]. Это не так уж и много, так как, например, при скорости передачи один миллион бит в секунду (бод), ошибка будет встречаться в среднем каждые 1000 секунд. Поэтому следует искать пути повышения

достоверности передачи информации, а для этого необходимо провести всесторонний анализ факторов, от которых она зависит, с учетом быстродействия работы систем связи. Именно на решение этой задачи и направлена данная работа.

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Снижают достоверность передачи информации искажения сообщений от регулярных или случайных помех, происходящие во время их хранения или передачи. Регулярные помехи, обычно, могут быть скомпенсированы еще до передачи информации, а случайные помехи такой компенсации не поддаются, так как трудно заранее установить, где и когда возникнет помеха и, соответственно узнать, когда из-за нее произойдет сбой. Причем помеха может возникнуть на любом участке канала связи, представляющего совокупность физической среды, в которой происходит передача информации (линии связи), и осуществляющих эту передачу технических средств, включая, передатчик, модулятор – демодулятор (модем) и приемник информации. Поэтому задача повышения достоверности передаваемой информации решается не только путем улучшения качества линии связи, например, выбором оптической среды передачи информации, а и улучшением технических показателей приемо-передающей аппаратуры, которые могут внести в ряде случаев важный вклад в повышение величины достоверности.

Достоверность во многом зависит от характера помех, воздействующих на канал связи, которые могут быть мультипликативными, то есть перемножающимися и аддитивными – суммирующимися, а также от вида их воздействия – флуктуаций или импульсов.

Флуктуации порождаются обычно различными медленно изменяющимися и постоянно действующими шумами, например, дробным эффектом в полупроводниковых приборах [1, 2]. Затухания сигнала в радиоканалах также является флуктуацией, приводящей к ошибкам. Ошибки возникают, когда уровень флуктуаций достигает некоторого порога, и носят они, как правило, одиночный характер. Флуктуации приводят также и к всплескам ошибок, имеющими сплошной однонаправленный характер, которые легко обнаруживаются с помощью несложных технических средств.

Импульсные же помехи являются трудно прогнозируемыми и появляются в результате воздействия электромагнитных помех различного рода, например, разряда молнии, работы сварочного аппарата, переключения на резервный канал, коммутации аппаратуры, подавления эхо-помех и т. д. Они приводят как к одиночным ошибкам, так и к пакетам ошибок, исправлять которые значительно труднее, чем одиночные ошибки. Сами же ошибки характеризуются, кратностью, коррелированностью, симметричностью или асимметричностью, структурой их распределения по пакетам. Появление в пакете, кроме ошибочных, еще и правильных символов объясняется тем, что импульсная помеха, носит характер суммарного действия нескольких импульсов, которые имеют различную форму и разное время действия и не всегда перекрывают друг друга. Установлено, что основной причиной ошибок являются именно импульсные помехи [1, 2, 3].

Если зависимые ошибки возникают в случае, когда между ними наблюдается связь, то независимые ошибки появляются и при отсутствии такой связи. Независимые ошибки характеризуются кратностью, которая равна количеству ошибок в сообщении. Такие ошибки происходят достаточно часто, примерно в 70 процентах от общего числа их случаев [1]. Однако наряду с независимыми ошибками в сообщениях нередко встречаются и пакеты ошибок, в которых ошибки вероятно связаны

(коррелированы) между собой, что приводит к тому, что появление одной ошибки с вероятностью большей 0,5 приводит к появлению ошибок в соседних разрядах [1]. Особенностью пакетов является то, что они характеризуются длиной, которая определяет число коррелированных между собой ошибок.

Каналы связи, в которых ошибки происходят независимо друг от друга, называются еще каналами без памяти, а каналы с пакетами ошибок и соответственно с коррелированными ошибками – каналами с памятью [1, 2]. Те и другие каналы могут использоваться для передачи двоичной цифровой информации. Следует отметить, что пакеты ошибок легче обнаруживать, но труднее исправлять без переспроса. В этом отношении значительно проще исправляются не пакеты, а всплески ошибок, когда ошибки идут стопроцентно по длине всего пакета [1].

