

НОВЫЕ РЕКУРСИВНЫЕ КОДЫ С СОКРАЩЕННЫМ ВХОДНЫМ АЛФАВИТОМ

© Басов В.Е., Исарев В.Н., 2009

Для кодов с сокращенным входным алфавитом построены новые рекурсивные коды, предназначенные для декодирования по алгоритму Витерби. Выполнено моделирование передачи информации по каналам с фазовой модуляцией и аддитивным белым гауссовским шумом. Получены характеристики помехоустойчивости этих кодов.

For codes with a brief source alphabet new recursive codes, intended for decoding on the algorithm of Viterbi, are built. Execute modeling of transmit data across channel with phase modulation and additive white Gausse noise. Descriptions of antijammingness of these codes are made.

Введение

В 1999 году предложен новый подход к построению помехоустойчивых кодов, а именно – введение избыточности в процессе кодирования не за счет добавления символов в кодированные данные, а за счет увеличения алфавита кодированного сообщения [1]. Этот способ кодирования расширяет возможности для построения сигнально-кодовых конструкций (СКК), позволяя успешно согласовывать двоичные источники информации с недвоичными каналами, когда ансамбль сигналов содержит количество сигналов, не кратное целой степени двойки. То есть в СКК не использовать квазиоптимальные, а оптимальные ансамбли сигналов и таким образом получить дополнительный энергетический выигрыш кодирования.

Дальнейшие исследования предложенных кодов показали, что, если их относительная скорость совпадает с относительной скоростью обычных свёрточных кодов, коды с сокращённым алфавитом обладают аналогичной помехоустойчивостью [2, 3].

Позднее, в 2007 г., опубликованы результаты синтеза итерационного декодера по максимуму апостериорной вероятности (МАВ) для несистематических кодов с сокращённым входным алфавитом [4], а в 2008 – итерационного декодера Витерби для этих же кодов [5]. Из публикаций исследователей турбо-кодов известно, что компонентные коды турбо-кода для достижения максимального выигрыша от кодирования должны быть рекурсивными, т.е. иметь обратные связи. Однако в работах [1, 2, 3] приведены результаты синтеза не рекурсивных свёрточных кодов с сокращённым входным алфавитом. В настоящей статье впервые публикуются результаты синтеза рекурсивных кодов с сокращённым входным алфавитом, которые в дальнейшем могут быть использованы, как компонентные коды в разработанных [4, 5] кодах и итерационных декодерах.

Описание кодов

В общем виде схема кодера может быть представлена в виде, показанном на рис. 1. На вход кодера поступают символы информационной последовательности $b_i(D)$, $b_i \in \{0..(m-1)\}$. На выходе кодера появляется кодированная последовательность, $x_i(D)$, символы которой являются членами

кольца из M элементов $x_i \in R(M)$. При этом выполняется неравенство $M > m$. Таким образом, построенные коды могут быть названы рекурсивными (т.е. с обратной связью) свёрточными кодами с сокращённым входным алфавитом (РСКСА) над коммутативным кольцом из M элементов. При этом входной алфавит является комплексом кольца $R(M)$, который не является подгруппой (идеалом) или смежным классом. Такой код может быть описан порождающими многочленами через элементы задержки

$$G(D) = \frac{G_1(D)}{G_0(D)} = \frac{\sum_{j=0}^v g_{1,j} D^j \bmod(M)}{\sum_{j=0}^v g_{0,j} D^j \bmod(m)}. \quad (1)$$

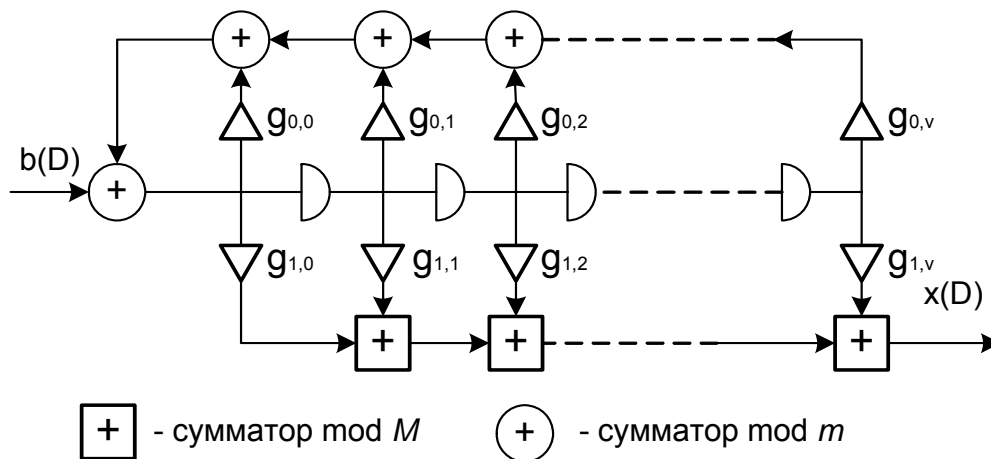


Рис. 1. Рекурсивный свёрточный код с сокращённым входным алфавитом

Методика поиска кодов и результаты моделирования

К сожалению, построение лучших помехоустойчивых кодов для декодирования с помощью декодера Витерби возможно только переборным поиском. Лучшим будет тот код, у которого больше минимальное кодовое расстояние. Поскольку коды с сокращённым алфавитом нелинейные, то свободное расстояние кода и минимальное расстояние кода, как правило, не совпадают.

