

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРАВООХРОНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ

УДК 004.22

В.В. ВОРОНИН

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОШИБКИ ПРИ КОДИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИИ ЦИКЛИЧЕСКИМ КОДОМ

Исследовались возможные конфигурации матриц перемежения для определенных объемов сигнала и приведены результаты математического моделирования матриц перемежения объемом 64, 128, 256, 512, 1024 символов с применением диагонального перемежения, при различных отношениях сигнал/шум.

При проектировании новой системы связи актуальным является вопрос выбора наиболее эффективного способа помехоустойчивого кодирования информации для достижения максимальной достоверности ее передачи. Поэтому целью статьи является численное моделирование вероятности возникновения ошибки при передаче информации циклическим кодом. Ее новизна – в выявлении зависимости вероятности возникновения ошибки при кодировании передаваемой информации одним и тем же помехоустойчивым кодом при различном объеме матрицы передаваемых символов.

Одним из наиболее хорошо проработанных и распространенных методов повышения помехоустойчивости является помехоустойчивое кодирование сообщений в каналах связи. Среди большого разнообразия кодов [1, 2] можем выделить один наиболее широкий класс – блочные коды. Это – коды Хэмминга, циклические, БЧХ, с многократным повторением. Блочные коды, как правило, состоят из набора символов, связанных между собой определенными линейными или нелинейными соотношениями. За счет этой связи возможно обнаружение и исправление ошибок. Блочные коды характеризуются, в основном, тремя параметрами: длиной кодовой комбинации определяемой количеством символов (n); длиной информационной части в одной кодовой комбинации, также определяемой количеством символов (k); и минимальным расстоянием Хэмминга в метрике пространства кода (d), определяющим минимальный вес двух разрешенных кодовых комбинаций. Как правило, параметр d характеризует обнаруживающую и исправляющую способность кода. Например, в простейших блочных кодах количество обнаруживаемых кодом ошибок – d , а количество исправляемых – $(d-1)/2$. При описании код записывают как (n,k,d) или (n,k) . Скорость кода есть отношение количества информационных бит k длине кодовой комбинации.

В помехоустойчивых кодах, кроме информационных элементов, всегда содержится один или несколько дополнительных элементов, являющихся проверочными и слу-

жащих для достижения более высокого качества передачи данных. Наличие в кодах избыточной информации, необходимо для обнаружения и исправления ошибок.

Основными среди многочисленных характеристик корректирующих кодов являются значность, корректирующая способность, избыточность и оптимальность кода, коэффициент обнаружения и исправления ошибки, простота технической реализации метода и другие. Так, значность кода, или длина кодовой комбинации, включает как информационные элементы m , так и проверочные (контрольные) k . Как правило, значность кода $n = m + k$.

Выбор корректирующих кодов в определенной степени зависит от требований, предъявляемых к достоверности передачи. Для правильного его выбора необходимо иметь статистические данные о закономерностях возникновения ошибок, их характере, численности и распределении во времени. Так, например, корректирующий код, исправляющий одиночные ошибки, может быть эффективен лишь при условии, что ошибки статистически независимы, а вероятность их появления не превышает некоторой величины. Этот код оказывается совершенно не пригодным, если ошибки появляются группами (пачками). Рекуррентные коды, исправляющие групповые ошибки, также могут оказаться неэффективными, если количество ошибок при передаче будет больше допустимой нормы.

С помощью математической модели, проведем исследование влияния циклического кода на помехоустойчивость передаваемого сигнала, для беспроводного канала связи с замираниями.

Через канал пропускается сигнал ЧМ с минимальным сдвигом. ЧМ с минимальным сдвигом – это специальная форма двоичной ЧМ, в которой индекс модуляции $h = 1/2$. Фаза несущей на интервале $nT \leq t \leq (n+1)T$ равна:

$$\phi(t; I) = \frac{1}{2} \pi \sum_{k=-\infty}^{n-1} I_k + \pi I_n q(t - kT) = \Theta_n + \frac{1}{2} \pi I_n \left(\frac{t - nT}{T} \right), (1)$$

а сигнал модулированной несущей равен:

$$s(t) = A \cos \left[2\pi f_c t + \theta_n + \frac{1}{2} \pi I_n \left(\frac{t - nT}{T} \right) \right] = A \cos \left[2\pi \left(f_c + \frac{I_n}{4T} \right) t - \frac{1}{2} \pi n I_n + \theta_n \right] \quad (2)$$

Формула (2) указывает на то, что сигнал двоичной ЧМ может быть выражен как синусоида, имеющая одно из двух возможных значений частоты на интервале $nT \leq t \leq (n+1)T$. Если определить эти частоты так:

$$\begin{aligned} f_1 &= f_c - \frac{1}{4T}, \\ f_2 &= f_c + \frac{1}{4T}, \end{aligned} \quad (3)$$

тогда сигнал двоичной ЧМ можно записать в виде:

$$s_i(t) = A \cos \left[2\pi f_i t + \theta_n + \frac{1}{2} n\pi (-1)^{i-1} \right], \quad i = 1, 2. \quad (4)$$

Разность частот $\Delta f = f_2 - f_1 = 1/2T$. Известно что $\Delta f = 1/2T$ – это минимальная разность частот, необходимая для обеспечения ортогональности сигналов $s_1(t)$ и $s_2(t)$ на сигнальном интервале длиной T .

