

УДК: 621.37; 621.391; 004.7

DOI: 10.53816/23061456_2022_11-12_75

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ

CONCEPT OF THE UNIVERSAL HARDWARE AND SOFTWARE PLATFORM

А.В. Морозов, Д.Ю. Пономарев

A.V. Morozov, D.Yu. Ponomarev

Военный инновационный технополис «ЭРА»

Сетецентрический подход к организации взаимодействия современных технических систем привел к необходимости разработки устройств, реализующих функции приема, передачи и обработки информации в едином информационном пространстве. В работе предложена концепция универсальной программно-аппаратной платформы, основанная на применении технологий программно-конфигурируемых систем. Использование такой универсальной платформы позволит снизить издержки при производстве и эксплуатации технических систем, повысить гибкость применения путем реализации необходимых функций на программном уровне, а также уменьшить сроки внедрения новых методов и способов обработки и передачи информации.

Ключевые слова: программно-конфигурируемое радио, программно-конфигурируемые сети, программно-аппаратная платформа, программное обеспечение.

The network-centric approach for modern technical systems interaction resulted to development of devices that is implemented functions of receiving, transmission and processing of information in one information space. In this work, we are presents concept of the universal hardware and software platform based on the application of software-defined systems. The using such a platform will reduce costs during production and maintenance, will increase application flexibility by implementing of required functions on software level and also will reduce the time for the practical realize of new methods and techniques.

Keywords: software-defined radio, software-defined network, hardware-software platform, software.

Введение

Существующие тренды развития радиотехнических, инфокоммуникационных и других различных видов устройств демонстрируют унификацию аппаратных средств с использованием программного обеспечения для решения узких целевых задач. Особенно ярко это проявляется в технологиях программно-конфигурируемых систем: программно-конфигурируемых радиосистем SDR (software defined radio) и программно-конфигурируемых комму-

никационных сетевых систем SDN (software defined network) [1–5].

Использование унифицированных аппаратных средств позволяет снизить издержки при производстве и эксплуатации технических систем, повысить гибкость применения путем реализации необходимых функций на программном уровне, уменьшить сроки внедрения новых методов и способов обработки и передачи информации [1–3, 5–7]. Все это позволяет сделать вывод о том, что практическая реализация технологий программно-конфигурируемых систем

значительно повышает уровень обеспеченности пользователей современными средствами обработки информации и связи. При этом изменение программного обеспечения без изменения аппаратной части предоставляет возможность по сокращению сроков практической реализации перспективных технологий [3–7].

Более того, совместное использование технологий SDR и SDN открывает дополнительные преимущества при их реализации в виде одной платформы [8–10]. Связано это в первую очередь с тем, что программные средства позволяют реализовать алгоритмы обработки и передачи информации, которые слишком дорого выполнять в виде аппаратного средства, но при этом указанные алгоритмы достаточно просто могут быть изменены посредством загрузки дополнительных программных модулей [5, 8–10]. Это позволяет, например, организовывать динамические радиоподсети на одной территории [1, 4, 10] или оптимизировать маршруты передачи информации [2–5, 9–11].

С учетом современных реалий, требуется разработка универсальной интегральной SDR/SDN-платформы, позволяющей с использованием отечественной элементной базы реализовать функции устройств обработки и передачи информации для применения в различных сферах деятельности.

Целью данной работы является представление основных положений концепции построения универсальной программно-аппаратной платформы, позволяющей сократить издержки при производстве и эксплуатации радиотехнических и инфокоммуникационных систем, и повысить гибкость использования данных систем в различных сферах профессиональной деятельности.

Основные сведения

При построении универсальной платформы с интеграцией технологий SDR и SDN предполагается распределение функций данных технологий по выделенным условным уровням в соответствии с их целевым использованием. В любом случае подразумевается, что информация передается в цифровой форме.

Для организации физических беспроводных каналов и межсистемного взаимодействия с ис-

пользованием радиоканалов на физическом и канальном уровнях потребуется применение технологии SDR. SDN-функции будут использоваться на сетевом, транспортном и сеансовом уровнях. Причем как для SDR, так и для SDN возможно гибкое изменение протоколов взаимодействия путем загрузки необходимого программного обеспечения.

