

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.396:621.391.25
DOI: 10.25206/1813-8225-2018-157-63-68

**И. В. ДУЛЬКЕЙТ
С. А. ЗАВЬЯЛОВ
В. М. СВИРСКИЙ**

Омский государственный
технический университет,
г. Омск

Центральный научно-исследовательский
институт «Курс»,
г. Москва

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ SDR ТЕХНОЛОГИЙ В МОРСКОЙ РАДИОСВЯЗИ

Используемая на морском флоте глобальная система связи при бедствии и для обеспечения безопасности морально устарела и сегодня находится в стадии пересмотра и модернизации, основное направление которой — интеграция связанного оборудования с другим судовым оборудованием в соответствии со стратегией электронной навигации. Для реализации этой стратегии, а также учитывая, что на морском флоте используется связанное оборудование различных диапазонов частот, необходимо использование SDR технологий — программируемое радио. Однако полномасштабное внедрение подобных технологий ограничивается возможностями аппаратной, прежде всего аналоговой, части радиооборудования. Решение этой задачи возможно при использовании специально разрабатываемой электронной компонентной базы. Другим направлением развития радиооборудования является рассмотрение среды распространения сигналов как его составной части — переход к парадигме когнитивного (умного) радио.

Ключевые слова: глобальная морская система связи при бедствии, программно-управляемое радио, программируемое радио, когнитивное радио.

Статья подготовлена в рамках выполнения работ по ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы». Уникальный идентификатор RFMEFI57417X0164.

В настоящее время для обеспечения безопасности мореплавания на морском флоте используются или находятся на стадии внедрения различные судовые и береговые системы связи и навигации.

Увеличение их количества и повышение уровня автоматизации всех процессов судовождения, без должной унификации и интеграции оборудования и применения его по единым правилам, влечет



Рис. 1. Интегрированная консоль фирмы Thorne&Thorne



Рис. 2. Виртуальная панель управления оборудованием ГМССБ фирмы Thorne&Thorne



Рис. 3. Интегрированная мостиковая система

за собой повышение степени риска ошибки судоводителя и не позволяет в полной мере использовать возможности навигационных и связных систем. Именно поэтому на 81-ю сессию Комитета по безопасности на море (англ. Maritime Safety Committee — MSC) Международной морской организации (англ. — International Maritime Organization — IMO) в декабре 2005 г. был представлен для рассмотрения документ «Разработка стратегии электронной навигации» (англ. E-navigation), подготовленный Японией, Маршалловыми островами, Нидерландами, Норвегией, Сингапуром, Великобританией и США. Сама стратегия E-navigation была принята на 85-й сессии Комитета по безопасности мореплавания в декабре 2008 г. [1].

Целью нового направления является разработка новой технологии, основанной, в первую очередь, на интегрированных цифровых электронных средствах навигации и связи для обеспечения безопасности мореплавания, морской охраны и защиты морской среды. Разработка интегрированных средств радиосвязи на основе аппаратного конфигурирования функциональных устройств, управляемых дистанционно, ведутся довольно давно, практически одновременно с внедрением Глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССБ, англ. Global Maritime Distress & Safety System — GMDSS) (рис. 1).

Дальнейшим техническим решением по интеграции оборудования ГМССБ стало использование виртуальных панелей управления оборудованием ГМССБ (рис. 2). Однако при таком построении, когда необходимое оборудование, выполняющее жестко определенные функции, конструктивно размещается в единой консоли, а его интеграция

осуществлялась путем объединения в единую систему по цепям управления, любое изменение конфигурации консоли требовало ее аппаратной доработки [2].

Дальнейшая интеграция мостиковых систем, направленная на обеспечение автоматизированного управления судном, повышения навигационной безопасности плавания, сокращения численности экипажа и объема электронной аппаратуры на ходовом мостике (рис. 3), предполагает управление всеми видами средств корабельной связи (внутренней и внешней) для обеспечения ее эффективного использования.

