

A COMPARATIVE ANALYSIS OF HARDWARE PLATFORMS FOR DEVELOPMENT AND REALIZATION OF SOFTWARE DEFINED RADIO SYSTEMS

Rosen A. Bogdanov, Zhaneta N. Savova, Dyanko K. Hubenov

*National Military University „V. Levski”, Veliko Tarnovo, Artillery, Air Defense and CIS Faculty,
department “Communication Networks and Systems”,
rab61@abv.bg, zh.savova@mail.bg, d_hubenov@abv.bg*

Abstract: *The paper discusses the possibilities of building SDR systems through some of the widely available hardware platforms. A survey of some of the most commonly used SDR hardware platforms is done. A comparative analysis of the technical characteristics of the SDR platforms considered is made.*

Keywords: *Software Defined Radio (SDR), Cognitive Radio (CR), ADALM-PLUTO, USRP, WARP, BEE3, KUAR, SDRplay, FPGA.*

СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА ХАРДУЕРНИ ПЛАТФОРМИ ЗА РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ НА СОФТУЕРНО ДЕФИНИРАНИ РАДИОСИСТЕМИ

Росен А. Богданов, Жанета Н. Савова, Дянко Н. Хубенов

*Национален военен университет „В. Левски“, гр. Велико Търново,
Факултет „Артилерия, ПВО и КИС“, катедра „Комуникационни мрежи и системи“,
rab61@abv.bg, zh.savova@mail.bg, d_hubenov@abv.bg*

I. УВОД

Последните десетилетия в развитието на комуникациите се характеризират с експоненциално нарастване на начините и средствата, чрез които потребителите комуникират – комуникации за данни, гласови комуникации, видео комуникации, излъчване на съобщения, комуникации за управление и контрол, комуникации при спешни реакции и много други. В тази променена нова реалност се изисква лесно и ефективно модифициране на използваните радиоустройства.

Като технологии за развитие на комуникациите, които предоставят гъвкавост, ефективност на използване на мощността и оптимизиране на разходите за разработка, както и широкообхватни ползи, реализирани от доставчиците на комуникационни услуги и разработчици на продукти, достигащи до крайните потребители, са се наложили софтуерно дефинираното радио SDR (Software Defined Radio), адаптивното радио, когнитивното радио и интелигентното радио.

На пазара се предлагат различни хардуерни платформи и софтуерни продукти за тяхното програмиране, които се използват за разработка на SDR устройства.

В този доклад е представено проучване на някои от най-често използваните и достъпни SDR хардуерни платформи. Направен е сравнителен анализ на техническите характеристики, използваните технологии и вариантите за приложението на разгледаните платформи за SDR.

II. ХАРДУЕРНИ ПЛАТФОРМИ ЗА SDR

1. Universal Software Radio Peripheral

Универсалната периферия за софтуерно радио Universal Software Radio Peripheral (USRP) е гама от софтуерни радиостанции, проектирани и продавани от Ettus Research и нейната компания майка National Instruments [4]. Семейството продукти USRP е сравнително евтина хардуерна платформа за софтуерно радио и често се използва от изследователски лаборатории, университети и любители.

Моделите USRP използват архитектура, включваща основните компоненти, които се изискват за обработка на сигнали в основната честотна лента: генериране и синхронизиране на тактова честота, FPGA (Field-Programmable Gate Arrays), ADC, DAC, интерфейс към хост процесора и регулиране на мощността. Модулния принцип на използване на дъщерни платки се прилага за реализиране на аналоговите операции като ъп/даун конвертиране DDC (Digital Down-Converter) и DUC (Digital Up-Converter), филтриране и други обработки на сигнала. Тази модулност позволява на USRP да обслужва приложения, които работят до 6 GHz. Предлагат се 3 различни серии USRP: мрежови, шинни и вградени. Мрежовите платформи USRP N200 и USRP N210 са високо-ефективни USRP устройства, които осигуряват по-широк динамичен обхват и по-висока честотна лента от шинните. С помощта на Gigabit Ethernet интерфейс устройствата в мрежовата серия могат да прехвърлят до 50 MS/s комплексни проби от основната лента към/от хоста. Серията предлага и порт за MIMO (Multiple-Input and Multiple-Output) разширение, който може да се използва за синхронизиране на две устройства от тази серия. Всички продукти в шинната серия използват интерфейс USB 2.0 или USB 3.0 за прехвърляне на данни към и от хоста. Вградената серия съчетава функционалността на другите USRP устройства с вграден процесор OMAP 3. E310, пуснат на пазара в края 2014 г. и използва платформата Zynq SoC и Analog Devices AD9361 RFIC за реализиране на много компактен, вграден USRP модул. Устройствата от това семейство не трябва да се свързват с външен компютър и са предназначени за приложения, които изискват самостоятелна работа [7, 8].

