

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники»

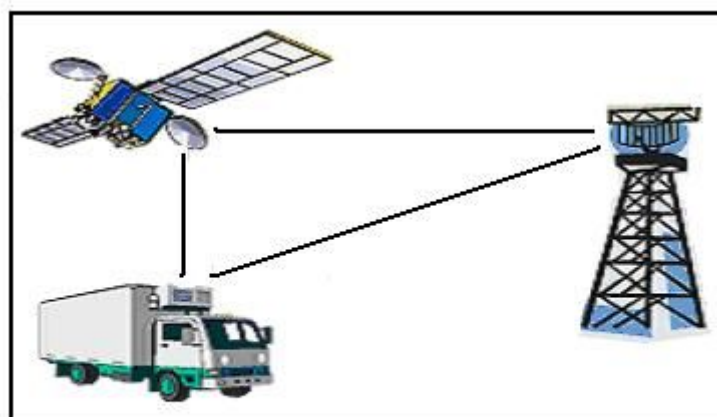
Институт информационных технологий

Кафедра систем управления

Н.И. Сорока

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

по дисциплине «Обмен информацией бортовых систем»
для студентов специальности
I-36 04 02 «Промышленная электроника»



Минск

1. Контрольные работы

Общие требования

При выполнении контрольных работ необходимо соблюдать следующие требования:

1) выполняется вариант, номер которого совпадает с двумя последними цифрами индивидуального шифра;

2) работа должна быть представлена в деканат не позже десяти дней до начала экзаменационной сессии;

3) перед решением каждой задачи должно быть полностью приведено ее условие;

4) решение задач должно сопровождаться необходимыми расчётами, пояснениями, ссылками на источники и выводами;

5) работа должна быть оформлена аккуратно, написана разборчиво и без помарок;

6) работы выполняются в ученических тетрадях или на отдельных листах, формата А4, которые должны быть сброшюрованы и снабжены титульным листом. На каждой странице справа должны быть оставлены поля шириной четыре сантиметра для замечаний рецензента;

7) работа может быть выполнена рукописно чернилами черного, синего или фиолетового цвета, а также с помощью средств вычислительной техники;

8) необходимые рисунки выполняются только тушью чёрного цвета на тех же листах, что и текст, или на отдельных (допускается оформление графического материала с помощью средств вычислительной техники);

9) в конце каждой работы следует привести список использованной литературы;

10) работа на последней странице должна быть подписана студентом с указанием даты ее выполнения;

11) зачтенная работа представляется экзаменатору при сдаче зачета или экзамена;

12) студенты, не получившие зачета по контрольной работе или не защитившие лабораторные работы, к экзамену или зачету не допускаются;

13) при работе над незачтённым контрольным заданием студент обязан выполнить работу над ошибками в той же тетради и повторно предъявить ее для рецензирования;

14) работы, выполненные без соблюдения требований пунктов 1–10, возвращаются студенту без рецензирования.

Внимание! Контрольная работа состоит из трех заданий.

2. Задание № 1

Произвести кодирование в помехозащищенных кодах, указанных знаком ♦ в табл. 2.1, согласно индивидуальному варианту. Полученные кодовые комбинации представить линейными кодами: NRZ, RZ, AMI, ISDN, PE, CDP, 4B/5B. Произвести скремблирование кодовой комбинации.

2.1. Исходные данные

1. Кодовая комбинация, подлежащая кодированию – последние три цифры шифра студента, записанные в двоичном коде на все сочетания.

2. Длина пакета исправления и обнаружения искажений для кода Файра соответственно равна 3 и 4.

3. Общая длина кодовой комбинации для кода БЧХ равна 21, а кратность исправления искажений – 2.

4. Алгоритм скремблирования $B_i = A_i \oplus B_{i-2} \oplus B_{i-6}$.

2.2. Порядок выполнения

1. Определить в зависимости от варианта задания число контрольных символов.

2. Определить состав контрольных символов.

3. Произвести запись исходной кодовой комбинации в соответствующем коде.

4. Ввести в кодовую комбинацию, записанную в коде Файра, пакет искажений длиной, равной четырем, в кодовую комбинацию – в коде БЧХ четырехкратное искажение, а в остальные кодовые комбинации, искажения которые согласно теории обнаруживаются и не обнаруживаются соответствующим кодом.

5. Произвести декодирование кодовых комбинаций и показать, что введение искажений обнаруживается соответствующим кодом.

6. Сделать выводы о корректирующих свойствах кода.

7. Кодовую комбинацию, представленную в одном из помехозащищенных кодов, представить указанными выше линейными кодами, в виде временных диаграмм.

8. Произвести запись другой кодовой комбинации в коде 4B/5B.

9. Сделать выводы по пп. 7 и 8.

10. Произвести скремблирование третьей кодовой комбинации в соответствии с указанным алгоритмом.

11. Сделать выводы по п. 10.

2.3. Методические указания

Данная работа выполняется после проработки тем «Коды и кодирование» и «Формирование требуемого энергетического спектра данных».

Последовательность выполнения операций по кодированию должна быть отражена в тетради с необходимыми комментариями.

Пример 2.1. Закодировать число 29 в инверсном (с повторением и инверсией) коде и сделать вывод о корректирующих свойствах.

