

ЗАСТОСУВАННЯ ТРАНСИВЕРУ NUAND BLADERF X40 SDR ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ТЕЛЕВІЗІЙНИХ СИГНАЛІВ СТАНДАРТУ DVB-S2

Авдєєнко Г.Л., Мар'яненко А. О.

Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: django2006@ukr.net, blaze.of.insomnia@gmail.com

Application of Nuand BladeRF x40 SDR transceiver for generating television signals of DVB-S2 standard

This article highlights the main benefits of using a DVB-S2 satellite TV standard. DVB-S2 digital television signal generation from a multi-program transport TV stream using Nuand BladeRF x40 SDR transceiver operating under the GNURadio software environment was considered.

Як і будь-яка високотехнологічна сфера діяльності, супутниковий зв'язок знаходиться у стані постійної трансформації та розвитку. Збільшення кількості і якості каналів – призвело до підвищення навантаження на передаюче обладнання супутника, що змусило більшість європейських операторів супутникових систем прямого мовлення зробити поетапний перехід до застосування стандарту DVB-S2 замість стандарту DVB-S. Стандарт DVB-S2 з точки зору вибору параметрів для формування сигналу має більшу гнучкість, а також забезпечує такі переваги перед DVB-S:

- більш потужна система кодування, заснована на кодах Боуза-Чоудхурі-Хоквінгема (БЧХ-коди) та кодах з малою щільністю перевірок на парність (LDPC);
- розширені формати модуляції (QPSK, 8-PSK, 16-APSK, 32-APSK);
- розширені формати швидкості попередньої корекції помилок (FEC) (1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9 і 9/10), що дозволяє забезпечити прийом сигналу (FEC = 1/4; 1/3; 2/5) у поганих умовах прийому, тобто для малих значень співвідношення сигнал / шум (SNR);
- покращений коефіцієнт згортання $\alpha = 0,25$ та $0,2$. [1]

Формування сигналу в трансиверах SDR, зазвичай, виконується програмуванням його, наприклад, за допомогою програмного середовища GNURadio або MatLab. Трансивери SDR коштують значно дешевше, ніж професійні модулятори DVB-S2, але в той же час використовують середовище GNURadio, яке забезпечує гнучку конфігурацію різних програмних вузлів (таких як кодери, цифрові фільтри тощо) модулятора, вони дозволяють більш детально розглянути особливості формування різних сигналів, включаючи цифрові телевізійні сигнали.

Метою даної доповіді є розгляд особливостей формування цифрового телевізійного сигналу DVB-S2 з багатопрограмного MPEG TS з використанням трансиверу Nuand BladeRF x40 SDR та програмного середовища GNURadio з подальшою оцінкою якості сформованого DVB-S2 сигналу.

Формування багатопрограмного телевізійного транспортного потоку (MPEG TS) здійснювалася демодуляцією та декодуванням стандартного сигналу DVB-S у супутниковому приймачі Prof Revolution S2 7500 USB, випромінюваному від геостационарного супутникового транспондера Astra 4A (орбітальне положення 4,9°E). Отриманий сигнал має наступні параметри: несуча частота $f = 11766$ МГц, горизонтальна поляризація та $SR = 27500$ Msps і $FEC = 3/4$. MPEG TS з цього сигналу записувався на жорсткий диск персонального комп'ютера (ПК) у вигляді файлу з розширенням *.ts.

Для роботи з трансивером BladeRF x40 було використано ПК з операційною системою Ubuntu версії 18.04 та встановленою на ньому бібліотекою драйверів. Підключення трансиверу BladeRF x40 до ПК здійснювалося через інтерфейс USB 3.0. [2]

В якості програмної моделі модулятора DVB-S2 в середовищі GNURadio можна використовувати готову спеціалістами SDR та радіоаматорами таку підпрограму, як *gr-dvbs2* або *gr-dtv*. Основна відмінність цих підпрограм полягає в тому, що *gr-dvbs2* використовує графічні віджети QT GUI, а *gr-dtv* використовує графічні віджети WX GUI. Узагальнена блок-схема модулятора DVB-S2 в середовищі GNURadio показана на рис.1 і включає такі елементи: 1) блок "Джерело файлу", в параметрах якого вказується шлях до файлу із записаним транспортним потоком; 2) генератор заголовків поточкових кадрів (BBHeader), 3) скремблер поточкових кадрів (BBScrambler); 4) BCH-кодер; 5) LDPC-кодер; 6) ущільнювач; 7) модулятор; 8) генератор PLP- кадрів (Physical layer Framer); 9) FFT-фільтр; 10) приймач даних (osmocom Sink).