Хардуерният драйвер на USRP UHD (USRP Hardware Driver) е драйверът на устройството, предоставен от Ettus Research за използване в продуктовото семейство на USRP. Той поддържа Linux, MacOS и Windows платформи. Няколко рамки, включително GNU Radio, LabVIEW, MATLAB и Simulink, използват драйвера UHD.

Функционалността, осигурена от UHD, може да бъде достъпна и директно с UHD API (Application Programming Interface), който осигурява поддръжка за C ++. Всеки друг език, който може да импортира функциите на C ++, също може да използва UHD.

2. Wireless Open-Access Research Platform

Безжичната изследователска платформа за свободен достъп WARP (Wireless Open-Access Research Platform) е мащабируема и разширяема програмируема безжична платформа, изградена до прототип на съвременни безжични мрежи. WARP съчетава високопроизводителен програмируем хардуер с голяма база от отворен код и поддържащи хардуерни модули: FPGA, радио, тактови сигнали, аналогови. Mango Communications WARP v3 е най-новото поколение WARP хардуер, интегриращ FPGA модел Virtex-6 на компанията Xilinx, два програмируеми RF (Radio Frequency) интерфейса и различни периферни устройства.

WARP Lab е рамка за бързо генериране на прототип на физически слой, която позволява координиране на произволни комбинации от единични и мултиантенни предавателни и приемни възли. Разширяемата рамка дава на потребителите гъвкавостта да разработват и внедряват големи мрежи от възли, за да отговорят на всяко приложение или изследователска нужда. Референтният дизайн съчетава внедряването на MATLAB и FPGA в модулите на WARPLab, което позволяват лесно разширяване и персонализиране. Докато референтния дизайн използва MATLAB за управление на възли и обработка на сигнали, той също така позволява на приложенията със строги изисквания за латентност да реализират критичните към време обработки на сигнали в FPGA [5].

3. Berkeley Emulation Engine

Най-новата система емулатор на Баркли Berkeley Emulation Engine version 3 (BEE3) е 2U шаши с възможност за модулно разполагане на FPGA системи, всяка от които използва 4 Xilinx FPGAs

Virtex-5 LX110T, LX155T или SX95T. Тя е проектирана като средство за изследване на компютърната архитектура и по-специално, BEE3 е платформа, която цели ускоряване на изследванията за множество процесори RAMP (Research Accelerator for Multiple Processors). RAMP е разработка на шест университета (Berkeley, Stanford, University of Wyoming, University of Texas, CMU и MIT) и няколко индустриални партньори, сред които: Microsoft Research, Xilinx, Sun Microsystems и IBM. BEE3 е мащабируема платформа от 1 до 64 системи на 2U шаси, която улеснява проучванията в няколко области: компютърна архитектура, системи, операционна система и софтуер, йерархия и съхранение на паметта и различни ускорители на приложения/алгоритми.

Модулната, мащабируема платформа, базирана на FPGA, със софтуерна методология за проектиране, BEE3 може да се използва за разработки на широка гама високоефективни приложения [3], като:

- когнитивни радиосистеми;
- симулация на мащабни, ad-hoc и традиционни мрежи
- обработка на радиосигнали в реално време
- симулация на MIMO системи
- емуляция на компютърна архитектура
- обработка на хиперспектрални изображения
- научни изчисления и др.

