

# О ВОЗМОЖНОСТЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ USB-ПРИЕМНИКОВ НА БАЗЕ ДЕМОДУЛЯТОРА RTL2832U В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

к. т. н., доц. Сергиенко А. Б.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

## Введение

При реализации учебных курсов, связанных с обработкой сигналов или физическим уровнем систем связи, большое значение имеют проведение лабораторных работ и организация курсового проектирования. Часто для их реализации используется компьютерное моделирование, как на базе многофункциональных программных пакетов, таких как MATLAB и LabView, так и с применением самостоятельно разрабатываемого вузами программного обеспечения. Однако для выработки необходимой специалисту интуиции и приобретения реального опыта требуется, чтобы студенты решали задачи, связанные с обработкой реальных сигналов в реальных условиях. Многие задачи обработки аудиосигналов могут решаться с использованием звуковых плат персональных компьютеров, однако при подготовке специалистов в области радиотехники и телекоммуникаций не менее важно познакомить студентов с сигналами, применяемыми на практике в соответствующих радиосистемах, и с теми искажениями, которые эти сигналы приобретают в реальности.

Помимо лабораторных работ и курсовых проектов, важным аспектом является использование «живых» сигналов для проведения демонстрационных опытов во время лекций.

Удобной платформой для реализации как демонстраций, так и лабораторных работ, являются программно-определяемые радиосистемы (Software-Defined Radio, SDR), в которых аппаратная часть минимизирована, а алгоритмы обработки сигнала реализуются программно, что позволяет легко модернизировать их, графически демонстрировать процессы, происходящие в различных точках системы, и т. п.

Серийно выпускаемое оборудование SDR (например, производимое фирмой National Instruments) может использоваться в указанных целях, однако следует отметить следующие негативные аспекты:

- цена оборудования высока, что приводит к невозможности его закупок для *массового* использования в лабораторных работах;
- возможности передающей части SDR-платформ удастся задействовать лишь в малой степени — из-за законодательных ограничений на использование радиопередатчиков без лицензирования;
- форм-фактор SDR-устройств может быть неудобен для лекционных демонстраций.

Поэтому, не умаляя достоинств специализированного SDR-оборудования, следует отметить, что целый ряд интересных и полезных задач учебного характера может быть решен с помощью дешевых устройств потребительского назначения. Одному из таких устройств и посвящен данный доклад.

## 1. USB-приемники на базе RTL2832U

Устройства на базе демодулятора Realtek RTL2832U появились на рынке в 2010 г. Данная микросхема предназначена прежде всего для использования в качестве демодулятора сигналов цифрового телевизионного вещания стандарта DVB-T, однако она также имеет режим SDR-приемника (за счет этого входящее в комплект устройств штатное программное обеспечение позволяет демодулировать сигналы аналогового УКВ радиовещания, а также цифрового радиовещания стандарта DAB). Официальная документация на микросхему отсутствует в открытом доступе, поэтому ее SDR-возможности некоторое время оставались незамеченными. Однако примерно в 2012 г. эта информация широко распространилась через Интернет, и USB-приемники на базе данного демодулятора стали массово использоваться радиолюбителями в качестве простой и дешевой SDR-платформы [1], чаще всего называемой «RTL-SDR».

Розничная цена устройств RTL-SDR в настоящее время начинается примерно от \$7 и зависит, в частности, от используемой микросхемы радиочастотного тюнера. Основные характеристики приемника:

- разрядность АЦП — 8 бит;
- максимальная частота дискретизации — 3,2 МГц;
- диапазон частот определяется используемой в конкретном устройстве микросхемой тюнера:
  - наиболее широкий диапазон частот имеют устройства с тюнером Elonics E4000 [2]: от 52 до 2200 МГц, за исключением участка примерно от 1100 до 1250 МГц;
  - наиболее распространенный в настоящее время тюнер Rafael Micro R820T [3] обеспечивает диапазон частот от 24 до 1766 МГц.

Поскольку устройства относятся к категории потребительской электроники, такие их параметры как чувствительность, динамический диапазон, стабильность частоты, фазовый шум и т. п., по сравнению с профессиональным оборудованием оставляют желать лучшего — главными достоинствами являются предельно низкая цена, малые габариты и достаточно широкий диапазон частот.

