

SAT-2G.302-1-CSNT-04

Simulation research of a model for the transmission of digital television standard DVB-S/S2

Stanimir Sadinov, Michail Malamatoudis, Panagiotis Kogias, Krasen Angelov

Симулационно изследване на модел за предаване на цифров телевизионен сигнал по стандарт DVB-S/S2

Станимир Садинов, Михаил Маламатудис, Панайотис Когиас, Красен Ангелов

Abstract: *The purpose of this article is to synthesize the simulation model in MATLAB environment and to realize and receive simulation results of channel coding at standard DVB-S/S2. Presented are the results of BCH and LDPC encoding and decoding in various modes of QPSK modulation. A comparison is made of the results in dependence of the BER as a function of SNR.*

Key words: : *Digital Video Broadcasting - Satellite (DVB-S/S2), BCH code (Bose, Chaudhuri, and Hocquenghem), LDPC (Low-density parity-check code).*

ВЪВЕДЕНИЕ

За спътниковите телевизионни системи е характерно ограничената мощност на излъчваните сигнали, а следователно и повишената чувствителност към въздействието на шумове. Това налага използването на по-ниско ефективни методи на модулация в комбинация с по-ефективни коригиращи кодове, въвеждащи по-голям излишък. По този начин се постига възможност за приемане на цифровите телевизионните програми при ниско отношение носещ сигнал/шум [1].

Основният обект на изследване е системата за сателитна цифрова телевизия, реализирана по стандарт DVB-S и S2, а основните задачи, които се разглеждат в статията са:

- Синтезиране и анализ на модел в средата на MATLAB на система за предаване на цифров сигнал по стандарт DVB-S/S2;
- Симулационно изследване на модела на системата за предаване на цифров сигнал по стандарт DVB-S/S2.

ОПИСАНИЕ И ПАРАМЕТРИ НА СИМУЛАЦИОННИЯ МОДЕЛ

За целите на симулационното изследване и анализ на предаване на цифров сигнал по стандарт DVB-S/S2 се използва симулационен модел [9], разработен за MATLAB 8.3.

Стандартът ETSI EN302 307 (DVB-S2) [7,8] използва специална кодираща схема за да повиши каналния капацитет. Накратко конкатенацията на LDPC и BCH кодовете е база за тази кодираща схема. LDPC кодовете, може да постигнат много ниска стойност на грешката близка до капацитета на канала чрез използване на итеративен декодиращ алгоритъм с ниска сложност [2,3,4,5,6]. Външните BCH кодовете се използват за коригиране на спорадични грешки, допуснати от LDPC декодера.

Каналното кодиране при подобрения стандарт DVB-S2 осигурява значително увеличен капацитет в сравнение с DVB-S, при същите условия за предаване. В зависимост от начина на предаване, DVB-S2 осигурява квази-безпогрешна работа (QEF) (процент на грешка на пакет под 10^{-7}) при около 0,7 dB до 1 dB от границата Шанън.

Синтезираният пример симулира BCH енкодер, LDPC енкодер, разместване на битовете, модулатор, както и обратната обработка в приемника, по стандарта DVB-S2. Примерът извежда коефициента на грешка в демодулатора, LDPC декодера и изходите BCH декодери, определя разпределението на броя на итерациите,

извършвани от LDPC декодера, и показва получените диаграми на съзвездието.

1) Инициализация на симулационния модел

Първоначално се инициализират някои параметри и се генерира структурата dvb. Полетата в тази структура са параметрите на DVB-S2 системата. Създава се също и отделните системни обекти, участващи в DVB-S2 симулацията.

Инициализация и генериране на структурата dvb:

```
subsystemType = 'QPSK 1/2'; % Constellation and LDPC code rate
EsNodB        = 1;          % Energy per symbol to noise PSD ratio in dB
numFrames     = 20;        % Number of frames to simulate
% Initialize
configureDVBS2Demo
% Display system parameters
dvb
```

