

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Վարդանյան Գրետա Ալեքսեյի

ՄԻՋԱՆԿՅԱԼ, ՀԱՃԱԽԱԿԱՆԱՅԻՆ ՏԻՐՈՒՅԹՈՒՄ ԱՂԱՊՏԻՎ
ՌԱԴԻՈԸՆԴՈՒՆԻՏԻԶԻ ԱԶԳԱՆՇԱՆՆԵՐԻ ՃԱՆԱՉՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ
ՄՇԱԿՈՒՄ

Ե.12.03 «Հեռահաղորդակցական ցանցեր, սարքավորումներ և
համակարգեր» մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների
թեկնածուի զիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՄԵՂՍԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ 2024

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ АРМЕНИИ

Варданян Грета Алексеевна

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ СИГНАЛОВ

АДАПТИВНОГО РАДИОПРИЕМНИКА В ОБЛАСТИ

ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.12.03 – “Телекоммуникационные сети, устройства и
системы”

ЕРЕВАН 2024

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանում

Գիտական ղեկավար՝ տ.գ.դ. Մարտին Ցոլակի Այվազյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ տ.գ.դ. Հովհաննես Ավագի Գոմցյան
տ.գ.թ. Ահարոն Կամոյի Ահարոնյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և
Էլեկտրոնիկայի Ինստիտուտ

Ատենախոսության պաշտպանությունը տեղի կունենա 2024թ. հունիսի 11-ին, ժամը 14:00-ին, ՀԱՊՀ-ում գործող «Ռադիոտեխնիկայի և էլեկտրոնիկայի» 046 Մասնագիտական խորհրդի նիստում (հասցեն՝ 0009, Երևան, Տերյան փ., 105, 17 մասնաշենք):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀԱՊՀ-ի գրադարանում:
Մեղմագիրն առաքված է 2024թ. մայիսի 10-ին:

046 Մասնագիտական խորհրդի Բադալյան Բենիամին Ֆելիքսի
գիտական քարտուղար, տ.գ.թ.

Тема диссертации утверждена в Национальном политехническом университете Армении

Научный руководитель: д.т.н. Мартин Цолакович Айвазян

Официальные оппоненты: д.т.н. Оганес Авакович Гомцян
к.т.н. Агарон Камоевич Агаронян

Ведущая организация: Институт радиофизики и электроники НАН РА

Защита диссертации состоится 11-го июня 2024г. в 14:00 ч. на заседании Специализированного совета 046 - "Радиотехники и электроники", действующего при Национальном политехническом университете Армении (НПУА) (адрес: 0009, г. Ереван, ул. Теряна, 105, корпус 17).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НПУА.

Автореферат разослан 10-го мая 2024 г.

Ученый секретарь Բադալյան Բենիամին Ֆելիքսի
Специализированного совета 046, к.т.н

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Наряду с быстрым развитием телекоммуникаций повышается роль цифровых радиосистем с когнитивными возможностями в эффективной передаче и приеме сигналов. Для оптимизации использования ресурсов посредством этих систем можно регулировать параметры передачи радиосигнала, такие как частотный диапазон, тип модуляции и выходная мощность. Основная цель изучения технологий когнитивного радио — дать возможность временно использовать свободные диапазоны спектра. Существует множество разработанных систем, которые можно использовать в качестве когнитивных, интеллектуальных и адаптивных радиоприемо-передатчиков. Однако все эти системы громоздкие, сложные в исполнении и не могут работать в среде с мешающими сигналами. Кроме того, они ограничены определенным типом модуляции или сигнала.

Предлагаемая в диссертационной работе система отличается малыми размерами, функциональностью, скоростью передачи и приема данных без потерь. Ее можно устанавливать на беспилотных летательных аппаратах (БПЛА), которые, по сравнению с предлагаемой системой, обычно ограничиваются одним или двумя типами схем модуляции и не контролируют спектр.

Все функциональные блоки размещены на специально подобранной интегральной схеме, обеспечивающей быстрое действие системы, надежность и обработку сигналов в реальном времени. Эта оптимизация считается большим достижением в области применения, поскольку все функции адаптивной радиосистемы выполняются на небольшой платформе. Стоимость производства также снижается в 3...5 раз, а размеры БПЛА, где данная система может применяться, уменьшаются с десятков метров до 1...3 м.

Объект исследования. Проектирование, разработка и оценка адаптивной радиосистемы для распознавания сигналов в диапазоне промежуточных частот (ПЧ) и не только в ПЧ. Система состоит из аппаратных и программных модулей.

Аппаратные модули включают в себя

- передатчик;
- приемник;
- блок контроля и принятия решений;
- блоки исследования спектра.

Программные модули включают следующие алгоритмы:

- исходная кодировка;
- канальное кодирование;
- модуляция;
- контроль спектра;
- спектральный анализ;

- формирование канала;
- автоматическое определение скорости передачи символов;
- автоматическое распознавание типа модуляции;
- демодуляция;
- декодирование канала;
- исходное декодирование.