Также каналы связи подразделяются на симметричные и асимметричные каналы. Симметричные каналы – это каналы, в которых вероятность появления ошибок из нуля в единицу и единицы в нуль одинаковая, а асимметричные каналы, когда разная. На практике симметричные каналы практически не встречаются, так как редко происходит так, что помеха одинаково действует в одну и другую сторону, хотя такие случаи все же известны [2, 3]. Значительно чаще помеха имеет какое-то одно направление вплоть до того, что в некоторых радиоканалах возникают только однонаправленные ошибки [3]. Следует сразу отметить, что групповые коды и такая их разновидность как циклические рассчитаны, как правило, на обнаружение и исправление симметричных ошибок. В этом отношении они уступают неразделимым кодам, например, равновесным, которые более эффективны для асимметричных каналов и, например, могут обнаруживать сто процентов ошибок в строго асимметричном канале, то есть в канале, в котором ошибки происходят только в одну сторону. Другое дело, что неразделимые коды с трудом исправляют ошибки и то в основном однократные [4, 5, 6]. В таком случае преимуществом обладают групповые коды, например, Хэмминга или непрерывные сверточные коды в любой их модификации. При этом в обычных условиях может быть исправлено до 80 процентов одиночных ошибок при их вероятности 0,0001 – 00001 [1, 2]. Однако в условиях интенсивных атмосферных помех число одиночных ошибок уменьшается до 70 и даже 50 процентов, а двойных соответственно до 15 и 38%. Правда, это наблюдается при небольших скоростях передачи 1200 – 1800 бит в сек. (бод) [1]. Очевидно, что при росте скорости передачи, а значит, уменьшении энергетической составляющей сигналов количество ошибок как независимых, так и в виде пакетов будет только возрастать.

Вопрос обнаружения ошибок важный, но не главный, так как обнаружение ошибок без их исправления не имеет практического смысла. Исправление же ошибки после ее обнаружения происходит или исправлением ее на приемном конце или повторным переспросом сообщения у приемника [1, 2, 3]. Существует много различных методов исправления ошибок, основанных на комбинациях этих способов, описание которых выходит за рамки данной работы. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки и предназначен для определенных условий передачи информации, где он является оптимальным или близким к оптимальному способу исправления.

Существующие методы исправления ошибок не в состоянии обеспечить исправление большого количества ошибок. Известно, например, что большинство корректирующих кодов при скорости передачи информации 0,5, соответствующей равенству числа информационных и контролируемых символов, способны из пакета длиной в 50 символов исправить не более 16 символов [3, 4]. Кроме того, аппаратная

реализация кодов с исправлением ошибок достаточно сложна, и она сама может выступать значительным источником ошибок. Данный способ исправления ошибок эффективный в случае редкого появления ошибок, в основном одиночных, или в пакетах ошибок относительно небольшой длины, порядка 50 символов. Поэтому часто на практике используется комбинированный принцип исправления – часть ошибок исправляется на приемном конце, а часть ошибок в процессе переспроса [1, 2, 3]. Так как эксперименты показали, что коды с исправлением ошибок во многих случаях непригодны для передачи по телефонным каналам, которые на сегодня еще широко используются для передачи информации, то в качестве основного способа исправления ошибок в них остается переспрос сообщений [1, 5, 6].