Для реализации этого устройства связи должны обладать высокой масштабируемостью и гибкостью решений, когда возможно использование одной и той же аппаратной конфигурации для реализации различных разнотипных устройств, обладающих способностью переключаться между каналами, изменять тип модуляции и т.д.

В результате имеющаяся аппаратная платформа может быть легко перепрограммирована для поддержки каких-либо новых стандартов обмена данными.

Создание систем радиосвязи, действительно интегрированных с другим судовым оборудованием, становится возможным с появлением технологии программируемого радио — SDR (Software-defined Radio), которая позволяет программно реализовать в одном устройстве различные функции, ранее выполнявшиеся самостоятельными аппаратными средствами, и осуществлять реконфигурацию оборудования ГМССБ в зависимости от морских районов, внешней обстановки и решаемых задач [3, 4].



Рис. 4. Технология программируемой связной архитектуры — SCA



Рис. 5. Технология распределенного информационного взаимодействия на базе объектно-ориентированного программного обеспечения

Однако в настоящее время в морской радиосвязи еще рано говорить о полномасштабном использовании данной технологии. Речь идет скорее о технологии программно-управляемого радио (англ. Software Controlled Radio — SCR), которая позволяет программно конфигурировать технические средства, которые сами по себе характеризуются ограниченными функциями программного управления. В первую очередь, это возможность программного подключения аналого-цифровых модулей различного назначения и варьирование их параметрами в пределах технических характеристик этих модулей [5].

Основой SCR технологии является широкое применение цифровой обработки сигналов, которую следует отличать от цифровых методов передачи сообщений, когда подлежащие передаче аналоговые сигналы преобразуются в цифровую форму на передающей стороне до модуляции. Цифровая обработка сигналов — это более широкое понятие. Она включает в себя додетекторную обработку (фильтрацию), детектирование и последетекторную обработку сигналов цифровыми методами на приемной стороне, а также формирование модулированных или манипулированных сигналов на передающей стороне цифровыми методами. При этом

передаваемые по каналам связи сообщения могут быть как цифровыми, так и аналоговыми.

Еще одной составляющей технологии — SCR является технология программируемой связной архитектуры — SCA (Software Communications Architecture). Внедрение технологий удаленных аппаратных радиомодулей, связанных между собой и с центром обработки данных высокоскоростными стандартными интерфейсами (рис. 4), влечет за собой расширение его функциональных возможностей и обеспечивает более эффективное использование, так как дает возможность программно конфигурировать аппаратные средства под круг решаемых задач, подключая соответствующие аппаратные модули.

Третьей составляющей технологии SCR является технология распределенного информационного взаимодействия на базе объектно-ориентированного программного обеспечения (рис. 5).

На Подкомитете по мореплаванию, связи и поиску и спасанию (англ. Sub-committee on Navigation, Communication and Search and Rescue — NCSR) на международном уровне напрямую было указано на необходимость создания инструментария для разработки алгоритмического функционирования и взаимодействия информационных систем

обеспечения безопасности судоходства, который на настоящее время отсутствует.

Кроме электрических характеристик, обеспечивающих электромагнитную совместимость связанного оборудования интегрированных систем, важное значение имеет их информационная совместимость, которая достигается использованием стандартных интерфейсов, протоколов взаимодействия и единой операционной среды. Она обеспечивает взаимодействие аппаратных модулей между собой и другим оборудованием, а также реализует «дружественный» интерфейс взаимодействия с оператором. Также SCR технология позволяет заменять отдельные аппаратные реализации устройств их программными реализациями, приближая ее к технологии SDR [2]. При таком подходе возможно выполнение на одном устройстве нескольких функций, ранее выполнявшихся различными аппаратными устройствами.

Принципы организации стыка на различных уровнях определены моделью OSI, называемой также моделью взаимодействия открытых систем (Open Systems Interconnection — OSI), разработанной Международной организацией по стандартам (International Organization for Standardization — ISO). В данном случае определены четыре из семи уровней сетевого взаимодействия, для которых сформулированы стандартные названия и функции (рис. 6) [2].