Программные модули обеспечивают функциональность распознавания и обработки сигналов. Данная система сравнивается с существующими системами с точки зрения ее производительности в распознавании и обработке сигналов.

Методы исследования. В работе были использованы следующие методы исследования:

- Теоретические модели адаптивной системы распознавания радиосигналов.
- Предварительные теоретические расчеты производительности системы.
- Компьютерное моделирование поведения системы.
- Настройка системы, состоящей из концептуально схожих устройств для промежуточных расчетов, и разработка прототипа системы, которую можно было бы использовать для проверки теоретических моделей и моделирования.
- Отдельная разработка соответствующих программно-аппаратных комплексов и их интеграция в систему: разработка аппаратно-программных компонентов конечной системы.
- Адаптивная система распознавания радиосигналов в диапазоне ПЧ (интеграция аппаратных и программных компонентов в систему), которую можно было бы использовать для распознавания сигналов в диапазоне ПЧ.

Цель и задачи диссертации. Целью данной диссертационной работы является исследование и разработка адаптивной радиосистемы распознавания сигналов в диапазоне промежуточных частот (ПЧ).

Для достижения этой цели в работе были поставлены и решены следующие задачи:

1. Разработка телекоммуникационной системы, которая состоит из передатчика и приемника. Система выполняет обработку сигналов в диапазоне ПЧ, которая в цифровой обработке сигналов называется нулевой промежуточной частотой (НПЧ).
 - Программные компоненты кодирования источника, кодирования канала и модуляции сигнала реализованы в передатчике. Программные модули, разработанные для передающей части предлагаемой радиосистемы, обеспечивают формирование, модуляцию и передачу передаваемого сигнала.

Одним из реализованных алгоритмов является кодирование источника.

- Поскольку система является адаптивной, реализованные алгоритмы являются реконфигурируемыми.
 - Для канального кодирования реализованы алгоритмы перемежения и кодирования Рида-Соломона.
 - Модулятор, разработанный в предлагаемой системе, поддерживает следующие типы модуляции: BPSK, QPSK, 8PSK, 16PSK, OQPSK, 8QAM, 16QAM, MSK, 2FSK.
2. Разработка приемника, который принимает и декодирует сигналы, также выполняет мониторинг и анализ спектра.
 3. Оценка производительности предлагаемой системы с точки зрения точности распознавания сигналов, скорости обработки и энергопотребления.

Полученные в диссертации результаты будут способствовать разработке новых и улучшенных систем радиосвязи, которые являются более эффективными и надежными.

Для принимающей части разработаны следующие программные узлы:

Мониторинг спектра. Программный алгоритм, который периодически проверяет спектр входного сигнала для мониторинга сигналов в разных диапазонах, а также свободных частотных диапазонов в спектре.

Формирование каналов "Channelizing". Этот модуль дает возможность выделить или "вырезать" из всего спектра поддиапазон, в котором данный момент требуется обработка сигнала.

Автоматическое определение скорости передачи. Этот модуль приемника необходим для приема сигнала с произвольной скоростью передачи без потерь и синхронно, максимальная детектируемая символьная скорость составляет 40 Мсим/с.

Автоматическое распознавание типа модуляции. Данный процесс происходит благодаря специально разработанному алгоритму, с помощью которого демодулятор сравнивает основные характеристики входного сигнала с характеристиками всех типов модуляции, чтобы найти совпадение.

Демодуляция. С помощью разработанного демодулятора восстанавливается полезный сигнал.

Канальное декодирование. Для повышения помехозащищенности в предлагаемой системе кодирование выполняется в следующем порядке: кодирование Рида-Соломона, перемежение и сверточное кодирование. Затем в точке приема сигнал декодируется в обратном порядке с максимальной помехоустойчивостью и минимальными потерями.

Декодирование источника. Как уже было отмечено, этап генерации сигнала в передающей части осуществляется с использованием алгоритма кодирования источника, что также обеспечивает конфиденциальность сигнала. После того, как определяются метод и алгоритм кодирования, используемые в передатчике, декодер декодирует входной сигнал в обратном порядке и восстанавливает первоначальный вид сигнала.

Разработка узлов управления (Control) и принятия решений (decision making). Важными узлами в аппаратуре являются узлы управления и принятия решений, которые используются как в передающей, так и в приемной частях. Узел управления записывает данные со всех программных модулей и управляет всей системой по специальному алгоритму.

Научная новизна. В процессе выполнения работы были получены следующие научные результаты:

- Разработаны функциональные блоки, необходимые для адаптивного радиоприемника, которые спроектированы и размещены на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС), исходя из требований малой мощности и малых габаритов.
- Предложена система, которая может работать при наличии источников шума и "подслушивающей" аппаратуры.
- Разработана система, которая автоматически распознает тип модуляции принимаемого сигнала. Типы модуляции в предлагаемой системе следующие: BPSK, QPSK, 8PSK, 16PSK, OQPSK, 8QAM, 16QAM, MSK и 2FSK. Дополнительные типы модуляции могут быть добавлены в соответствии с требованиями задач.
- Предложена система, которая автоматически распознает символьную скорость входного сигнала. Максимальная скорость приема составляет 40 Мсим/с.
- Реализованы алгоритмы использования методов синхронизации, благодаря которым система может работать с несколькими передатчиками и приемниками одновременно.

