

УДК 621.396

DOI: 10.34046/aumsuomt104/23

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОНДЕРА АИС С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ SDR

А.И. Чернова, кандидат технических наук, доцент,

И.В. Старжинская, кандидат технических наук, доцент,

К.П. Попов, курсант

В соответствии с концепцией e-Navigation существующие на сегодняшний день морские системы радиосвязи требуют существенной модернизации. Так, рост интенсивности обмена навигационной информации в автоматической информационной системе (АИС) требует перехода на новые технологии, основанные в первую очередь на интегрированных цифровых электронных средствах навигации и связи для обеспечения безопасности мореплавания, морской охраны и защиты морской среды. В работе предложена имитационная модель GMSK/FM транспондера, используемого в АИС, на базе технологии программно-конфигурируемого радио SDR и многофункционального программного пакета LabVIEW. Это позволяет создать радиооборудование морских телекоммуникационных систем, функциональность которого задается и изменяется программой.

Ключевые слова: программно-определяемое радио, автоматическая идентификационная система, морская радиосвязь, e-Navigation, NMEA, модуляция, USRP, LabVIEW

SIMULATION MODELING OF AIS TRANSPONDER USING SDR TECHNOLOGY

A. Chernova, N. Starzhinskaya, K. Popov

In accordance with the concept of e-Navigation, the current maritime radio communication systems require significant modernization. Thus, the increase in the intensity of the exchange of navigation information in the automatic information system (AIS) requires a transition to new technologies based primarily on integrated digital electronic means of navigation and communication to ensure the safety of navigation, maritime security and protection of the marine environment. The paper proposes a simulation model of a GMSK/FM transponder used in AIS based on the SDR software-defined radio technology and the LabVIEW multifunctional software package. This allows you to create radio equipment for marine telecommunication systems, the functionality of which is set and changed by the program.

Ключевые слова: software-defined radio, automatic identification system, marine radio, e-Navigation, NMEA, Modulation, USRP, LabVIEW

Проводимые сегодня работы по исследованию и внедрению технических решений, направленных на модернизацию современных стандартов радиосвязи в морских телекоммуникационных системах позволят осуществить интеграцию судового оборудования радиосвязи с существующим радионавигационным оборудованием. В то же время международное морское сообщество рассматривает возможные варианты объединения разнородных существующих и перспективных систем радиосвязи, чтобы обеспечивать суда и их владельцев широким обменом информацией. Применение технологии Software-defined radio (программно-определяемой радиосвязи) в этом аспекте позволит осуществить такое объединение с минимальными затратами, что, в свою очередь, будет способствовать повышению качества навигационного обеспечения и безопасности мореплавания в рамках реализации концепции e-Navigation.

Достоинством и принципом функционирования радиосистем с использованием технологии Software-defined radio является автоматическое

определение базовых параметров радиоприёмного и радиопередающего устройств встроенным программным обеспечением, как это показано на рис. 1, а не аппаратной конфигурацией [1, 2]. Это приводит к тому, что SDR обладает свойствами масштабируемости и гибкости, а также позволяет программно реализовать в одном устройстве различные функции, которые в предыдущих вариантах реализации радиооборудования осуществлялись самостоятельными аппаратными средствами. Так, SDR позволяет осуществлять программно настройку частоты и полосы пропускания радиоприёмника, получать и графически отображать синфазные и квадратурные компоненты принятых радиосигналов в реальном масштабе времени в виде созвездий радиосигналов и временных зависимостей, реализовать в виде отдельных виртуальных приборов LabView демодуляцию и декодирование радиосигналов с записью соответствующих файлов [3]. В результате такие аппаратные элементы как фильтры, смесители, усилители, детекторы, модуляторы и демодуляторы, становятся не нужны в приемопередатчи-

ках. Кроме этого, SDR позволяет реализовать удаленный доступ к приемопередатчику по IP-адресу.