Однако использование только переспроса снижает скорость передачи информации, так как в самой простой и надежной из таких систем, называемой системой переспроса с остановкой и ожиданием, надо ждать определенное время сигнала, подтверждающего правильный или ошибочный прием сообщения. Для этого необходимо, например, в полудуплексной системе связи производить двойное переключение каналов с прямого на обратный канал и с обратного на прямой канал. Это требует дополнительных к передаче информации затрат времени на устранение ошибок, особенно при большой длине передаваемых сообщений. Кроме того, в настоящее время, когда все больше информации является конфиденциальной и должна быть защищена от несанкционированного доступа, многократная передача ее по каналу связи снижает уровень такой защиты. Также при высоком уровне помех многократное переключение каналов связи приводит к неоправданному снижению скорости передачи информации и даже может вообще остановить ее передачу. Исправление же ошибок позволяет избежать такой непроизводительной траты времени. Поэтому разработка кодов с исправлением ошибок, в том числе и для телефонных линий связи, является в настоящее время актуальной задачей. Самым же эффективным способом исправления ошибок является разумное сочетание переспроса и исправления ошибок на приемном конце, так как исправление ошибок разгружает канал связи от повторяющейся информации, а переспрос уменьшает жесткость требований к исправляющей аппаратуре на приемном конце системы связи. В конечном итоге при правильном подборе исправляющего алгоритма и алгоритма переспроса можно достичь оптимальной работы канала связи при определенном уровне и характере шумов. Собственно, такая задача должна стоять при любой разработке системы связи, какой бы канал связи в ней не использовался.

## ВЫВОДЫ

Для одновременного устранения независимых ошибок и их пакетов в передаваемой информации при сохранении высокого быстродействия работы систем связи следует совмещать переспрос информации с одновременным исправлением ошибок. Тогда можно использовать не слишком сложные коды, исправляющие независимые ошибки и пакеты длиной не больше 16 символов. При этом следует использовать простейшую систему переспроса с полудуплексным каналом, что позволит сохранить высокую достоверность и скорость передачи информации. Для асимметричных каналов связи, которыми, как правило, являются радиотехнические и радиорелейные каналы, следует применять неразделимые коды, позволяющие совместить переспрос с исправлением ошибок.

*Работа выполнена в рамках бюджетной темы № 0113U000133.*

## SUMMARY

### ACCURACY OF DIGITAL DATA TRANSMISSION

*A. A. Borisenko, A. E. Goryachev, O. M. Kobyakov, S. A. Degtiar,  
Sumy State University,  
2, Rymsky-Korsakov Str., 40007, Sumy, Ukraine*

*The accuracy of the information decreases under the influence of interference occurring during its storage or transfer. Correction of errors caused by interference can be corrected at the receiving end or by repeating the message. To eliminate independent errors and their packets in transmitted information while maintaining high performance communication systems it is recommended to combine information retransmission and correcting errors at the receiver side.*

**Keywords:** *reliability of data transmission, interference, communication channel, error correction*

## РЕЗЮМЕ

### ПРО ДОСТОВІРНІСТЬ ПЕРЕДАЧІ ЦИФРОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

*О. А. Борисенко, О. Е. Горячев, Б. К. Кобяков, С. О. Дегтярь,  
Сумський державний університет,  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна*

*Достовірність інформації знижується під впливом перешкод, що відбуваються під час її зберігання або передачі. Виправлення помилок, викликаних перешкодами, може здійснюватися корекцією на прийомному кінці або повторним запитом повідомлення у передатчика. Для усунення незалежних помилок і їх пакетів в переданій інформації при збереженні високої швидкодії роботи систем зв'язку рекомендується поєднувати перезапит інформації та виправлення помилок на стороні приймача.*

**Ключові слова:** *перестановки, достовірність передачі інформації, перешкоди, канал зв'язку, виправлення помилок*

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мартынов Ю. М. Обработка информации в системах передачи данных / Ю. М. Мартынов. - М. : Связь, 1989. - 200 с.
2. Борисенко А. А. О моделях помехоустойчивых каналов связи. / А. А. Борисенко, О. В. Бережная // Вісник СумДУ. Технічні науки. – 2005. – № 9. – С. 5–11.
3. Системы передачи данных и сети ЭВМ. Сборник статей : пер. с англ. / ред. П. Грин и Р. Лаки. - М. : Мир, 1974. - 216 с.
4. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб. : Питер, 2001. – 672 с.
5. Таненбаум Э. Компьютерные сети : пер. с англ. / Э. Таненбаум. 4-е изд. – СПб. : Питер, 2009. – 992 с.
6. Чернега В. Компьютерные сети : учеб. пособие / В. Чернега, Б. Платтнер. – Изд-во СевНТУ, 2006. – 500 с.

*Поступила в редакцию 25 сентября 2013 г.*