Резултат от генерирането на структурата dvb:

```
dvb =
    EsNodB: 1
    ModulationType: 'QPSK'
    NumBytesPerPacket: 188
    NumBitsPerPacket: 1504
    BCHCodewordLength: 32400
    BCHMessageLength: 32208
    BCHGeneratorPoly: [1x193 double]
    BCHPrimitivePoly: [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 1 0 1]
    NumPacketsPerBBFrame: 21
    NumInfoBitsPerCodeword: 31584
    BitPeriod: 3.1662e-05
    LDPCCodewordLength: 64800
    LDPCParityCheckMatrix: [32400x64800 logical]
    LDPCNumIterations: 50
    InterleaveOrder: [64800x1 double]
    Constellation: [4x1 double]
    SymbolMapping: [0 2 3 1]
    PhaseOffset: 0.7854
    BitsPerSymbol: 2
    SequenceIndex: 2
    NumSymsPerCodeword: 32400
    NoiseVar: 0.7943
    NoiseVarEst: 0.5617
    RecDelayPreBCH: 32208
```

В резултат от инициализацията се генерират следните системни обекти:

```
hBCHEnc - BCH кодер
hBCHDec - BCH декодер
hLDPCEnc - LDPC кодер
hLDPCDec - LDPC декодер
hIntrlv - Блоково разместване
hDeintrlv - Обратно блоково разместване
hPSKMod - PSK модулатор
hPSKDemod - PSK демодулатор
hChan - AWGN канал
```

В резултат от инициализацията се генерират и следните обекти, в които ще се генерират резултатите от симулацията:

```
hPER - Изчисляване на PER
hBERLDPC - Изчисляване на BER на изхода на LDPC декодера
hBERMod - Изчисляване на BER на изхода на демодулатора
hRxCont - Диаграма на съзвездието на приетия сигнал
hVar - Вариация на шума в една рамката
hMean - Средна стойност на шумовата вариация
```

2) LDPC кодер и декодер

Създаването на системните обекти на LDPC кодера и декодера и определянето

на матрица за проверка по четност съгласно [7] се извършва със сорс кода по-долу. Задават се `IterationTerminationCondition` – условието за прекратяване на итерациите при удовлетворена проверка по четност ('Parity check satisfied') за да се спрат итерациите в декодера когато всички проверки за четност са изпълнени, което намалява времето за декодиране. Задава се `MaximumIterationCount` стойността до 50, за да се ограничи броят на симулационни повторения. Задава се `NumIterationsOutputPort` да бъде true, за да се изведе стойността на броя итерации, извършени за всяка кодова дума.

```
hLDPCEnc = comm.LDPCEncoder(dvb.LDPCParityCheckMatrix);  
hLDPCDec = comm.LDPCDecoder(dvb.LDPCParityCheckMatrix, ...  
    'IterationTerminationCondition', 'Parity check satisfied', ...  
    'MaximumIterationCount',         dvb.LDPCNumIterations, ...  
    'NumIterationsOutputPort',       true);
```

3) Контур за обработка на потока

Тази част от кода създава контур за циклична обработка в DVB-S2 системата. Основната линия обработва данните кадър по кадър, където системният параметър `dvb.NumPacketsPerBBFrame` определя броя на пакетите с данни за BB рамка. Първата част на for-цикъла симулира системата. Симулаторът кодира всеки кадър, използвайки BCH и LDPC кодерите, като прилагащи съответно вътрешното и външното кодиране. Кодираните битове преминават през блоковото разместване. Модулаторът пунктира разместените битове в символи от предварително определеното съзвездие. Модулираните символи преминават през AWGN канал. LDPC декодера след демодулатора декодира обратно разместените битове. BCH декодерът обработва резултата, за да се създаде окончателната стойност на приетия пакет.

