

УДК 621.391.1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ СВОБОДНОГО РАССТОЯНИЯ ПЕРФОРИРОВАННЫХ РСК ОТ ДЛИНЫ КОДИРУЮЩЕГО РЕГИСТРА ПРИ ФИКСИРОВАННОЙ СКОРОСТИ КОДА

НИКОЛАЙЧУК Н.В.

Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF DEPENDENCE UPPER LIMIT FREE DISTANCES OF PERFORATED RSK LENGTH IS ENCODED REGISTER WITH FIXED SPEED CODE

NIKOLAYCHUK N.V.

Odessa national academy of telecommunications n.a. O.S. Popov

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы определения зависимости верхней границы свободного расстояния перфорированных РСК от длины кодирующего регистра при фиксированной скорости кода, а также рассматриваются полученные результаты.

Abstract. The article deals with determination of the dependence of the free distance riding boundaries perforated length encoding RSK from the register at a fixed rate code and discusses the results obtained.

ВВЕДЕНИЕ

Сведения о дистанционных характеристиках лучших двоичных нерекурсивных СК опубликованы в многочисленных справочных таблицах кодов [3,4,16]. Данные о свёрточных кодах в любом справочном пособии начинаются с кодов со скоростью $1/2$, поскольку такие коды имеют простую структуру, легко реализуются и, кроме того, служат основой для построения кодов с другими скоростями. А вот данные о верхних границах свободного расстояния перфорированных кодов в литературе отсутствуют. В этих условиях была поставлена задача экспериментального определения зависимости верхней границы свободного расстояния перфорированных РСК от длины кодирующего регистра при фиксированной скорости кода.

ПЕРФОРИРОВАННЫЕ РЕКУРСИВНЫЕ СВЕРТОЧНЫЕ КОДЫ

Частотная эффективность применения свёрточных кодов (СК) в телекоммуникационных системах зависит от скорости кода. К примеру, при скорости $R = 1/2$ необходимо двухкратное расширение полосы частот канала для передачи как информационных так и дополнительных символов. В то же время, попытки повышения частотной эффективности за счет увеличения скорости кода приводят к ухудшению его дистанционных свойств, т.е. к снижению помехоустойчивости декодирования СК.

Поэтому при выборе параметров кода отыскивают разумный компромисс, в результате чего во многих системах с кодированием широко используют СК со скоростями $2/3$ и $3/4$. Как известно, использование рекурсивных свёрточных кодов (РСК) позволяет существенно улучшить дистанционные свойства кодов и, соответственно, повысить помехоустойчивость декодирования.

В то же время, реализация декодеров Витерби на скорости кода $1/2$ оказывается наиболее простой. Именно поэтому многие производители телекоммуникационного оборудования используют специализированные БИС кодеков СК со скоростью $1/2$, выпускаемые западными фирмами. В этих условиях представляются актуальными задачи разработки метода повышения скорости РСК с использованием удобных для реализации «базовых» кодов со скоростями $1/2$, а также задача поиска новых высокоскоростных РСК по критерию максимума дистанционных свойств. В теории кодирования поиск новых кодов обычно производится в условиях, когда известна верхняя граница свободного расстояния. Степень приближения величины свободного расстояния найденного кода к верхней границе позволяет судить о совершенстве этого кода.

Поэтому целью настоящего исследования является разработка метода повышения скорости РСК, поиск порождающих многочленов РСК, оценка приближения дистанционных свойств новых РСК с

высокой скоростью к верхней границе расстояния. Для повышения скорости СК используем метод “перфорации” (*puncturing*), изложенный в книге [6]. Перфорация состоит в периодическом удалении некоторых символов в кодовых последовательностях на выходе кодера и замене удаленных символов произвольным символом X , который по каналу не передается. Это позволяет повысить скорость кода за счет ухудшения его дистанционных свойств (т. е. произвести обмен повышения скорости на уменьшение свободного расстояния).

Процедура перфорации поясняется следующим алгоритмом. Перфорации обычно подвергаются “базовые” коды со скоростью $R=1/2$ (количество входов кодера $k=1$ и число выходов $n=2$). Алгоритм Витерби для декодирования таких кодов достаточно легко реализуется. Декодер Витерби дополняется блоком обнаружения и вставки символа X . Присутствие этого символа в кодовых последовательностях не меняет их взаимные дистанционные свойства, поскольку символ перфорации расположен в сравниваемых кодовых последовательностях в одном и том же месте. В момент поступления на вход кодера “базового” кода каждого информационного символа, на выходах кодера формируются кодовые символы $G1$ и $G2$. Перенумеруем информационные символы на входе кодера и определим правила работы перфоратора в виде табл. 1, 2. Наименование правила перфорации определяется длиной цикла перфорации m . Как видно из табл. 1 при $m=2$ (правило $m-2$), последовательность номеров информационных символов разбивается на пары. Причем, информационным символам с нечетными номерами (расположенным в начале каждого цикла) соответствует пара символов ($G1, G2$) на выходах кодера. Далее, информационные символы с четными номерами порождают пару ($G1, X$), в которой символ $G2$ заменен символом X .

