

Восстановление кадровой синхронизации при проскальзываниях цифрового сигнала в беспроводных сетях передачи данных при помощи свойств сверточных кодов

Ю. Ю. Сеницын, e-mail: sinia90@mail.ru ¹

А. Б. Сизоненко, e-mail: siz_al@mail.ru ¹

¹ Краснодарское высшее военное орденов Жукова и Октябрьской Революции Краснознаменное училище имени генерала армии С.М. Штеменко

***Аннотация.** Рассмотрены различные виды синхронизации сигнала, причины возникновения проскальзываний сигнала в беспроводных системах передачи данных. Проведен анализ нарастания метрик путей при декодировании по алгоритму Витерби кодовой последовательности с различными видами искажений. Предложено использовать свойства сверточных кодов для устранения проскальзываний цифрового сигнала в беспроводных системах передачи данных.*

***Ключевые слова:** система синхронизация сигнала, проскальзывание цифрового сигнала, помехоустойчивое кодирование, сверточные коды, алгоритм декодирования по Витерби.*

Введение

В беспроводных системах передачи данных, по мере накопления фазового сдвига сигналов передачи и приема, возникают сбои синхронизации. Сбои в работе систем синхронизации приводят к удалению или добавлению лишних символов кодовой последовательности переданных данных называемых проскальзываниями. Правильно обработать такие данные становится невозможным. Существующие способы предотвращения проскальзываний не способны в полной мере определить место пропущенного (лишнего) бита информации. Уменьшить влияние проскальзываний в беспроводных системах передачи данных возможно, используя свойства сверточных кодов. Модификация алгоритма декодирования сверточных кодов по Витерби, позволит устранить не только искажения типа изменение одного или группы символов, но и искажения типа удаление или добавление лишних символов, что позволит восстановить синхронизацию при передаче данных.

1. Причины и следствия сбоев синхронизации

Современные беспроводные системы передачи данных требуют обеспечения высоких показателей надежности и качества передачи информации. Большинство таких систем имеют несколько этапов синхронизации, которые располагаются на приемной части оборудования.

Среди них выделяют:

- системы синхронизации по несущей частоте;
- системы тактовой синхронизации;
- системы словной синхронизации;
- системы кадровой синхронизации [1].

Для решения проблем синхронизации в беспроводных системах передачи данных используются устройства с эластичной памятью, в которых по тактовой частоте генератора источника осуществляется запись переданного сигнала, по тактовой частоте генератора приемника происходит его считывание. Устройство с эластичной памятью используется для долгого хранения сигналов, эластично изменяясь для компенсации задержек во времени прохождения сигнала.

В отсутствие эластичной памяти сбои синхронизации возникают по мере накопления фазового сдвига сигналов передачи и приема [2].

Эластичная память способна временно сглаживать разность частот потока данных отправленных с источника и принятого потока данных на приемнике. Это связано с тем, что такая память переполняется или опустошается в зависимости от соотношения тактовых частот. Сбои в работе систем синхронизации приводят к удалению или добавлению лишних символов кодовой последовательности переданных данных называемые проскальзыванием. Проскальзывание ведет к пропуску информации или считыванию ее несколько раз подряд.

Влияние проскальзываний синхронизации для разных типов данных приведено в таблице 1 [3].

Таблица 1

Следствия проскальзываний данных

Тип данных или технология их передачи	Проявление проскальзываний синхронизации
Звук	Щелчки при прослушивании музыки
Видеоинформация	Искажение изображения («замораживание» или потеря картинки)
Фотографии	Искажение изображения (потеря

	части картинки, в зависимости от места проскальзывания символа в кадре, необходимость повторной передачи данных)
Текст	Искажение текста, необходимость повторной передачи данных

2. Способы устранения рассинхронизации

Существует способ предотвращения проскальзываний, который основан на введении избыточности битов в потоки данных. Если буферная память близка к переполнению, то часть избыточных битов удаляется, скорость обработки данных на приемнике снижается. При снижении уровня буферной памяти во входной поток обработки данных вставляются избыточные биты [3].

Далее показан способ частичного восстановления данных, после обнаружения битового проскальзывания. Данный способ, применяется в системе мобильной связи GSM.

Кадр представляет собой матрицу из 20 строк и 16 столбцов. Полезные данные D (260 бит) обрамляются служебными (60 бит). Порядок следования битов во времени: слева – направо, сверху – вниз рис 1 (а).