Решение. Определим число информационных символов из выражения

$$K = E \log N = E \log 29 = 5.$$

Тогда число 29 в двоичном коде может быть представлено кодовой комбинацией 11101. Контрольные символы представляют собой прямую запись K -разрядной кодовой комбинации, если число единиц в ней четное, если же нечетное, то инверсную. Следовательно, кодовая комбинация 11101 в инверсном коде имеет вид $F(x) = 11101\ 11101$, т.е. число контрольных символов $r = k = 5$, а общая длина $n = r + k = 10$. Избыточность $R = r/n = 0,5$.

При декодировании анализируется первая половина кодовой комбинации $F'(x)$, пришедшей из канала связи, и, если число единиц в ней четное, то вторая половина принимается в прямом виде, а, если нечетное, то в инверсном виде. Затем обе кодовые комбинации складываются по модулю два и, если синдром (результат проверки) будет нулевого порядка, то искажений нет, в противном случае принятая комбинация $F'(x)$ бракуется. Пусть из канала связи поступила кодовая комбинация $F'(x) = 11101\ 11011$. Тогда $11101 + 11011 = 00110$, т.е. результат указывает, что в принятой кодовой комбинации имеются искажения.

Пусть кодовая комбинация $F(x)$ была искажена помехами и поступила в виде $F'(x) = 11\ 0\underline{1}11\ 10\underline{1}1$, где искаженные символы подчеркнуты. Тогда $11011 + 11011 = 00000$, т.е. данное искажение не обнаруживается.

Вывод. Избыточность данного кода не зависит от числа информационных символов и равна 0,5. Необнаружение ошибок имеет место в том случае, когда искажены два символа в исходной кодовой комбинации и соответствующие им два символа в контрольной комбинации.

Пример 2.2. Полученную в примере 2.1 кодовую комбинацию $F(x) = 1110111101$, представить линейными кодами: *NRZ*, *RZ*, *AMI*.

Решение. Согласно теории, изложенной в разделе 3.1 [1], используется следующее представление битов:

– код *NRZ*: «0» представляется нулевым напряжением; «1» – напряжением $+U$;

– код *RZ*: «0» – нулевым напряжением; «1» – $+U$ в первой половине и нулевым напряжением во второй;

– код *AMI*: «0» – нулевым напряжением; «1» – поочередно значениями $-U$ или $+U$;

Временные диаграммы, представления заданной кодовой комбинации $F(x)$ линейными кодами приведены на рис. 2.1.

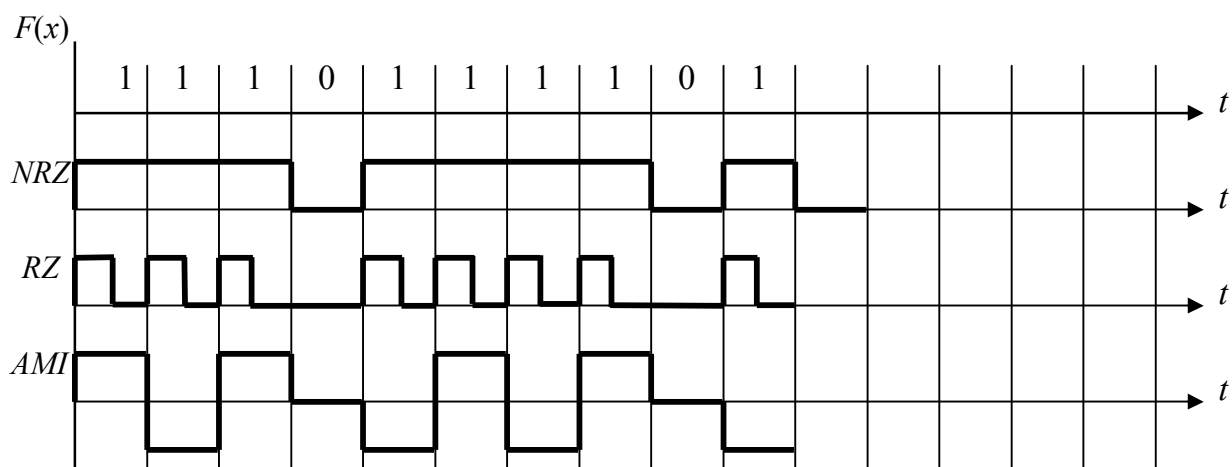


Рис. 2.1. Представление кодовой комбинации $F(x) = 1110111101$ линейными кодами

Вывод. Самым несовершенным кодом с позиции требований, предъявляемых к линейным кодам, является код NRZ , так как занимает полосу частот от 0 Гц до половины скорости передачи данных, возможность возникновения продолжительных периодов передачи постоянного уровня. В коде RZ постоянный уровень составляет $0,25 U$ (вместо $0,5$ в коде NRZ), а при передаче непрерывной последовательности «1» сигнал в линии изменяется. Код AMI обеспечивает в линии нулевой уровень постоянного напряжения, но возможен сбой в синхронизме при передаче длинных последовательностей «0».

Пример 2.3. Представить кодовую комбинацию $F(x) = 10000011$, записанную в коде Бергера (кодирование по «0» в инверсном виде) в линейном коде 4В/5В.

Решение. Разбиваем кодовую комбинацию $F(x)$ на две части по четыре разряда $F_1(x) = 1000$ и $F_2(x) = 0011$. А затем каждую часть кодируем пятиразрядным кодом в соответствии с табл. 3.1 конспекта лекций. В результате чего $F_1(x)$ будет представлена кодовой комбинацией 10010, а F_2 – 10101. Таким образом в линию связи поступит комбинация $F^*(x) = 1001010101$.