При организации проводных каналов на физическом и канальном уровнях возможно использование стандартных технологий, например Ethernet, или, с целью снижения уязвимости со стороны информационной безопасности, применение специально разработанной технологии пакетной передачи.

На верхних уровнях (представительский, прикладной) взаимодействия систем в разрабатываемой концепции универсальной платформы предполагается использование специализированного программного обеспечения.

В программном обеспечении платформы, с целью повышения эффективности работы систем по целевому применению, должны быть использованы методы когнитивного радио и реализованы элементы машинного обучения.

Аппаратная часть платформы должна иметь в своем составе основной модуль и платы (модули, блоки) расширения, необходимые для реализации соответствующих функций: организация проводной или беспроводной связи, согласование с выходом на усилитель мощности или с входным сигналом от малошумящего усилителя и т.д.

Естественно, что необходимо предусмотреть разные виды исполнения платформы в зависимости от различных факторов. Эти факторы будут влиять на элементную базу, состав оборудования и другие характеристики и параметры платформы.

Например, в зависимости от подвижности комплекса расположения платформы, можно рассматривать следующие виды исполнения: мобильный, подвижный, стационарный; а в зависимости от сферы применения платформа может быть наземного (сухопутный вариант), морского (подводный или надводный вариант), воздушного или космического базирования. Платформа также может выпускаться в разных по размеру вариантах исполнения: полноразмерный, компактный, малый, сверхмалый. Также следует рассмотреть

классификацию платформ по потребляемой мощности: большой мощности, средней и малой. При этом должны быть решены частные вопросы реализации платформы по электропитанию, охлаждению и месту размещения.

Все элементы платформы предусматривают подключение к системе управления, реализация которой может быть представлена как в программном, так и в аппаратном виде.

Учитывая современную обстановку, при реализации платформы необходимо учесть вопросы обеспечения информационной безопасности на разных уровнях: физический, информационный. При этом возможно выделение аппаратно-защищенных ресурсов платформы (области памяти, элементы процессора и программируемой логической интегральной схемы и др.).

Исходя из такого набора функций универсальной платформы, в качестве возможных вариантов применения могут рассматриваться: системы связи и управления, системы наблюдения, робототехнические комплексы, пилотируемые и беспилотные летательные аппараты, космические системы, различные радиоэлектронные и оптические системы.

Резюмируя, можно отметить следующие преимущества разрабатываемой интегральной программно-аппаратной платформы. Это унификация аппаратных средств, снижение стоимости производства и эксплуатации, повышение эффективности работы систем по целевому применению, уменьшение сроков внедрения новых технологий.

Состав программно-аппаратной платформы

Аппаратная часть платформы состоит из следующих элементов (рис. 1): процессор (с возможностью подключения нейропроцессора), память для хранения программного обеспечения и данных, программируемая логическая инте-



Рис. 1. Обобщенная структурная схема универсальной платформы

гральная схема (ПЛИС) и различные интерфейсы взаимодействия.

Служебный интерфейс используется для целей управления платформой и приема/передачи служебной информации, включая загрузку программного обеспечения, отсутствующего на платформе. В качестве служебного интерфейса могут использоваться технологии вычислительных сетей (Ethernet и подобные), USB, беспроводные технологии.

Для приема/передачи информации используется информационный интерфейс. В качестве технологий информационного интерфейса предполагается использование аналогичных технологий служебного интерфейса, но за исключением USB. Информационный интерфейс должен обеспечить подключение модулей, содержащих физические порты для подключения линий связи, в том числе оптических, или формирующих радиолинии для целей приема/передачи информации, включая формирование сигналов для усилителей мощности.

Интерфейс расширения необходим для обеспечения взаимодействия с внешними целевыми устройствами: датчиками, исполнительными механизмами, аудио- и видеоустройствами, приемниками радиолокационных сигналов и т.д. Технологии интерфейса в таком случае будут определяться требованиями конкретного оборудования, но для унификации количество таких технологий должно быть ограничено.

Модули служебного и информационного интерфейсов можно разместить на одной плате с основным модулем, в отличие от блоков, подключаемых через интерфейс расширения.