Физический и каналный уровни стыка определяются спецификацией IEEE 802.3u. В качестве физической среды передачи данных рекомендуется использовать оптоволоконный кабель, т.е. физический уровень определяется как 100Base-FX. На сетевом и транспортном уровнях используется стек протоколов TCP/IP. В том числе на сетевом уровне применяется четвертая версия межсетевых протоколов (IPv4). На уровне IP обеспечивается поддержка протоколов ARP и ICMP. На транспортном уровне используется протокол UDP. На прикладном уровне используется протокол RTP для передачи сигналов в цифровой форме в виде квадратурных составляющих и протокол SNMP для обмена командами управления между оборудованием и пультом управления и сервером. Такое построение аналого-цифровых модулей приемных и передающих модулей позволяет интегрировать их в единую систему не только по каналам управления оборудованием, но и по сигналам на додетекторном уровне.

Если экранные формы панелей управления оборудованием ГМССБ зарубежных фирм, по сути, воспроизводят в виртуальной форме аппаратные лицевые панели радиостановок (рис. 2), то использование новых технологий позволяет создавать более информативные экранные формы (рис. 7) на основе функционально направленного, клиенто-ориентированного пользовательского интерфейса, предоставлявшего оператору ограниченный перечень действий, определенный регламентом радиосвязи и позволяющий вводить только необходимые для формирования различных сообщений значения вручную, или выбирать их из предлагаемого списка [6].

Таким образом, экранные формы представления информации по безопасности мореплавания и создание дружественного интерфейса для пользователя системы управления на мостике реализуют соответствие SCR оборудования основным принципам стратегии E-навигации и являются одним из ключевых факторов ее реализации по идеологии

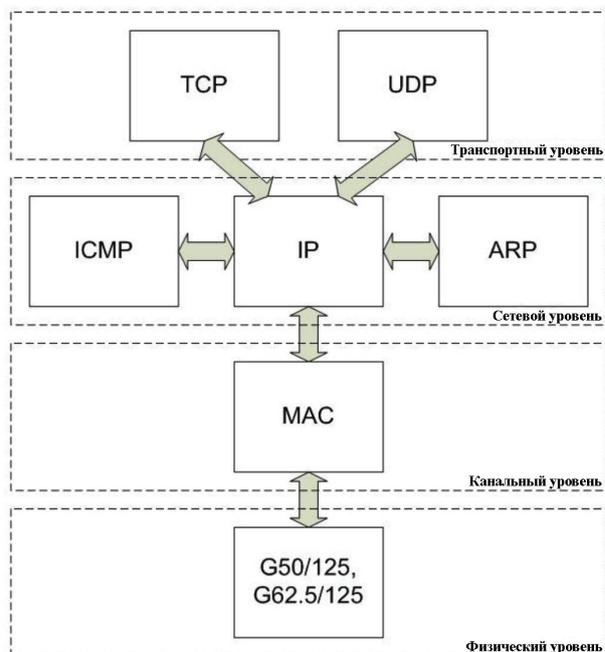
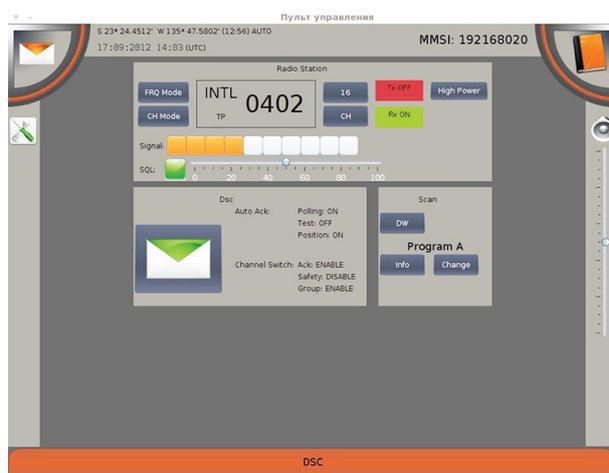
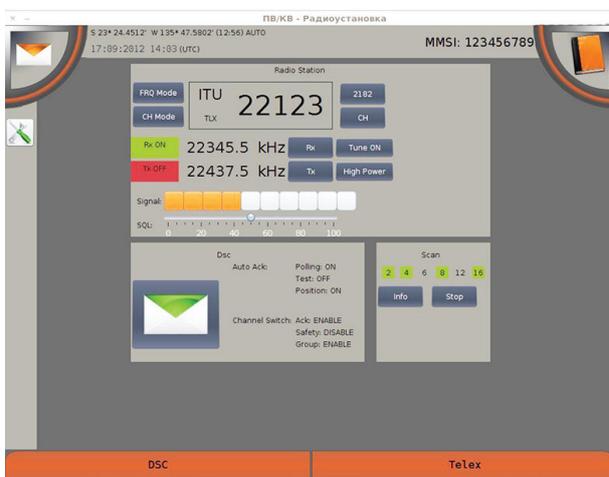