Эти результаты представляют собой значительный прогресс по сравнению с существующими системами с точки зрения их производительности, гибкости и энергопотребления. Система хорошо подходит для различных применений, включая беспроводную связь, радар и спутниковую навигацию.

Основные положения, выносимые на защиту:

- Адаптивный радиопередатчик с программными узлами для качественного кодирования, модуляции и передачи сигналов.

- Адаптивный радиоприемник с программными узлами для приема сигнала без потерь, демодуляции, декодирования и восстановления сигнала.
- Полный радиомодем (приемопередатчик) для обнаружения сигналов.
- Алгоритм синхронизации, который обеспечивает одновременную работу передатчиков и приемников.
- Алгоритмы шифрования, которые ограничивают несанкционированный доступ других пользователей, и защищают передаваемые данные.

Эти положения предназначены для улучшения характеристик и безопасности систем радиосвязи. Адаптивный радиопередатчик и приемник могут работать в различных условиях, в том числе с высоким уровнем шума и помех. Приемопередатчики работают синхронно, что необходимо для надежной связи.

Достоверность научных положений подтверждается наличием разработанных программно-аппаратных модулей, которые прошли тщательную проверку и валидацию и показали надежность. Разработанное оборудование может использоваться в других системах в качестве интегрированного узла или отдельного приемопередающего модема и хорошо подходит для использования в различных приложениях.

Практическая ценность работы. Разработанная система приема и распознавания передаваемых радиосигналов можно использовать в различных приложениях, таких как системы передачи радиосигнала, когнитивные радиосистемы, системы шифрования данных, декодирование и восстановление принятых сигналов, самолеты, быстро меняющие координаты в пространстве.

Система может использоваться как в военных, так и в гражданских целях,

Эта система является значительным шагом вперед, по сравнению с существующими системами, с точки зрения ее производительности, гибкости и стоимости и может оказать значительное влияние на область радиосвязи.

Внедрение. Результаты работы реализованы в системе связи, разрабатываемой в ООО "Олимп Инжиниринг". Это позволило: во-первых, уменьшить физические размеры системы связи (60%), что делает ее более портативной и простой в развертывании по сравнению с существующими системами; во-вторых, повысить надежность передачи и приема данных, что связано с использованием новых технологий и внедрением новых принципов проектирования.

Внедрение результатов работы показало, что система связи теперь является более эффективным и надежным средством коммуникации.

Апробация работы. Основные научные и практические результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

- ежегодных научных конференциях НПУА (Ереван, Армения, 2016 – 2021 гг.).
- научных семинарах факультета "Радиотехника и системы связи" НПУА (Ереван, Армения, 2016 г.).
- выставках "DigiТес Ехро" (Ереван, Армения, 2017, 2018, 2019 гг.).

Публикации. Основные результаты и положения диссертационной работы опубликованы в четырех научных работах, одна из которых опубликована в базе данных Scopus, две работы - без соавторов, две работы - с соавторами. Полный список опубликованных работ приведен в конце автореферата.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, основных выводов, списка литературы из 144 наименований. Основной текст диссертации изложен на 100 страницах, включая 40 рисунков и 6 таблиц. Диссертация написана на армянском языке.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и основные задачи исследования, представлены научная новизна, практическое значение полученных результатов и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлены особенности основных типов существующих радиоприемников.

Предлагаемый в работе приемник имеет два канала на передающей стороне, каждый с независимым управлением. Каждый канал включает в себя все блоки, необходимые для реализации передатчика с прямым преобразованием частоты. Блок-схема передатчика показана на рис. 1.

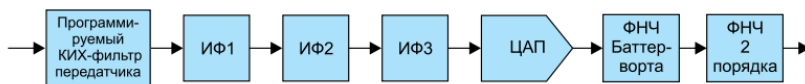


Рис. 1. Распределение фильтрации в передающем канале

Квадратурные цифровые отсчеты 12-битных модулирующих сигналов от внешнего источника проходят через программируемый интерполяционный фильтр (ИФ) с конечной импульсной характеристикой (КИХ) и комбинацию из трех фильтров с фиксированными коэффициентами интерполяции, после чего поступают на вход 12-битного цифроаналогового преобразователя (ЦАП). Каждый из четырех ИФ может быть отключен пользователем. Аналоговые квадратурные сигналы с выхода ЦАП подвергаются

низкочастотной фильтрации для подавления паразитных спектральных составляющих, возникающих из-за дискретности во времени исходных данных. Каскад аналоговой фильтрации нижних частот включает фильтр нижних частот Баттерворта (БФНЧ) третьего порядка с программируемой частотой среза от 625 кГц до 32 МГц и однополюсный фильтр нижних частот, частота среза которого может изменяться от 2,7 до 100 МГц. Отфильтрованные аналоговые сигналы подаются на смесители для преобразования частоты. Оба канала передачи используют общий сигнал гетеродина, генерируемый синтезатором тракта передачи. Принятый высокочастотный сигнал с выхода смесителей поступает на выходные усилители. Каждый канал имеет два выходных усилителя со схожими характеристиками. Кроме того, каналы передачи также содержат схемы автоматической калибровки и измерения выходного уровня. Для изготовления предполагается использование 6-слойных плат со слепыми и глухими переходами (типы разъемов для подключения компонентов на печатной плате). Одновременно с передачей полезного сигнала передаются дополнительные сигналы настройки модема, автоматического управления, приема и передачи, измерения характеристик канала и вычисления на их основе соответствующих значений.