4. Kansas University Agile Radio

Гъвкавото радио на университета в Канзас - Kansas University Agile Radio (KUAR) е преносима, мощна и гъвкава платформа за развитие на софтуерно дефинирано радио. Основната цел на KUAR е да създаде възможност за напреднали изследвания в областта на безжичните радио мрежи, динамичния достъп до спектъра и когнитивните радиомрежи. Хардуерът KUAR е популяризиран чрез изследователските проекти в областта на отбраната DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) като програма от следващото поколение XG (neXt Generation). Системата е разработена в Simulink и внедрена в Xilinx VHDL (VHSIC Hardware Description Language). Всички функции API (application programming interface) за управление на KUAR са предоставени в управляваща библиотечка (Control Library) и се изпълняват чрез помощни програми в командния ред. Предлага се и графичен потребителски интерфейс GUI (Graphical User Interface), който позволява тези API функции да се управляват отдалечено или локално [2].

Таблица 1. Сравнителен анализ на основните характеристики на хардуерни SDR платформи

Хардуерни SDR платформи	USRP B210	WARP v3	BEE3	KUAR	ADALM-PLUTO	SDRPlay -RSP2
Основни градивни елементи	Xilinx Spartan 6 XC6SLX150 AD9361	Xilinx Virtex-6 LX240T	4 Xilinx Virtex-5 LX110T	XilinxVirtex11	Xilinx Zynq Z-7010	MSi001 MSi2500
Честотен диапазон	70 MHz – 6 GHz	2.4/5GHz	Зависи от свързаните RF модули	2.4/5GHz	325 MHz – 3.8 GHz (70 MHz – 6 GHz при софтуерна модификация)	10 kHz – 2 GHz
Честотна лента	56 MHz	40MHz	100 MHz	30 MHz	20 MHz	10 MHz
RF канали	2	4	16	16	2	1
Rx ADC	12 bits	12 bits	8 bits	14	12 bits	12 bits
Tx DAC	12 bits	12 bits	12 bits	16	12 bits	-
ОС	Windows Linux Mac	Windows	Windows Linux Mac	Windows Linux	Windows Linux Mac	Windows
Интерфейси	USB 3.0	USB-UART	RS232 USB Gig Ethernet	USB 2.0 Gig Ethernet	USB 2.0, Ethernet & WLAN с USB-OTG адаптер	USB 2.0
Цена	1 220 €	6900 \$ (4900 \$ за обучение)	20 000 \$	4 000 \$	149 \$ (99 \$ - за обучение)	169 \$

5. ADALM-PLUTO

Модулът ADALM-PLUTO (PlutoSDR) е лесен за използване инструмент, предлаган от Analog Devices Inc., който може да се използва за изследване на основите на софтуерно дефинираното радио (SDR), безжичните и радио комуникации. Той предоставя лична преносима RF лаборатория, която може да се използва с управляващ хост. Въз основа на приемо/предавателя AD9363, той предлага един канал за приемане и един предавателен канал, който може да работи в пълен дуплекс, способен да генерира или измерва RF аналогови сигнали от 325 до 3800 MHz, до 61,44 MSPS с 20 MHz честотна лента. PlutoSDR е напълно самостоятелен, портативен джобен модул и се захранва изцяло от USB с фърмуера по подразбиране. Може да работи с помощта на OS X™, Windows™ и Linux™ операционни системи. Освен управление от командната линия, той позволява разработки чрез софтуерни пакети като MATLAB или Simulink, които осигуряват иновативен интуитивен графичен потребителски интерфейс GUI за минимизиране времето на обучение и изследване [1].

6. SDRplay

SDR-RSP2 е мощен широколентов пълнофункционален SDR, който обхваща радиочестотния спектър от 10 kHz до 2 GHz. За осигуряване на пълната функционалност на комуникационен приемник се нуждае от управляващ компютър и антена. Посредством достъпния софтуер „SDRuno“, предоставен от SDRplay, може да се наблюдава до 10 MHz от спектъра в даден момент. Достъпният отворен API код позволява на разработчиците да създават нови демодулатори или приложения около SDR платформата [5].

III. СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ

Софтуерно дефинираните радио системи са обект на изключително внимание от всички корпоративни и университетски изследователски центрове и лаборатории. Разработени са и се използват за изследователски цели голям брой платформи, позволяващи развитието на принципите на софтуерното радио. Крайните продукти, под формата на вградени или самостоятелни изделия, са в широк ценови диапазон, което прави някои от тях трудно достъпни за целите на обучението. В таблица 1. е представено сравнение на описаните SDR хардуерни платформи по характеристики като:

- основни градивни елементи;
- честотен обхват;
- честотна лента;
- брой RF канали;
- точност на Rx ADC и Tx DAC;
- поддържани операционни системи ОС;
- интерфейси;
- цена.

Техническите характеристики позволяват ефективно изследване на разработки в широк честотен диапазон, като основно се използват честоти от 2.4 до 5 GHz. Осигуряваната честотна лента е от порядъка на няколко десетки MHz, което е достатъчно за повечето съвременни приложения. По скъпите платформи като KUAR позволяват работа със сигнали с честотна лента от 100 MHz. Поддържат се няколко радиочестотни канала, като точността на конвертирането на сигналите в двете посоки се осигурява основно от 12-битови преобразуватели. Повечето от изследваните хардуерни платформи за SDR работят под управлението на операционните системи Windows и Linux, като съответно има разработени и предложени богати библиотеки от приложения. По-скъпите платформи работят и под управление на операционната система Mac за Apple компютри. Обща особеност на всички платформи за SDR е използването на технологията FPGA за изграждане на вътрешната структура на хардуерната част. Това ги прави едновременно достатъчно гъвкави за разработка на нови приложения и същевременно се осигурява необходимото бързодействие.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От анализа на представените характеристики на разгледаните хардуерни платформи може да се направи извод, че хардуерната платформа ADALM-PLUTO на Analog Devices Inc., която по цена е сравнима с SDR приемник, предлага възможности за реализация на пълно функционална радиокомуникационна SDR система, състояща се от приемник и предавател с честотна лента от 20 MHz в широко използвания честотен диапазон от 325 MHz до 3.8 GHz. Платформата ADALM-PLUTO позволява разработване, тестване и изследване на приложения чрез софтуерни пакети като MATLAB и Simulink, като осигурява интуитивен графичен потребителски интерфейс API. Като такава, платформата ADALM-PLUTO е подходяща както за нови разработки, така и за обучение.

References:

1. Analog Devices, ADALM-PLUTO: SDR Active Learning Module, 2017, Available at <http://www.analog.com/media/en/news-marketing-collateral/product-highlight/ADALM-PLUTO-Product-Highlight.pdf>.
2. Analog Devices, RF Agile Transceiver AD9363, 2016, Available at <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad9363.pdf>.
3. BEEcube, FPGA Based Rapid Prototyping Platforms for Telecommunications, 2016, Available at http://www.beecube.com/uploads/6/3/4/9/63495763/beecube_brochure_web.pdf.
4. National Instruments. Ettus Research, an NI Brand, 2018, Available at <https://www.ettus.com/>.
5. SDRplay, 2018, Available at <https://www.sdrplay.com/>.
6. WARP: Wireless Open Access Research Platform, 2018, Available at <https://warpproject.org/trac>.
7. Xilinx, Zynq-7000 SoC Data Sheet: Overview, 2018. Available at https://www.xilinx.com/support/documentation/data_sheets/ds190-Zynq-7000-Overview.pdf.
8. Xilinx, Zynq-7000 SoC Technical Reference Manual, 2018. Available at https://www.xilinx.com/support/documentation/user_guides/ug585-Zynq-7000-TRM.pdf.

БЛАГОДАРНОСТИ

Тази статия е резултат от работата по проект "Изследване на софтуерни радиокомуникации", финансиран от Национален военен университет – Велико Търново, Факултет "Артилерия, ПВО и КИС".