Для платформ большой и средней вычислительной мощности можно использовать процессоры MIPS-архитектуры, например, производства АО «МЦСТ», а при разработке платформ малой вычислительной мощности возможно применение процессоров ARM-архитектуры (АО «НПЦ «ЭЛВИС»). Использование отечественной элементной базы в рамках представленной концепции позволяет повысить коэффициент импортозамещения при практической реализации предложенного подхода.

В составе программного обеспечения предлагаемой системы должны присутствовать программные модули различного назначения (рис. 2).

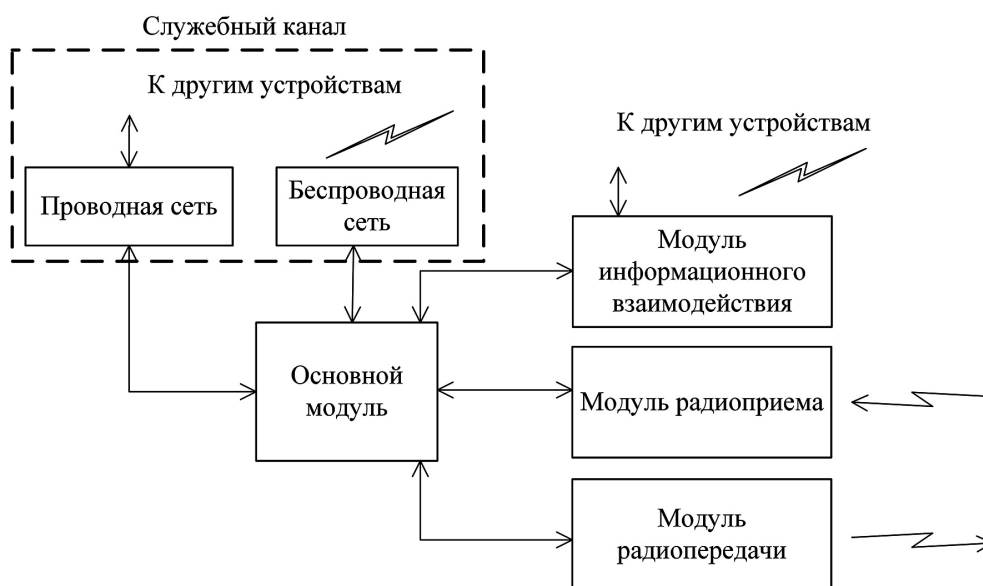


Рис. 2. Обобщенный состав программного обеспечения платформы

Ядром системы со стороны программных средств являются служебные модули, к которым относятся базовые программные модули, модули обеспечения функционирования служебного интерфейса и модули обеспечения информационной безопасности служебного интерфейса.

Базовые модули используются для загрузки операционной системы, драйверов устройств универсальной платформы и т.д. Для организации взаимодействия по служебному каналу необходимо использовать программные модули обеспечения функционирования служебного интерфейса с поддержкой соответствующих агентов и драйверов. С целью обеспечения информационной безопасности служебного канала в составе программного обеспечения платформы должны присутствовать соответствующие модули (рис. 2).

Состав дополнительных модулей определяется блоками расширения. При этом можно условно выделить три группы программных модулей: модули с поддержкой SDN, модули с поддержкой SDR и программные модули без поддержки SDN и SDR.

В состав модулей с поддержкой SDN входят программные средства поддержки сетевых функций приема/передачи информации на различных уровнях: физическом/канальном (без использования радиоканала), сетевом, транспортном и т.д. Обязательно наличие модулей обеспечения информационной безопасности: шифрование, тун-

нелирование и др. Для ввода/вывода информации требуется поддержка приложений определенного типа в зависимости от решаемых задач: наблюдение, целеуказание, расчетные действия, обработка и анализ информации и т.п. В связи с тем, что отдельное устройство будет работать в едином информационном пространстве, необходимо обеспечить поддержку mesh-технологий. В таком случае реализуются возможности по управлению и распределению трафика с целью предотвращения перегрузки сетевых устройств.

