

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.396.2

Саланович
Иван Николаевич

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ СИНХРОНИЗАЦИИ ПРИ ПРИЕМЕ
СИГНАЛА В ЦИФРОВОМ КАНАЛЕ СВЯЗИ

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-39 80 01 «Радиосистемы и радиотехнологии»

Научный руководитель
Потапов Владимир Дмитриевич
к-т техн. наук, доцент

Минск 2021

ВВЕДЕНИЕ

Целью данной магистерской диссертация является исследование методов, позволяющих повысить точность синхронизации в *OFDM* системах связи.

Системы радиосвязи повсеместно используются в различных сферах деятельности человека и в настоящее время активно развиваются: возрастают дальность действия радиосвязи, скорость передачи данных, количество одновременно обслуживаемых абонентов, и т.д. Необходимость применения системы синхронизации обусловлена дрейфом частоты гетеродинов в приемнике и передатчике, а также изменением временных интервалов приёма сигналов из-за перемещения абонентов системы радиосвязи.

В последние годы пристальный интерес и повышенное внимание обращено к технологиям с использованием модуляции *OFDM* (Orthogonal Frequency Division Multiplexing — мультиплексирование с ортогональным частотным разделением), использование которой позволяет существенно увеличить пропускную способность канала связи.

OFDM — метод передачи данных, при котором высокоскоростной поток данных разделяется на несколько относительно низкоскоростных потоков, каждый из которых передается на отдельной поднесущей с последующим объединением данных. Каждая из поднесущих модулируется независимо, например, с использованием модуляции вида *BPSK* (Binary Phase-Shift Keying — двухпозиционная фазовая манипуляция), *QPSK* (Quadrature Phase-Shift Keying — квадратурная фазовая манипуляция) и их разновидностей или *QAM* (Quadrature Amplitude Modulation — квадратурная амплитудная модуляция). Таким образом формируется одновременная передача нескольких параллельных каналов. Одно из преимуществ *OFDM* заключается в том, что с изменением вида модуляции каждой из поднесущих появляется возможность адаптации к параметрам канала связи (т.е. при наличии помех скорость уменьшается, а при их отсутствии или снижении уровня, соответственно, увеличивается). Кроме того, некоторые из поднесущих можно отключать, если в этих частотных диапазонах имеются, к примеру, импульсные помехи. Возможности адаптации к параметрам канала и условиям передачи, заложенные в *OFDM*-методе, обеспечивают его высокую помехоустойчивость и надежность. Кроме того, если принимать во внимание и существенное увеличение скорости передачи в сравнении с методами *FSK* (Frequency Shift Keying), *S-FSK* (Spread Frequency Shift Keying) и *DCSK* (Differential Code Shift Keying), этот вид модуляции становится весьма привлекательным для его использования в узкополосной

технологии. Не секрет, что современные автоматизированные системы управления и контроля со многими узлами ориентированы на работу в режиме реального времени.

Актуальность темы магистерской диссертации. Актуальность диссертационной работы обусловлена современными тенденциями к совершенствованию систем цифровой радиосвязи. Применение в широкополосных системах передачи данных технологии ортогонального частотного разделения (*OFDM*) позволяет получить высокую спектральную эффективность, обеспечить устойчивость к многолучевому распространению и межсимвольной интерференции, таким образом исследование модели *OFDM* сигнала является наиболее перспективной для разработки цифровых каналов связи.

Цель работы. Исследование методов, позволяющих повысить точность синхронизации в *OFDM* системах связи.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи исследования:

1. Анализ существующих систем поэлементной синхронизации, групповой синхронизации, проанализировать методы оценивания частоты и фазы несущего колебания в цифровой связи, а также рассмотреть проблемы возникновения ошибок символьной синхронизации.
2. Моделирование *OFDM* канала связи в среде *Matlab Simulink*.
3. Анализ влияния ошибки символьной синхронизации при использовании известных алгоритмов синхронизации.
4. Анализ влияния неточности оценивания фазы несущей на вероятность битовых ошибок в m-кам системах передачи данных.
5. Анализ влияния Доплеровского сдвига на *OFDM* сигнал.

Магистерская диссертация выполнена самостоятельно, проверена в системе «Антиплагиат». Процент оригинальности соответствует норме, установленной кафедрой ИРТ. Цитирования обозначены ссылками на публикации, указанные в «Списке использованных источников».

