

Mã sửa lỗi trong hệ thống truyền hình số qua vệ tinh thế hệ thứ 2 (DVB-S2)

Ngô Thái Trị*

Đài Truyền hình Việt Nam, 43 Nguyễn Chí Thanh, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 20 tháng 4 năm 2010

Tóm tắt. Trong lĩnh vực truyền hình số, truyền hình số qua vệ tinh (DVB-S) thành công hơn cả. Ngay từ những năm cuối của thế kỷ XX, DVB-S đã được ứng dụng rộng rãi và ngày nay đã phủ sóng khắp hành tinh. Thay vì chỉ truyền được 2 chương trình truyền hình tương tự, một bộ phát đáp ngày nay có thể truyền được hơn 10 chương trình truyền hình số chất lượng cao. Truyền hình số qua vệ tinh thế hệ thứ 2 (DVB-S2) thậm chí còn có thể truyền tới 20 chương trình. Bài báo giới thiệu một trong những giải pháp kỹ thuật sử dụng trong DVB-S2, đó là mã sửa lỗi và một số kết quả mô phỏng bằng Matlab thực hiện bởi tác giả nhằm minh chứng lợi ích của mã LDPC so với mã CC sử dụng trong DVB-S.

1. Giới thiệu

Bài báo trình bày một trong những giải pháp kỹ thuật sử dụng trong DVB-S2 là mã sửa lỗi và một số kết quả mô phỏng được tác giả thực hiện bằng chương trình Matlab nhằm chứng minh tính ưu việt của loại mã này so với mã CC và RS sử dụng trong DVB-S.

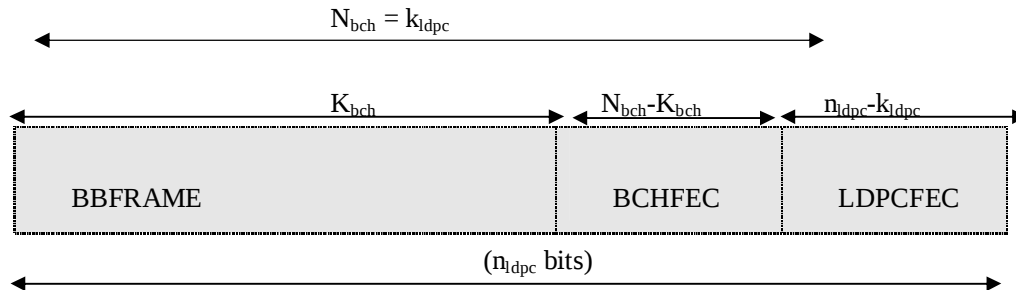
2. Dạng thức dữ liệu trong DVB-S2

Trong hệ thống truyền hình số qua vệ tinh

thế hệ thứ 2 (DVB-S2), *mã phòng vệ lỗi* (FEC coding) bao gồm *mã ngoài* (BCH) và *mã trong* (LDPC).[1]

Dòng dữ liệu đầu vào là BBFRAME và dòng dữ liệu đầu ra là FECFRAME. Mỗi BBFRAME (K_{bch} bits) được xử lý bởi bộ mã hoá FEC để tạo ra một FECFRAME (n_{ldpc} bits). Bit chẵn lẻ (BCHFEC) của mã ngoài BCH được gắn vào sau BBFRAME, và bit chẵn lẻ (LDPCFEC) của mã trong LDPC được gắn vào sau trường BCHFEC như được trình bày trong hình 1 dưới đây.

* ĐT: 84-4-38318119.
E-mail: ntt@vtv.gov.vn



Hình 1. Dạng thức dữ liệu.

($n_{ldpc} = 64800$ bits với FECFRAME bình thường, $n_{ldpc} = 16200$ bits với FECFRAME ngắn)

Bảng 1 bao gồm các thông số của mã FEC đối với FECFRAME bình thường ($n_{ldpc} = 64800$ bits), và bảng 2 đối với FECFRAME ngắn ($n_{ldpc} = 16200$ bits).