Модули с поддержкой SDR реализуют формирование сигналов на физическом и канальном уровнях взаимодействия при использовании радиоканала. При этом отдельно решаются задачи приема и передачи. Естественно, что также присутствуют программные средства обеспечения информационной безопасности радиоканала.

В качестве программных модулей без поддержки SDN и SDR рассматриваются программные средства, обеспечивающие функционирование блоков расширения: модули обработки сигналов информации определенного типа (оптические и радиолокационные системы, системы распознавания, системы обеспечения информационной безопасности, навигационных сигналов и др.), дополнительные модули машинного обучения, модули дополнительной вычислительной мощности и т.д.

Например, при организации маршрутизатора на базе платформы необходимо загрузить

определенное программное обеспечение технологии SDN для соответствующего аппаратного блока расширения, обладающего определенным числом портов заданной пропускной способности. Для блока приема радиосигналов требуется загрузить программный модуль SDR, реализующий возможности аппаратных средств блока расширения в области приема и обработки сигналов соответствующего вида, отличающихся видом модуляции, частотным диапазоном, способом многостанционного доступа и др.

При смене блоков расширения достаточно ввести в состав платформы необходимые программные модули и изменить целевое назначение платформы без внесения излишних изменений дорогостоящей аппаратной части. Более того, выход из строя основного модуля не потребует замены уникального оборудования, а будет связан с установкой серийно выпускаемого универсального аппаратного блока, что позволит сократить затраты на ремонт и эксплуатацию оборудования.

Пример использования универсальной платформы

В качестве примера использования концепции представленной в работе платформы рассмотрим мобильную систему наблюдения и анализа обстановки (рис. 3).

Оптические сигналы от оптической системы поступают в модуль обработки оптических сигналов, где обрабатываются, преобразуются и передаются в основной модуль. При необходимости производится распознавание с помощью дополнительного вычислительного модуля.

Анализ радиобстановки производится путем приема радиосигналов и их обработки в модуле радиоприема. В результате анализа принятых сигналов основной модуль передает информацию на вышестоящий уровень управления посредством модуля информационного взаимодействия, который также может участвовать в передаче информации от других устройств, например беспилотных летательных аппаратов или других систем наблюдения.

При выполнении заданного программного алгоритма, либо при поступлении заданных сигналов управления может быть задействован модуль радиопередачи.

Управление устройством производится по выделенному служебному каналу с помощью технологий проводной или беспроводной сети. Обработка сигналов навигации может быть реализована в основном модуле.

При таком построении устройства могут быть изменены и загружены через служебный канал программные средства SDR для модулей: радиоприема, радиопередачи, информационного