Рис. 6. Уровни сетевого взаимодействия оборудования ГМССБ



а



б

Рис. 7. Главное окно пульта управления УКВ: а) ПВ/КВ; б) радиостановкой

Виртуальная электронная компонентная база (VC-Virtual components)

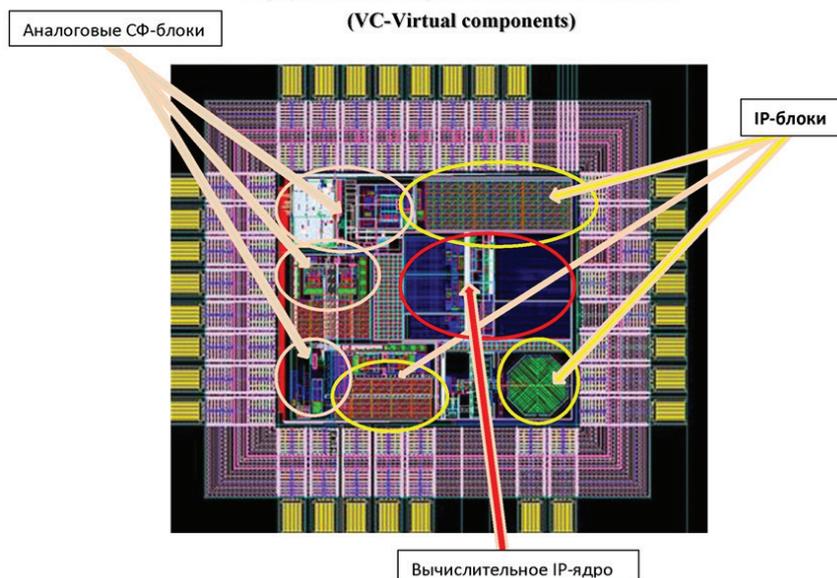


Рис. 8. Принцип проектирования микросистем по технологии SoC с использованием виртуальных компонентов

построения, а информационно система связи легко интегрируется с другим судовым оборудованием.

Основная сложность перехода от технологии SCR к полномасштабному использованию технологии SDR остается на физическом уровне и ограничивается необходимостью использования аналоговых устройств. Прежде всего, это антенно-фидерные устройства, которые согласуют на физическом уровне аналого-цифровое оборудование со средой распространения сигналов и в обозримом будущем останутся аналоговыми, а также ограничения, обусловленные техническими характеристиками аналого-цифрового оборудования.

Адаптация антенно-фидерных устройств к требованиям SDR технологии заключается в переходе от одиночных антенн к антенным системам — фазированным антенным решеткам с цифровым управлением, осуществляющим фазирование сигналов, поступающих на излучатели для формирования необходимых характеристик антенной системы в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Таким образом, сохраняется общая концепция сокращения аналоговой части связного оборудования путем использования достаточно простых излучателей и приемопередающих радиомодулей, переноса основную нагрузку по формированию характеристик антенно-фидерных систем на цифровое диаграммообразующее устройство.

Снятие ограничений перехода к SDR технологии, связанных с характеристиками аналого-цифрового оборудования, идет по пути ухода от использования электронных компонентов общего применения и перехода к специализированным, для решения поставленной задачи, электронным компонентам.