Вывод. Код 4В/5В гарантирует, что на линии не могут встретиться более трех нулей подряд (в исходной кодовой комбинации $F(x)$ имеется пять идущих подряд нулей, а в кодовой комбинации $F^*(x)$ их только два). Кроме того, код 4В/5В обладает свойством самосинхронизации и позволяет обнаруживать искажения.

Пример 2.4. Произвести скремблирование кодовой комбинации $F(x) = 111111000$, представленной в коде с числом единиц, кратным трем в соответствии с соотношением $B_i = A_i \oplus B_{i-1} \oplus B_{i-5}$.

Таблица 2.1 – Варианты задания № 1

№ варианта	Инверсный код	Корреляционный код	Код Бергера	Циклический код с $d = 3$	Циклический код с $d = 4$	Код Хэмминга $d = 3$	Код Хэмминга $d = 4$	Код Файра	Код БЧХ
1.	♦			♦		♦			
2.		♦		♦		♦			
3.			♦	♦		♦			
4.	♦				♦		♦		
5.		♦			♦		♦		
6.			♦		♦		♦		
7.	♦							♦	♦
8.		♦						♦	♦
9.			♦					♦	♦
10.	♦					♦		♦	
11.	♦					♦			♦
12.	♦						♦	♦	
13.	♦						♦		♦
14.		♦				♦		♦	
15.		♦				♦			♦
16.		♦					♦	♦	
17.		♦					♦		
18.			♦			♦		♦	
19.			♦			♦			♦
20.			♦				♦	♦	
21.			♦				♦		♦
22.	♦			♦				♦	
23.	♦				♦				♦
24.	♦						♦		
25.	♦					♦			♦
26.		♦			♦			♦	
27.		♦		♦					♦
28.		♦			♦			♦	
29.		♦				♦			♦
30.			♦		♦		♦		

Решение. На выходе скремблера получим следующий результирующий код:

$$\begin{aligned}B_1 &= A_1 = 1, \\B_2 &= A_2 \oplus B_1 = 1 \oplus 1 = 0, \\B_3 &= A_3 \oplus B_2 = 1 \oplus 0 = 1, \\B_4 &= A_4 \oplus B_3 = 1 \oplus 1 = 0, \\B_5 &= A_5 \oplus B_4 = 1 \oplus 0 = 1, \\B_6 &= A_6 \oplus B_5 \oplus B_1 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1, \\B_7 &= A_7 \oplus B_6 \oplus B_2 = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1, \\B_8 &= A_8 \oplus B_7 \oplus B_3 = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0, \\B_9 &= A_9 \oplus B_8 \oplus B_4 = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0.\end{aligned}$$

Таким образом на выходе скремблера появится кодовая комбинация $F^*(x) = 101011100$ (на выходе $F(x) = 111111000$).

Вывод. Скремблирование позволяет устранить появление длинных серий, состоящих из 0 или 1 (в нашем примере нет на выходе шести единиц подряд).

3. Задание № 2

Рассчитать потенциальную помехоустойчивость дискретных сообщений, метод передачи которых задан в табл. 3.1, для симметричных и несимметричных каналов.

3.1. Исходные данные

1. Амплитуда сигнала – 0,8 В.
2. Среднеквадратическое значение напряжения помехи – 0,2 В.
3. Пороговое значение сигнала – 0,6 В.
4. Длительность полезного сигнала – 10 мс.

Из исходных данных студент выбирает те, которые необходимы для расчета вероятностей подавления и воспроизведения ложной команды. При этом значения параметров, указанных в пунктах 1–4, доумножить на последние две цифры своего шифра и считать для своего варианта исходными.

3.2. Порядок выполнения

1. Рассчитать и записать исходные данные.
2. Получить выражение для расчета коэффициента, характеризующего потенциальную помехоустойчивость для метода передачи в соответствии с вариантом задания.

Таблица 3.1 – Варианты задания № 2

№ варианта	Амплитудная манипуляция (АМП)	Частотная манипуляция (ЧМП)	Фазовая манипуляция (ФМП)	Полярная манипуляция (ПМП) ³	Видеоимпульсы
1.	♦		♦		
2.		♦	♦		
3.			♦		♦
4.			♦	♦	
5.	♦	♦			
6.	♦			♦	
7.	♦				♦
8.		♦		♦	
9.		♦			♦
10.	♦	♦		♦	♦
11.	♦		♦		
12.	♦			♦	
13.	♦				♦
14.		♦	♦		
15.		♦		♦	
16.		♦			♦
17.			♦	♦	
18.			♦		♦
19.				♦	♦
20.		♦	♦		
21.		♦		♦	
22.		♦			♦
23.	♦	♦			
24.			♦	♦	
25.			♦		♦
26.	♦		♦		
27.		♦	♦		
28.				♦	♦
29.	♦			♦	
30.		♦		♦	

3. Рассчитать вероятности подавления и воспроизведения ложного сигнала для симметричного и несимметричного каналов связи.

4. Сделать выводы по пунктам 2 и 3.

3.3. Методические указания

Выполнение данного задания начать после изучения темы «Помехоустойчивость передачи дискретных сообщений» по конспекту лекций.

Пример 3.1. Команда телеуправления длительностью $\tau = 50$ мс передается на линию связи методом фазовой манипуляции. Напряжение флуктуационных помех $U_{п.ск.} = 0,2$ В, напряжение сигнала $U_c = 0,7$ В. Определить вероятности подавления и воспроизведения ложной команды, если пороговое значение сигнала $U_{пор} = 0,5$ В.