Описаны виды и особенности кодирования, объяснение аналоговой и цифровой модуляций, показаны их различия, преимущества и недостатки.

Во второй главе обсуждаются характеристики, типы, различия, преимущества и недостатки существующих радиоприемников. Представлен приемник предлагаемой системы.

Каждый из двух приемных каналов основан на архитектуре прямого преобразования (рис.2).

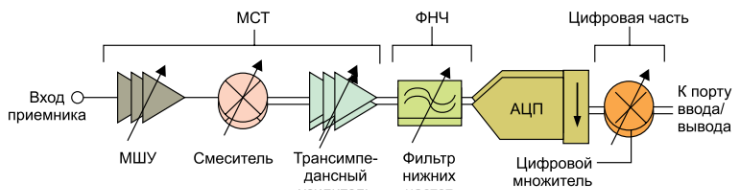


Рис. 2. Структурная схема приемного тракта AD9361

Приемный тракт состоит из входных маломощных усилителей (МШУ), смесителя, согласованных квадратурных усилителей сигналов, аналоговых фильтров, предназначенных для устранения паразитных

сигналов смесителя и предотвращения спектрального наложения, двух 12-разрядных аналого-цифровых преобразователей (АЦП) с переменной частотой дискретизации и набора цифровых фильтров.

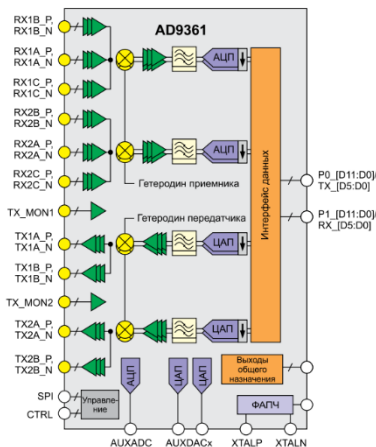


Рис. 3. Блок-схема AD9361

Каждый приемный канал имеет три входных МШУ (рис. 3). Несмотря на то, что все МШУ требуют внешнего согласования импеданса и могут работать в диапазоне от 70 МГц до 6 ГГц, для получения оптимальных результатов их рекомендуют на частотах выше 3 ГГц. Следует отметить, что хотя, в основном, используются несимметричные входы, наилучшие показатели коэффициента шума и искажений четного порядка (IP_2) достигаются при использовании дифференциальных входов. Входы МШУ имеют смещение постоянного тока $\sim 0,6$ В, что требует изоляции переменного тока в зависимости от синфазного напряжения внешней цепи. Максимально допустимый пиковый уровень мощности на входе МШУ составляет +2,5 дБм (несбалансированный вход, источник 50 Ом, идеальное согласование). Любой из трех МШУ может быть подключен к сигнальному тракту, что позволяет использовать радиопередатчик AD9361, например, в многодиапазонных системах с частотным разнесением. Этот компонент также позволяет пользователям работать с внешними МШУ, что значительно расширяет свободу проектирования.

Аналоговый смеситель переводит входной сигнал с рабочей частоты приемника на основную полосу частот. Смесители обоих приемных каналов используют общий сигнал гетеродина,

генерируемый синтезатором приемного тракта. Квадратурные составляющие комплексного выходного сигнала смесителя усиливаются в каскадах трансимпедансного усилителя и предварительно фильтруются перед подачей на вход АЦП. Распределение фильтрации в приемных каналах изображено на рис.4.



Рис. 4. Распределение фильтрации в приемном канале

В аналоговой области сигнал проходит через однополюсный фильтр нижних частот с программируемой частотой среза 3 дБ в диапазоне 1...70 МГц. Затем он проходит через фильтр нижних частот Баттерворта третьего порядка, частота среза которого может регулироваться пользователем в диапазоне от 200 кГц до 39,2 МГц. Далее цифровой сигнал с выхода АЦП проходит через комбинацию трех фильтров с фиксированными коэффициентами прореживания и, наконец, через программируемый прореживающий фильтр с КИХ. Этот процесс снижает скорость вывода данных, уменьшая нагрузку на процессор обработки сигналов (Digital Base Band, DBB). Каналы приема имеют независимые схемы регулировки усиления с автоматическим или ручным управлением (AGC и RRU), единицы измерения уровня принимаемого сигнала (индикатор мощности принимаемого сигнала, RSSI), внутренние схемы компенсации смещения постоянного тока и схемы коррекции квадратурного рассогласования. Коэффициент шума приемника составляет 2 дБ на частоте 1 ГГц и 3 дБ на частоте 2 ГГц.