Переход к новым принципам проектирования связной аппаратуры путем разработки сверхбольших интегральных схем (СБИС) по технологии «система на кристалле» с уровнем проектных норм в субмикронном и нанометровом диапазонах и последующим их воспроизводством на отечественных или зарубежных технологических линиях позволяет решать задачи по синтезу электронных компонентов с заданными параметрами, предназначенных

для использования в SDR устройствах. При этом вместо привычной элементной базы используются виртуальные компоненты в виде готовых модулей (сложных функциональных СФ-блоков и IP-блоков, англ. intellectual property), реализующие достаточно сложные как аналоговые, так и цифровые функции преобразования и обработки поступающих сигналов и данных (рис. 8), а натурное макетирование устройств заменяется математическим моделированием [7, 8].

Вводя в состав радиоинтерфейсной части радиосистемы, кроме антенно-фидерных устройств и приёмопередающих радиотрактов, среду распространения радиоволн — физическую среду передачи данных, мы переходим к парадигме системы когнитивного радио (англ. Cognitive Radio System — CRS). Международный союз электросвязи определяет систему когнитивного радио следующим образом [9]: «Радиосистема, использующая технологию, позволяющую этой системе получать знания о своей среде эксплуатации и географической среде, об установившихся правилах и о своем внутреннем состоянии; динамически и автономно корректировать свои эксплуатационные параметры и протоколы, согласно полученным знаниям, для достижения заранее поставленных целей и учиться на основе полученных результатов».

Переход к когнитивному радио основывается на автоматизированных адаптивных системах радиосвязи, использующих технологии автоматического составления канала связи (англ. Automatic Link Establishment — ALE) с автовыбором рабочей частоты. При этом выделяют параметрическую, алгоритмическую и структурную адаптацию системы. Первая достигается изменением параметров работы отдельных элементов системы связи, таких как управление мощностью передатчика, рабочей частотой радиолинии, скоростью передачи дискретных сообщений, диаграммами направленности антенн и пр. Алгоритмическая адаптация предполагает смену алгоритма работы системы в части распределения трафика (заявок на обслуживание) между отдельными радио абонентами и корректировку

программ радиосвязи (например, времени выхода в эфир). Структурная адаптация предполагает целенаправленное изменение самой структуры системы. При этом она возможна только при наличии структурной избыточности [10].

То есть если до сих пор физический уровень рассматривался как «инструмент» информационно-взаимодействия, то в когнитивном радио ему отводится одна из ведущих ролей обеспечения этого взаимодействия.

Для эффективной работы таких систем связи они должны иметь системную избыточность, в том числе и по используемым диапазонам частот. Применительно к морской радиосвязи это означает, что система должна иметь возможность задействовать частотные ресурсы начиная со средневолнового (СВ) до ультракоротковолнового (УКВ) диапазонов частот, а также ресурсы спутниковой связи.

Выводы. В настоящее время на морском флоте используются или находятся на стадии внедрения различные судовые и береговые системы связи и навигации, что требует унификации и интеграции используемого оборудования. Для обеспечения этой возможности была разработана стратегия электронной навигации.

Создание систем радиосвязи, действительно интегрированных с другим судовым оборудованием в рамках указанной стратегии, возможно с использованием технологии программируемого радио — SDR.

Однако в настоящее время еще рано говорить о полномасштабном использовании технологии SDR в морской радиосвязи, речь идет скорее о технологии программно-управляемого радио SCR, составными частями которой являются:

- цифровая обработка сигналов;
- программируемая связная архитектура;
- распределенное информационное взаимодействие на базе объектно-ориентированного программного обеспечения.

Основная сложность перехода от технологии SCR к полномасштабному использованию технологии SDR ограничивается необходимостью использования аналоговых устройств. При этом происходит адаптация антенно-фидерных устройств к требованиям SDR за счет перехода от одиночных антенн к антенным системам — фазированным антенным решеткам с цифровым управлением. Снятие ограничений перехода к SDR технологии, связанных с характеристиками аналого-цифрового оборудования, идет по пути ухода от использования электронных компонентов общего применения и переходу к специализированным, для решения поставленной задачи, электронным компонентам.