Bảng 1. Thông số FEC đối với FECFRAME bình thường ($n_{ldpc} = 64800$ bits)[2]

MÃ LDPC	Block BCH chưa mã hoá K_{bch}	Block BCH đã mã hoá k_{ldpc}	BCH sửa t-lỗi	Block LDPC đã mã hoá n_{ldpc}
1/4	16008	16200	12	64800
1/3	21408	21600	12	64800
2/5	25728	25920	12	64800
1/2	32208	32400	12	64800
3/5	38688	38880	12	64800
2/3	43040	43200	10	64800
3/4	48408	48600	12	64800
4/5	51648	52840	12	64800
5/6	53840	54000	10	64800
8/9	57472	57600	8	64800
9/10	58192	58320	8	64800

Bảng 2. Thông số FEC đối với FECFRAME ngắn ($n_{ldpc} = 16200$ bits) [2]

MÃ LDPC	Block BCH chưa mã hoá K_{bch}	Block BCH đã mã hoá N_{bch}	BCH sửa t-lỗi	Tỷ lệ LDPC hiệu dụng $k_{ldpc}/16200$	Block LDPC đã mã hoá
1/4	3072	3240	12	1/5	16200
1/3	5232	5400	12	1/3	16200
2/5	6312	64800	12	2/5	16200
1/2	7032	7200	12	4/9	16200
3/5	9552	9720	12	3/5	16200
2/3	10632	10800	12	2/3	16200
3/4	11712	11880	12	11/15	16200
4/5	12432	12600	12	7/9	16200
5/6	13152	13320	12	37/45	16200
8/9	14232	14400	12	8/9	16200
9/10	NA	NA	NA	NA	NA

3. Mã ngoài (BCH)

Mã sửa t-lỗi BCH (N_{bch} , K_{bch}) được ứng dụng cho mỗi BBFRAME (K_{bch}) để tạo ra các gói có khả năng kháng lỗi. Các thông số BCH

đối với $n_{ldpc} = 64800$ được trình bày trong bảng 1 và $n_{ldpc} = 16200$ được trình bày trong bảng 2.

Đa thức sinh của mã BCH sửa t-lỗi được tạo ra bởi phép nhân với các đa thức t đầu tiên trên bảng 3 đối với $n_{ldpc} = 64800$ và trên bảng 4 đối với $n_{ldpc} = 16200$

Bảng 3. Đa thức BCH (đối với FECFRAME bình thường $n_{ldpc} = 64800$)

$g_1(x)$	$1 + x^2 + x^3 + x^5 + x^{16}$
$g_2(x)$	$1 + x + x^4 + x^5 + x^6 + x^8 + x^{16}$
$g_3(x)$	$1 + x^2 + x^3 + x^4 + x^5 + x^7 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{16}$
$g_4(x)$	$1 + x^2 + x^4 + x^6 + x^9 + x^{11} + x^{12} + x^{14} + x^{16}$
$g_5(x)$	$1 + x + x^2 + x^3 + x^5 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{12} + x^{16}$
$g_6(x)$	$1 + x^2 + x^4 + x^5 + x^7 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{12} + x^{13} + x^{14} + x^{16}$
$g_7(x)$	$1 + x^2 + x^5 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{13} + x^{15} + x^{16}$
$g_8(x)$	$1 + x + x^2 + x^5 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{12} + x^{13} + x^{14} + x^{16}$
$g_9(x)$	$1 + x^5 + x^7 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{16}$
$g_{10}(x)$	$1 + x + x^2 + x^5 + x^7 + x^8 + x^{10} + x^{12} + x^{13} + x^{14} + x^{16}$
$g_{11}(x)$	$1 + x^2 + x^3 + x^5 + x^9 + x^{11} + x^{12} + x^{13} + x^{16}$
$g_{12}(x)$	$1 + x + x^5 + x^6 + x^7 + x^9 + x^{11} + x^{12} + x^{16}$

