Изследване на основния процес при кодирането на цифровия комуникационен канал „Конволюционно кодиране”

Боян Карапенев

Study of the main process of coding the digital communication channel: Convolutional coding: *This paper presents the main process in the coding of the digital communication channel Convolutional coding. The purpose of the channel coding, protection types of errors and the essence of the subject of the study convolutional coding is presented. A structural-functional diagram and circuit (model) for simulation studies of the convolutional coding process with different input data sequence is presented. The results were obtained using Electronics Workbench Pro and Multisim software.*

Key words: *Convolutional Coding, Coding Digital Communication Channel, Types of Errors, Circuit, Model, Simulation Study, Results.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Целта на кодирането на канала (Channel coding) е да се осигури „квазибезпогрешно приемане” на предаваната цифрова информация, като тази задача се решава с избора на съответни средства за защита от грешки. При кодирането на канала се формира цифрова поредица, която постъпва на модулатора и е съгласувана с параметрите на канала за връзка – наземен, спътников канал или кабелна разпределителна мрежа [1], за да се пренесе цифровият сигнал с максимална възможна скорост при минимален брой грешки.

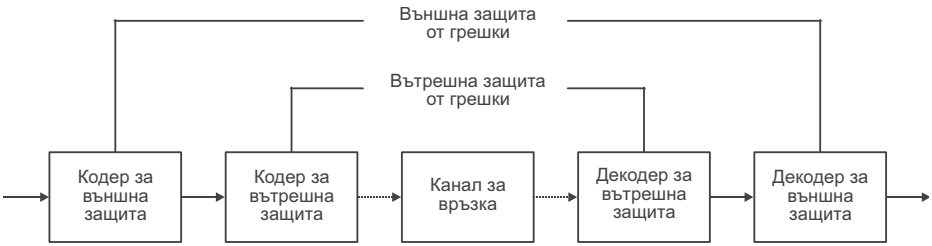
Безпогрешното предаване на информацонния поток в канала за връзка се постига като към цифровата поредица се въведе излишък, което е свързано с увеличаване на общия обем и скоростта на предаваната информация. По този начин става възможно използването на алгоритми за откриване и коригиране на грешно приети битове или група от битове. Допуска се приемането на не повече от една грешка за време на приемане един час, т.е. BER $=1.10^{-11}$ [3].

ИЗЛОЖЕНИЕ

1. Защита от грешки при кодирането на цифровия комуникационен канал. Същност на процеса „конволюционно кодиране”

Защитата от грешки при предаването на цифровата информация се разделя на два основни вида: външна, в частност Рийд-Соломон (RS) кодиране, и вътрешна – конволюционно кодиране.

Външната защита се прилага към цифровия сигнал непосредствено след кодирането на източника, а вътрешната - преди процеса на модулация - фиг. 1. Външната и вътрешната защита взаимно са съгласувани и се допълват.



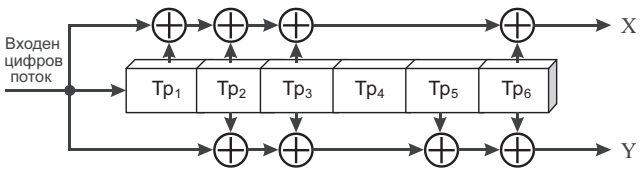
Фиг. 1 - Външна и вътрешна защита от грешки

При кодирането на канала при кабелните мрежи и системи липсва вътрешната защита от грешки (конволюционното кодиране) поради по-високите качествени показатели на използвания канал за връзка - оптична или коаксиална кабелна линия.

Конволюцията (нагъване) произхожда от математиката и означава връзка между две взаимно-свързани функции. Например, при конволюцията се осъществява преобразуване (кодиране) на входната информационна поредица в изходна [5].