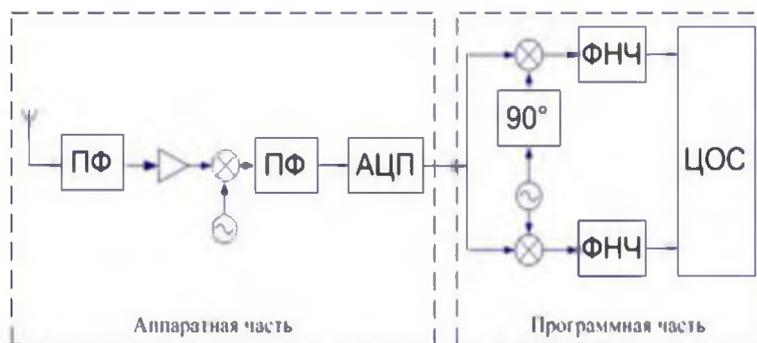


Рисунок 1 – Функциональная блок-схема программно-определяемой радиостанции

Как было отмечено выше, конфигурирование SDR происходит либо с помощью программного обеспечения, либо посредством аппаратных средств [3]. Для этой цели в SDR используются DSP-процессоры или программируемые пользователем вентильные матрицы FPGA. Такие функции как быстрое преобразование Фурье могут быть выполнены с помощью цифровых логических схем и легко реализуются на FPGA. Программно конфигурируется частота, скорость, количество поднесущих, используемая модуляция, полоса пропускания и другие параметры. Параметры, не заданные ранее, либо загружаются с использованием беспроводного канала или посредством подключения внешнего носителя. Также, новые параметры могут быть введены напрямую, что позволяет изменять параметры системы без изменения схемы. Известно несколько архитектур для программной части программно-конфигурируемого радио [4, 5]: FGA (Fine-Grained reconfigurable Arrays) – мелкозернистые перепрограммируемые матрицы; CGA (Coarse-Grained reconfigurable Arrays) – крупнозернистые перепрограммируемые матрицы.

Сигнал от антенны поступает во входную цепь через согласующее устройство. Во входной цепи происходит фильтрация побочных каналов связи. Далее сигнал попадает на МШУ, где усиливается до уровня, превышающего уровень собственных шумов смесителя в несколько раз. Здесь же происходит расщепление сигнала на синфазный и квадратурный, делается это с помощью квадратурного гетеродина [6, 7, 8], который управляется микроконтроллером. Значение частоты квадратурного гетеродина определяет частоту принимаемого канала связи. Далее квадратурный сигнал переносится на нулевую частоту таким образом, чтобы середина частотного спектра модулирующего сигнала приходилась на нулевую

частоту. Далее сигнал попадает на полосовые фильтры, которые осуществляют канальную фильтрацию.

В работе выполнена реализация SDR для прототипирования GMSK/FM транспондера, используемого в морской AIS, на базе технологии SDR в среде LabVIEW. Предложенная модель позволяет реализовать обработку сигнала в соответствии со стандартами AIS и запись полученной битовой последовательности в виде бинарного файла. Прием и обработка сигнала были реализованы в программной среде LabVIEW, а для радиочастотного приема используются аппаратная платформа Universal Software Radio Peripheral (USRP), которая представляет собой настраиваемый приемопередатчик для проектирования, создания прототипов и развертывания систем радиосвязи.

Для реализации цифровой обработки и синтеза сигналов для передачи или приема USRP RIO 2940 используется специальное программное обеспечение на основе хоста. Универсальный аппаратный драйвер (UHD), который обеспечивает бесперебойную двустороннюю связь между USRP и хостом компьютера, позволяет выполнять функции программируемого контроля аппаратного и программного обеспечения USRP. Драйвер реализует объектно-ориентированный интерфейс прикладного программирования (API).