Решение. Для передачи радиоимпульса длительностью $\tau = 50$ мс необходима полоса частот

$$\Delta F = 2 / \tau = 2 \cdot 10^3 / 50 = 40 \text{ Гц.}$$

Определим удельное напряжение помехи

$$\sigma_0 = U_{п.ск.} / \sqrt{\Delta F} = 0,2 / \sqrt{40} = 0,032 \text{ В/Гц} \cdot 0,024.$$

Коэффициент, характеризующий потенциальную помехоустойчивость найдем из выражения

$$\alpha = \frac{1}{\sigma_0} \sqrt{\int_0^{\tau} (A_1(t) - A_2(t))^2 dt}, \quad (3.1)$$

где $A_1(t)$ и $A_2(t)$ – образцы сигналов.

Для фазовой манипуляции (ФМП) $A_1(t) = U_c \sin \omega_1 t$, а $A_2(t) = U_c \sin(\omega_1 t + \pi)$. Подставляя $A_1(t)$ и $A_2(t)$ в выражение (3.1) и учитывая, что $2\omega_1 \gg 2\pi/\tau$, получим

$$\begin{aligned} \alpha^2 &= \frac{1}{\sigma_0^2} \int_0^{\tau} U_c \sin \omega_1 t - U_c \sin(\omega_1 t + \pi)^2 dt = \\ &= \frac{1}{\sigma_0^2} \int_0^{\tau} (2U_c \sin \omega_1 t)^2 dt \approx \frac{2U_c^2 \tau}{\sigma_0^2}. \end{aligned} \quad (3.2)$$

Подставляя в (3.2) значения, получим

$$\alpha^2 = \frac{2 \cdot (0,7)^2 \cdot 50 \cdot 10^{-3}}{0,032^2} = 49.$$

Следовательно $\alpha = \sqrt{49} = 7$.

Определим параметр β , характеризующий пороговые свойства приемника

$$\beta = \frac{U_{nop}}{U_{п.ск.}} = \frac{0,5}{0,2} = 2,5.$$

Тогда вероятность подавления команды для несимметричного канала будет

$$P_{10} = V(\sqrt{2}\alpha - \beta) = V(1,41 \cdot 7 - 2,5) = V(7,37).$$

Вероятность воспроизведения ложной команды для несимметричного канала

$$P_{01} = V(\beta) = V(2,5).$$

По таблицам интеграла вероятностей (прил. 4) находим, что $P_{10} = 0,8531 \cdot 10^{-13}$, а $P_{01} = 6,21 \cdot 10^{-3}$.

Для симметричного канала $\beta = \alpha / \sqrt{2}$ (см. конспект лекций), а следовательно вероятность искажения элементарного сигнала будет

$$P_1 = P_{10} = P_{01} = V\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}}\right) = V\left(\frac{7}{\sqrt{2}}\right) = V(4,95) = 3,711 \cdot 10^{-7}.$$

Вывод. В несимметричных каналах вероятность подавления сигнала значительно меньше, чем воспроизведение ложного сигнала. В симметричных каналах вероятность искажения элементарного сигнала P_1 выше, чем вероятность подавления сигнала в несимметричных каналах. Кроме того, изменяя пороговое значение можно изменять вероятности подавления P_{10} и воспроизведения ложного P_{01} сигнала.

4. Задание № 3

Рассчитать помехоустойчивость корректирующих кодов. Варианты заданий приведены в табл. 4.1.

4.1. Исходные данные

1. Длина кодовой комбинации $n = 8$.
2. Количество единиц в коде с постоянным весом $m = 2$.
3. В системах с дублированием сообщений число повторений, равное 5.

Таблица 4.1 – Варианты задания № 3

№ варианта	Кодовые комбинации в коде								Системы с дублированием сообщений n _{повт} = 5	Системы с ИОС n = 8
	защитой на четность n = 8	с постоянным весом C ² ₈	с удвоением элементов n = 8	инверсном n = 8	корреляционном n = 8	итеративном m _{строк} = 8 n _{столб} = 8	Хэмминга (8, 4)	циклическом d = 5, n = 21		
1.	♦	♦	♦							
2.	♦			♦	♦					
3.	♦					♦	♦			
4.	♦							♦	♦	
5.	♦								♦	♦
6.		♦		♦		♦				
7.		♦			♦		♦			
8.		♦	♦					♦		
9.		♦							♦	♦
10.			♦	♦	♦					
11.			♦		♦	♦				
12.			♦			♦	♦			
13.			♦				♦	♦		
14.			♦					♦	♦	
15.			♦						♦	♦
16.	♦			♦		♦				
17.		♦			♦		♦			
18.			♦			♦		♦		
19.				♦			♦		♦	
20.					♦			♦		♦
21.			♦		♦			♦		
22.		♦		♦		♦				
23.	♦				♦		♦			
24.						♦		♦		♦
25.				♦			♦		♦	
26.						♦		♦		♦
27.	♦	♦							♦	
28.		♦						♦		♦
29.			♦				♦			♦
30.		♦		♦		♦				

4. Прием в системах с дублированием сообщений – покомбинационный и поэлементный.

5. Кодовое расстояние циклического кода $d = 5$.

6. Кодовое расстояние кода Хэмминга $d = 4$.

7. Итеративный код: число строк – 8, число столбцов – 8.