Двоичният конволюционен кодер е устройство с краен брой състояния и представлява *L*-разряден преместващ регистър и *n* на брой „суматори по модул две". Обикновено той се описва чрез стойностите на трите параметъра: *L*, *n* и *m*. Стойностите *n* и *m* показват, че всеки *n* бита от входния сигнал се кодират като m-битов изходен сигнал, така че кодът има скорост (ред) $R_c=n/m$ [2], [4]. Връзките между преместващия регистър и „суматорите по модул две" могат да се представят чрез коефициентите на т.н. образуващи полиноми.

Генераторният полином за конволюционния кодер, използван в цифровата телевизия (DVB), от фиг. 2 [3] се разделя на два потока - X и Y.



Фиг. 2 - Функционална схема на конволюционен кодер, използван в DVB

На изхода на конволюционния кодер се получават потоците X и Y със своите полиноми на получаване. Генераторните полиноми описват принципа на действие на регистрите. Техният общ вид е

$$G = a_0x^0 + a_1x^1 + a_2x^2 + ... + a_ix^i + ...a_Sx^S \qquad (1)$$

където коефициентите a_i могат да бъдат 0 или 1.

Конволюционното кодиране се основава на принципа на наслагването.

Увеличеният информационен поток от конволюционното кодиране се намалява чрез последващата го операция пунктиране, включена в блока на кодера.

Конволюционното кодиране е вид дървовидно кодиране. При него добавените допълнителни битове за защита от грешки не са разделени от информационните, а са вмъкнати между тях.

Характерна особеност при конволюционното кодиране е, че не е възможно кодираната последователност да бъде разделена на блокове, тъй като всяка двойка кодови символи са свързани със съседните, т.е. кодовата дума има променлива дължина. Тя зависи единствено от входната последователност, което означава, че може да бъде и безкрайна. Това осигурява на конволюционните кодове особено добри параметри при предаване на големи разстояния и способност за коригиране на грешки.

Работата на един конволюционен кодер може нагледно да бъде описана по три начина: чрез дървовидна, решетъчна диаграма и/или диаграма на състоянието.

2. Модел за изследване на основния процес при кодирането на цифровия комуникационен канал „Конволюционно кодиране". Симулационни резултати

От представената структурна схема на конволюционен кодер (фиг. 2) се определя, че като елементна база за реализирането на принципна схема (модел) са необходими само елементите: *D*-тригери и логически елементи „сума по модул две".

D-тригерът представлява елементарна клетка памет. Притежава един информационен вход означен с *D* (англ. Delay - закъснение). Логическото ниво на този вход се установява на изхода след постъпване на съответен тактов импулс с един такт закъснение. Основните регисторни схеми се реализират на основата на *D*-

тригерите. Могат да бъдат използвани и *JK*- или *RS*- тригери.

Таблиците на истинност на *D*-тригера и логическия елемент „сума по модул две” („изключващо ИЛИ”) са представени съответно на фиг. 3,а и фиг. 3,б.

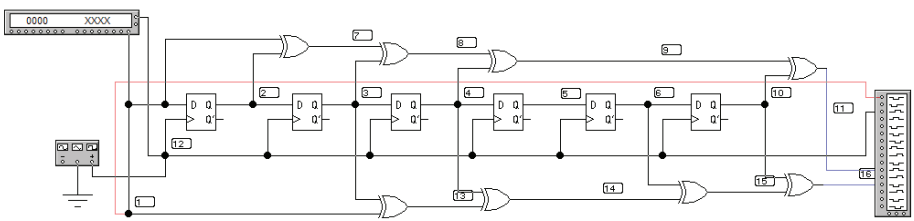
D	C	Q	Q’
1	0→1	1	0
0	0→1	0	1

Фиг. 3,а - Таблица на истинност на D-тригер

X1	X2	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Фиг. 3,б - Таблица на истинност на логическия елемент „сума по модул две”

Въз основа на структурната схема на конволюционен кодер със степен (ред) $R_c=1/2$, използвана в DVB-T и DVB-S системите (фиг. 2), на фиг. 4 е показана синтезираната принципна схема (модел) за нейното симулационно изследване.