Във втората част на for-цикъла се събират измервания за производителността като стойността на вероятността за грешно приети битове (BER) и диаграмата на съзвездие. Там също така се оценява и получената стойност на отношението сигнал/шум (SNR).

```
bbFrameTx = false(hBCHEnc.MessageLength,1);  
numIterVec = zeros(numFrames, 1);  
falseVec = false(dvb.NumPacketsPerBBFrame, 1);  
for frameCnt=1:numFrames  
    % Transmitter, channel, and receiver  
    bbFrameTx(1:dvb.NumInfoBitsPerCodeword) = ...  
        logical(randi([0 1], dvb.NumInfoBitsPerCodeword, 1));  
    bchEncOut = step(hBCHEnc, bbFrameTx);  
    ldpcEncOut = step(hLDPCEnc, bchEncOut);  
    intrlvrOut = step(hIntrlv, ldpcEncOut);  
    modOut = step(hMod, intrlvrOut);  
    chanOut = step(hChan, modOut);  
    demodOut = step(hDemod, chanOut);  
    deintrlvrOut = step(hDeintrlv, demodOut);  
    [ldpcDecOut, numIter] = step(hLDPCDec, deintrlvrOut);  
    bchDecOut = step(hBCHDec, ldpcDecOut);  
    bbFrameRx = bchDecOut(1:dvb.NumInfoBitsPerCodeword,1);  
    % Error statistics  
    comparedBits = xor(bbFrameRx, bbFrameTx(1:dvb.NumInfoBitsPerCodeword));  
    packetErr = any(reshape(comparedBits, dvb.NumBitsPerPacket, ...  
        dvb.NumPacketsPerBBFrame));  
    PER = step(hPER, falseVec, packetErr);  
    berMod = step(hBERMod, demodOut<0, intrlvrOut);  
    berLDPC = step(hBERLDPC, ldpcDecOut, bchEncOut);  
    % LDPC decoder iterations  
    numIterVec(frameCnt) = numIter;  
    % Noise variance estimate
```

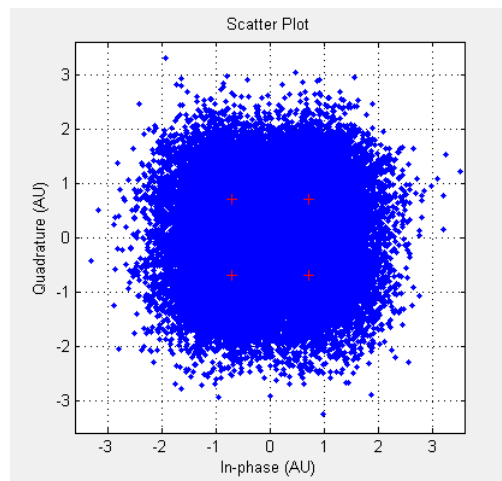
```
noiseVar = step(hMean, step(hVar, chanOut - modOut));  
% Scatter plot  
step(hRxConst, chanOut);  
end
```

Симулационния модел позволява да се изследват случаи с различна стойност на отношението на енергията на сигнала, спрямо спектралната плътност на шума (E_s/N_0) и максималния брой итерации на LDPC декодера. Този пример поддържа следните случаи на режим на QPSK модулацията:

```
'QPSK 1/4', 'QPSK 1/3', 'QPSK 2/5', 'QPSK 1/2',  
'QPSK 3/5', 'QPSK 2/3', 'QPSK 3/4', 'QPSK 4/5',  
'QPSK 5/6', 'QPSK 8/9', 'QPSK 9/10'  
'8PSK 3/5', '8PSK 4/5', '8PSK 2/3', '8PSK 3/4',  
'8PSK 5/6', '8PSK 8/9', '8PSK 9/10'
```

РЕЗУЛТАТИ ОТ ПРОВЕЖДАНЕТО НА СИМУЛАЦИЯТА

На фиг.1 е показана диаграмата на съзвездието на приетия сигнал при режим QPSK 1/2.



Фиг. 1. Диаграма на съзвездието на приетия сигнал в режим QPSK 1/2

Стъпковият метод на измерване на обектите, hPER, hBERMod, и hBERLDPC, извежда вектор, съдържащ текущите стойности на измереният коефициент на двоична грешка BER, общият брой грешки и общият брой на трансмисии (пакети или битове). Извеждат се BER на изхода на демодулатора, BER на изхода на LDPC декодера и PER за системата като цяло заедно с измереното отношение сигнал/шум SNR на входа на приемника. Това се реализира със следния сорс код:

```
fprintf('Measured SNR : %1.2f dB\n', 10*log10(1/noiseVar))  
fprintf('Modulator BER: %1.2e\n', berMod(1))  
fprintf('LDPC BER      : %1.2e\n', berLDPC(1))  
fprintf('PER          : %1.2e\n', PER(1))
```

Резултат от симулацията при режим QPSK 1/2:

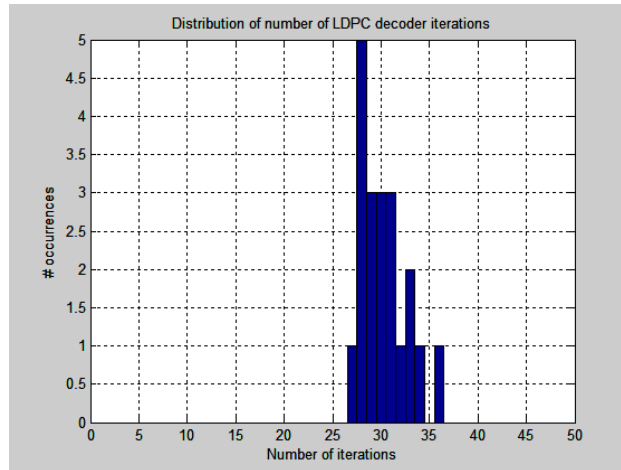
```
Measured SNR : 0.99 dB  
Modulator BER: 1.31e-01  
LDPC BER      : 0.00e+00  
PER           : 0.00e+00
```

Извод 1 от изследването: Докато на изхода на демодулатор се вижда коефициент на двоична грешка BER повече от 10%, то LDPC декодерът е в състояние да коригира всички грешки и да се осигури пакети без наличие на грешки.

Извеждането на разпределението на броя итерации изпълнение от LDPC декодера се реализира със следния сорс код:

```
distFig = figure; hist(numIterVec, 1:hLDPCDec.MaximumIterationCount-1);  
xlabel('Number of iterations'); ylabel('# occurrences'); grid on;  
title('Distribution of number of LDPC decoder iterations')
```

Извод 2 от изследването: Фиг. 2 показва какво е разпределението на броя итерации от LDPC декодера при определяне на крайното решение за декодираната стойност. От фигурата се вижда, че декодерът е успял да декодира рамката преди достигане на зададения максимален брой итерации 50.

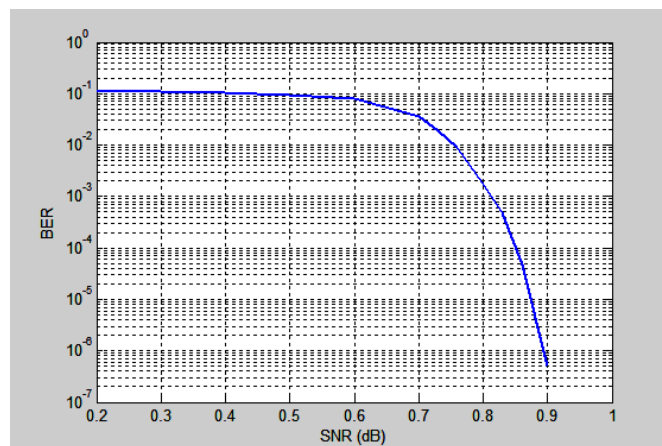


Фиг. 2. Разпределение на броя итерации извършени от LDPC декодера при QPSK 1/2

Симулацията протича с продължителност нужна за предаването на 32,4.106 бита за различни стойности на SNR. Реализацията на предаването на това количество информация по време на симулацията отнема много време. Извеждането на резултата се извършва със следния сорс код:

```
berFig = figure; semilogy(snrdb, cBER(1,:));  
xlabel('SNR (dB)'); ylabel('BER'); grid on
```

Извод 3 от изследването: Фиг. 3 показва каква е стойността на BER във функция от съотношението сигнал/шум SNR след LDPC декодера. От графиката се вижда, че за $BER_{QEF} = 1 \cdot 10^{-7}$ се получава за $SNR = 1\text{dB}$, което съответства на BER след модулятора равен на $1,31 \cdot 10^{-1}$.



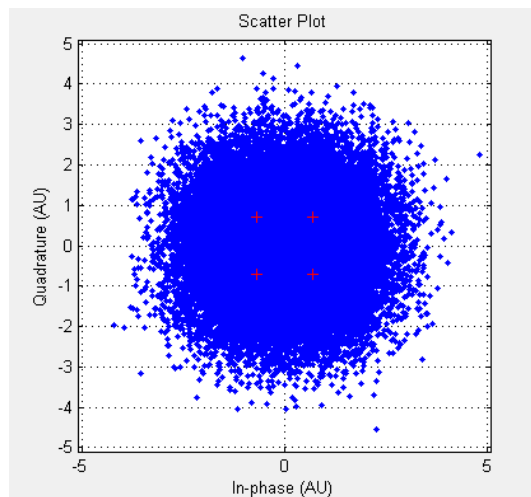
Фиг. 3. Зависимост на BER във функция от SNR за режим QPSK 1/2 след LDPC декодера