8. Вероятность искажения элементарного сигнала взять наибольшую из задания № 2 для симметричного канала.

4.2. Порядок выполнения

1. Записать выражения для расчета вероятностей правильного приема, обнаруженной и не обнаруженной ошибки кодовых сообщений. При этом необходимо учитывать не более трех первых слагаемых вероятностей.

2. Рассчитать вероятности правильного приема, не обнаруженной и обнаруженной ошибок кодовых комбинаций.

3. Сделать вывод по пунктам 1 и 2.

4.3. Методические указания

Выполнение данного задания начать после проработки темы «Помехоустойчивость передачи дискретных сообщений».

Процесс получения соответствующих выражений для расчета помехоустойчивости начинать после изучения корректирующих свойств кодов и уяснения принципа построения систем с дублированием сообщений и информационной обратной связью.

Пример 4.1. Найти вероятности правильного приема и исправления искажений, а также вероятности возникновения обнаруженных и не обнаруженных ошибок в коде Хэмминга (8, 4), если вероятность искажения элементарного сигнала $P_1=10^{-3}$, т.е. канал связи симметричный.

Решение. В условии примера задан код Хэмминга с кодовым расстоянием $d=4$. Этот код позволяет исправлять одиночные и обнаруживать двойные искажения. Полную группу событий образуют вероятности правильного приема $P_{прав}^*$, возникновения обнаруженной ошибки $P_{о.ош.}$, возникновения не обнаруженной ошибки $P_{н.ош.}$ и исправления, т.е.

$$P_{прав}^* + P_{исп} + P_{о.ош.} + P_{н.ош.} = 1.$$

Полная вероятность правильного приема включает в себя и вероятность исправления одиночных ошибок:

$$P_{прав} = P_{прав}^* + P_{исп}. \quad (4.1)$$

Ошибочный прием при $d = 4$ обусловлен ошибкой кратности, большей двух и оценивается вероятностью

$$P_{н.ош} = P(3) + P(4) + P(5) + \dots \quad (4.2)$$

Вероятность возникновения обнаруженной ошибки оценивается вероятностью возникновения двойных ошибок

$$P_{о.ош} = P(2). \quad (4.3)$$

Используя формулу Бернули вычислим, указанные в выражениях (4.1)–(4.3), вероятности. Применение формулы Бернули возможно из-за того, что канал симметричный. При этом при определении $P_{н.ош}$ ограничимся только двумя слагаемыми, так как они вносят наибольший вклад

$$\begin{aligned} P_{прав} &= (1 - P_1)^8 + C_8^1 P_1^1 (1 - P_1)^{8-1} = \\ &= (1 - 0,001)^8 + 8 \cdot 0,001^1 (1 - 0,001)^7 = 0,999. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{н.ош} &= C_8^3 P_1^3 (1 - P_1)^{8-3} + C_8^4 P_1^4 (1 - P_1)^{8-4} = \\ &= 56 \cdot 0,001^3 (1 - 0,001)^5 + 70 \cdot 0,001^4 (1 - 0,001)^4 \simeq 55,7 \cdot 10^{-9}. \end{aligned}$$

$$P_{о.ош} = C_8^2 P_1^2 (1 - P_1)^{8-2} = 28 \cdot 10^{-6} (1 - 0,001)^6 = 27,8 \cdot 10^{-6}.$$

Вывод. Вероятность появления необнаруженных ошибок значительно меньше вероятности обнаружения ошибок.

ПРИЛОЖЕНИЯ (справочные)

Приложение 1

Неприводимые многочлены и их эквиваленты

Сте- пень	Многочлен	Двоичная последова- тельность	Сте- пень	Многочлен	Двоичная последователь- ность
1	$x+1$	11	7	x^7+x+1	10000011
2	x^2+x+1	111		x^7+x^3+1	10001001
3	x^3+x+1	1011		$x^7+x^3+x^2+x+1$	10001111
	x^3+x^2+1	1101		$x^7+x^4+x^3+x^2+1$	10011101
4	x^4+x+1	10011		$x^7+x^5+x^2+x+1$	10100111
	x^4+x^3+1	11001		$x^7+x^5+x^3+x+1$	10101011
	$x^4+x^3+x^2+x+1$	11111		$x^7+x^6+x^3+x+1$	11001011
5	x^5+x^2+1	100101	8	$x^7+x^6+x^4+x+1$	11010011
	x^5+x^3+1	101001		$x^8+x^4+x^3+x+1$	100011011
	$x^5+x^3+x^2+x+1$	101111		$x^8+x^4+x^3+x^2+1$	100011101
	$x^5+x^4+x^2+x+1$	110111		$x^8+x^5+x^3+x+1$	100101011
	$x^5+x^4+x^3+x+1$	111011		$x^8+x^5+x^3+x^2+1$	100101101
6	$x^5+x^4+x^3+x^2+1$	111101	$x^8+x^6+x^5+x^2+1$	101100101	
	x^6+x+1	1000011	$x^8+x^7+x^3+x+1$	110001011	
	x^6+x^3+1	1001001	$x^8+x^7+x^5+x^3+1$	110101001	
	$x^6+x^4+x^2+x+1$	1010111	9	x^9+x+1	1000000011
	$x^6+x^4+x^3+x+1$	1011011		x^9+x^4+1	1000010001
	x^6+x^5+1	1100001		$x^9+x^4+x^2+x+1$	1000010111
	$x^6+x^5+x^2+x+1$	1100111		$x^9+x^4+x^3+x+1$	1000011011
	$x^6+x^5+x^3+x^2+1$	1101101	$x^9+x^5+x^4+x+1$	1000110011	
$x^6+x^5+x^4+x+1$	1110011	$x^9+x^6+x^5+x^2+1$	1001100101		
$x^6+x^5+x^4+x^2+1$	1110101	10	$x^{10}+x^3+1$	10000001001	