В ходе работы был реализован GMSK приемник на базе SDR технологии с системой автоматической классификации схемы модуляции принятого радиосигнала. Принимающее SDR-устройство подключено к ПК через PCIe-порт и настраивается с помощью программного обеспечения LabVIEW. Как видно из табл. 1, USRP RIO 2940 совмещает два дуплексных канала с полосой

частот в 40 МГц или 120 МГц. Цифровую обработку принятых радиосигналов выполняет ПЛИС Kintex-7K7410T. Входящие в состав USRP RIO 2940 радиочастотный аналоговый входной интерфейс, ПЛИС, блоки аналого-цифрового, цифро-аналогового преобразования осуществляют работу на частоте до 120 МГц. Переключатель, предусмотренный для каждого радиоканала, позволяет переключаться с дуплексного режима работы с временным разделением на дуплексный режим работы с разделением канала по частоте. После оцифровки и обработки данные передаются по Ethernet на ПК для визуализации спектра сигнала и его демодуляции. Обмен данными с ПК осуществляется по шине PCIe x4 на скорости до

800 МБ/сек. Скорость обмена при работе с ноутбуком составляет до 200 МБ/с.

Таблица 1 – Технические характеристики устройств USRP 2940

Модель	USRP-2940R
Частотный диапазон	50 МГц - 2.2 ГГц
Полоса	40 или 120 МГц
ПЛИС	Kintex-7, K7410T
Интерфейс	PCI Express x4
Опорный генератор	TCXO, 2.5 ppm

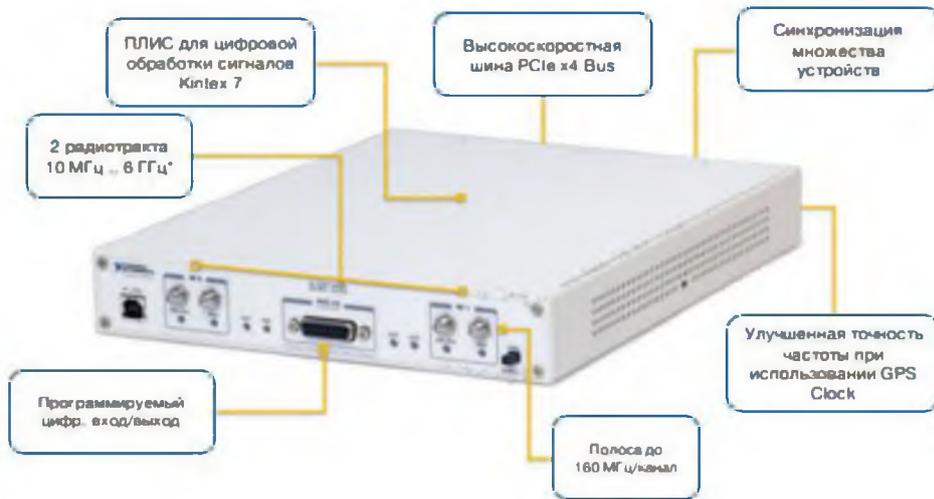


Рисунок 2 – Внешний вид NI USRP 2940

Виртуальный прибор LabVIEW на первом шаге обеспечивает извлечение стационарных характеристик принятого сигнала (спектральную функцию когерентности и профиль циклической области) и использует обученную нейронную сеть для классификации схемы модуляции или скрытую марковскую модель (см. рис. 3). При использовании нейронных сетей сначала используются обучающие последовательности, чтобы

познакомить сети с шаблонами, связанными с различными схемами модуляции. Затем эта обученная сеть используется для классификации полученного сигнала. Эту процедуру, которая исследована во многих работах, можно выразить в виде дерева логических решений, блок-схема которого приведена на рис. 4.