Внешнее оформление приемников может быть различным, примеры показаны на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид приемников RTL-SDR

К настоящему времени в мире сформировалось обширное сообщество энтузиастов, разрабатывающих программное обеспечение и аппаратные дополнения (такие как конвертеры для расширения диапазона частот и маломощные усилители) для этих устройств [4]. Информацию по данной теме можно найти, в частности, на сайтах [www.rtlsdr.com](http://www.rtlsdr.com), [www.rtl-sdr.com](http://www.rtl-sdr.com), [rtlsdr.org](http://rtlsdr.org).

В университете Беркли приемники на базе RTL-SDR используются в курсе цифровой обработки сигналов (преподаватель — Michael Lustig) при выполнении лабораторных работ и курсового проекта [5].

## 2. Программное обеспечение

Приемник подключается к компьютеру через USB-порт, для его использования в качестве SDR-устройства имеются драйверы для основных операционных систем: Windows, Linux, Mac OS, Android.

Устройство поддерживается популярными SDR-программами, такими как SDR#, HPSDR, GnuRadio.

В начале 2014 г. компания MathWorks добавила поддержку устройства в MATLAB и Simulink [6]. На рис. 2 показана Simulink-модель радиовещательного УКВ ЧМ-приемника с открытым окном настройки параметров RTL-SDR.

Интерфейсный модуль для использования устройства как виртуального инструмента в пакете LabView разработал в 2013 г. венгерский радиолюбитель András Retzler [7].

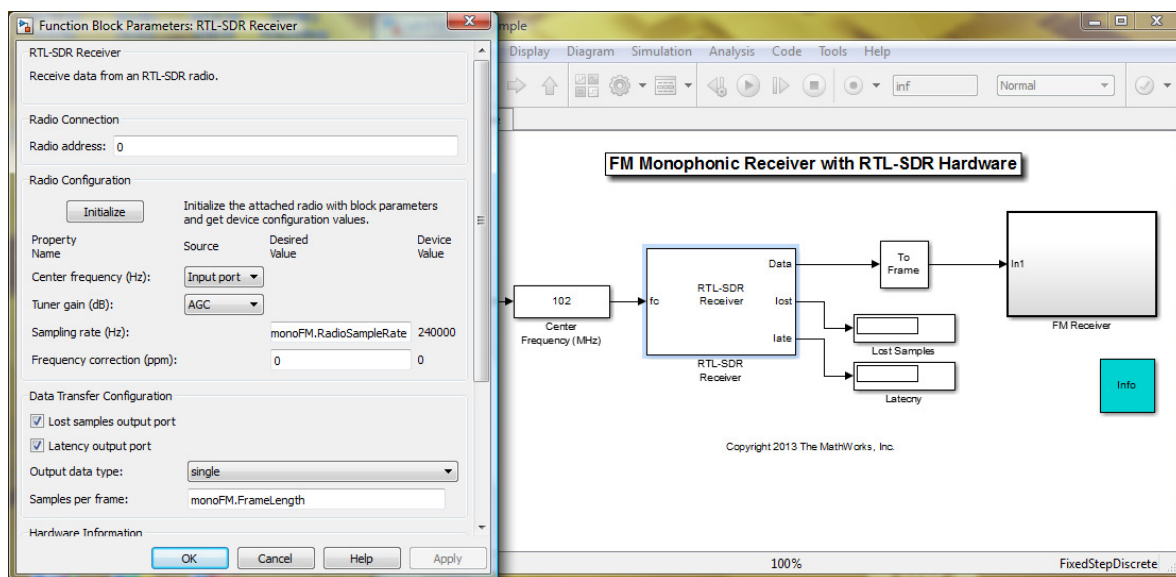


Рис. 2. Simulink-модель, использующая приемник RTL2832U

## 3. Возможные сигналы для обработки

Поскольку рассматриваемое устройство представляет собой только приемник, для лекционных демонстраций, лабораторных работ и проектов необходимо использовать сигналы, постоянно или почти постоянно присутствующие в эфире, либо сигналы, излучение которых каким-либо оборудованием можно легко вызвать принудительно в нужный момент.

На рис. 3–10 приводятся примеры графиков, полученных при обработке таких сигналов.

К сигналам, постоянно присутствующим в эфире, прежде всего относятся сигналы радио- и телевизионного вещания. На рис. 3 показаны спектр и спектрограмма участка радиовещательного УКВ диапазона 88...108 МГц. На рисунке видны спектры нескольких радиостанций. В качестве учебного задания может выполняться фильтрация сигнала, его демодуляция и вывод полученного аудиосигнала на звуковую плату компьютера. Более сложным заданием может служить декодирование стереосигнала или прием внедренной в сигнал цифровой информации (RDS).

