

1 слайд

Здравствуйте уважаемые члены комиссии, уважаемый председатель меня зовут Боржонов Анатолий, тема моей выпускной квалификационной работы «Программный модуль обработки сигналов стандарта DMR».

2 слайд

Целью выпускной квалификационной работы является реализация программного модуля обработки сигналов стандарта DMR. Программный модуль представляет собой составную часть программного обеспечения устройства автоматизированного радиомониторинга. Программное обеспечение состоит из следующих блоков:

- Блок взаимодействия с клиентом – он отвечает за передачу сообщений между устройством АРМ и клиентом;
- Блок менеджера заданий – он отвечает за обработку запросов от клиента и формирование запросов к приемному устройству, именно его составной частью является реализуемый программный модуль;
- Блок взаимодействия с приемным устройством – он отвечает за передачу сообщений между приемным устройством и устройством АРМ.

3 слайд

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- изучение стандарта DMR Air Interface;
- изучение принципов формирования сигнала физического уровня;
- разработка алгоритма обработки сигнала;
- реализация алгоритма на языке программирования C++;
- верификация и тестирование программного обеспечения.

При реализации программного модуля существовали следующие требования и ограничения:

- Реализация с использованием объектно-ориентированного стиля программирования;
- Использование готовых модулей библиотеки цифровой обработки сигналов ООО «СТЦ»;
- Вероятность ложной тревоги при обнаружении сигнала не более 10^{-4} ;
- Быстродействие алгоритма не хуже чем 1:1.

- Входными данными для алгоритма является запись сигнала, полученная от приемного устройства, представляющая собой аналитический сигнал, записанный массивом комплексных отсчетов.
- Выходными данными алгоритма является статус обнаружения сигнала и системная информация об устройстве.

4 слайд

Далее рассмотрим некоторые положения стандарта DMR необходимые для дальнейшего понимания работы алгоритма.

Стандарт DMR при формировании сообщения использует следующий алгоритм:

- Сначала системная информация защищается кодом Рида-Соломона;
- Затем используется турбо код на основе кодов Хэмминга;
- Далее следует перемежение;
- После этого формируется слот, содержащий в себе закодированные данные, поле с указанием типа слота и синхрогруппу.

Полученная последовательность бит поступает на вход модулятора. Стандарт DMR использует 4-х позиционную частотную манипуляцию, на слайде представлена таблица, показывающая соответствие между информационными битами и символами.

5 слайд

По результатам изучения стандарта мною был разработан следующий алгоритм обработки сигнала:

- Первым этапом является обнаружение синхрогруппы, в случае если синхрогруппа не была обнаружена, происходит формирование результата о том, что в полученной записи сигнал обнаружен не был;
- В случае когда синхрогруппа была обнаружена следующим этапом является демодуляция полученного сигнала;
- После демодуляции идет этап декодирования системной информации, на этом этапе происходит декодирование полученной информации и проверка её целостности;
- Последним этапом является формирование результата, в нем содержится статус обнаружения сигнала и системная информация об устройстве.

Перед подробным рассмотрением отдельных этапов алгоритма необходимо отметить, что было реализовано несколько методов обнаружения сигнала:

- Первый метод по комплексным отсчетам;
- Второй по демодулированным отсчетам частоты;
- И третий по демодулированным символам;

Именно поэтому сначала будет рассмотрен алгоритм демодуляции.

6 слайд

При реализации алгоритма обязательным требованием было использование импульсных характеристик ранее синтезированных в ООО «СТЦ» цифровых фильтров. Алгоритм предполагает использование четырех комплексных резонаторов, каждый из которых соответствует частоте определенного символа.

В рамках данной работы под комплексным резонатором понимается устройство вычисляющее квадрат модуля взаимной корреляционной функции сигнала с заданной импульсной характеристикой фильтра. Иначе говоря комплексный резонатор вычисляет энергию ВКФ сигнала с импульсной характеристикой фильтра.

Алгоритм демодуляции заключается в последовательном использовании 4-х комплексных резонаторов. На вход каждого из них подается массив комплексных отсчетов сигнала, массив демодулированных символов и массив отсчетов энергии ВКФ, рассчитанный на предыдущем резонаторе. В комплексном резонаторе происходит сравнение принятой и рассчитанной энергий ВКФ для каждого отсчета, в случае если значение рассчитанной энергии превышает принятое, символ соответствующий данному отсчету заменяется на символ этого резонатора. На входе первого резонатора массив энергий ВКФ и символов заполнен нулями.