Резултат от симулацията при режим QPSK 1/4:

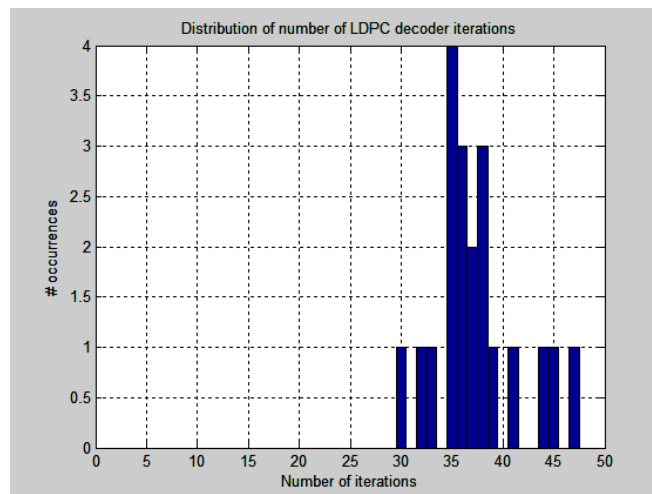
При промяна на съотношението SNR и отчитане на стойността на BER след модулатора (BER_{MOD}) и на стойността на BER след LDPC декодера (BER_{LDPC}) се получават следните резултати, показани таблично в Табл.1 и графично на фиг. 4 и 5.

Табл. 1. Таблични резултати за BER_{MOD} и BER_{LDPC} във функция от SNR при режим QPSK 1/4

SNR, dB	-4	-3	-2,75	-2,5	-2,25	-1	1	4
BER_{MOD}	$2,64 \cdot 10^{-1}$	$2,4 \cdot 10^{-1}$	$2,33 \cdot 10^{-1}$	$2,26 \cdot 10^{-1}$	$2,21 \cdot 10^{-1}$	$1,86 \cdot 10^{-1}$	$1,31 \cdot 10^{-1}$	$5,64 \cdot 10^{-2}$
BER_{LDPC}	$1,86 \cdot 10^{-1}$	$1,32 \cdot 10^{-2}$	$4,91 \cdot 10^{-4}$	0	0	0	0	0



Фиг. 4. Диаграма на съзвездие на приетия сигнал в режим QPSK 1/4



Фиг. 5. Разпределение на броя итерации извършени от LDPC декодера при QPSK 1/4

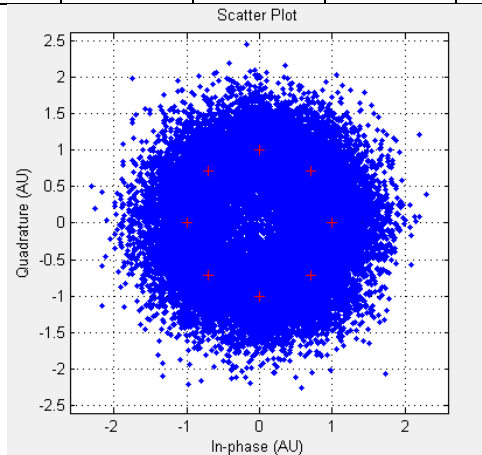
Извод 4 от изследването: От табл.1 и получените графични резултати може да се определи, че при режим QPSK 1/4 минималната стойност на SNR, за която няма да има грешки след LDPC декодера се получава да бъде $SNR = -2,5dB$ при $BER_{MOD} = 2,26 \cdot 10^{-1}$.

