РАДИОСВЯЗЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСТРОЙСТВ USRP1 И RTL-SDR

С. В. Емельянов, Я. В. Деревягин

Одесский национальный политехнический университет
Украина, г. Одесса
emelianov@opu.ua

Рассмотрены решения по передаче данных с использованием устройств RTL-SDR и USRP1 и математических пакетов общего назначения на примере приема пакетов данных стандарта DMR, содержащих треллис-код. Показана возможность выполнения радиосвязи с синхронизацией битового потока как при непрерывной демодуляции и декодировании данных, так и при пакетной обработке данных.

Ключевые слова: треллис-код, прием пакетов данных, синхронизация, RTL-SDR , USRP1, DMR.

В настоящее время массовое применение получили системы цифровой передачи информации с использованием SDR устройств [1], которые имеют простое техническое решение и легко адаптируются к имеющимся и вновь разрабатываемым системам радиосвязи. Наиболее распространенными из простейших SDR-приемников являются устройства RTL-SDR, а из простейших передатчиков — устройство USRP1 фирмы Ettus [2]. Эффективным средством проверки применимости устройств RTL-SDR и USRP1 является передача и прием пакета данных, созданных в соответствии с одним из стандартов цифровой радиосвязи, например DMR [3]. В этом случае при отношении сигнал/шум не менее 9 дБ должна обеспечиваться надежная передача данных [4].

Настоящая работа посвящена определению параметров алгоритмов обработки сигналов и настроек RTL-SDR и USRP1, при которых выполняется устойчивая передача данных.

В математическом пакете Scilab была разработана библиотека алгоритмов для формирования пакетов данных с использованием треллис-кодов и их частотной модуляции в соответствии со стандартом DMR [3]. Был подготовлен набор пакетов в виде квадратурных составляющих для передачи через устройство USRP1. Сигнал принимался устройством RTL-SDR (с использованием программы SDRSharp) и записывался в файл в виде квадратурных составляющих. В пакете Scilab записанные сигналы подвергались дополнительному сдвигу спектра, поиску интервалов, в которых присутствует полезный сигнал, частотной демодуляции, а также декодировались текстовые данные. Реализованы решения по обнаружению битовой последовательности во всем интервале принятого сигнала и в интервалах обнаруженного полезного сигнала. В первом случае за счет применения фильтра верхних и нижних частот возможно игнорирование наличия сдвига частоты вплоть до 1000 Гц. Второй вариант основан на рекомендации стандарта DMR о необходимости обнаруживать скачкообразные изменения уровня сигнала в виде превышения порога как критерия наличия пакета. В полученном наборе битов выполняется обнаружение синхропоследовательности и выборка данных, расположенных до и после данной последовательности. Полученная выборка декодировалась для выделения исходных данных.

Было выполнено несколько циклов передачи пакетов данных на частоте 433 МГц. Частоты приемника и передатчика различных устройств RTL-SDR и USRP1 имели сдвиги по частоте до 600 Гц от заданного значения. Сформированный комплексный сигнал подвергался передискретизации с частоты 24 кГц на частоту 640 кГц для его передачи через USRP1. Принимаемый сигнал имел частоту дискретизации 2,4 МГц, значение которой выбрано для исключения эффекта заворота спектра в RTL-SDR, и передискретизировался на частоту 24 кГц, необходимую для дальнейшей обработки. Величина сдвига центральных частот передатчика и приемника влияет на качество приема, поэтому в алгоритм демодуляции было введено дополнительное преобразование спектра (сдвиг по частоте), что исключило необходимость точной настройки приемника на частоту передатчика. После выполнения декодирования треллис-кодов проверялось условие попадания трибита в созвездие: “0” — если попало, “1” — если нет. Тем самым создается возможность обнаружения искаженных битов.

В качестве данных в пакетах передавалась последовательность из 18 байтов, значения которых находились в интервале от 0 до 17.

Результат обработки представляется в виде следующих трех массивов данных.

• Массив результатов обнаружения синхропоследовательностей в принятой выборке:

position_sync =

9. 152. 296. 439. 593. 747. 890. 1033. 1176. 1319. 1462. 1605. 1748. 1809. 1952. 2096. 2239. 2383.

• Массив принятых данных, где каждая колонка (18 строк) соответствует данным, переданным в одном пакете:

out_data_byte =

0.	204.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
1.	146.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
2.	146.	3.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.

…….

• Массив результатов декодирования треллис-кодов, где каждая колонка (96 строк) соответствует результату правильности декодирования трибитов в одном пакете:

err_output_tribits =

0.	1.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	0.	0.
0.	1.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	0.	1.

……..

Проводилась обработка сигнала с поиском пакетов данных непосредственно по обнаружению синхропоследовательности в демодулированном сигнале, а также на интервалах времени, где присутствовала несущая частота. Было установлено, что в обоих случаях результаты практически совпадают, однако имеются разовые искажения, связанные с неустойчивостью битовой синхронизации при обнаружении первых символов из-за искажений при демодуляции шумов в паузах между пакетами. Причиной также могут являться ошибки передискретизации в пакете Scilab, несмотря на то, что данная функция эффективнее аналогичной в пакете Matlab. Кроме этого, было установлено, что при передаче данных по радиоканалу биты искажаются меньше, чем при выполнении имитации. Это связано с погрешностями при выполнении демодуляции слабых сигналов, когда они имеют значения на уровне машинного нуля. Для уменьшения влияния шумов пауз в сигнале введено ограничение уровня демодулированного сигнала.

Таким образом, SDR-устройства позволяют выполнять передачу данных по радиоканалу с использованием свободно распространяемых математических пакетов общего назначения для формирования и обработки сигналов в виде квадратурных составляющих. Для компенсации расхождений в настройках на заданную частоту передатчика и приемника достаточно ввести дополнительную обработку, не применяя дополнительные аппаратные узлы или ничего не изменяя в настройках устройств USRP1 и RTL-SDR. Декодирование пакетов данных возможно как с учетом проверки наличия несущей частоты, так и без нее.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Ulrich L. Rohde, Jerry C. Whitaker. Communications Receivers, Fourth Edition.— New York: McGraw-Hill Education, 2017.— 941 p.

2. Галкин В. А. Основы программно-конфигурируемого радио.— Москва: Горячая линия-Телеком, 2015.—372 с.

3. ETSI TS 102 361-1 V2.4.1 (2016-02). Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) Systems; Part 1: DMR Air Interface (AI) protocol.

4. Прокис Дж. Цифровая связь.— Москва: Радио и связь, 2000.— 800 с.

S. V. Yemelyanov, Ya. V. Dereviagin

USRP1 and RTL-SDR radio communications

The paper considers data transfer solutions using RTL-SDR and USRP1 devices and general-purpose mathematical packages using standard DMR data packages with trellis code as an example. The possibility of performing radio communication with bit stream synchronization is shown both for continuous demodulation and decoding of data, and for packet data transmission.

Keywords: frequency shift keying, trellis code, data bursts receiving, synchronization, RTL-SDR , USRP1, DMR.