Bảng 4. Đa thức BCH (đối với FECFRAME ngắn $n_{ldpc} = 16200$)

$g_1(x)$	$1 + x + x^3 + x^5 + x^{14}$
$g_2(x)$	$1 + x^6 + x^8 + x^{11} + x^{14}$
$g_3(x)$	$1 + x + x^2 + x^6 + x^9 + x^{10} + x^{14}$
$g_4(x)$	$1 + x^4 + x^7 + x^8 + x^{10} + x^{12} + x^{14}$
$g_5(x)$	$1 + x^2 + x^4 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{11} + x^{13} + x^{14}$
$g_6(x)$	$1 + x^3 + x^7 + x^8 + x^9 + x^{13} + x^{14}$
$g_7(x)$	$1 + x^2 + x^5 + x^6 + x^7 + x^{10} + x^{11} + x^{13} + x^{14}$
$g_8(x)$	$1 + x^5 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{14}$
$g_9(x)$	$1 + x + x^2 + x^3 + x^9 + x^{10} + x^{14}$
$g_{10}(x)$	$1 + x^3 + x^6 + x^9 + x^{11} + x^{12} + x^{14}$
$g_{11}(x)$	$1 + x^4 + x^{11} + x^{12} + x^{14}$
$g_{12}(x)$	$1 + x + x^2 + x^3 + x^5 + x^6 + x^7 + x^8 + x^{10} + x^{13} + x^{14}$

Quá trình BCH mã các bits thông tin $m = (m_{k_{bch}-1}, m_{k_{bch}-2}, \dots, m_1, m_0)$ thành từ mã

$c = (m_{k_{bch}-1}, m_{k_{bch}-2}, \dots, m_1, m_0, d_{n_{bch}-k_{bch}-1}, d_{n_{bch}-k_{bch}-2}, d_1, d_0)$ được thực hiện như sau:

Nhân đa thức thông tin

$$m(x) = m_{k_{bch}-1}x^{k_{bch}-1} + m_{k_{bch}-2}x^{k_{bch}-2} + \dots + m_1x + m_0 \text{ bởi } x^{n_{bch}-k_{bch}}$$

Chia $x^{n_{bch}-k_{bch}}m(x)$ cho đa thức sinh $g(x)$.

Đặt $d(x)$ là số dư:

$$d(x) = d_{n_{bch}-k_{bch}-1}x^{n_{bch}-k_{bch}-1} + d_1x + d_0$$

Gọi $c(x)$ là từ mã

$$c(x) = x^{n_{bch}-k_{bch}}m(x) + d(x)$$

4. Mã trong (LDPC)

LDPC mã một cách hệ thống khối bit thông tin với kích thước k_{ldpc} , $i = (i_0, i_1, \dots, i_{k_{ldpc}-1})$ thành từ mã với kích thước n_{ldpc} , $c = (i_0, i_1, \dots, i_{k_{ldpc}-1}, p_0, p_1, \dots, p_{n_{ldpc}-k_{ldpc}-1})$ việc truyền các từ mã được bắt đầu theo thứ tự từ i_0 đến hết với $p_{n_{ldpc}-k_{ldpc}-1}$

Thông số mã LDPC (n_{ldpc} , k_{ldpc}) được trình bày tại bảng 1 và bảng 2. [3, 4].