Приложение 2

Минимальные многочлены циклических кодов

Номер $M(x)$	Минимальные многочлены различных степеней, записанные в виде кодовых комбинаций.								
	2	3	4	5	6	7	8	9	
$M_1(x)$	111	1011	10011	100101	1000011	10001001	100011101	1000010001	
$M_3(x)$		1101	11111	111101	1010111	10001111	101110111	1001011001	
$M_5(x)$			111	110111	1100111	10011101	111110011	1100110001	
$M_7(x)$			11001	101111	1001001	11110111	101101001	1010011001	
$M_9(x)$				110111	1101	10111111	110111101	1100010011	
$M_{11}(x)$				111011	1101101	11010101	111100111	1000101101	
$M_{13}(x)$						10000011	100101011	1001110111	

Параметры циклических кодов БЧХ

n	k	s	r	Образующий многочлен
7	4	1	3	13
15	11	1	4	23
	7	2	8	721
	5	3	10	2467
31	26	1	5	45
	21	2	10	3551
	16	3	15	107657
	11	5	20	5423325
	6	7	25	313365047
63	57	1	6	103
	51	2	12	12471
	45	3	18	1701317
	39	4	24	166623567
	36	5	27	1033500423
	30	6	33	1574641656547
	24	7	39	17323260404441
	18	10	45	1363026512351725
127	120	1	7	211
	113	2	14	41567
	106	3	21	11554743
	99	4	28	3447023271
	92	5	35	624730022327
	85	6	42	130704476332273
	78	7	49	26230002166130115
	71	9	56	6255010713253127753
	64	10	63	1206534025570773100045
255	247	1	8	435
	239	2	16	267543
	231	3	24	156720665
	223	4	32	75626641375
	215	5	40	2315754726421
	207	6	48	16176560567636227
	199	7	56	7633031270420722341
	191	8	64	2663470176115333714567
	187	9	68	52755313540001322236351
	179	10	76	22624710717340432416300455

Таблица интеграла вероятностей $V(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-z^2/2} dz$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Множи- тель
0,0	5,000	4,960	4,920	4,880	4,840	4,801	4,761	4,721	4,681	4,641	10 ⁻¹
0,1	4,602	4,562	4,522	4,483	4,443	4,404	4,364	4,325	4,286	4,247	10 ⁻¹
0,2	4,207	4,168	4,129	4,090	4,052	4,013	3,974	3,936	3,897	3,859	10 ⁻¹
0,3	3,821	3,783	3,745	3,707	3,669	3,632	3,594	3,557	3,520	3,483	10 ⁻¹
0,4	3,446	3,409	3,372	3,336	3,300	3,264	3,228	3,192	3,156	3,121	10 ⁻¹
0,5	3,085	3,050	3,015	2,981	2,946	2,912	2,877	2,843	2,810	2,776	10 ⁻¹
0,6	2,743	2,709	2,676	2,643	2,611	2,578	2,546	2,514	2,483	2,451	10 ⁻¹
0,7	2,420	2,389	2,358	2,327	2,297	2,266	2,236	2,206	2,177	2,148	10 ⁻¹
0,8	2,119	2,090	2,061	2,033	2,005	1,977	1,949	1,922	1,894	1,867	10 ⁻¹
0,9	1,841	1,814	1,788	1,762	1,736	1,711	1,685	1,660	1,635	1,611	10 ⁻¹
1,0	1,587	1,562	1,539	1,515	1,492	1,469	1,446	1,423	1,401	1,379	10 ⁻¹
1,1	1,357	1,335	1,314	1,292	1,271	1,251	1,230	1,210	1,190	1,170	10 ⁻¹
1,2	1,151	1,131	1,112	1,093	1,075	1,056	1,038	1,020	1,003	0,9853	10 ⁻¹
1,3	9,680	9,510	9,342	9,176	9,012	8,851	8,691	8,534	8,379	8,226	10 ⁻²
1,4	8,076	7,927	7,780	7,636	7,493	7,353	7,215	7,078	6,944	6,811	10 ⁻²
1,5	6,681	6,552	6,426	6,301	6,178	6,057	5,938	5,821	5,705	5,592	10 ⁻²
1,6	5,480	4,370	5,262	5,155	5,050	4,947	4,840	4,746	4,648	4,551	10 ⁻²
1,7	4,457	4,363	4,272	4,182	4,093	4,006	3,920	3,836	3,754	3,673	10 ⁻²
1,8	3,593	3,515	3,438	3,362	3,288	3,216	3,144	3,074	3,005	2,938	10 ⁻²
1,9	2,872	2,807	2,743	2,680	2,619	2,559	2,500	2,442	2,385	2,330	10 ⁻²
2,0	2,275	2,222	2,169	2,118	2,068	2,018	1,970	1,923	1,876	1,831	10 ⁻²
2,1	1,786	1,743	1,700	1,659	1,618	1,578	1,539	1,500	1,463	1,426	10 ⁻²
2,2	1,390	1,355	1,321	1,287	1,255	1,222	1,191	1,160	1,130	1,101	10 ⁻²
2,3	1,072	1,044	1,017	0,9903	0,9642	0,9387	0,9137	0,8894	0,8656	0,8424	10 ⁻²
2,4	8,198	7,976	7,760	7,549	7,344	7,143	6,947	6,756	6,569	6,387	10 ⁻³
2,5	6,210	6,037	5,868	5,703	5,543	5,386	5,234	5,085	4,940	4,799	10 ⁻³
2,6	4,661	4,527	4,396	4,269	4,145	4,025	3,907	3,793	3,681	3,573	10 ⁻³
2,7	3,467	3,364	3,264	3,167	3,072	2,980	2,890	2,803	2,718	2,635	10 ⁻³
2,8	2,555	2,477	2,401	2,327	2,256	2,186	2,118	2,052	1,988	1,926	10 ⁻³
2,9	1,866	1,807	1,705	1,695	1,641	1,589	1,538	1,489	1,441	1,395	10 ⁻³
3,0	1,350	1,306	1,264	1,223	1,183	1,144	1,107	1,070	1,035	1,001	10 ⁻³
3,1	9,676	9,354	0,043	8,740	8,447	8,164	7,888	7,622	7,364	7,114	10 ⁻⁴
3,2	6,871	6,637	6,410	6,190	5,976	5,770	5,571	5,377	5,190	5,009	10 ⁻⁴
3,3	4,834	4,665	4,501	4,342	4,189	4,041	3,897	3,758	3,624	3,495	10 ⁻⁴