Предлагаемые в данной работе коды получены методом перебора с ограничениями по критерию максимума минимального кодового расстояния кода в метрике Евклида. В ходе переборного поиска использовались следующие ограничения:

- на катастрофичность;
- на симметрию порождающих многочленов;
- на обратимость порождающих многочленов;
- исключались из рассмотрения те коды, у которых вес d_{min} оказывался меньше, чем d_{min} для лучшего из найденных ранее кодов.

Лучшие найденные рекурсивные коды с сокращённым входным алфавитом с параметрами $m=2$, $M=3$ приведены в табл. 1, а их экспериментальные характеристики помехоустойчивости – на рис. 2. Лучшие коды с параметрами $m=2$, $M=4$ приведены в табл. 2, а их экспериментальные характеристики помехоустойчивости – на рис. 3. Моделирование передачи велось для каналов с фазовой модуляцией и аддитивным белым Гауссовским шумом. В процессе декодирования использовался модифицированный алгоритм Витерби с мягким входом и жёстким решением.

**Рекурсивные двоично-троичные коды с
сокращённым входным алфавитом**

№	\mathcal{V}	$G_0 \pmod{2}$	$G_1 \pmod{3}$	d_{\min} Ли	d_{\min}^2 / E_S Евклида	АЕВК, дБ
1	1	11	11	2	6	1.76
2	2	111	122	2	6	1.76
3	3	1111	1222	3	9	3.52
4	4	11111	12212	3	9	3.52
5	5	111101	121202	4	12	4.77
6	6	1011111	1021121	4	12	4.77

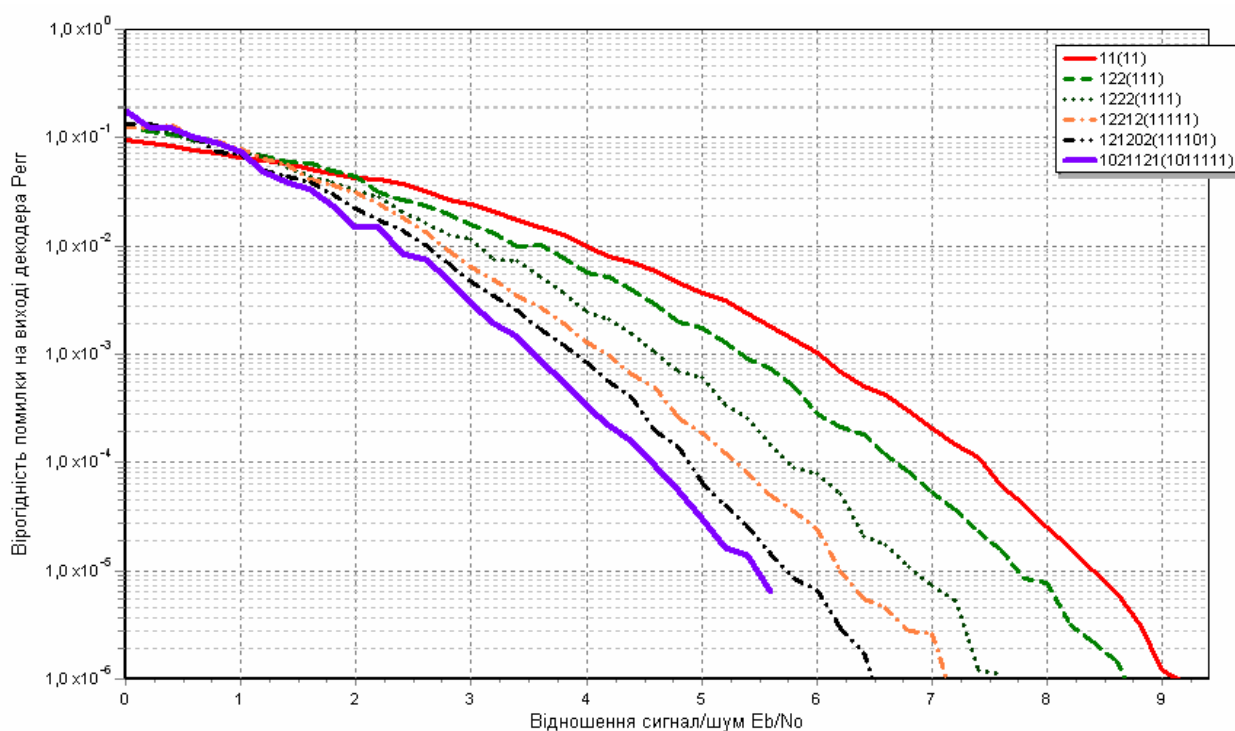


Рис. 2. Характеристики помехоустойчивости двоично-троичных рекурсивных сверточных кодов с сокращённым входным алфавитом