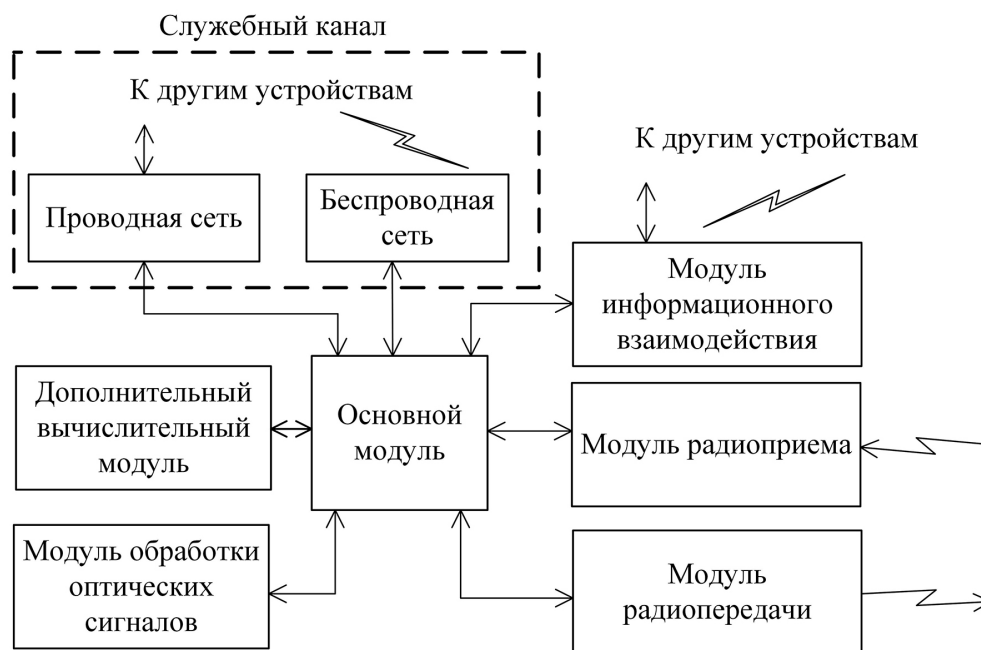


Рис. 3. Пример реализации радиотехнической платформы

взаимодействия. Для модуля информационно-го взаимодействия также могут быть изменены некоторые функции SDN по организации транспортных потоков, маршрутизации и коммутации. Для достижения лучшего качества распознавания в дополнительном вычислительном модуле могут быть использованы различные алгоритмы машинного обучения, выбор которых будет осуществлен основным модулем или устройством верхнего уровня через служебный канал.

Заключение

Современное состояние (политическое, экономическое, техническое) предполагает обеспечение свойства адаптивности при реализации планов технического оснащения [12]. Относительно технических средств свойство адаптивности проявляется также и в уменьшении сроков разработки. Это касается как технических средств, обеспечивающих формирование единого информационного пространства в рамках сетецентрического подхода, так и систем, использующих возможности этого пространства для решения поставленных задач. Такие средства и системы предполагают применение в самом широком спектре областей деятельности: системы наблюдения и наведения, управления и навигации, связи и обработки информации и т.д. В таком случае единая аппаратная платформа с набором дополнительных модулей и возможностями гибкого использования программных средств позволяет снизить временные затраты при разработке современного оборудования.

В работе рассмотрен метод построения, позволяющий унифицировать разрабатываемое оборудование путем использования программных средств при гибко изменяющейся аппаратной части, при неизменном базовом модуле. Для этого предложено использовать технологии программно-конфигурируемых систем. В части телекоммуникационных и инфокоммуникационных модулей это технологии программно-конфигурируемых сетей (SDN), а в части радиооборудования — технологии программно-конфигурируемого радио (SDR). Совместное использование технологий SDN и SDR значительно расширяет возможности оборудования по реализации существующих и перспективных технологий как при

локальном использовании, так и в рамках сетецентрического подхода.

Использование программных средств предоставляет возможности по решению широкого спектра задач на единой аппаратной платформе, что и определяет универсальность предлагаемого подхода. При этом универсальная платформа при практической реализации позволит обеспечить: уменьшение стоимости, снижение сроков производства, унификацию оборудования, снижение потребления энергии, повышение производительности и эффективности применения оборудования. В рамках представленной концепции также предполагается использование отечественной элементной базы, что позволяет повысить коэффициент импортозамещения при практической реализации предложенного подхода.

Литература

1. Mourougayane K., Srikanth S. A Tri-Band Full-Duplex Cognitive Radio Transceiver for Tactical Communications // IEEE Communications Magazine. 2020. Vol. 58. № 2. Pp. 61–65.
2. Phemius K., Seddar J., Bouet M., Khalifé H., Conan V. Bringing SDN to the edge of tactical networks // MILCOM: IEEE Military Communications Conference. 2016. Pp. 1047–1052.
3. Воробьев И.Г., Романов В.М. Развитие форм и способов построения системы связи тактического звена управления // Военная мысль. 2022. № 6. С. 61–70.
4. Rechenberg M., Rettore P.H.L., Roberto Rigolin R., Lopes F., Sevenich P. Software-Defined Networking Applied in Tactical Networks: Problems, Solutions and Open Issues // International Conference on Military Communication and Information Systems (ICMCIS). 2021. Pp. 1–8.
5. Poularakis K., Qin Q., Nahum E., Rio M., Tassiulas L. Flexible SDN Control in Tactical Ad Hoc Networks // Ad Hoc Networks. 2018. Pp. 71–80.
6. Волков А.В., Гвоздев А.Е., Быстров П.П., Немцов А.В. Тенденции использования достижений нанотехнологии в радиолокационных системах // Известия РАН. 2021. № 2 (117). С. 125–135.
7. Морозов А.В., Майбуров Д.Г., Чукляев И.И. Информационное оружие: теория и практика применения // Проблемы безопасности российского общества. 2014. № 2. С. 177–183.