4.1. Mã trong với FEC FRAME bình thường

Nhiệm vụ của bộ mã hoá là xác định $n_{ldpc} - k_{ldpc}$ bit chẵn lẻ ($p_0, p_1, \dots, p_{n_{ldpc}-k_{ldpc}-1}$) đối với mỗi block k_{ldpc} bit thông tin ($i_0, i_1, \dots, i_{k_{ldpc}-1}$)

Quy trình được thực hiện như sau:

Khởi đầu $p_0 = p_1, \dots, p_{n_{ldpc}-k_{ldpc}-1} = 0$

Cộng các bit thông tin đầu tiên i_0 vào các bit chẵn lẻ có địa chỉ được xác định

Ví dụ:

$$p_0 = p_0 \oplus i_0$$

$$p_{2767} = p_{2767} \oplus i_0$$

$$p_{10491} = p_{10491} \oplus i_0$$

$$p_{240} = p_{240} \oplus i_0$$

$$p_{16043} = p_{16043} \oplus i_0$$

$$p_{18673} = p_{18673} \oplus i_0$$

$$p_{506} = p_{506} \oplus i_0$$

$$p_{9279} = p_{9279} \oplus i_0$$

$$p_{12826} = p_{12826} \oplus i_0$$

$$p_{10579} = p_{10579} \oplus i_0$$

$$p_{8065} = p_{8065} \oplus i_0$$

$$p_{20928} = p_{20928} \oplus i_0$$

$$p_{8226} = p_{8226} \oplus i_0$$

Với 359 bit thông tin tiếp theo i_m , $m=1, 2, \dots, 359$ cộng i_m vào các địa chỉ của bit chẵn lẻ gán cho 359 bit thông tin i_m , $m=361, 362, \dots, 719$ được tính theo công thức:

$$\{ x + (m \bmod 360) \times q \} \bmod (n_{ldpc} - k_{ldpc})$$

Trong đó:

x là địa chỉ của bit chẵn lẻ ứng với bit thông tin i_{360}

Tiếp tục thực hiện phép tính sao cho bắt đầu từ $i = 1$

$$p_i = p_i \oplus p_{i-1}$$

$$i = 1, 2, \dots, n_{ldpc} - k_{ldpc} - 1$$

Giá trị cuối cùng của p_i , $i = 0, 1, \dots, n_{ldpc} - k_{ldpc} - 1$ chính là bit chẵn lẻ p_i

Bảng 5. Giá trị của q đối với khung (FRAME) bình thường

Tỷ lệ mã	q
1/4	135
2/3	120
2/5	108
1/2	90
3/5	72
2/3	60
3/4	45
4/5	36
5/6	30
8/9	20
9/10	18

4.2. Mã trong với FEC FRAME ngắn

Giá trị của q đối với khung (FRAME) ngắn được trình bày trong bảng 6 [4]

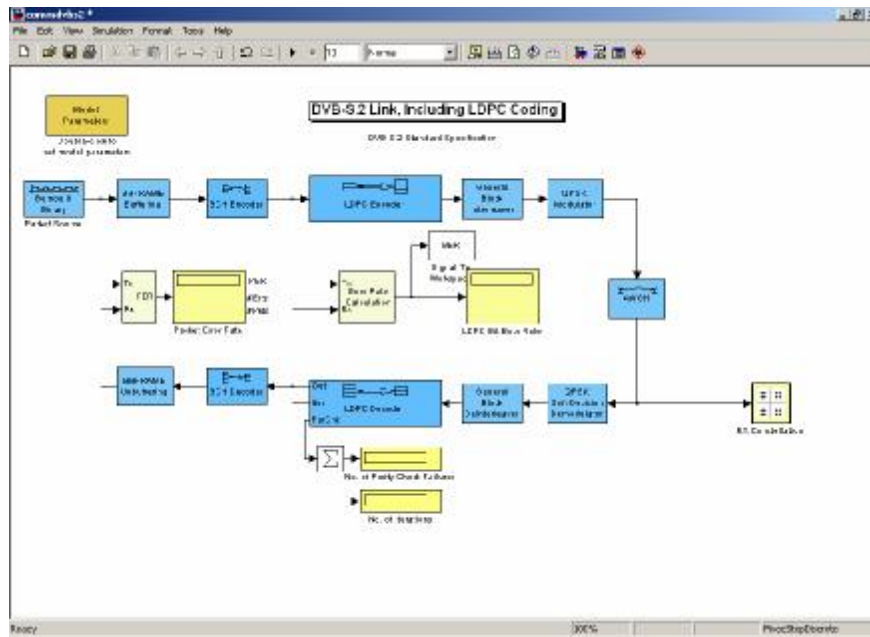
Bảng 6. Giá trị của q đối với khung (FRAME) ngắn