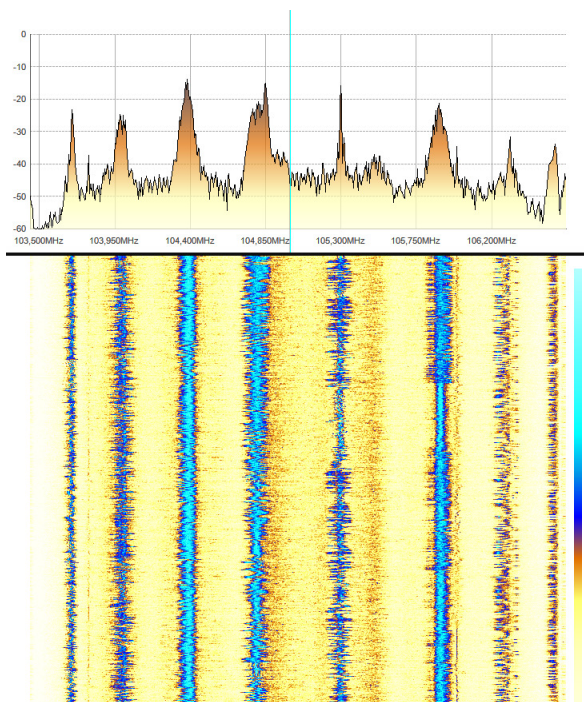


Рис. 3. Спектр и спектрограмма сигналов радиовещательных станций УКВ диапазона

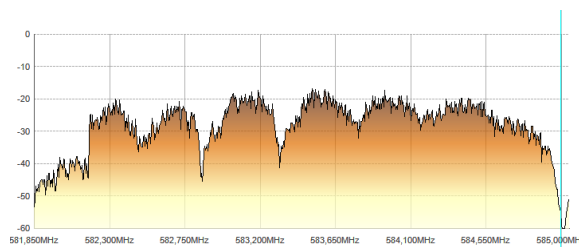


Рис. 4. Спектр сигнала DVB-T2

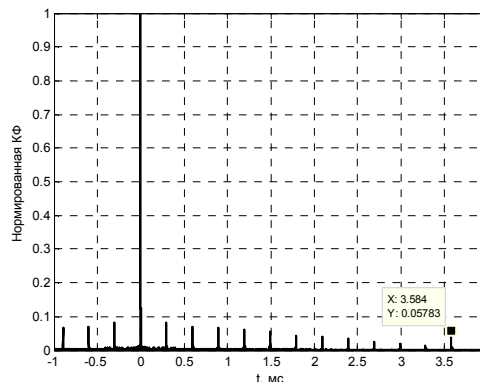


Рис. 5. КФ сигнала DVB-T2

На рис. 4 показан фрагмент спектра сигнала цифрового телевидения (стандарт DVB-T2, частота 586 МГц). Хорошо видны частотно-селективные искажения сигнала, а также практически вертикальный край нижней границы спектра OFDM-сигнала. На рис. 5 показан модуль корреляционной функции (КФ) этого сигнала. Хорошо виден боковой пик, обусловленный наличием циклического префикса в OFDM-сигнале. Временное положение пика показывает длительность OFDM-символа (3,584 мс). Общая ширина спектра сигнала DVB-T2 превосходит максимальную полосу пропускания приемника, но, поскольку OFDM-сигнал состоит из множества независимых узкополосных поднесущих, в учебных целях можно выполнять обработку той части сигнала, которая попадает в полосу пропускания. Может производиться синхронизация, оценка состояния канала по пилот-сигналам, демодуляция отдельных поднесущих.

Если рассмотреть подробнее начальный участок КФ, показанной на рис. 5, хорошо видна многолучевая структура импульсной характеристики канала связи (рис. 6).