Продолжение приложения

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Множи- тель
3,4	3,369	3,248	3,131	3,018	2,909	2,803	2,701	2,602	2,507	2,415	10 ⁻⁴
3,5	2,326	2,241	2,158	2,078	2,001	1,926	1,854	1,785	1,718	1,653	10 ⁻⁴
3,6	1,591	1,531	1,473	1,417	1,363	1,311	1,261	1,213	1,166	1,121	10 ⁻⁴
3,7	1,078	1,036	0,9961	0,9574	0,9201	0,8842	0,8496	0,8162	0,784	0,7532	10 ⁻⁴
3,8	7,235	6,948	6,673	6,407	6,152	5,906	5,669	5,442	5,223	5,012	10 ⁻⁵
3,9	4,810	4,615	4,427	4,247	4,074	3,908	3,747	3,594	3,446	3,304	10 ⁻⁵
4,0	3,167	3,3036	2,910	2,789	2,673	2,561	2,454	2,351	2,252	2,157	10 ⁻⁵
4,1	2,066	1,978	1,894	1,814	1,737	1,662	1,591	1,523	1,458	1,395	10 ⁻⁵
4,2	1,335	1,277	1,222	1,168	1,118	1,069	1,022	0,9774	0,9345	0,8934	10 ⁻⁵
4,3	8,540	8,163	7,801	7,455	7,124	6,807	6,503	6,212	5,934	5,668	10 ⁻⁶
4,4	5,413	5,169	4,935	4,712	4,498	4,294	4,098	3,911	3,732	3,561	10 ⁻⁶
4,5	3,398	3,241	3,092	2,949	2,813	2,682	2,558	2,439	2,325	2,216	10 ⁻⁶
4,6	2,112	2,013	1,919	1,828	1,742	1,660	1,581	1,506	1,434	1,366	10 ⁻⁶
4,7	1,301	1,239	1,179	1,123	1,069	1,017	0,9680	0,9211	0,8765	0,8339	10 ⁻⁶
4,8	7,933	7,547	7,178	6,827	6,492	6,173	5,869	5,580	5,304	5,042	10 ⁻⁷
4,9	4,792	4,554	4,327	4,111	3,906	3,711	3,525	3,348	3,179	3,019	10 ⁻⁷
5,0	2,866	2,722	2,584	2,452	2,328	2,209	2,096	1,980	1,877	1,790	10 ⁻⁷
5,1	1,698	1,611	1,528	1,449	1,374	1,302	1,235	1,170	1,110	1,052	10 ⁻⁷
5,2	9,964	9,442	8,946	8,476	8,029	7,605	7,203	6,821	6,459	6,116	10 ⁻⁸
5,3	5,790	5,481	5,188	4,911	4,648	4,389	4,161	3,937	3,724	3,523	10 ⁻⁸
5,4	3,332	3,151	2,980	2,818	2,664	2,518	2,381	2,250	2,127	2,010	10 ⁻⁸
5,5	1,899	1,794	1,695	1,601	1,512	1,428	1,349	1,274	1,203	1,135	10 ⁻⁸
5,6	1,072	1,012	0,9548	0,9010	0,8502	0,8022	0,7569	0,7140	0,6735	0,6352	10 ⁻⁸
5,7	5,990	5,649	5,326	5,021	4,734	4,462	4,206	3,964	3,735	3,519	10 ⁻⁹
5,8	3,316	3,124	2,942	2,771	2,610	2,458	2,314	2,179	2,051	1,931	10 ⁻⁹
5,9	1,818	1,711	1,610	1,515	1,425	1,341	1,261	1,186	1,116	1,049	10 ⁻⁹
6,0	9,866	9,276	8,721	8,198	7,706	7,242	6,806	6,395	6,009	5,645	10 ⁻¹⁰
6,1	5,303	4,982	4,679	4,394	4,126	3,874	3,637	3,414	3,205	3,008	10 ⁻¹⁰
6,2	2,823	2,649	2,486	2,332	2,188	2,052	1,925	1,805	1,693	1,587	10 ⁻¹⁰
6,3	1,488	1,395	1,308	1,226	1,149	1,076	1,009	0,9451	0,8854	0,8294	10 ⁻¹⁰
6,4	7,769	7,276	6,814	6,380	5,974	5,592	5,235	4,900	4,586	4,292	10 ⁻¹¹
6,5	4,016	3,757	,515	3,288	3,076	2,877	2,690	2,516	2,352	2,199	10 ⁻¹¹
6,6	2,055	1,922	1,796	1,678	1,568	1,465	1,369	1,279	1,195	1,116	10 ⁻¹¹
6,7	1,042	0,9731	0,9086	0,8483	0,7919	0,7392	0,6900	0,6439	0,6009	0,5607	10 ⁻¹¹
6,8	5,231	4,880	4,552	4,246	3,960	3,692	3,443	3,210	2,993	2,790	10 ⁻¹²
6,9	2,600	2,423	2,258	2,104	1,960	1,826	1,701	1,585	1,476	1,374	10 ⁻¹²
7,0	1,280	1,192	1,109	1,033	0,9612	0,8946	0,8325	0,7747	0,7208	0,6706	10 ⁻¹²