Описан спектр сигнала, обоснована необходимость контроля спектра сигнала и сигнального анализа. Помимо анализа спектра, радиоприемник разделяет спектр на отдельные подканалы, разбивая весь частотный диапазон на 1024 подканала. Далее обсуждается система автоматического распознавания символьной скорости - еще один важный компонент радиоприемника.

Следующий важный компонент радиоприемника - автоматическое распознавание вида модуляции. В предлагаемой системе реализован метод сравнения для определения типа модуляции принимаемого сигнала. Предлагаемая система использует алгоритм восстановления времени Гарднера.

Представлены аналоговый и цифровой типы демодуляции и особенности алгоритмов, реализованных в системе. После демодуляции сигнала представлены виды и особенности декодирования радиоприемника — декодеры канала и источника.

В третьей главе представлены существующие в настоящее время современные приемопередатчики, их особенности и структура предлагаемой системы (рис. 5,6).

Описываются протоколы, используемые для телекоммуникационных систем, и их способность работать между системой и внешним оборудованием.

Приведены алгоритмы использования методов синхронизации, разработанные в системе.

Обсуждается применение модуля GNSS (глобальная навигационная спутниковая система) в качестве одноразового источника синхронизации.

Описывается предлагаемый блок управления приемопередатчиком. Блок управления предназначен для выработки команд управления режимами работы различных узлов, а также для генерации сигналов, синхронизации между системами.

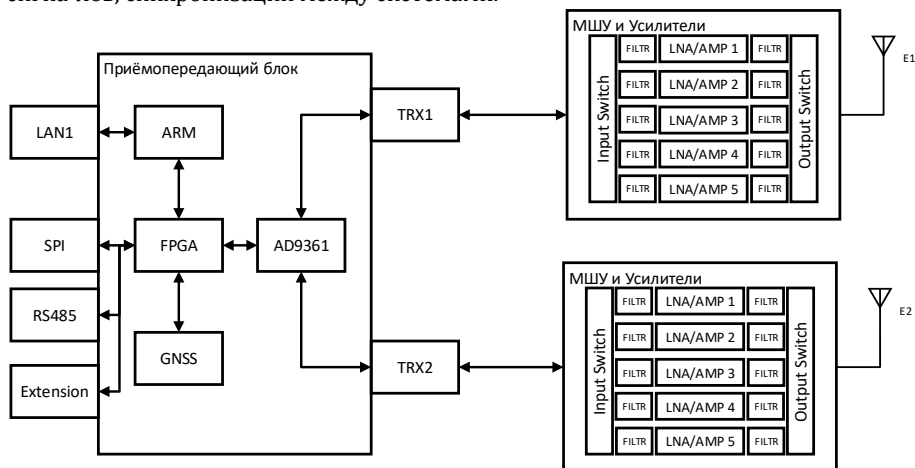


Рис.5. Структура приемопередатчика

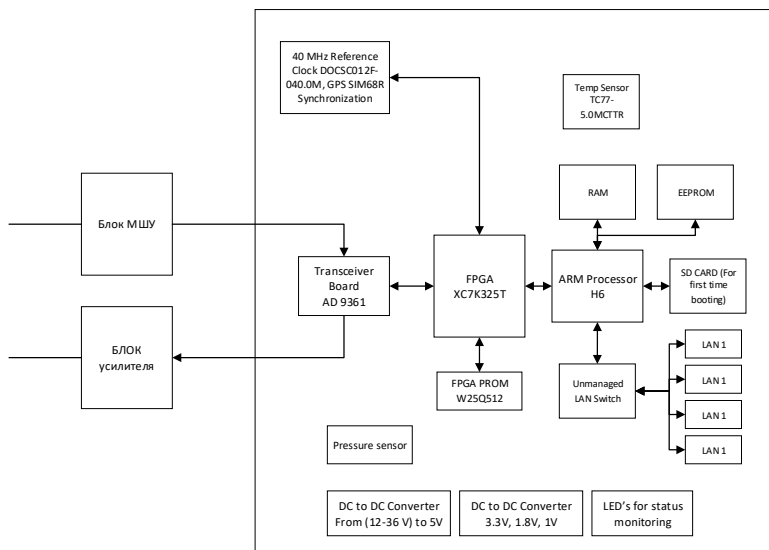


Рис.6. Основная схема приемопередатчика

Дается описание аппаратных компонентов блока приемопередатчика. Блок приемопередатчика состоит из двух различных платформ: печатной платы (PCB) и платформы цифровой обработки сигналов (DSP). Основной платформы обработки сигналов является программируемая логическая интегральная схема: Xilinx XC7K325T-2FBG6761 FPGA. В приемопередатчике используется шестислойная печатная плата, а в схеме цифровой обработки - десятислойная плата для обеспечения хорошей интеграции компонентов и небольшого размера. На рис. 7 показан изготовленный трансивер (вид сбоку и сверху).

