



Санкт-Петербургский государственный университет

Кафедра системного программирования

Создание IP-ядра полукогерентного обнаружителя частотно модулированных сигналов с непрерывной фазой

Никита Михайлович Фаст, группа 24.М41-мм

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Д.В. Луцив, доцент кафедры системного программирования

Консультант: А.С. Кривоногов, начальник отдела программирования АО «Концерн ГРАНИТ»

Санкт-Петербург

2025

- При передаче данных к полезному сигналу добавляются шумы и помехи
- При использовании слотовой передачи данных, полезный сигнал присутствует в эфире лишь в определенные моменты времени
- Для проверки наличия сигнала в радиоэфире используется обнаружитель
- В рамках работ по разработке канала беспроводной связи, проводимых АО Концерн «ГРАНИТ», требуется создать соответствующий обнаружитель на ПЛИС

Постановка задачи

Целью работы является создание IP-ядра полукогерентного обнаружителя частотно модулированных сигналов с непрерывной фазой. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи.

- ❶ Сформулировать критерии выбора алгоритма обнаружения
- ❷ Осуществить выбор алгоритма обнаружения путем выполнения обзора существующих алгоритмов обнаружения и их сравнения по выбранным критериям
- ❸ Спроектировать архитектуру обнаружителя
- ❹ Реализовать обнаружитель на одном из языков HDL
- ❺ Разработать тестовое окружение под процессор ARM и с его помощью выполнить тестирование разработанного IP-ядра

Существующие решения

- На основе IP-ядер могут быть созданы микросхемы
- Поэтому IP-ядра могут обладать высокой коммерческой ценностью
- Из-за этого число открытых IP-ядер крайне ограничено
- Готовое IP-ядро может работать лишь на конкретной ПЛИС или семействе ПЛИС
- Для платформы AMD Zynq™ 7000 SoC, готового решения найдено не было

- В силу соотношения цена/качество платформой был выбран PlutoSDR+, главными компонентами которого являются:
 - ▶ AMD Zynq™ 7000 SoC
 - ▶ Приемопередатчик AD9363
- Поскольку производителем ПЛИС является Xilinx (AMD), то используются IDE Vivado и Vitis
- Для разработки под ПЛИС выбран VHDL в силу его использования в организации

- На основе репозитория¹ фирмы Analog Devices осуществлена сборка прошивки ПЛИС
- Прошивка предоставляет интерфейс для конфигурирования микросхемы приемопередатчика AD9361
- Прошивка предоставляет основанный на DMA интерфейс получения отсчетов АЦП
- Наличие прошивки позволило реализовать TCL-скрипты для сбора и передачи отсчетов АЦП на инструментальную систему, что упрощает разработку и отладку
- В рамках работы необходимо реализовать обнаружитель и интегрировать его в данную прошивку

¹<https://github.com/analogdevicesinc/hdl>

Корреляционный обнаружитель

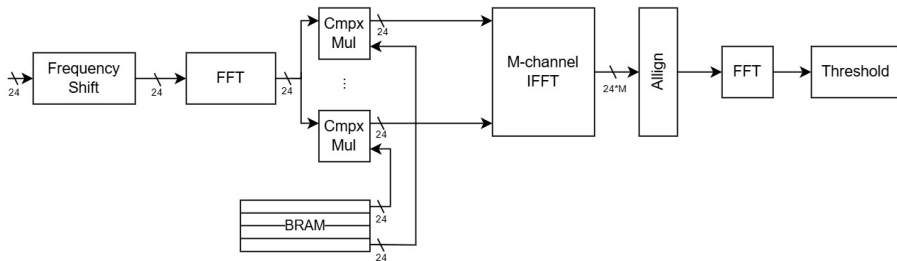
- Использует расчет функции взаимной корреляции между принятым сигналом и опорной преамбулой
- Является оптимальным алгоритмом
- Производит оценку и коррекцию параметров² сигнала
- Характеристики обнаружителя зависят от длины преамбулы
- Выбор длины преамбулы это компромисс между энергетическими свойствами системы и ее ресурсоемкостью
- Для борьбы с описанной проблемой предлагается модифицированный алгоритм

²Главным образом ошибки по частоте

Предлагаемый алгоритм

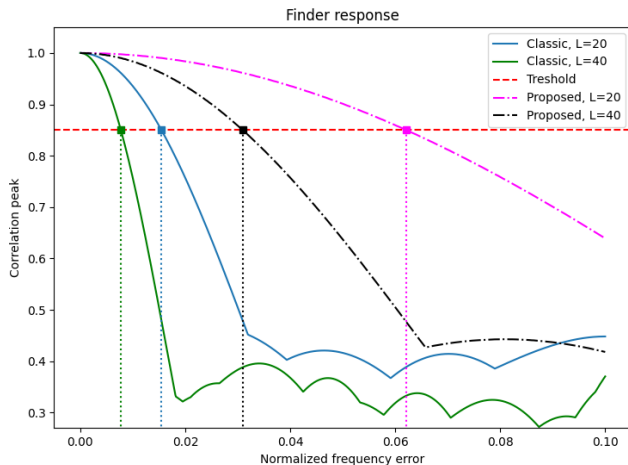
Отличия:

- Преамбула разделяется на сегменты
- Отклики корреляторов складываются
- Остаточная ошибка по частоте вычислительно эффективно устраняется при помощи БПФ



Сравнение алгоритмов

- Предлагаемый алгоритм имеет большую устойчивость к ошибке по частоте, что позволяет выполнять перебор частотных сдвигов с большим шагом, что снизит ресурсоемкость реализации



Результаты

В ходе работы за весенний семестр были достигнуты следующие результаты.

- 1 Реализована математическая модель модифицированного алгоритма обнаружения на языке Python
- 2 Проведено моделирование реализованного обнаружителя при разных параметрах обнаружения и осуществлен сбор предельных характеристик, при которых осуществляется успешное обнаружение
- 3 Выполнена сборка прошивки ПЛИС, которая предоставляет интерфейс управления приемопередатчиком и интерфейс получения данных АЦП
- 4 На базе IP-ядер фирмы Xilinx реализовано IP-ядро переноса по частоте