Tỷ lệ mã	q
1/4	36
2/3	30
2/5	27
1/2	25
3/5	18
2/3	15
3/4	12
4/5	10
5/6	8
8/9	5

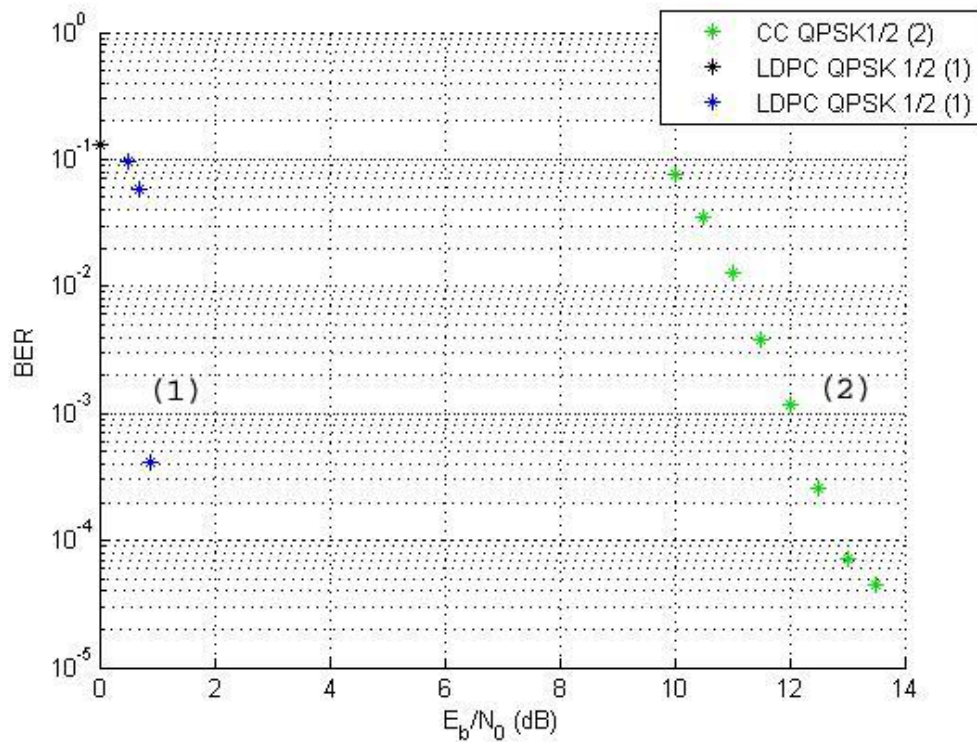
5. Một số kết quả mô phỏng

Nhằm so sánh tính ưu việt của mã sửa lỗi LDPC và BCH sử dụng trong DVB-S2 so với mã CC và RS sử dụng trong DVB-S, tác giả đã sử dụng phần mềm Matlab mô phỏng hai hệ thống nêu trên với các trường hợp cụ thể sau:

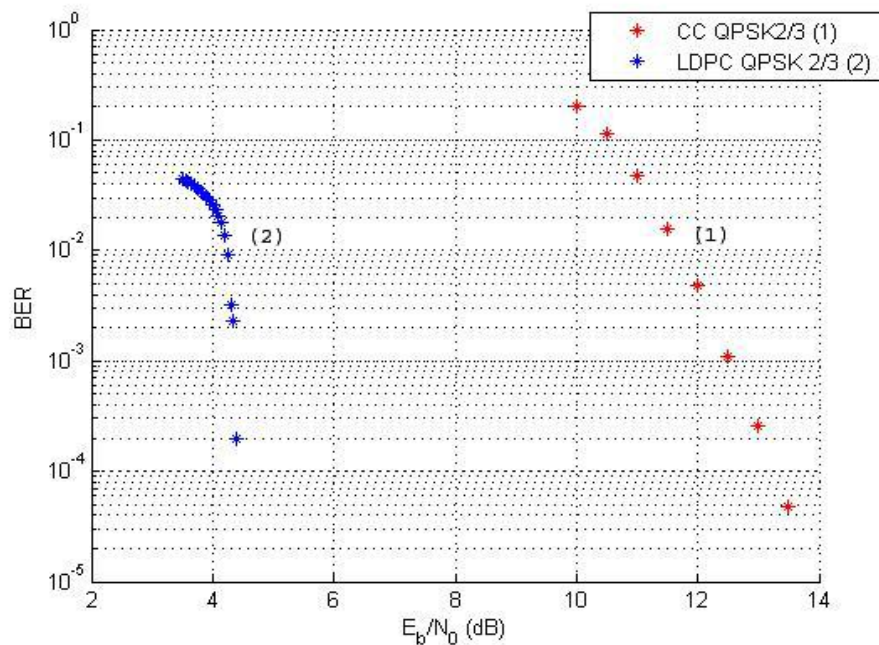
1. Phương thức điều chế QPSK, tỷ lệ mã 1/2
2. Phương thức điều chế QPSK, tỷ lệ mã 2/3
3. Phương thức điều chế QPSK, tỷ lệ mã 3/4



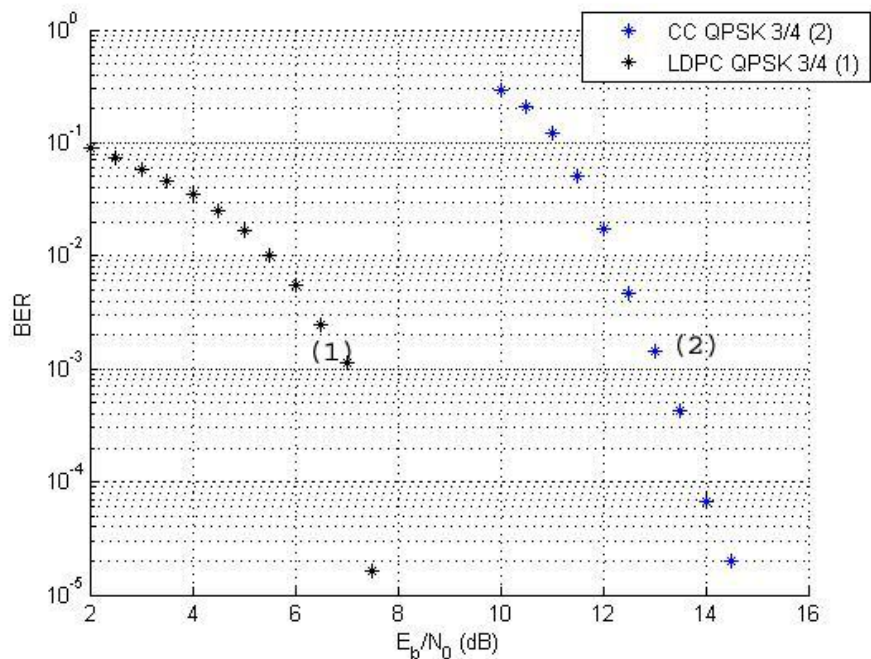
Hình 2. Sơ đồ khối hệ thống DVB-S2.



Hình 3. Điều chế QPSK, tỷ lệ mã 1/2.



Hình 4. Điều chế QPSK, tỷ lệ mã 2/3.



Hình 5. Điều chế QPSK, tỷ lệ mã 3/4.