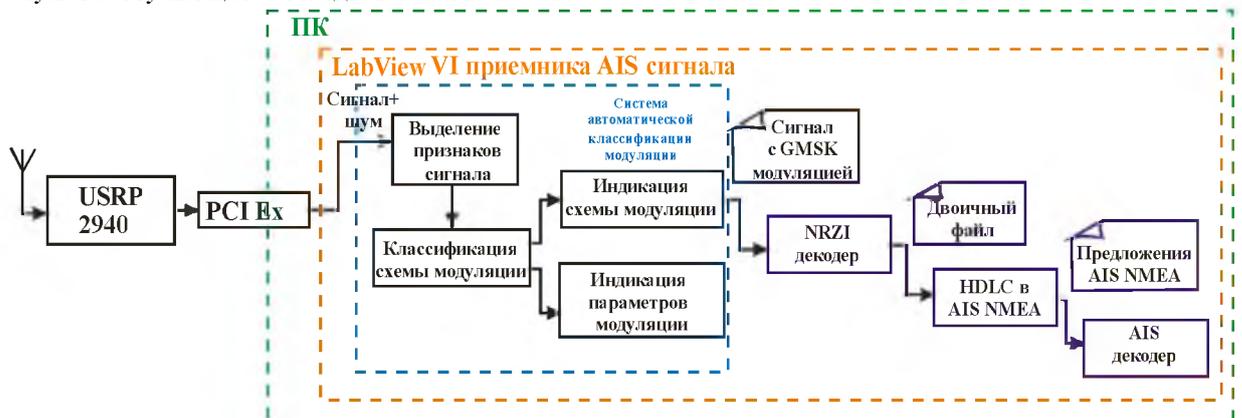


Рисунок 3 – Структурная схема приемника AIS

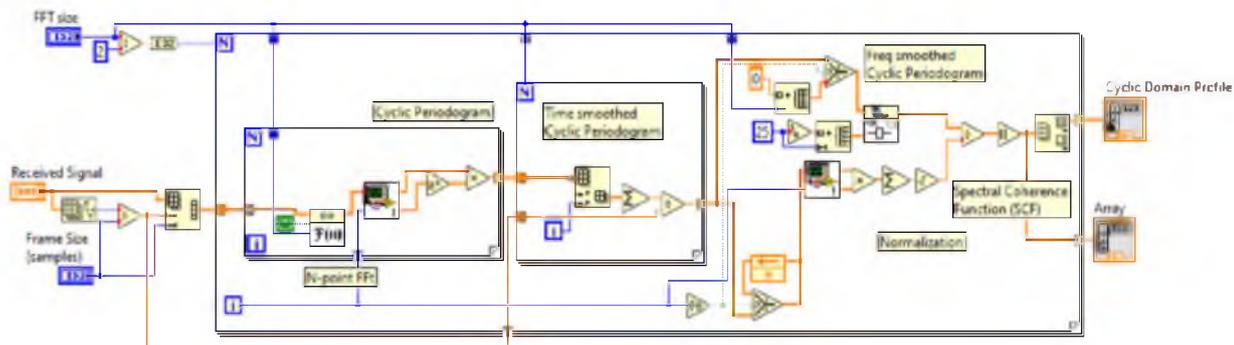


Рисунок 4 – Блок-схема виртуального прибора извлечение циклостационарных характеристик принятого сигнала

Система автоматической классификации модуляции является промежуточным этапом между обнаружением сигнала и его демодуляцией. Циклостационарные признаки радиосигналов основаны на спектральной корреляционной функции, полученной преобразованием Фурье циклической автокорреляционной функции.

Наибольшие значения спектральной корреляционной функции для различных циклических частот берутся профилем циклической области и используются для обучения классификаторов. Для достижения поставленной цели учитываются следующие характеристики: максимальное значение спектральной плотности мощности (PSD) нормированной центрированной мгновенной ам-

плитуды, максимальное значение модуля дискретного преобразования Фурье (ДПФ) в k -й диапазон квантования сигнала и количество точек в предварительно определенных диапазонах амплитуды разделенного сигнального созвездия (см. рис. 5). Сначала циклическая периодограмма принятого сигнала вычисляется с использованием N -точечного быстрого преобразования Фурье (БПФ). Затем эти значения БПФ сглаживаются как во временной, так и в частотной области и нормализуются для создания спектральной корреляционной функции принятого сигнала. Затем профиль циклической области рассчитывается для каждой частоты цикла из спектральной корреляционной функции.