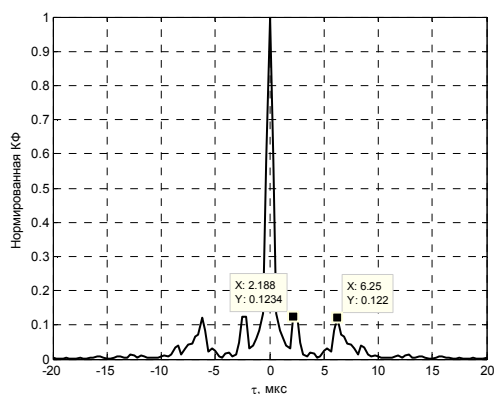


Рис. 6. Увеличенный фрагмент КФ сигнала DVB-T2

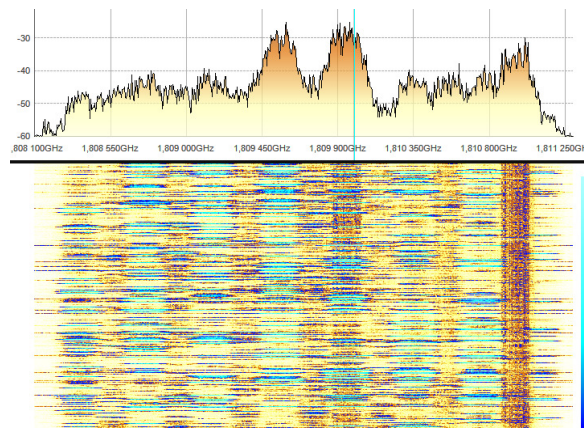


Рис. 7. Спектр и спектрограмма сигналов базовых станций GSM (диапазон 1,8 ГГц)

Сигналы базовых станций GSM (диапазоны 935...960 МГц и 1805...1880 МГц) позволяют демонстрировать принципы частотно-временного разделения каналов (рис. 7). Кроме того, эти относительно узкополосные сигналы могут использоваться для демонстрации временной динамики замираний (рис. 8). На этом графике хорошо видны замирания сигнала, а также границы между GSM-пакетами.

Помимо GSM, возможно наблюдение сигналов базовых станций сетей мобильной связи стандартов UMTS и cdma2000 (рис. 9). Сигнал cdma2000 (полоса частот одного канала — 1,25 МГц) может обраба-

тываться, например, для выделения пилот-сигнала, демодуляции и декодирования информации, передаваемой в синхроканале. Сигнал UMTS имеет ширину спектра около 4 МГц и будет принят с сильными искажениями, исследование которых само по себе может служить учебным заданием для студентов.

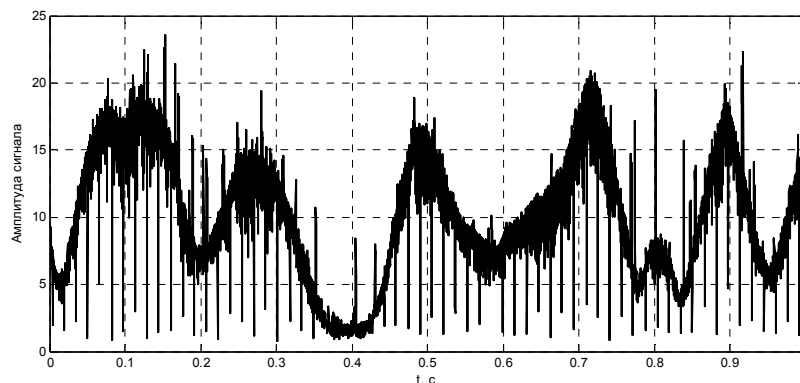


Рис. 8. Огибающая сигнала базовой станции GSM

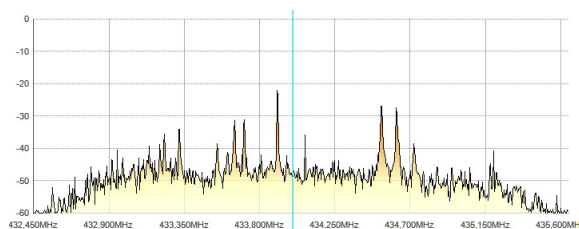
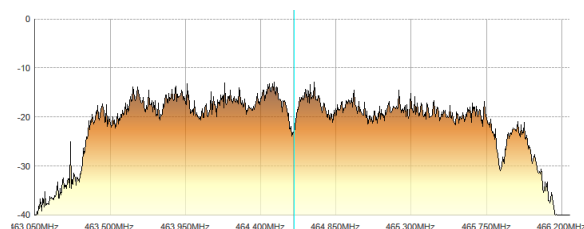


Рис. 9. Спектр сигнала cdma2000 (два канала)

К сигналам, появление которых в эфире можно вызвать принудительно, относятся, например, сигналы, излучаемые следующими устройствами:

- мобильные телефоны;
- радиотелефоны (DECT и т. п.);
- пульты дистанционного радиоуправления;
- автомобильные ключи, пульты дистанционного управления сигнализацией и т. п.;
- беспроводные мыши и клавиатуры;
- беспроводные датчики (метеостанции и т. п.).