**Рекурсивные двоично-четверичные коды
с сокращённым входным алфавитом**

№	\mathcal{V}	$G_0 \pmod{2}$	$G_1 \pmod{4}$	d_{\min} Ли	d_{\min}^2 / E_S Евклида	АЕВК, дБ
7	1	11	12	3	6	1.76
8	2	101	212	5	10	3.98
9	3	1111	2122	6	12	4.77
10	4	11111	21022	7	14	5.44
11	5	100101	210232	8	16	6.02
12	6	1101011	2102022	9	18	6.53

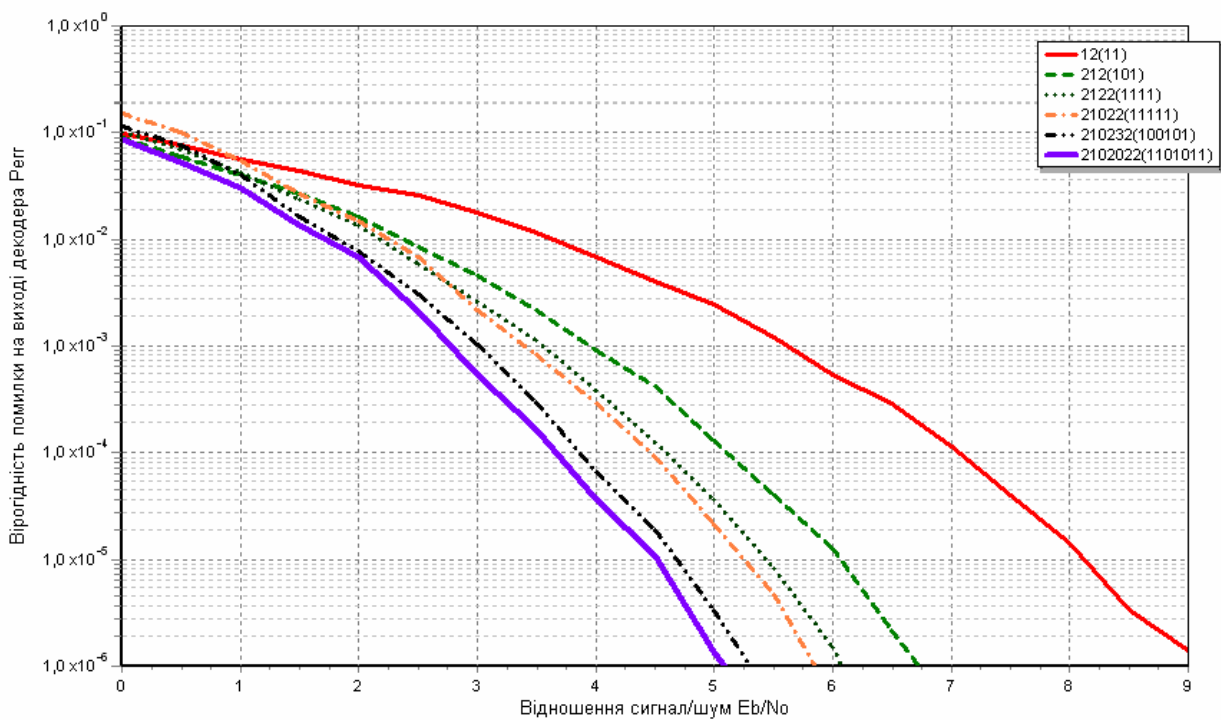


Рис. 3. Характеристики помехоустойчивости двоично-четверичных рекурсивных свёрточных кодов с сокращённым входным алфавитом

Заключение

В результате проведенных исследований впервые были построены рекурсивные свёрточные коды с сокращённым входным алфавитом. Построены характеристики помехоустойчивости лучших из найденных кодов для каналов с фазовой модуляцией и аддитивным белым Гауссовским шумом.

Полученные рекурсивные коды в дальнейшем можно использовать, как компонентные коды для турбоподобных кодов с сокращённым входным алфавитом.

1. Басов В.Е. Свёрточные коды с сокращённым входным алфавитом // Труды IV Международной НТК «Телеком-99». Сентябрь. – Одесса: УГАС, 1999. – С.213–216. 2. Басов В.Е. Перспективы использования непрерывных кодов с сокращённым входным алфавитом // “Модельовання та інформаційні технології”. – К., 2005. – Вип. 30. – С.128–137. 3. Басов В.Е. Эффективность совместного использования многопозиционных сигналов и свёрточных кодов: Дис... канд. техн. наук: 05.12.02. – Одесса, 2006. – 208 с. 4. Басов В.Е. Синтез итерационного декодера по максимуму апостериорной вероятности для кодов с сокращённым входным алфавитом // Вісник ДУІКТ. Спеціальний випуск. – К.: ДУІКТ, 2007. – С.136–142. 5. Басов В.Е. Синтез итерационного декодера Витерби для кодов с сокращённым входным алфавитом // Тр. IV Междунар. НТК “Сучасні інформаційно-комунікаційні технології”(COMINFO-2008). – Ялта–Лівадія, 2008. – С.74.