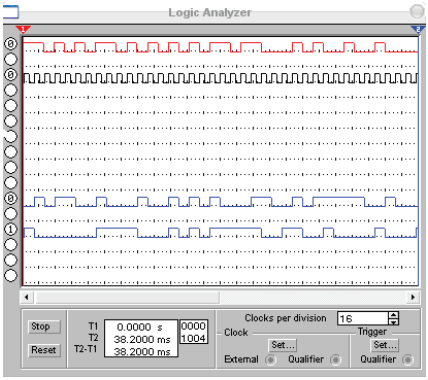


Фиг. 4 - Схема (модел) за симулационно изследване на конволюционен кодер със степен (ред) Rc=1/2

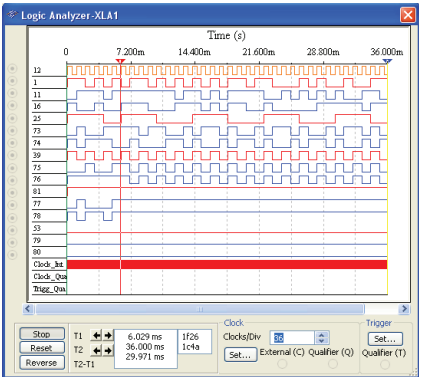
На фиг. 5 и фиг. 6 е представен вида на резултатите на изходния конволюционен код, получен съответно с продуктите за симулационно изследване на принципни електрически схеми Electronics Workbench Pro и Multisim.

Таблица 1 съдържа логическите нива в посочените тактовете и възли от схемата. Първите шест такта са необходими за първоначална инициализация на използваните D-тригери (6 на брой). Тактовият сигнал е подаден на възел 12. При симулационни изследвания с продукта Electronics Workbench Pro възникват т.н. „състезания” на логическите нива. Те се избягват с използването на по-новата му версия *Multisim*.

На фиг. 6 са представени получените резултати на логическия анализатор като на входа на конволюционния кодер са подадени пет различни комбинации от входни последователности. Първият ред е тактовия сигнал, еднакъв за всичките комбинации, вторият, третият и четвъртият ред (възли 1, 11, 16) се отнасят за първата комбинация, която е произволна, като на извод 1 е показана входната поредица, а на 11 и 16 - изхода на кодера. На следващите 3 са показани получените резултати при входен сигнал (редувани „1111” и „0000” - възел 25) и възли 73 и 74 (изходите на кодера).



Фиг. 5 - Получени резултати с продукта Electronics Workbench Pro



Фиг. 6 - Получени резултати с продукта Multisim

Табл. 1 - Логически стойности в посочените тактове и възли

Такт	Възел №															
	1	2	3	4	5	6	10	12	7	8	9	13	14	15	11	16
7	0	1	0	1	0	1	1	10	1	1	0	0	1	0	1	1
8	1	0	1	0	1	0	1	10	1	0	0	0	0	0	1	1
9	1	1	0	1	0	1	0	10	0	0	1	1	0	1	1	1
10	0	1	1	0	1	0	1	10	1	0	0	1	1	1	1	0
11	1	0	1	1	0	1	0	10	1	0	1	0	1	0	1	0
12	0	1	0	1	1	0	1	10	1	1	0	0	1	1	1	0
13	1	0	1	0	1	1	0	10	1	0	0	0	0	1	0	1
14	0	1	0	1	0	1	1	10	1	1	0	0	1	0	1	1
15	1	0	1	0	1	0	1	10	1	0	0	0	0	0	1	1
16	0	1	0	1	0	1	0	10	1	1	0	0	1	0	0	0
17	1	0	1	0	1	0	1	10	1	0	0	0	0	0	1	1
18	0	1	0	1	0	1	0	10	1	1	0	0	0	1	0	0
19	1	10	1	0	1	0	1	10	1	0	0	0	0	0	1	1
20	1	1	0	1	0	1	0	10	0	0	1	1	0	1	1	1
21	0	1	1	0	1	0	1	10	1	0	0	1	1	1	1	0
22	1	0	1	1	1	0	0	10	1	0	1	0	1	0	1	0
23	1	1	0	1	1	0	1	10	0	0	1	1	0	0	0	1
24	0	1	1	0	1	1	0	10	1	0	0	1	1	0	0	0
25	0	0	1	1	1	0	1	10	0	1	0	1	0	1	1	0
26	0	0	0	1	1	0	1	10	0	0	1	0	1	1	0	0