Для математического моделирования релейского канала, применяем формулы, описывающие этот канал. Далее необходимо задаться временем средней длительности замираний и определить ее нормированное значение. После проделанных операций можем определить уровень замираний огибающей [3].

Принимаемая замирающая несущая $c(t) = \text{Re}[z(t)e^{j2\pi f_0 t}]$, где $z(t)$ – комплексный стационарный гауссовский низкочастотный случайный процесс, может быть представлена также в виде:

$$c(t) = R(t) \cos\{2\pi f_0 t + \theta(t)\}, \quad (5)$$

где $R(t)$ и $\theta(t)$ – огибающая и фаза соответственно, определяемые как:

$$R(t) = |z(t)|; \quad \theta(t) = \arg z(t). \quad (6)$$

В любой определенный момент времени $z = z(t)$ является комплексной гауссовской случайной переменной, а функция совместной плотности распределения вероятности величин $R = R(t)$ и $\theta = \theta(t)$ может быть представлена как:

$$\begin{aligned} p(R) &= \frac{R}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right), \quad R \geq 0; \\ p(\theta) &= \frac{1}{2\pi}, \quad -\pi \leq \theta \leq \pi. \end{aligned} \quad (7)$$

Так как многопутевой канал отражает сигналы многократно, то исходный сигнал приходит в точку приема несколькими путями, которые могут иметь различные длины, а следовательно и различные времена запаздывания.

Относительное движение между приемником и передатчиком вызывает доплеровский сдвиг в частоте сигнала. Если мобильный абонент движется с некоторой скоростью v , то доплеровский сдвиг определяется формулой:

$$f_D = \frac{vf}{c}, \quad (8)$$

где f – частота сигнала; c – скорость распространения радиоволны ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с).

Расчет доплеровского сдвига для скорости 60 км/ч:

$$f_D (60 \text{ км/ч}) = \frac{vf}{c} = \frac{60000 \cdot 9 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^8} = 50 \text{ (Гц)} \quad (9)$$

Кроме замираний в канале существует и аддитивный шум. Сигнал с шумом можно записать в виде $r(t) = s(t) + n(t)$, где $n(t)$ – аддитивный шум.

В результате проведенного математического моделирования получены графики, представленные на рис.1-5, выражающие зависимость вероятности возникновения ошибки от соотношения сигнал/шум в канале при кодировании информации циклическим кодом (15,11) с диагональным перемежением.

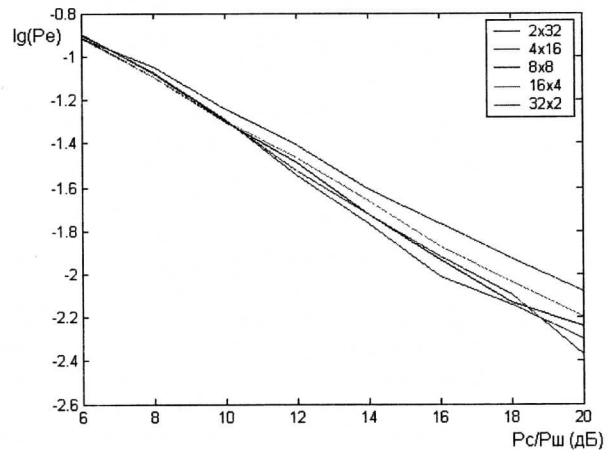


Рисунок 1 - Зависимость вероятности ошибки от соотношения сигнал/шум для матрицы объемом 32 символа с применением циклического кода (15,11) и диагональным перемежением

При отношении сигнал/шум 6 дБ оптимальной является конфигурация 32x2, при отношении сигнал/шум 8 дБ оптимальная конфигурация – 16x4, при отношении сигнал/шум 10 дБ оптимальная конфигурация – 2x32, при отношении сигнал/шум 12-18 дБ оптимальная конфигурация – 8x8, при отношении сигнал/шум 20 дБ оптимальная конфигурация – 4x16.

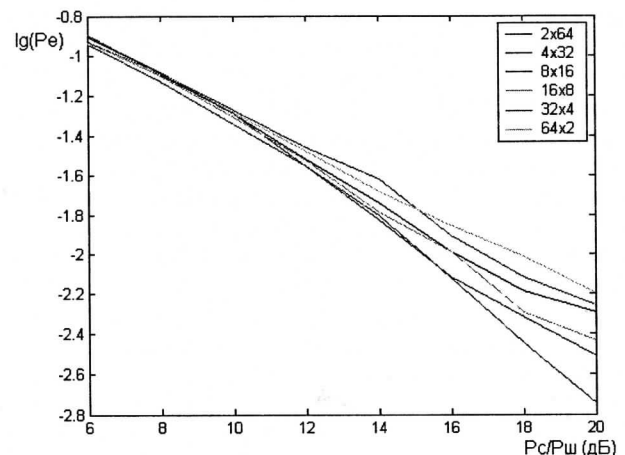


Рисунок 2 - Зависимость вероятности ошибки от соотношения сигнал/шум для матрицы объемом 64 символа с применением циклического кода (15,11) и диагональным перемежением

При отношении сигнал/шум 6-14 дБ оптимальной является конфигурация 4x32, при отношении сигнал/шум 16-20 дБ оптимальная конфигурация – 8x16.