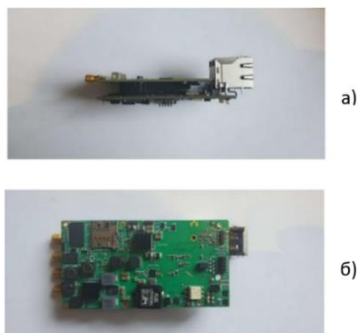


Рис.7. Вид приемопередатчика сбоку (б) и сверху (а)

Для предлагаемого трансивера были использованы стандарт AES-256, а также концепция асимметричного распределения.

Предлагаемая система была разработана для отношения сигнал-шум (SNR) не ниже 6 дБ.

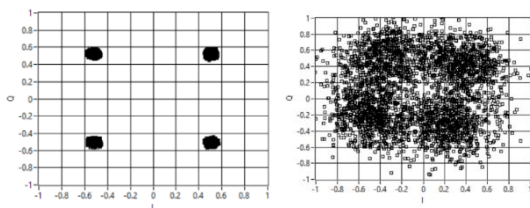


Рис.8. "Созвездие" демодулированного сигнала, когда отношение сигнал/шум составляет 33 дБ (а) и 4,2 дБ (б)

Измерения показали, что при квадратурной фазовой манипуляции (QPSK), созвездие которой показано на рис. 8, при SNR 4,2 дБ.

Результаты полевых измерений приведены в табл. 1 .

Результаты полевых измерений

Таблица 1

Наименование параметра	Ожидаемые результаты измерений	Полученные значения измерений
Диапазон частот	700 МГц - 2.4 ГГц	700 МГц - 2.4 ГГц
Максимальная выходная мощность	30дБм	33 дБм
Коэффициент шума приемника	4.5дБ	3.8 дБ
Максимальный диапазон частот	20 МГц	20 МГц
Максимальная символьная скорость	20Мс/с	20 Мс/с
Максимальный битрейт (скорость передачи данных)	80 Мбит/с	80 Мбит/с
Максимальное расстояние при битрейте 250 кбит/с	50км	100км
Используемые типы модуляции	BPSK, QPSK,8-QAM,16-QAM	
Задержка между передатчиком и приемником	1.6мс	1.44мс
Энергопотребление	700мА	600мА
Напряжение питания	12В	12В

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

1. Разработана адаптивная приемопередающая система, которая может работать как отдельный передатчик или приемник независимо друг от друга и как единая система.

2. Система обрабатывает сигналы в диапазоне промежуточных частот и выполняет следующие функции: кодирование, модуляция, передача, прием, демодуляция, декодирование в реальном времени и восстановление сигнала без потерь.

3. Система автоматически распознает тип модуляции принимаемого сигнала (BPSK, QPSK, 8PSK, 16PSK, OQPSK, 8QAM, 16QAM, MSK, 2FSK).

4. Система автоматически распознает символьную скорость входного сигнала (максимальная допустимая скорость составляет 40 М с/сек).

5. Реализованы алгоритмы использования методов синхронизации, благодаря которым система может работать с несколькими передатчиками и приемниками одновременно.

6. Система может работать при наличии источников шума и "подслушивающей" аппаратуры.

7. Все функциональные блоки, необходимые для адаптивной радиосистемы, выполнены на небольшой платформе и с подбором таких компонентов, что стоимость производства снижается в 3...5 раз, а размер БПЛА, где может применяться данная система, уменьшается с десятков метров до 1...3 м.

8. Проведен сравнительный анализ параметров предлагаемой системы и соответствующих параметров существующих систем на рынке (таблица. 2).

Сравнительный анализ

Таблица 2

Сравнительный параметр	Предлагаемая система	Скай-Хопер (SkyHopper PRO)	Система SOL8SSDR2x1W-P
Стандартный диапазон частот (Standard Frequency range)	700МГц-2400МГц	2.4 ГГц-5.8 ГГц	1.14 ГГц-1.5ГГц 1.67 ГГц - 2.35ГГц 1.98 ГГц -2.7 ГГц 4.4 ГГц - 5 ГГц
Выходная мощность (Output power)	2 Вт	Не представлен	1 Вт

Расстояние (Distance)	До 100 км	6км	Не представлен
Сетевое подключение (Mesh support)	IP MESH	IP MESH	IP MESH
Тип модуляции (Modulation type)	BPSK, QPSK, 8-QAM, 16-QAM	OFDM	COFDM
Максимальная скорость передачи данных (Maximum data rate)	80Мб/с	6Мб/с	Не представлен
Температурный диапазон (temperature range)	-40° C до +85° C	-20° C до +85° C	-10° C до 55° C
Шифрование (Encryption)	AES -256	AES-128, AES-256	AES-128, AES-256
Чувствительность (Sensitivity)	-105 дБм(<i>dBm</i>)-500кб/с	-101 дБм(<i>dBm</i>)	до -110 дБм(<i>dBm</i>)
Источник питания (Power Supply)	7Вт-18 Вт постоянный ток	7.5Вт-24Вт постоянный ток	8Вт-17.5Вт постоянный ток
Когнитивные функции (Cognitive functionality)	Поддерживается	Не представлен	Не представлен