Резултат от симулацията при режим 8-PSK 3/5:

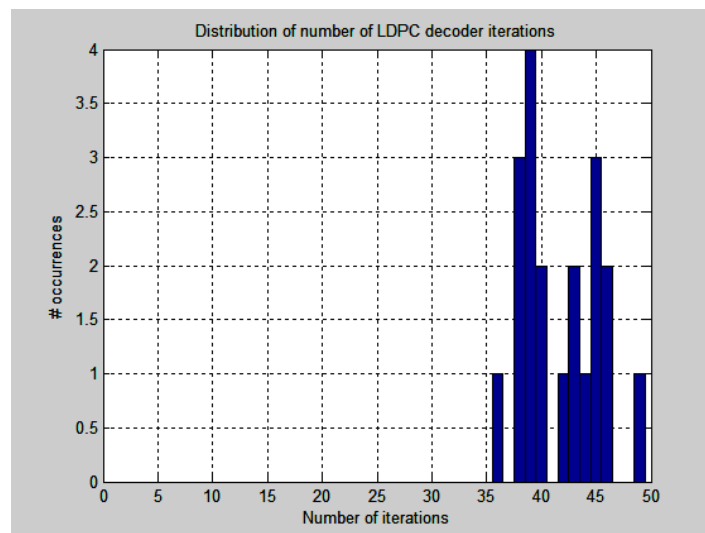
При промяна на съотношението SNR и отчитане на стойността на BER след модулатора (BER_{MOD}) и на стойността на BER след LDPC декодера (BER_{LDPC}) се получават следните резултати, показани таблично в Табл.2 и графично на фиг. 6 и 7.

Табл. 2. Таблични резултати за BER_{MOD} и BER_{LDPC} във функция от SNR при режим 8-PSK 3/5

SNR, dB	-4	1	2	4	5	5,4	6	8
BER_{MOD}	$3,32 \cdot 10^{-1}$	$2,16 \cdot 10^{-1}$	$1,9 \cdot 10^{-1}$	$1,41 \cdot 10^{-1}$	$1,17 \cdot 10^{-1}$	$1,09 \cdot 10^{-1}$	$9,59 \cdot 10^{-2}$	$5,81 \cdot 10^{-2}$
BER_{LDPC}	$2,86 \cdot 10^{-1}$	$1,72 \cdot 10^{-1}$	$1,48 \cdot 10^{-1}$	$9,99 \cdot 10^{-2}$	$6,17 \cdot 10^{-2}$	0	0	0



Фиг. 6. Диаграма на съзвездието на приетия сигнал в режим 8-PSK 3/5



Фиг. 7. Разпределение на броя итерации извършени от LDPC декодера при 8-PSK 3/5

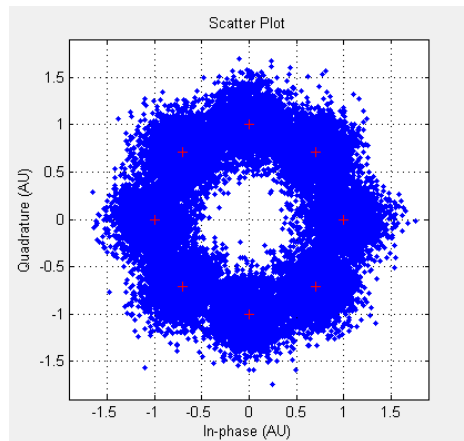
Извод 5 от изследването: От табл. 2 и получените графични резултати може да се определи, че при режим 8-PSK 3/5 минималната стойност на SNR, за която няма да има грешки след LDPC декодера се получава да бъде $SNR = 5,4\text{dB}$ при $BER_{MOD} = 1,09 \cdot 10^{-1}$.

Резултат от симулацията при режим 8-PSK 9/10:

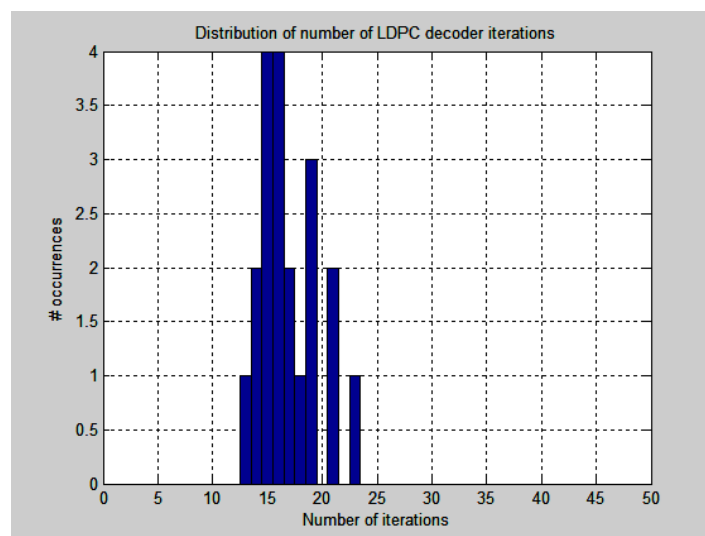
При промяна на съотношението SNR и отчитане на стойността на BER след модулатора (BER_{MOD}) и на стойността на BER след LDPC декодера (BER_{LDPC}) се получават следните резултати, показани таблично в Табл.3 и графично на фиг. 8 и 9.