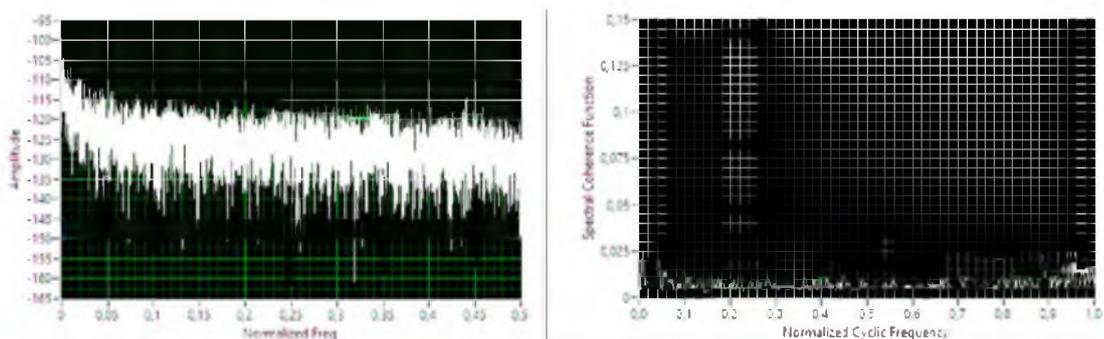


Рисунок 5 – Извлечённые циклостационарные характеристики принятого сигнала: максимальное значение спектральной плотности мощности и профиль циклической области

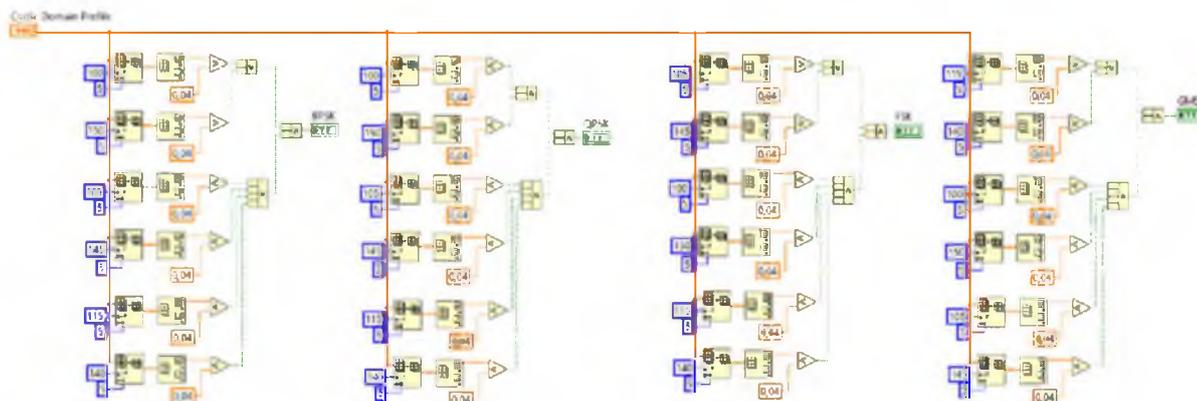


Рисунок 6 – Классификатор схемы модуляции принятого сигнала

На лицевой панели приемника отображается идентификация существования сигнала в определенной полосе частот в заданном месте, а затем определение типа модуляции, используемого в спектре (BPSK, QPSK, FSK и GMSK).

В дальнейшем планируется разработать виртуальные приборы для декодирования NRZI и сохранения результирующего битового потока в двоичном файле. Двоичные данные полностью обрабатываются и преобразуются в сообщения AIS NMEA в соответствии со стандартами HDLC и NMEA. Результирующие сообщения AIS NMEA могут быть открыты и декодированы в программном обеспечении AIS Decoder. Транспондер с использованием SDR технологии будет включать в себя используемый для передачи метод модуляции GMSK, метод множественного доступа с временным разделением станций AIS к одному каналу передачи, метод формирования фрейма сообщения High-levelDataLinkControl, методы кодирования и декодирования сообщений NZRI и NMEA.

Таким образом, проведенный анализ задач программно-определяемого радио показывает, что для развития и внедрения SDR технологии актуальной задачей является разработка и реализация алгоритмов обнаружения радиосигналов в широком диапазоне частот. Предложенный программно-аппаратный комплекс SDR позволяет применять алгоритмы обнаружения в частности GMSK радиосигналов в морских телекоммуникационных системах, а также проводить научно-исследовательские работы в области цифровой обработки радиосигналов. Полученные результаты отражают гибкость и преимущества SDR, демонстрируя, что совершенно разные системы могут быть реализованы на одной платформе простым изменением программного кода.