Таким образом последовательно используя все резонаторы можно получить оценку символов для каждого отсчета сигнала.

7 слайд

Далее рассмотрим алгоритм обнаружения. При реализации алгоритма, по техническому заданию было задано значение вероятности ложной тревоги 10^{-4} , помимо этого обязательным условием было использование готово класса коррелятора.

Важно уточнить, что в рамках данной работы класс коррелятора не реализует коррелятор в привычном его понимании. Данный класс рассчитывает модуль нормированной взаимной корреляционной функции двух сигналов и может работать как с комплексными числами, так и с вещественными.

На данном слайде показана блок-схема первого метода обнаружения. На блок-схеме $x(t)$ это сигнал на входе обнаружителя, $y_{iq}(t)$ это сигнал синхрогруппы, а h это порог.

Для выбора порога была построена программная модель, которая использует данную схему обнаружителя, но на вход подается не смесь сигнала с шумом, а только белый гауссовский шум, далее фиксируется максимальное значение на выходе «коррелятора». Для построения гистограммы этот опыт был проведен миллион раз. Затем было выбрано значение порога удовлетворяющее заданной вероятности ложной тревоги, для данного метода порог равен 0.33.

8 слайд

Второй метод обнаружения предполагает предварительное использование частотного демодулятора. На этой схеме $y_{fm}(t)$ это частотная функция сигнала синхрогруппы, полученная путем FM демодуляции сигнала синхрогруппы.

Для выбора порога была построена аналогичная модель, значение порога равно 0.34.

9 слайд

Аналогично для третьего метода. На схеме $y_{syms}(t)$ это синхрогруппа представленная символами. Значение порога равно 0.46.

10 слайд

Для сравнения методов обнаружения было проведено программное имитационное моделирование с целью получения характеристики обнаружения для каждого из методов. В данной модели на вход обнаружителей подавалась смесь тестового сигнала с белым гауссовским шумом. Для каждого значения отношения сигнал/шум было произведено сто тысяч опытов. В таблице представлены значения отношения сигнал/шум, при которых вероятность правильного обнаружения равна 99%.

11 слайд

Далее рассмотрим алгоритм декодирования, он состоит из следующих этапов:

- Сначала происходит преобразование полученных символов в биты;
- Следующим этапом является декодирование поля «Тип слота»;
- Поскольку это поле защищено кодом Голея, происходит проверка CRC, в случае если проверка не пройдена формируется результат о том, что декодирование не успешно;
- В случае если проверка пройдена, проверяется значение типа слота, если оно равно Idle, дальнейшее декодирование не имеет смысла, так как никакой полезной информации в таком сообщении не содержится;
- В случае если тип сообщений иной, следующим этапом является деперемежение данных;
- Затем происходит декодирование турбо кода;
- Далее к битам CRC применяется маска соответствующая типу сообщения;
- После применения маски происходит декодирование кода Рида-Соломона защищающего системную информацию;
- В случае успешного декодирования, полученные биты преобразуются в системную информацию и записываются в результат;
- Если же декодирование не успешно формируется результат содержащий только тип слота.

12 слайд

На данном слайде представлена UML-диаграмма, показывающая структуру реализованного программного модуля и интерфейсы классов, использующихся в нем. Основным классом предназначенным для использования является класс DmrCore. Каждый из классов, представленных на диаграмме, был реализован лично мной.

13 слайд

Так же была произведена оценка быстродействия алгоритма. Результаты приведены в таблице на слайде. Данные результаты удовлетворяют требованию представленному к быстродействию программного модуля.

14 слайд

Таким образом в результате выполнения выпускной квалификационной работы мной был разработан и реализован программный модуль обработки

сигнала стандарта DMR. Все задачи были решены. Реализованный модуль прошел верификацию и тестирование. На данный момент программный модуль успешно применяется в готовой продукции ООО «СТЦ».

Спасибо за внимание. На этом мой доклад окончен, готов ответить на ваши вопросы.