Первым передается флаг начала кадра – уникальная комбинация из шестнадцати 0 и следующая за ним 1, затем служебные биты (С или Т). Чтобы флаговая комбинация битов повторно не встречалась в теле кадра, применен такой прием: все последующие биты первого столбца всегда должны быть 1. Биты первого столбца называются битами синхронизации.

```

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
1 C C C C C C C C C C C C C C
1 D D D D D D D D D D D D D D
1 D D D D D D D D D D D D D D
1 D D D D D D D D D D D D D D

1 D D D D D D D D D D D D D D
1 D D D D D D D D D D D D D D
1 D D D D D D D D D D D D D D
1 D D D D D D D D D D D D D D
1 D D D D D D D D D D D D D D

1 D D D D D D D D D D D D D D
1 D D D D D D D D D D D D D D
1 D D D D D D D D D D D D D D
1 D D D D D D D D D D D D D D
1 D D D D D D D D D D D D D D

1 D D D D D D D D D D D D D D
1 D D D D D D D D D D D D D D
1 D D D D D D D D D D D D D D
1 D D D D D D D D D D D D D D
1 D D D D D D C C C C C C T T T T

```

а

```

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
1 C C C C C C C C C C C C C C
1 D D D D D D D D D D D D D D
1 D D D D D D D D D D D D D D
1 D D D D D D D D D D D D D D

1 D D D D D D D D D D D D D D
1 D D D D D D D D D D D D D D
1 D D D D D D D D D D D D D D
1 D D D D D D D D D D D D D D
1 D D D D D D D D D D D D D D

1 D D D D D D D D D D D D D D
1 D D D D D D D D D D D D D D
1 D D D D D D D D D D D D D D
1 D D D D D D D D D D D D D D
1 D D D D D D D C C C C C C T T T T

```

б

а – структура кадра, б – структура кадра с удаленным битом данных

Рис. 1. Структура кадра GSM

Кадры последовательно передаются в канал связи. Получатель кадра распознает флаг начала и приступает к приему данных. Если ошибок нет, то полезные данные извлекаются из кадра и преобразуются в равномерный поток отсчетов, совпадающий с исходным.

В результате проскальзываний может появиться лишний бит или исчезнуть один из имевшихся битов, что искажает кадр не только по содержанию, но и по форме. Большинство подобных ошибок проявляется в том, что по крайней мере один из битов синхронизации приобретает неправильное значение. Кадры с искаженными битами синхронизации отбрасываются, вследствие чего теряется часть данных.

Предположим, что приемник принял кадр с пропущенным битом, показанный на рис 1 (б). При обработке кадра устройство управления (процессор) пытается реконструировать кадр. Прежде чем перейти к процедуре реконструкции кадра, процессор оценивает шансы на успех. Вероятность правильного применения коррекции зависит от номера строки, в которой обнаружен первый ошибочный бит синхронизации. Возможен отказ выполнения процедуры реконструкции кадра, при малой вероятности правильного применения коррекции [3].

3. Использование свойств сверточных кодов при рассинхронизации

Современные беспроводные системы передачи данных для устранения искажений данных, передаваемых по каналу связи с помехами, применяют помехоустойчивое кодирование. При воздействии помех на передаваемое сообщение возможно изменение одного или группы символов, удаление или добавление лишних символов [4]. Помехоустойчивые коды позволяют исправлять искажения одного или группы символов.

Широкое применение среди помехоустойчивых кодов нашли сверточные коды. Свойства сверточных кодов позволяют обнаружить место удаления или добавления символов данных. Одним из методов декодирования сверточных кодов является алгоритм Витерби. Данный метод осуществляет поиск наиболее подходящего списка состояний, которые имеют наибольшую вероятность произошедших событий.

Алгоритм Витерби основан на методе максимального правдоподобия. На каждом такте декодирования для каждой ветви решетки кода вычисляется метрика – число, характеризующее степень отличия бит, генерируемых данной ветвью от принятого кодового слова.

Ошибка по каждой ветви служит метрикой d_H расстояния Хэмминга и соответствует числу отличающихся от требуемых принятых символов. Суммарная метрика $d_{\Sigma H}$ по каждому из возможных путей определяется как метрика путей. Алгоритм Витерби выбирает оптимальный путь с наименьшей суммарной метрикой и отбрасывает те пути, которые превышают некоторую пороговую величину в данный момент времени [5].

Рассмотрим работу декодера при воздействии искажения удаление символа кодовой последовательности. В данном примере при передаче данных, в результате проскальзывания, был удален девятый бит. Получена последовательность $Z = 11-01-01-00-10-10-00-10-11-11-10-10-10-00-11-00-10-01-01-10$.

При работе декодера мы наблюдаем неверное декодирование десяти бит исходной последовательности, начиная с места потери бита. Из – за потери одного бита кодовой последовательности в кодовых словах, начиная с места потери, происходит сдвиг бит данных. Происходит нарастание количества ошибок при декодировании. При работе декодера мы наблюдаем нарастание значений метрик путей рис. 3 [6].

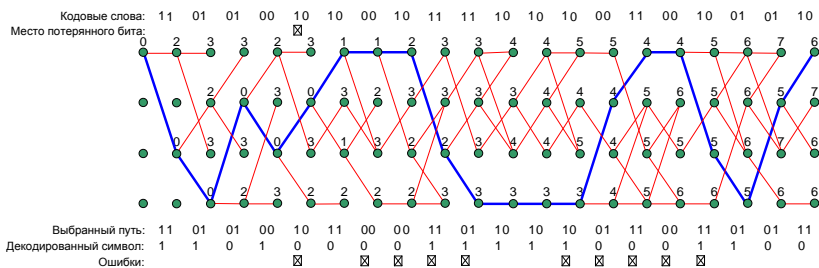


Рис. 2. Процесс декодирования по алгоритму Витерби кодовой последовательности с искажением типа удаление бита данных

На рис. 3 представлен график интенсивности нарастания метрик оптимального пути, для различных видов искажений кодовой последовательности.