Литература

1. Галкин В.А. Основы программно-конфигурируемого радио. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2016. – 372 с.
2. Волуйко Д. А. Разработка квадратурного гетеродина для SDR приемника на основе двух синтезаторов AD9850 / Д.А. Волуйко, А.В. Лукьянчиков // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций «РТ2017». – С. 42.
3. Силин А. Технология SoftwareDefinedRadio: теория, принципы и примеры аппаратных платформ // Беспроводные технологии. – 2007. – № 2. – URL: <https://wireless-e.ru/gsm/software-defined-radio/> (дата обращения: 01.06.2022).
4. Блэк Б.А. Введение в системы радиосвязи. Лабораторные работы с NI USRP и LabVIEW Communications. NI 326348A-01, 2014. С. 10-12.

5. Фокин Г.А., Дворников С.В. Принципы и технологии цифровой связи на основе программно-конфигурируемого радио: обзор современных тенденций в области создания комплекса подготовки специалистов // Труды учебных заведений связи. – 2019. – 5(1). – С. 78-94.
6. Щербак Н. Программируемые радиостанции – будущее тактической связи. – М.: Электроника. – 2001. – № 5. – С. 16-19.
7. Боран-Кешишьян А.Л. Использование вероятностной и возможностной мер в виде нечетких вероятностей для оценки надежности программного обеспечения интегрированных систем ходового мостика [Текст] / А.Л. Боран-Кешишьян, С.И. Кондратьев // Журнал университета водных коммуникаций. – 2012. – № 3. – С. 55а-59.
8. Кондратьев С.И. Полипрофильная подготовка специалистов профессий экстремального риска при обучении на тренажерах [Текст] / С.И. Кондратьев, Н.Б. Хмелева // Вестник Пятигорского государственного лингвистического университета. – 2016. – № 2. – С. 217-222.

References

1. Galkin V.A. Osnovy programmno-konfiguriruemogo radio. – M.: Gorjachaja li-nija. – Telekom, 2016. – 372 s.
2. Volujko, D. A. Razrabotka kvadraturnogo geterodina dlja SDR priemnika na osnove dvuh sintezatorov AD9850 / Luk'janchikov A. V., Volujko D. A. // Sovremennye problem radiojelektroniki i telekommunikacij «RT2017». – S. 42.
3. Silin A. Tehnologija Software Defined Radio: teorija, principy i primery apparatnyh platform // Besprovodnyetehnologii. – 2007. – № 2. – URL: <https://wireless-e.ru/gsm/software-defined-radio/> (data obrashhenija: 01.06.2022).
4. Bljek B.A. Vvedenie v sistemy radiosvjazi. Laboratornye raboty s NI USRP i LabVIEW Communications. NI 326348A-01, 2014. S. 10-12.
5. Fokin G.A., Dvornikov S.V. Principy i tehnologii cifrovoj svjazi na osnove programmno-konfiguriruemogo radio: obzor sovremennyh tendencij v oblasti sozdanija kompleksa podgotovki specialistov. Tруды uchebnyh zavedenijsvjazi. 2019.–5(1). – S. 78-94.
6. Shherbak N. Programmiruemye radiostancii – budushhee takticheskoj svjazi.– M.: Jelektronika, 2001. № 5. S. 16–19.
7. Boran-Keshish'yan A.L. Ispolzovanie veroyatnostnoj i vozmozhnostnoj mer v vide nechetkih veroyatnostej dlya ocenki nadezhnosti programmno obespecheniya integrirovyemyh sistem hodovogo mostika [Tekst] / A.L. Boran-Keshish'yan, S.I. Kondrat'ev // ZHurnal universiteta vodnyh kommunikacij. 2012. № 3. S. 55a-59.
8. Kondrat'ev S.I. Poliprofil'naya podgotovka specialistov professij ekstremalnogo riska pri obuchenii na trenazherah [Tekst] / S.I. Kondrat'ev, N.B. Hmeleva // Vestnik Pyatigorskogo gosudarstvennogo lingvisticheskogo univer-siteta. 2016. № 2. S. 217-222.