8. Liu W., Song N. Integration of Software Defined Radios and Software Defined Networking Towards Reinforcement Learning Enabled Unmanned Aerial Vehicle Networks // 2019 IEEE International Conference on Industrial Internet. Pp. 44–49.

9. Śliwa J. SDN and NVF in support for making military networks more survivable // International Conference on Military Communications and Information Systems. 2019. Pp. 1–6.

10. Rukaiya, Khan S.A. Self-Forming Multiple Sub-Nets Based Protocol for Tactical Networks Consisting of SDRs // IEEE Access. 2020. Vol. 8. Pp. 88042–88059.

11. Nosheen I., Khan S.A., Khalique F.A. Mathematical Model for Cross Layer Protocol Optimizing Performance of Software-Defined Radios in Tactical Networks // IEEE Access. 2019. Vol. 7. Pp. 20520–20530.

12. Буренок В.М., Бабкин Г.В., Лавринов Г.А. Механизм технического оснащения ВС РФ: новым условиям функционирования — новое свойство // Известия РАРАН. 2021. № 3 (118). С. 3–12.

References

1. Mourougayane K., Srikanth S. A Tri-Band Full-Duplex Cognitive Radio Transceiver for Tactical Communications // IEEE Communications Magazine. 2020. Vol. 58. № 2. Pp. 61–65.

2. Phemius K., Seddar J., Bouet M., Khalifé H., Conan V. Bringing SDN to the edge of tactical networks // MILCOM: IEEE Military Communications Conference. 2016. Pp. 1047–1052.

3. Воробьев И.Г., Романов В.М. Развитие форм и способов построения системы связи тактического звена управления // Военная мысль. 2022. № 6. С. 61–70.

4. Rechenberg M., Rettore P.H.L., Roberto Rigolin R., Lopes F., Sevenich P. Software-Defi-

ned Networking Applied in Tactical Networks: Problems, Solutions and Open Issues // International Conference on Military Communication and Information Systems (ICMCIS). 2021. Pp. 1–8.

5. Poularakis K., Qin Q., Nahum E., Rio M., Tassioulas L. Flexible SDN Control in Tactical Ad Hoc Networks // Ad Hoc Networks. 2018. Pp. 71–80.

6. Volkov A.V., Gvozdev A.E., Bystrov R.P., Nemtsov A.V. Tendencies of application nanotechnological achievements in radar systems // Izvestia of the Russian Academy of Missile and Artillery Sciences. 2021. № 2 (117). Pp. 125–135.

7. Morozov A.V., Mayburov D.G., Chuklyaev I.I. Information weapon: theory and practice // Security problems of the Russian society. 2014. № 2. Pp. 177–183.

8. Liu W., Song N. Integration of Software Defined Radios and Software Defined Networking Towards Reinforcement Learning Enabled Unmanned Aerial Vehicle Networks // 2019 IEEE International Conference on Industrial Internet. Pp. 44–49.

9. Śliwa J. SDN and NVF in support for making military networks more survivable // International Conference on Military Communications and Information Systems. 2019. Pp. 1–6.

10. Rukaiya, Khan S.A. Self-Forming Multiple Sub-Nets Based Protocol for Tactical Networks Consisting of SDRs // IEEE Access. 2020. Vol. 8. Pp. 88042–88059.

11. Nosheen I., Khan S.A., Khalique F.A. Mathematical Model for Cross Layer Protocol Optimizing Performance of Software-Defined Radios in Tactical Networks // IEEE Access. 2019. Vol. 7. Pp. 20520–20530.

12. Burenok V.M., Babkin G.V., Lavrinov G.A. The mechanism of technical equipment of the Armed Forces of the Russian Federation: new operating conditions — a new property // Izvestia of the Russian Academy of Missile and Artillery Sciences. 2021. № 3 (118). Pp. 3–12.