Забелязва се, че в този случай логическите нива на двата изхода са „огледални” един спрямо друг. Следващите 3 са при друга комбинация, за която на възел 39 е подадена входна комбинация от редуващи се логически стойности от „1” и „0”. При нея на двата изхода също се установява една и съща комбинация – същата като входната. При последните две комбинации – като входен сигнал са подадени последователности само от логически „1” или „0”, а на двата изхода конволюционният код приема съответно същите логически стойности („1” или „0”).

От получените резултати и подадените входни комбинации се установява, че кодерът работи ефективно само когато му е подадена „произволна” входна информационна поредица. В останалите случаи (подадени входни последовател-

ности от „1010”, „1111” и „0000”) изходните сигнали „повтарят” входните и в подобни случаи не е оправдано използването на конволюционното кодиране.

От структурната и реализираната принципна схема (модел) на конволюционен кодер - фиг. 2 и фиг. 4, и др. [4], [5], [6], [7] се установява, че броят на логическите елементи „сума по модул две” винаги е по-голям от броя на съставните *D*-тригери.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Конволюционното кодиране може да се реализира и изследва с различни програмни продукти тъй като може да бъде представено на различно функционално ниво. То намира голямо приложение в комуникационната техника поради голямата си ефективност при кодирането и декодирането на информацията.

От представените логически стойности в отделните тактове и посочените възли при симулационното изследване на конволюционния кодер (таблица 1) не се установява повтаряне на отделни редове.

Ефективността на конволюционното кодиране, реализирано по една и съща функционална схема, може да бъде различна, в зависимост от структурата на подадената входна информационна поредица (логически „1” и „0”).

ЛИТЕРАТУРА

[1] Койчев К., К. Ангелов, С. Садинов. Съвременни кабелни телевизионни мрежи за доставка на интерактивни услуги. Седми международен симпозиум „ТЕХНОМАТ & ИНФОТЕЛ 2005”, Материали, Методи и Технологии, Слънчев Бряг, ISBN 954 9368 11 4, 2005, стр. 92-112.

[2] Конов К., Цифрова телевизия, ДИОС, София, ISBN 954-8405-35-0, 2004 г.

[3] Конов К., Цифрово радио и телевизионно разпръскване, ДИОС, София, ISBN 976-954-8405-65-2, 2011 г.

[4] Пулков В., П. Колева. Основи на предаване на информацията. Издателство „Нови знания”, ISBN 9789549315974, 2009 г.

[5] Ташков Н., Б. Карапенев. Предаване на данни. Ръководство за лабораторни упражнения, Издателство „М-ПРЕС”, ISBN 978-954-8455-49-7, Габрово, 2012 г.

[6] Ташков Н., Б. Карапенев. Синтез и симулация на конволюционен кодер. Известия на Техническия университет Габрово, том. 32, 2005 г., стр. 45-48.

[7] http://en.wikipedia.org/wiki/Convolutional_code

За контакти:

доц. д-р Боян Карапенев, Катедра “Комуникационна техника и технологии”, Технически университет - Габрово, тел.: 066/827-415, e-mail: bkarapenev@tugab.bg

Докладът е рецензиран.