Подобное правило применимо при $m=3$ (правило $m-3$, см. табл. 2). Видно, что в каждом из этих примеров m символам на входе кодера соответствует $(2m+1)$ кодовых символов на выходе кодера, что и определяет скорость перфорированного кода

$$R_{\text{перф}} = m / (2m - 1). \tag{1}$$

Выбирая длину цикла перфорации, можно получить различные значения скоростей кодов: при $m=2$, $R_{\text{перф}} = 2/3$ и т. д. Простой подсчет показывает, что практически важную скорость $R_{\text{перф}}=3/4$ можно получить последовательным применением процедур $m-2$ и $m-3$ ($m-2$ & $m-3$).

Таблица 1 – Перфорация по правилу $m-2$

Номер инф. символа	1	2	3	4	5	6	7
Кодовые символы	$G1\ G2$	$G1\ X$	$G1\ G2$	$G1\ X$	$G1\ G2$	$G1\ X$	$G1\ G2$
Циклы перфорации							

Таблица 2 — Перфорация по правилу $m-3$

Номер инф. символа	1	2	3	4	5	6	7
Кодовые символы	$G1\ G2$	$G1\ G2$	$G1\ X$	$G1\ G2$	$G1\ G2$	$G1\ X$	$G1\ G2$
Циклы перфорации							

ВЕРХНИЕ ГРАНИЦЫ СВОБОДНОГО РАССТОЯНИЯ ПЕРФОРИРОВАННЫХ РСК

Данные о верхних границах свободного расстояния перфорированных кодов в литературе отсутствуют. В этих условиях была поставлена задача экспериментального определения зависимости верхней границы свободного расстояния перфорированных РСК от длины кодирующего регистра при фиксированной скорости кода.

Для организации экспериментальных исследований использована концепция тест-пакета. На рис. 1 показан вид рабочей панели программы, предназначенной для определения верхних границ перфорированных РСК (*mean D*) и последующего поиска РСК с расстоянием, близким к этой верхней границе.

Закон перфорации устанавливается переключателями m_2 , m_3 . В табл. 3, табл.4 отдельной графой даны результаты измерений значений верхних границ РСК в зависимости от длины кодирующего регистра при различных законах перфорации, которые обеспечивали повышение скорости РСК до значений 2/3 и 3/4.

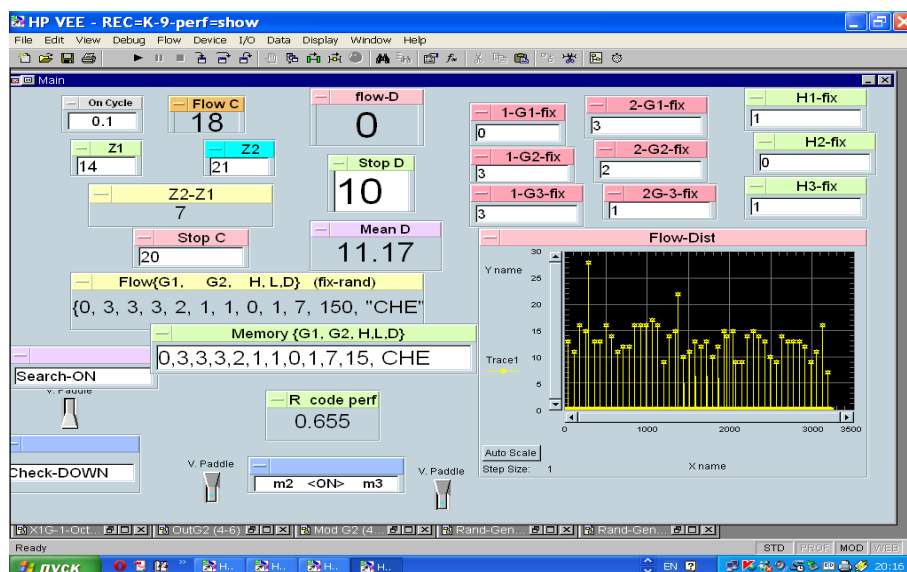


Рисунок 1 – Рабочая панель программы поиска и исследования перфорированных рекурсивных СК

РЕКУРСИВНЫЕ ПЕРФОРИРОВАННЫЕ СВЕРТОЧНЫЕ КОДЫ

Результаты поиска порождающих многочленов рекурсивных кодов (РСК) со скоростями 2/3, 3/4 приведены в табл.3 и табл.4. В этих же таблицах даны сведения о нерекурсивных перфорированных кодах (НСК) с такими же скоростями по справочным данным книги [6]. Порождающие многочлены представлены в восьмеричной форме записи. При этом запись многочленов РСК вида $(G1,G2//H)$ даёт представление о многочленах $(G1, G2)$ прямой связи базового кода. Затем следует форма многочлена обратной связи H . Нерекурсивные коды представлены записью вида $(G1,G2//0)$, в которой многочлен обратной связи $H = 0$. Для рекурсивных кодов указаны экспериментальные значения верхних границ свободного расстояния. Верхние границы для НСК в справочных данных [6] отсутствуют.

Таблица 3 – Характеристики свёрточных кодов со скоростью $R = 2/3$.