Kết quả mô phỏng cho thấy độ chênh lệch về độ lợi (gain) giữa hai hệ thống trong trường hợp thấp nhất là 7dB (Điều chế QPSK, tỷ lệ mã 3/4) và cao nhất là 11.5 dB (Điều chế QPSK, tỷ lệ mã 1/2).

Kết luận

Hệ thống truyền hình số qua vệ tinh thế hệ đầu (DVB-S) sử dụng mã sửa sai convolution code với 5 khả năng lựa chọn tỷ lệ mã và hầu hết các nước đều sử dụng tỷ lệ mã 3/4. Trong khi đó DVB-S2 sử dụng LDPC code với 11 khả năng lựa chọn tỷ lệ mã khác nhau cho các khung dữ liệu bình thường và 10 khả năng lựa chọn tỷ lệ mã cho các khung dữ liệu ngắn. Với mã ngoài BCH code và mã trong LDPC, truyền hình số qua vệ tinh thế hệ thứ 2 (DVB-S2) đã đạt được dung lượng truyền dữ liệu lớn hơn nhiều so với DVB-S và độ tin cậy cao hơn. Cùng với việc ứng dụng các công nghệ mới khác, DVB-S2 đã đáp ứng được việc truyền số lượng chương trình ngày càng tăng kể cả đối với truyền hình độ phân giải tiêu chuẩn SDTV (Standard Definition Television) và truyền hình độ phân giải cao HDTV (High Definition Television).

Ký hiệu và chữ viết tắt:

16APSK: 16-ary Amplitude and Phase Shift Keying

32APSK: 32-ary Amplitude and Phase Shift Keying

8PSK: 8-ary Phase Shift Keying

BB: BaseBand

BB FRAME: BaseBand Frame

BCH: Bose-Chaudhuri-Hocquenghem

BCH-FEC: BCH Forward Error Correction

CC: Convolution Code

DVB: Digital Video Broadcasting project

DVB-S: DVB System for Satellite Broadcasting

DVB-S2: DVB-S2 System

FEC: Forward Error Correction

HDTV: High Definition Television

LDPC: Low Density Parity Check (codes)

LDPC FEC: LDPC Forward Error Correction

RS: Reed Solomon code

Kbch: Số lượng bit trong block BCH chưa mã hoá

Kldpc: Số lượng bit trong block LDPC chưa mã hóa

Nbch: Số lượng bit trong block BCH đã mã hoá

Tài liệu tham khảo

- [1] ETSI EN 301 210: "Digital Video Broadcasting, Framing structure, channel coding and modulation for Digital Satellite News Gathering (DSNG) and other contribution applications by satellite".
- [2] ETSI EN 301 192: "Digital Video Broadcasting, DVB specification for data broadcasting".
- [3] R. Gallager, "Low density parity check codes," *IRE Trans. Inf. Theory*, vol.IT-8, pp.21-28, Jan.1962
- [4] M. Eroz, F.-W. Sun and L.-N. Lee, "DVB-S2 Low density parity check codes with near Shannon limit performance," *International Journal on Satellite Communication Networks*, vol 22, no.3, May-June 2004.

Forward error correction code in second generation of digital satellite television (DVB-S2)

Ngo Thai Tri

Vietnam Television, 43 Nguyen Chi Thanh, Hanoi, Vietnam

In the Digital Television field, Digital Video Broadcasting Satellite - DVB - S is the most successful one. Since the last few years of the XX century, DVB-S has been already widely applied and now covers the whole planet. Instead of transporting only two analog television programs, one transponder nowadays can convey more than 10 high quality digital television programs. Second generation satellite television (DVB-S2) can even transport approximately 20 digital programs. This article presents one of the technical methods used in DVB-S2, that is the error correction code and some simulation results carried out by the author using matlab software with the purpose of proving the advantages of LDPC code in comparison with CC used in DVB-S.