Многие устройства такого рода работают в диапазоне 430 МГц с частотной манипуляцией (рис. 10).

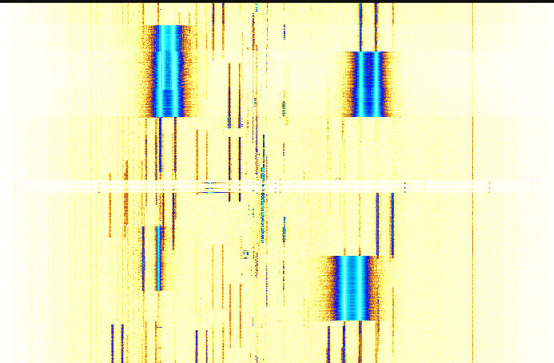


Рис. 10. Спектр и спектрограмма сигналов в диапазоне 430 МГц

Имеются также сообщения о приеме сигналов глобальных спутниковых радионавигационных систем с помощью рассматриваемого приемника (правда, снабженного дополнительным усилителем) [8].

### Заключение

USB-приемники RTL-SDR могут служить дешевой SDR-платформой для решения целого ряда интересных учебных задач при выполнении лабораторных работ и курсовых проектов в процессе изучения дисциплин, связанных с обработкой сигналов и физическим уровнем телекоммуникационных систем.

### Литература

1. S. Cass. A \$40 Software-Defined Radio. IEEE Spectrum, Vol. 50, No. 7, July 2013, pp. 22–23.
2. Multi-Standard CMOS Terrestrial RF Tuner E4000 Datasheet. — Elonics Ltd., 2010.
3. R820T High Performance Low Power Advanced Digital TV Silicon Tuner. Datasheet. — Rafael Microelectronics, Inc., 2011.
4. S. Cass. Software-Defined Radio, Part II. IEEE Spectrum, Vol. 50, No. 9, Sept. 2013, pp. 24–25.
5. RTL-SDR: Inexpensive Software Defined Radio. — EE123: Digital Signal Processing, Spring 2014 ([https://inst.eecs.berkeley.edu/~ee123/sp14/rtl\\_sdr.html](https://inst.eecs.berkeley.edu/~ee123/sp14/rtl_sdr.html)).
6. Communications System Toolbox Support Package for RTL-SDR Radio. User Guide. — MathWorks, 2013.
7. B. Andris. SDRLab: an RTL-SDR Interface to LabVIEW for Educational Purposes (<http://ha5kfu.sch.bme.hu/sdr/lab>).
8. C. Fernández-Prades, J. Arribas, P. Closas. Turning a Television into a GNSS Receiver. Proc. ION GNSS+ 2013 Conf., Nashville, Tennessee (USA), 15-16 Sept. 2013.

## POSSIBLE USES OF USB RECEIVERS BASED ON RTL2832U DEMODULATOR FOR UNIVERSITY COURSES

A. B. Sergienko

St. Petersburg State Electrotechnical University «LETI», 5 Prof. Popov Street, St. Petersburg, 197376, Russia

Important aspect of university courses related to signal processing or physical layer of communication systems is getting experience of handling real-world signals during laboratory experiments or when working on course projects. Software-defined radio (SDR) is a convenient platform for such experiments, since it makes it easy to modify the processing algorithms, observe signals at various points in the system, etc. Professional SDR hardware has good performance, but it might be too expensive for massive use, and its transmitting capabilities are limited by legal issues. These facts motivate interest to the use of SDR capabilities of cheap consumer devices. The paper describes one class of such devices—USB TV receivers based on Realtek RTL2832U demodulator. This chip can capture and send digitized in-phase and quadrature components of input signal to the USB port, with 8 bit resolution and sampling frequency up to 3.2 MHz. Frequency range may span from tens of MHz to approximately 2 GHz, depending on the tuner chip used. The paper contains a brief review of signals that are constantly or almost constantly present in the air and may be received and processed by the considered device. Possible topics for laboratory tests and course projects are also mentioned.