Табл. 3. Таблични резултати за BER_{MOD} и BER_{LDPC} във функция от SNR при режим 8-PSK 9/10

SNR, dB	-4	1	4	8	10	10,85	12	14	16
BER_{MOD}	$3,31 \cdot 10^{-1}$	$2,15 \cdot 10^{-1}$	$1,41 \cdot 10^{-1}$	$5,87 \cdot 10^{-2}$	$2,91 \cdot 10^{-2}$	$1,95 \cdot 10^{-2}$	$1,03 \cdot 10^{-2}$	$2,26 \cdot 10^{-3}$	$2,14 \cdot 10^{-4}$
BER_{LDPC}	$3,36 \cdot 10^{-1}$	$2,20 \cdot 10^{-1}$	$1,44 \cdot 10^{-1}$	$5,98 \cdot 10^{-2}$	$2,39 \cdot 10^{-2}$	0	0	0	0



Фиг. 8. Диаграма на съзвездието на приетия сигнал в режим 8-PSK 9/10



Фиг. 9. Разпределение на броя итерации извършени от LDPC декодера при 8-PSK 9/10

Извод 5 от изследването: От табл. 3 и получените графични резултати може да се определи, че при режим 8-PSK 9/10 минималната стойност на SNR, за която няма да има грешки след LDPC декодера се получава да бъде SNR = 10,85dB при $BER_{MOD} = 1,95 \cdot 10^{-2}$.

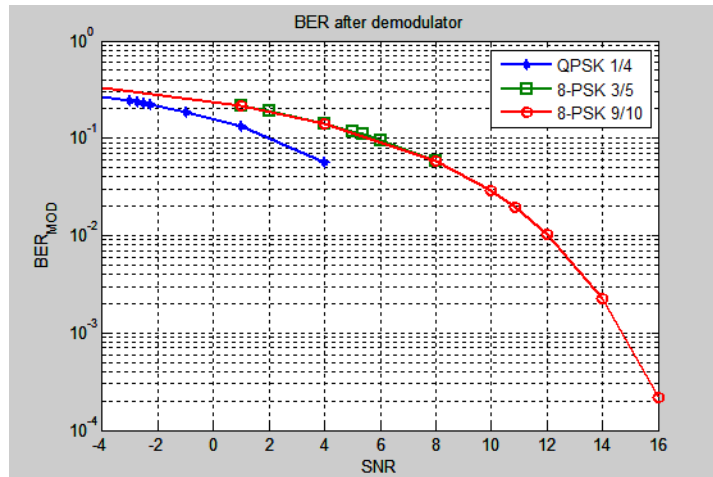
СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА СИМУЛАЦИОННИТЕ РЕЗУЛТАТИ И ИЗВОДИ

На базата на обобщените резултати в таблици 1, 2 и 3, на фиг. 10 е представена зависимостта на BER във функция от съотношението сигнал шум SNR, получено след демодулатора, а на фиг. 11 - BER във функция от SNR след LDPC декодера. В заключение ще обобщим следните изводи:

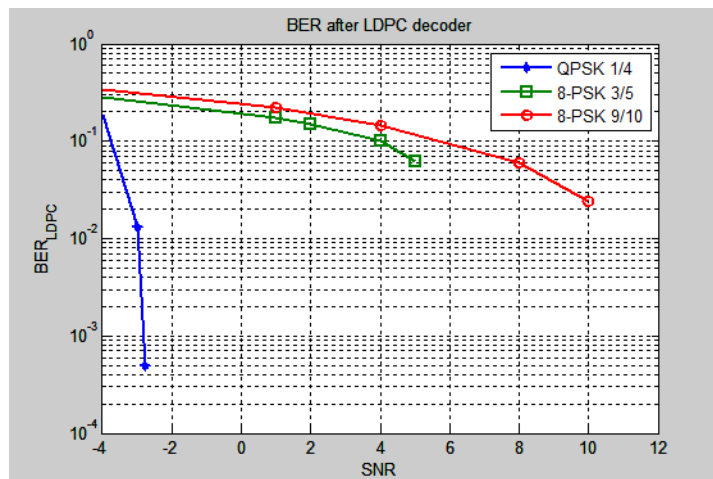
- Фиг. 1, 4, 6 и 8, изобразяват диаграмата на съзвездието на приетия сигнал за различните случаи на модулация и степен на кода за корекция на грешки. От фигурите се вижда, че сигналът е значително зашумен, но те са изведени за съотношения сигнал/шум, което е минимално необходимото за да може LDPC декодерът да бъде в състояние да коригира всички грешки и да се осигури пакети без наличие на грешки.