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Системы радиосвязи повсеместно используются в различных сферах деятельности человека и в настоящее время активно развиваются: возрастают дальность действия радиосвязи, скорость передачи данных, количество одновременно обслуживаемых абонентов. Необходимость применения системы синхронизации обусловлена дрейфом частоты гетеродинов в приемнике и передатчике, изменением временных интервалов приёма сигналов из-за перемещения абонентов системы радиосвязи.

Актуальность диссертационной работы обусловлена современными тенденциями к совершенствованию систем цифровой радиосвязи. Применение в широкополосных системах передачи данных технологии ортогонального частотного разделения (*OFDM*) позволяет получить высокую спектральную эффективность, обеспечить устойчивость к многолучевому распространению и межсимвольной интерференции, таким образом исследование модели *OFDM* сигнала является наиболее перспективной для разработки цифровых каналов связи.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи исследования:

1. Анализ существующих систем поэлементной синхронизации, групповой синхронизации, проанализировать методы оценивания частоты и фазы несущего колебания в цифровой связи, а также рассмотреть проблемы возникновения ошибок символьной синхронизации.
2. Моделирование *OFDM* канала связи в среде *Matlab Simulink*.
3. Анализ влияния ошибки символьной синхронизации при использовании известных алгоритмов синхронизации.
4. Анализ влияния неточности оценивания фазы несущей на вероятность битовых ошибок в *m*-кам системах передачи данных.
5. Анализ влияния Доплеровского сдвига на *OFDM* сигнал.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе приводится анализ существующих систем поэлементной синхронизации, групповой синхронизации, проанализированы методы оценивания частоты и фазы несущего колебания в цифровой связи, а также рассмотрены проблемы возникновения ошибок символьной синхронизации.

Во втором разделе приводится анализ модели цифрового канала связи, рассмотрены алгоритмы синхронизации *OFDM*-систем во временной и

частотной областях, проанализирована структурная схема OFDM системы, приведена модель цифрового канала связи.

В третьем разделе произведены следующие оценки результатов моделирования: анализ влияния ошибки символьной синхронизации при использовании известных алгоритмов синхронизации, исследование влияния неточности оценивания фазы несущей на вероятность битовых ошибок в m-кам системах передачи данных, анализ влияния Доплеровского сдвига на OFDM сигнал.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной диссертации было проанализировать и исследовать методы и алгоритмы, позволяющие повысить точность синхронизации при приеме сигнала в цифровом канале связи.

В ходе работы над диссертацией был произведен анализ существующих систем поэлементной синхронизации, групповой синхронизации, проанализированы методы оценивания частоты и фазы несущего колебания в цифровой связи, рассмотрены проблемы Доплеровского смещения, а также рассмотрены проблемы возникновения ошибок символьной синхронизации.

Произведено моделирование цифрового канала связи, а также рассмотрены известные алгоритмы синхронизации, которые показали нам что при отношении сигнал/шум не превышающим 10 дБ, алгоритм символьной синхронизации Миллера и Мюллера, является наиболее помехоустойчивым.

Произведена оценка результатов моделирования. Результаты показывают, что при ошибке оценивания фазы для 16-КАМ модуляции на 5° , а для системы 64-КАМ на $2,5^\circ$ приводит к ухудшению отношения сигнал/шум на 1 дБ. Результаты для моделирования Доплеровское смещение спектра, показывают, что смещение частоты несущего колебания на значения большее 200 Гц, приводит к тому, что точки модуляционного созвездия выходят за пределы своего квадранта, в следствии чего невозможно произвести безошибочную демодуляции сигнала.

Публикации

1. Захаров И.А., Саланович И.Н., Хазановский И.О., Гусинский А.В. Амплитудный детектор в диапазоне частот 25,95 – 37,5 ГГц / Информационные радиосистемы и радиотехнологии 2020 : материалы Респ.

науч.-практ. конф. (Республика Беларусь, Минск, 28-29 октября 2020 года) / редкол. : В. А. Богуш [и др.]. – Минск : БГУИР, 2020. – 352 с.

2. Саланович И. Н., Захаров И. А., Дворникова Т. Н. Автоматизированная беспроводная система управления инженерным оборудованием здания / Информационные радиосистемы и радиотехнологии 2020 : материалы Респ. науч.-практ. конф. (Республика Беларусь, Минск, 28-29 октября 2020 года) / редкол. : В. А. Богуш [и др.]. – Минск : БГУИР, 2020. – 352 с.

Библиотека БГУИР