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

- Վարդանյան Գ.Ա., Այվազյան Մ.Յ., Սևոյան Օ.Ճ. Ծրագրային կառավարմամբ ռադիոհամակարգ // ՀԱՊՀ-ի Լրաբեր. Գիտական հոդվածների ժողովածու-երևան, 2017. - Մաս 1.- էջ 406-411:
- Варданян Г.А. Автоматическое обнаружение символьной скорости // Вестник НПУА: Информационные технологии, электроника, радиотехника. – 2021. - № 2.– С. 96–103.
- Վարդանյան Գ.Ա. Կապուղու ձևավորիչ // ՀԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխն. գիտ. սերիա. -2021.- Հ. LXXIV, N 4.- էջ 442-449:
- Vardanyan G. A., Ayvazyan M. Ts. and Sevoyan O. Zh. Design and Implementation of Fully Flexible Cognitive

Radio Modem // Journal of Communications Software and Systems. -2022, September. – V. 18, №. 3. – P. 252 – 258.

ԱՄՓՈՓԱԳԻՐ

Այսօր հեռահաղորդակցության ոլորտը շատ արագ է զարգանում և կոզնիտիվ հնարավորությամբ ռադիոհամակարգերը շատ կարևոր դեր ունեն ազդանշանների հաղորդման և ընդունման համակարգերում ռեսուրսները արդյունավետ օգտագործելու համար: Վերջիններս իրենցից ներկայացնում են ռադիոհաղորդիչ և ռադիոընդունիչ, որը ռադիոազդանշանների հաղորդման պարամետրերը՝ ինչպիսիք են, օրինակ, հաճախականային տիրույթը, մոդուլման տեսակը, ելքային հզորությունը, կարող են առաջադրվել կամ փոփոխվել հատուկ մշակված համակարգերով՝ ալգորիթմերով: Այսպիսով, աճում է պահաջարկը մշակելու տարբեր մոտեցումներ և տեխնոլոգիական լուծումներ, սպեկտրի արդյունավետ օգտագործման համար. կոզնիտիվ ռադիոտեխնոլոգիաների ուսումնասիրության հիմնական նպատակն է սպեկտրի, ժամանակավոր, ազատ տիրույթների օգտագործման հնարավորությունը: Բացի սպեկտրի ազատ տիրույթների օգտագործումը, ոչ պակաս կարևոր է, այլ ավտոմատացված պրոցեսներ ստանալու համար լիարժեք խելացի ընդունիչների մշակումը, ինչպիսիք են մոդուլյացիայի տեսակի ճանաչումը, սիմվոլային արագության հայտնաբերումը, կոդավորման և ապակոդավորման գործընթացները, հաշվի առնելով այս բոլոր գործընթացները տեղի են ունենում միջանկյալ հաճախականային տիրույթում: Կան բազմաթիվ մշակված համակարգեր, որոնք կարող են օգտագործվել որպես կոզնիտիվ՝ խելացի, ադապտիվ ռադիո հաղորդիչ-ընդունիչներ, բայց դրանք ունեն մեծ չափեր, իսկ նմանատիպ համակարգերի համար կարևոր է համարվում նաև ֆիզիկական չափերը և հնարավորությունը՝ աշխատելու միջավայրերում, որտեղ կան խանգարող ազդանշաններ, քանի որ մոդուլյացիայի տեսակի ճանաչման ալգորիթմերը պահանջում են մեծ ռեսուրսներ: Ունեն նաև այլ սահմանափակումներ, կարող են կիրառվել սահմանափակ մոդուլման տեսակներով՝ միայն որոշակի մոդուլված ազդանշանների համար: Ինչպես նաև հաղորդիչ-ընդունիչ սարքավորումները՝ մոդեմները, որոնք ներկայումս կիրառվում են անօդաչու թռչող սարքերում սովորաբար սահմանափակվում են մեկ կամ երկու տեսակի մոդուլման սխեմաներով և չեն վերահսկում սպեկտրը: Այսպիսով, առաջարկվող համակարգը տարբերվում է իր ֆունկցիոնալությամբ, արագագործությամբ, տվյալների անկորուստ հաղորդմամբ և ընդունմամբ, փոքր ֆիզիկական չափերով, որը թույլ է տալիս այն տեղադրել անօդաչու թռչող սարքերում, եթե մինչ այժմ նմանատիպ սարքերը տեղադրվել են 10մ -ից երկար թռչող սարքերում՝ պայմանավորված մեծ չափերով, ապա մեր կողմից առաջարկվող համակարգը հնարավոր է տեղադրել 1-3մ երկարությամբ անօդաչու թռչող սարքում, բացի դա համակարգը լինելել հաղորդիչ-ընդունիչ կարող է աշխատել նաև անջատ ռեժիմում, որպես առանձին հաղորդիչ և առանձին ընդունիչ՝ այլ հաղորդիչներից ասզդանշան ընդունելու և որպես հաղորդիչ՝ ազդանշաններ հաղորդելու համար այլ