- Фиг. 2, 5, 7 и 9, показват какво е разпределението на броя итерации от LDPC декодера при определяне на крайното решение за декодираната стойност. От фигурите се вижда, че декодерът е успял да декодира рамката преди достигане на зададения максимален брой итерации 50.

Фиг. 3 показва каква е стойността на BER във функция от съотношението сигнал/шум SNR след LDPC декодера. От графиката се вижда, че за $BER_{QEF} = 1 \cdot 10^{-7}$ се получава за SNR = 1dB, което съответства на BER след модулатора равен на $1,31 \cdot 10^{-1}$. Където QEF (Quasi Error Free) е квази свободен от грешки, а BER_{QEF} е тази стойност на BER, при която след декодирането и корекцията на грешки няма да има останали грешки, т.е. сигнала ще е безгрешен.



Фиг. 10. Зависимост на BER във функция от SNR за режими QPSK 1/4, 8-PSK 3/5 и 8-PSK 9/10 след демодулатора



Фиг. 11. Зависимост на BER във функция от SNR за режими QPSK 1/4, 8-PSK 3/5 и 8-PSK 9/10 след LDPC декодера

Данните от получените симулационни резултати са близки до теоретичните заложи в стандартите, което определя синтезираният симулационен модел като надежден за подобен тип симулационни изследвания с цел анализ на каналното кодиране и модулация в системите са цифрова сателитна телевизия по стандарт DVB-S2.

БЛАГОДАРНОСТ

Работата по изследванията и докладването на резултатите се финансират от проект, съгласно Наредба 3 по фонд научни изследвания при ТУ-Габрово, на тема: „Създаване на иновативни информационно - базирани образователни модули за обучение по комуникационна техника и технологии“.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Конов К., “ Цифрово радио и телевизионно разпръскване”, Диос, София, 2010.
- [2] Iliev, T., Hristov, G., Zahariev, P., Iliev, M. (2008) Application and evaluation of the LDPC codes for the next generation communication systems. Novel Algorithms and Techniques in Telecommunications, Automation and Industrial Electronics, Springer, pp. 532 – 536
- [3] Gallager R., Low-Density Parity-Check Codes, IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 8, No. 1, January 1962, pp. 21-28.
- [4] Freyer U., Digitales Fernsehen. ZDF Schriftenreihe. Heft 24.
- [5] Freyer U., Verchluesungsverfahren. Radio Fernsehen Elektronik, N6, 2008.
- [6] ETR 290: Digital Video Broadcasting (DVB); Measurement guidelines for DVB systems, EBU/CENELEC/ETSI-JTC, 1997.
- [7] ETSI Standard EN 302 307 V1.1.1: Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2), European Telecommunications Standards Institute, Valbonne, France, 2005-03.
- [8] ETSI 300 421 – Digital broadcast systems for television, sound and data services; Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services
- [9] <http://www.mathworks.com/help/comm/examples/dvb-s-2-link-including-ldpc-coding.html>

За контакти:

доц. д-р инж. Станимир Садинов, ръководител катедра “Комуникационна техника и технологии”, Технически университет Габрово, тел.: 0888447712, e-mail: murry@tugab.bg;

инж. Михаил Маламатудис, докторант в катедра “Комуникационна техника и технологии, Технически университет – Габрово;

д-р инж. Панайотис Когас, преподавател в ТЕИ Кавала, Гърция, e-mail: kogias@teiemt.gr;

д-р инж. Красен Ангелов, асистент в катедра “Комуникационна техника и технологии, Технически университет – Габрово, e-mail: kkangelov@dir.bg.