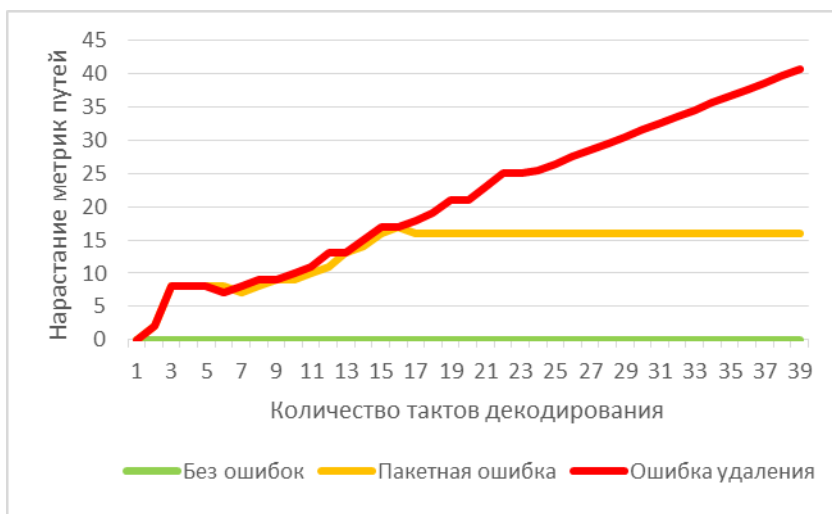


Рис. 3. Интенсивность нарастания метрик оптимального пути, для различных видов искажений

Зеленым цветом на графике показано нарастание метрик оптимального пути для кодовой последовательности, принятой без ошибок. Оранжевым цветом показана интенсивность нарастания метрик оптимального пути для кодовой последовательности искаженной группой символов. Красным цветом на графике показана интенсивность

нарастания метрик оптимального пути при декодировании кодовой последовательности с пропущенным символом.

Нетрудно заметить, что интенсивность нарастания метрик оптимального пути при декодировании кодовой последовательности, принятой без ошибок и искаженной пакетом ошибок, достигает определенного значения (область влияния ошибки), после этого рост значения метрик оптимального пути прекращается. При декодировании кодовой последовательности с пропущенным символом мы наблюдаем нарастание метрик оптимального пути при каждом последующем такте декодирования.

Таким образом, наблюдая за нарастанием метрик оптимального пути при декодировании возможно определить место пропущенного (лишнего) бита информации. Остановить процесс декодирования, вернуться к месту начала нарастания метрик оптимального пути, вставить (удалить) бит данных и возобновить процесс декодирования. Вставка (удаление) бита с момента нарастания значения метрик оптимального пути позволит предотвратить распространение влияния эффекта проскальзывания кодовой последовательности цифрового сигнала.

Заключение

Сбои в работе систем синхронизации приводят к удалению или добавлению лишних символов кодовой последовательности. Способы устранения рассинхронизации, используемые в современных беспроводных системах передачи данных, не способны в полной мере определить место пропущенного (лишнего) бита информации. Уменьшить влияние проскальзываний в беспроводных системах передачи данных возможно, используя свойства сверточных кодов. Модификация алгоритма декодирования сверточных кодов по Витерби, основанная на анализе интенсивности нарастания метрик оптимального пути позволит устранить не только искажения типа изменение одного или группы символов, но и искажения типа удаление или добавление лишних символов, что позволит восстановить синхронизацию при передаче данных.

Литература

1. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс». – 2004. – 1104 с.
2. Канаков В.А. Новые технологии измерения в цифровых каналах передачи информации. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Современные системы

мобильной цифровой связи, проблемы помехозащищенности и защиты информации». Нижний Новгород. – 2006. – 91 с.

3. Сухман, С.М. Синхронизация в телекоммуникационных системах. Анализ инженерных решений / С.М. Сухман, А.В. Бернов, Б.В. Шевкопляс. – 260 с.

4. Сизоненко, А.Б. Использование свойств сверточных кодов для устранения рассинхронизации при расшифровании сообщений, зашифрованных синхронными поточными шифрами / А.Б. Сизоненко // Информационные системы и технологии. – 2013. – № 1. – С. 41–46.

5. Никитин, Г.И. Сверточные коды: Учеб. пособие. СПбГУАП. СПб. – 2001. – 80 с.

6. Сеницын, Ю.Ю. Восстановление синхронизации при расшифровании сообщений с использованием модифицированного алгоритма декодирования по Витерби / Ю.Ю. Сеницын, А.Б. Сизоненко // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2020. – № 3. – С. 36-43.