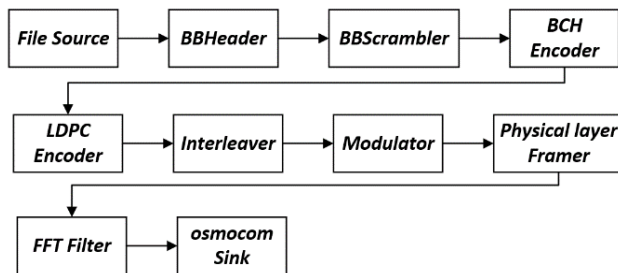


Рис. 1 Узагальнена блок-схема моделі ПЗ модулятора DVB S2 в програмному середовищі GNURadio

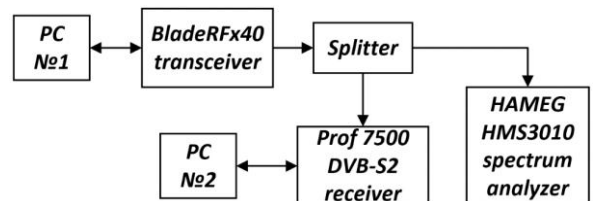
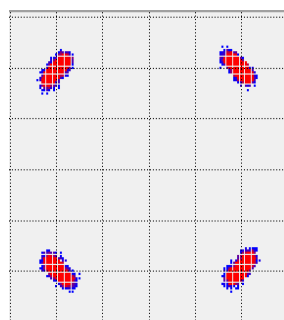


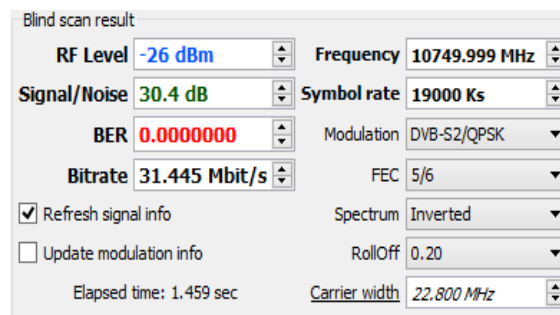
Рис. 2 Структурна схема для вимірювання параметрів сигналу DVB -S2, що сформована трансивером SDR BladeRF x40

Для формування радіосигналу DVB-S2 з MPEG TS зі швидкістю потоку 32 Мбіт/с, були встановлені в програмній моделі модулятора DVB-S2 в GNURadio наступні параметри: 1) символна швидкість 19 Msps (що відповідає 38 Мбіт/с при модуляції QPSK та 57 Мбіт/с – 8-PSK); 2) коефіцієнт згортання $\alpha = 0,2$; 3) кількість відводів цифрового фільтра дорівнює 200; 4) модуляція - QPSK або 8-PSK; 5) швидкість кодування FEC = 5/6; 6) вихідна частота $f_0 = 1000$ МГц. На рис. 2 показана блок-схема вимірювання параметрів сигналу DVB-S2, сформованого за допомогою трансиверу SDR BladeRF x40.

На рис. 3 (а) показано сигнальне сузір'я модуляції QPSK, а на рис. 3 (б) показані параметри сигналу DVB-S2, прийнятого приймачем Prof 7500, який формувався трансивером BladeRF x40 SDR.