Окончание приложения

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Множи- тель
7,1	6,238	5,802	5,396	5,018	4,666	4,339	4,034	3,750	3,486	3,240	10 ⁻¹³
7,2	3,011	2,798	2,599	2,415	2,243	2,084	1,935	1,797	1,669	1,550	10 ⁻¹³
7,3	1,439	1,336	1,240	1,151	1,068	0,9910	0,9195	0,8531	0,7914	0,7341	10 ⁻¹³
7,4	6,809	6,315	5,856	5,430	5,034	4,667	4,326	4,010	3,716	3,444	10 ⁻¹⁴
7,5	3,191	2,956	2,739	2,537	2,350	2,176	2,015	1,866	1,728	1,600	10 ⁻¹⁴
7,6	1,481	1,370	1,268	1,174	1,086	1,005	0,9297	0,8600	0,7954	0,7357	10 ⁻¹⁴
7,7	6,803	6,291	5,816	5,377	4,971	4,595	4,246	3,924	3,626	3,350	10 ⁻¹⁵
7,8	3,095	2,859	2,641	2,439	2,253	2,080	1,921	1,773	1,637	1,511	10 ⁻¹⁵
7,9	1,395	1,287	1,188	1,096	1,011	0,9326	0,8602	0,7934	0,7317	0,6747	10 ⁻¹⁵
8,0	6,221	5,735	5,287	4,874	4,492	4,140	3,815	3,515	3,238	2,938	10 ⁻¹⁶
8,1	2,748	2,531	2,331	2,146	1,976	1,820	1,675	1,542	1,419	1,306	10 ⁻¹⁶
8,2	1,202	1,106	1,018	0,9361	0,8611	0,7920	0,7284	0,6698	0,6159	0,5662	10 ⁻¹⁶
8,3	5,206	4,785	4,398	4,042	3,714	3,443	3,146	2,881	2,646	2,431	10 ⁻¹⁷
8,4	2,232	2,050	1,882	1,728	1,587	1,457	1,337	1,227	1,126	1,033	10 ⁻¹⁷
8,5	9,480	8,697	7,978	7,317	6,711	6,154	5,643	5,174	4,744	4,348	10 ⁻¹⁸
8,6	3,986	3,653	3,348	3,068	2,811	2,575	2,359	2,161	1,978	1,812	10 ⁻¹⁸
8,7	1,659	1,519	1,391	1,273	1,166	1,067	0,9763	0,8933	0,8174	0,7478	10 ⁻¹⁸
8,8	6,841	6,257	5,723	5,234	4,786	4,376	4,001	3,657	3,343	3,055	10 ⁻¹⁹
8,9	2,792	2,552	2,331	2,130	1,946	1,777	1,623	1,483	1,354	1,236	10 ⁻¹⁹
9,0	1,129	1,030	0,9404	0,8584	0,7834	0,7148	0,6522	0,5951	0,5429	0,4952	10 ⁻¹⁹
9,1	4,517	4,119	3,756	3,425	3,123	2,847	2,595	2,365	2,155	1,964	10 ⁻²⁰
9,2	1,790	1,631	1,486	1,353	1,232	1,122	1,022	0,9307	0,8474	0,7714	10 ⁻²⁰
9,3	7,022	6,392	5,817	5,294	4,817	4,382	3,987	3,627	3,299	3,000	10 ⁻²¹
9,4	2,728	2,481	2,255	2,050	1,864	1,694	1,540	1,399	1,271	1,155	10 ⁻²¹
9,5	1,049	0,9533	0,8659	0,7864	0,7142	0,6485	0,5888	0,5345	0,4852	0,4404	10 ⁻²¹
9,6	3,997	3,627	3,292	2,986	2,709	2,458	2,229	2,022	1,834	1,663	10 ⁻²²
9,7	1,507	1,367	1,239	1,123	1,018	0,9223	0,8358	0,7573	0,6861	0,6215	10 ⁻²²
9,8	5,629	5,098	4,617	4,181	3,786	3,427	3,102	2,808	2,542	2,300	10 ⁻²³
9,9	2,081	1,883	1,704	1,541	1,394	1,261	1,140	1,031	0,9323	0,842	10 ⁻²³
10,0	7,620										10 ⁻²⁴