ընդունիչներին: Այս ամենը տեղավորված է հատուկ ընտրված ինտեգրալային միկրոսխեմայի վրա, որը ապահովում է համակարգի արագագործությունը, հուսալիությունը, իրական ժամանակում ազդանշանների մշակում: Նման օպտիմալացումը մեծ ձեռքբերում է համարվում կիրառության ոլորտում, քանի որ, ադապտիվ ռադիոհամակարգի բոլոր գործառնությունները կատարվում են փոքր հարթակի վրա և այնպիսի կոմպոնենտների ընտրությամբ, որ արտադրության ինքնարժեքը նվազում է 3-5 անգամ, իսկ անօդայու թռչող սարքի չափերի պահանջը՝ տասնյակ մետրերից նվազում է մինչև 1-3մ: Աշխատանքի նպատակն է ուսումնասիրել ու մշակել ադապտիվ ռադիոհամակարգ՝ միջանկյալ հաճախականային տիրույթում (և ոչ միայն) ազդանշանների ճանաչման համար, որը բաղկացած է ապարատային մասից և ծրագրային հանգույցներից: Ծրագրային մասը բաղկացած է հետևյալ հանգույցներից՝

1. Աղբյուրի կոդավորիչ,
2. Կապուղու կոդավորիչ,
3. Մոդուլարար,
4. Սպեկտրի մոնիթորինգի հանգույց,
5. Սպեկտրի հետազոտություն՝ վերլուծություն,
6. Ենթադիների ձևավորման հանգույց,
7. Միմվոլային արագության ինքստինքյան (ավտոմատ) ճանաչման հանգույց,
8. Մոդուլյացիայի տեսակի ինքստինքյան (ավտոմատ) ճանաչման հանգույց,
9. Ապամոդուլարար,
10. Կապուղու ապակոդավորիչ,
11. Աղբյուրի ապակոդավորիչ:

Ինչպես նաև ստանալ փոքր ֆիզիկական չափեր (7X 10սմ), այն փոքր թռչող սարքերում (1...3մ) տեղադրելու նպատակով և ցածր ինքնարժեք՝ 3...5 անգամ: Քանզի, գոյություն ունեցող համակարգերը ունեն մեծ չափեր, և չեն ապահովում բոլոր նշված գործառնությունները:

GRETA ALEKSEY VARDANYAN

**THE SYSTEM FOR SIGNAL RECOGNITION IN INTERMEDIATE
FREQUENCY RANGE OF ADAPTIVE RADIO RECEIVER**

SUMMARY

The field of telecommunications is developing rapidly, and radio systems with cognitive capability play an important role in signal transmission and reception systems for efficient use of resources. Radio systems are composed of a radio transmitter and a radio receiver, and the parameters of radio signal transmission, such as frequency range, modulation type, and output power, can be set or changed by specially developed systems and algorithms.

The main goal of studying cognitive radio technologies is to enable the use of temporary and free spectrum ranges. In addition to the use of free spectrum bands, it is also important to develop fully intelligent receivers to obtain automated processes, such as modulation type recognition, symbol rate detection, coding, and decoding processes. These processes take place in the intermediate frequency range.

There are many developed systems that can be used as cognitive, intelligent, and adaptive radio transceivers, but they are large. For such systems, physical size and the ability to work in environments with interfering signals are also considered important, since the modulation type recognition algorithms require a lot of resources. They also have other limitations, such as the ability to be used with limited modulation types, only for certain modulated signals.

Like transceiver equipment, modems currently used in UAVs are typically limited to one or two types of modulation schemes and do not control the spectrum.

The proposed system differs in its functionality, speed, lossless transmission and reception of data, small physical size, and the ability to be installed in unmanned aerial vehicles (UAVs). If so far similar devices have been installed in aerial vehicles longer than 10 meters due to their large size, then the system offered by us can be installed in a 1-3 meter long UAV. In addition to being a transceiver, it can also work in separate mode, as a separate transmitter and a separate receiver to receive signals from other transmitters and as a transmitter to transmit signals to other receivers.

All this is placed on a specially selected integrated microcircuit, which ensures the system's speed, reliability, and real-time signal processing. Such optimization is considered a great achievement in the field of application, because all the functions of the adaptive radio system are performed on a small platform and with the selection of such components that

the cost of production is reduced by 3-5 times, and the size requirement of the UAV is reduced from tens of meters to 1-3 meters.

The purpose of the research work is to study and develop an adaptive radio system for the recognition of signals in the intermediate frequency range (and not only), which consists of a hardware part and software modules.

The software part consists of the following modules:

1. Source coder,
2. Channel encoder,
3. Modulator,
4. Spectrum monitoring module,
5. Spectrum analysis module,
6. Sub-channel formation module: channelizer,
7. Symbol rate automatic recognition module,
8. Modulation type automatic recognition module,
9. Demodulator,
10. Channel decoder,
11. Source decoder.

The goal is also to obtain small physical dimensions (7 x 10 cm) for installation in small UAV (1-3 m) and low cost (3-5 times lower than existing systems). Existing systems have large dimensions and do not provide all the mentioned functions.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Bee/B', written over a horizontal line.