Дальнейшее развитие автоматизации систем радиосвязи обусловлено переходом к парадигме системы когнитивного радио — CRS, при которой в состав радиоинтерфейсной части радиосистемы, кроме антенно-фидерных устройств и приёмопередающих радиотрактов, вводится среда распространения радиоволн. Основой таких систем является технология автоматического составления канала связи с автовыбором рабочей частоты — ALE. При этом для эффективной работы такой системы необходима структурная избыточность, включая возможность работы в различных частотных диапазонах.

Библиографический список

1. MSC 85/26/Add.1 Annex 20 Strategy for the development and implementation of E-navigation. URL: <http://docs.imo.org> (дата обращения: 06.11.2017).
2. Дулькейт И. В., Патронов К. С., Прохоров П. В., Свирский В. М. Современные тенденции развития оборудования Глобальной морской системы связи при бедствии (ГМССБ) ПВ/КВ диапазонов // Морской вестник. 2011. № 3 (39). С. 73–77.
3. Интегрированная мостиковая система надводных кораблей и судов. URL: <https://concern-agat.ru/produksiya/isbu/integririvannaya-mostikovaya-sistema-nadvodnykh-korablej-i-sudov-ims.html> (дата обращения: 07.11.2017).
4. Силин А. Технология Software Defined Radio. Теория, принципы и примеры аппаратных платформ // Беспроводные технологии. 2007. № 2. С. 22–27.
5. Дулькейт И. В. Информационно-телекоммуникационные системы в глобализованном мире // Connect WIT. 2017. № 5-6. С. 74–79.
6. Гришенкова Н. П., Дулькейт И. В. Оборудование ГМССБ российского производства // Техника радиосвязи. 2013. № 1 (19). С. 61–67.
7. Kosykh A. V., Zavyalov S. A., Wolf R. A., Murosov K. V., Fakhruddinov R. R. Some aspects of layout design of quadrature mixers // 18th International conference on micro/nanotechnologies and electron devices EDM. 29 June–3 July, 2017. P. 59–63. DOI: 10.1109/EDM.2017.7981708.
8. Фахрудинов Р. Р., Завьялов С. А. Аналоговый генератор квадратур гетеродина для интегральной синфазно-квадратурной петли СВ-КВ диапазона в техпроцессе 180 нм // Россия молодая: передовые технологии — в промышленность. 2017. № 1. С. 290–297.
9. Report ITU-R SM.2152 «Definitions of Software Defined Radio (SDR) and Cognitive Radio System (CRS)». URL: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/oth/0c/06/R0C060000560005PDFE.pdf (дата обращения: 10.11.2017).
10. Дулькейт И. В., Зачатейский Д. Е., Землянов И. С., Максимова А. А., Юрьев А. Н. Адаптивные системы ПВ/КВ радиосвязи как способ повышения безопасности мореплавания // Проблемы развития корабельного вооружения и судового радиоэлектронного оборудования. 2013. Вып. 2. С. 80–87.

ДУЛЬКЕЙТ Игорь Владимирович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института радиоэлектроники и приборостроения кафедры «Радиотехнические устройства и системы диагностики» Омского государственного технического университета (ОмГТУ). Адрес для переписки: dulkeytiv@yandex.ru
ЗАВЬЯЛОВ Сергей Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Радиотехнические устройства и системы диагностики» ОмГТУ. Адрес для переписки: zavyalov62@mail.ru
СВИРСКИЙ Владимир Майевич, начальник отдела ЦНИИ «Курс», г. Москва. Адрес для переписки: mt2008@kurs.ru

Для цитирования

Дулькейт И. В., Завьялов С. А., Свирский В. М. Использование SDR технологий в морской радиосвязи // Омский научный вестник. 2018. № 1 (157). С. 63–68. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-157-63-68.

Статья поступила в редакцию 18.11.2017 г.

© И. В. Дулькейт, С. А. Завьялов, В. М. Свирский