а)



б)

Рис. 3 Сузір'я (а) та параметри сигналу QPSK DVB-S2, який формується трансивером BladeRF x40 SDR після його отримання приймачем Prof 7500 DVB-S2

На рис. 4 (а) показано сигнальне сузір'я модуляції 8-PSK, а на рис. 4 (б) показані параметри сигналу DVB-S2, прийнятого приймачем Prof 7500, який формувався трансивером BladeRF x40 SDR.

Аналіз результатів вимірювань показує низьку ймовірність бітової помилки (BER $< 10^{-8}$) після демодуляції та декодування сигналу DVB-S2, що, в свою чергу, забезпечує високу суб'єктивну якість відтворення зображення і звуку для кожного телеканалу MPEG TS.

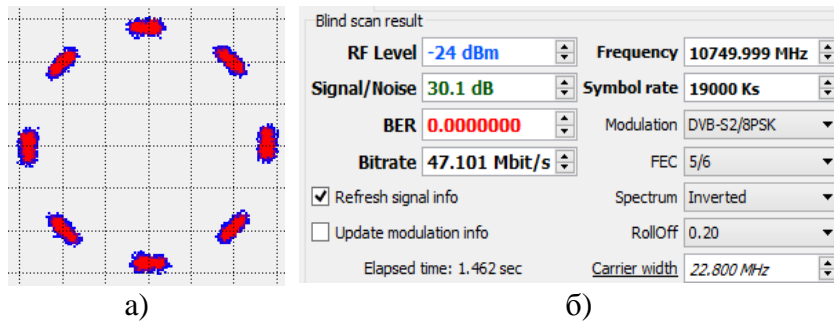


Рис. 4 Сузір'я (а) та параметри сигналу DVB-S2 8-PSK, який формується трансивером BladeRF x40 SDR після його отримання приймачем Prof 7500 DVB-S2

Як видно з рис. 3 і рис. 4, що прийнятий сигнал приймачем Prof 7500 має SNR не менше 25 дБ, а BER $<10^{-8}$ для згортання $\alpha = 0,2$.

Цікаво також дослідити залежність таких параметрів сигналу DVB-S2 як SNR, BER від різних значень коефіцієнта згортання та FEC, типів модуляції та символної швидкості. Результати вимірювання параметрів сигналу DVB-S2 (SNR, BER, РЧ рівень), виконаного приймачем Prof 7500 для QPSK і 8-PSK модуляції, FEC = 5/6 і символною швидкістю 19 Msps для різних значень коефіцієнту згортання, який представлений у таблиці 1. Як видно з таблиці 1, спостерігається погіршення SNR, коли значення коефіцієнта згортання зменшується.

Табл. 1. Вимірювання параметрів сигналу DVB-S2 для різних значень коефіцієнту згортання.

Mod.	Parameter	roll-off factor, α						
		0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.005	0.001
QPSK	SNR, dB	29.8	29.6	26.4	24.5	24.4	23.6	20.2
	BER	$<10^{-8}$	$<10^{-8}$	$<10^{-8}$	$<10^{-8}$	$<10^{-8}$	$<10^{-8}$	$<10^{-8}$
	RF level, dBm	-23	-23	-23	-23	-23	-23	-25
8-PSK	SNR, dB	29.8	29.4	26.6	24.6	24.2	23.6	23.1
	BER	$<10^{-8}$	$<10^{-8}$	$<10^{-8}$	$<10^{-8}$	$<10^{-8}$	$<10^{-8}$	$<10^{-8}$
	RF level, dBm	-25	-25	-23	-23	-23	-23	-23

Результати тестів показали можливість формування стандартного сигналу DVB-S2 із застосуванням трансиверу BladeRF x40 SDR та програмного забезпечення GNURadio, а також його успішний прийом з використанням приймача DVB-S2 із SNR не менше 29 дБ та BER не гірше ніж 10^{-8} при використанні QPSK та 8-PSK при значенні коефіцієнта згортання 0,2.

Література

1. DVB-S2. Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications; Part 2: DVB-S2 Extensions. URL:https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302300_302399/30230702/01.01.01_60/en_30230702v010101p.pdf.
2. Nuand BladeRF x40. URL:<https://www.nuand.com/product/bladerf-x40/>.