Длина кодирующего регистра, K	Класс кода	Порождающие многочлены базовых кодов $(G1,G2//H)$	Правило перфорации	Свободное расстояние, d_f	Верхняя граница, $d_{(BF)}$
3	РСК	(400,620//007)	$m-2$	4	6
3	НСК	(7,5//0)	$m-2$	3	–
4	РСК	(144,010//023)	$m-2$	4	6
4	НСК	(15,17//0)	$m-2$	4	–
5	РСК	(033,321//101)	$m-2$	8	11
5	НСК	(31,33//0)	$m-2$	4	–
6	РСК	(255,602//120)	$m-2$	6	7
6	НСК	(37,25//0)	$m-2$	4	–
7	РСК	(300,113//132)	$m-2$	9	10
7	НСК	(171,133//0)	$m-2$	6	–
8	РСК	(033,321//101)	$m-2$	9	13
9	РСК	(033,321//101)	$m-2$	13	15

Таблица 4 – Характеристики сверточных кодов со скоростью R= 3/4

Длина кодирующего регистра, K	Класс кода	Порождающие многочлены базовых кодов, (G1,G2//H)	Правило перфорации	Свободное расстояние, d_f	Верхняя граница, $d_{(вг)}$
3	РСК	(400,620//007)	$m-2 \& m-3$	8	10
3	НСК	(7,5//0)	$m-2 \& m-3$	3	–
4	РСК	(144,010//023)	$m-2 \& m-3$	4	6
4	НСК	(15,17//0)	$m-2 \& m-3$	4	–
5	РСК	(033,321//101)	$m-2 \& m-3$	8	11
5	НСК	(31,33//0)	$m-2 \& m-3$	4	–
6	РСК	(255,602//120)	$m-2 \& m-3$	4	5
6	НСК	(57,65//0)	$m-2 \& m-3$	4	–
7	РСК	(244,364//124)	$m-2 \& m-3$	7	8
7	НСК	(171,133//0)	$m-2 \& m-3$	6	–
9	РСК	(033,321//101)	$m-2 \& m-3$	10	13

ВЫВОДЫ

По результатам вышесказанного можно сделать такие выводы:

1. Для повышения скорости рекурсивных сверточных кодов использован простой в реализации метод «перфорации» кодовых последовательностей.
2. Выполнен переборный поиск порождающих многочленов префорируемых рекурсивных сверточных кодов, свободное расстояние которых достигает верхней границы.
3. Новые рекурсивные коды по величине свободного расстояния оказываются лучше известных нерекурсивных кодов с той же скоростью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Довгий С. О. Сучасні телекомунікації: мережі, технології, економіка, управління, регулювання / [С. О. Довгий, О. Я. Савченко, П. П. Воробієнко та ін.]; за ред. С. О. Довгого. – К.: Укр. Видавн. Центр. – 2002. – 520 с.
2. Viterbi A.J. CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication / A.J. Viterbi // N.Y.: Addison-Wersley Publ. Company. – 1995. – P. 240. 250 с.
3. Lin S. Error Control Coding: Fundamentals and Applications / S. Lin, D.J. Costello // N.-J.: Prentice-Hall Inc. – 1983. – P. 500.
4. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение; пер. с англ. Б. Скляр – М.: Изд. дом «Вильямс», 2003. – 1004 с.
5. Кларк Дж. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи : пер. с англ. / Дж. Кларк, Дж. Кейн – М.: Радио и связь, 1987. – 392, с. 391
6. Прокис Дж. Цифровая связь. пер. с англ.; под ред. Д.Д. Кловского / Дж. Прокис. –М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.
7. Зюко А. Г. Помехоустойчивость и эффективность передачи информации / [А. Г. Зюко, А. И. Фалько, И. П. Панфилов, В. Л. Банкет, П. В. Ивашенко]; под ред. А. Г. Зюко. – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.
8. Банкет В.Л. Сверточные коды в системах передачи информации Учеб. Пособие / Банкет В.Л. / Одесса, Одесск. электротехн. ин-т связи им. А. С. Попова.1986. – 57 с.
9. Банкет В.Л., Ивашенко П. В., Геер А. Э. Цифровые методы передачи информации в спутниковых системах связи / Банкет В.Л – учебн. пособ. – Одесса: УГАС, 1996. – 180 с.
10. Банкет В.Л. Дискретная математика в задачах цифровой связи Учеб. пособие./ Банкет В.Л.// – Одесса: ОНАС, 2008. – 118 с.
11. Банкет В.Л. Рекурсивные сверточные коды / В.Л. Банкет, Н.В. Незгазинская // Зв’язок. – 2010. – № 4. – С. 68–71.
12. Незгазинская Н.В. Рекурсивные сверточные коды для двоичных сигнально-кодовых конструкций / Н.В. Незгазинская // Цифрові технології. – 2010. – №7 – С. 100–105.
13. Питерсон У. Коды, исправляющие ошибки / У. Питерсон, Э. Уэлдон.: пер. с англ.; под ред. Добрушина Р.Л. и Самойленко С.И. – М.: Мир, 1976. – 380 с.