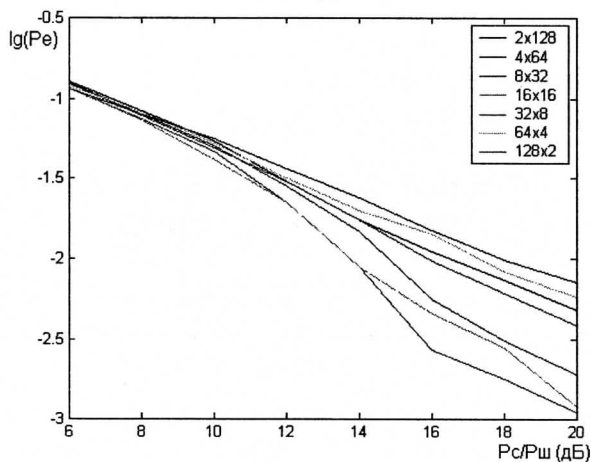


Рисунок 3 - Зависимость вероятности ошибки от соотношения сигнал/шум для матрицы объемом 256 символов с применением циклического кода (15,11) и диагональным перемежением

При отношении сигнал/шум 6-10 дБ оптимальной является конфигурация 16x16, при отношении сигнал/шум 12-20 дБ оптимальная конфигурация – 8x32.

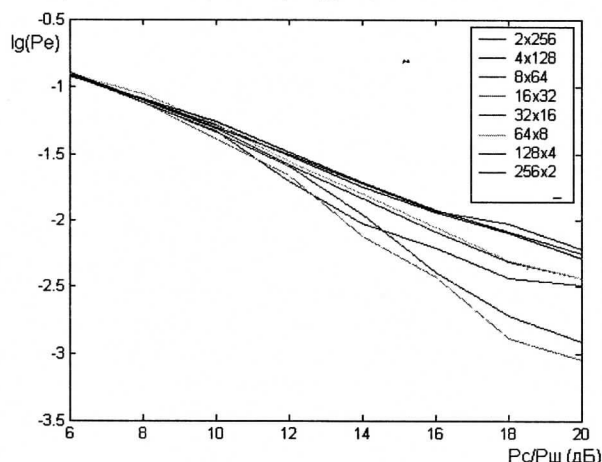


Рисунок 4 - Зависимость вероятности ошибки от соотношения сигнал/шум для матрицы объемом 512 символов с применением циклического кода (15,11) и диагональным перемежением

При отношении сигнал/шум 6 дБ оптимальной является конфигурация 256x2, при отношении сигнал/шум 8 дБ оптимальная конфигурация - 32x16, при отношении сигнал/шум 10 дБ оптимальная конфигурация - 16x32, при отношении сигнал/шум 12 дБ оптимальная конфигурация

- 8x64, при отношении сигнал/шум 14-20 дБ оптимальная конфигурация - 16x32.

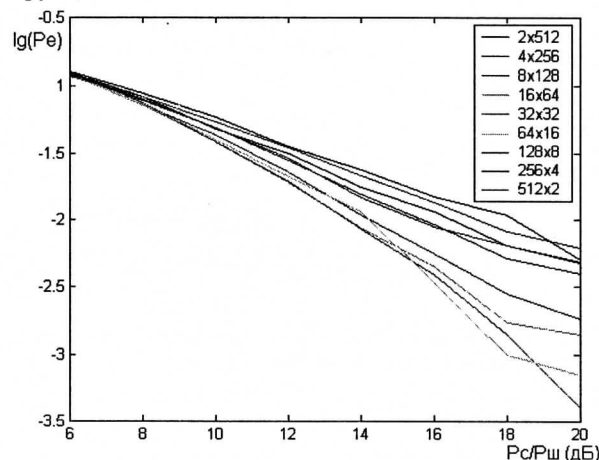


Рисунок 5 - Зависимость вероятности ошибки от соотношения сигнал/шум для матрицы объемом 1024 символов с применением циклического кода (15,11) и диагональным перемежением

Выводы: Полученные нами результаты показывают, что при отношении сигнал/шум 6 дБ оптимальной является конфигурация 512x2, при отношении сигнал/шум 8-12 дБ оптимальная конфигурация – 16x64, при отношении сигнал/шум 14 дБ оптимальная конфигурация – 32x32, при отношении сигнал/шум 16-18 дБ оптимальная конфигурация – 64x16, при отношении сигнал/шум 20 дБ оптимальная конфигурация – 32x32.

Из графиков, изображенных на рисунках 1-5 видно, что нет оптимальной четко выраженной конфигурации матрицы для всего диапазона отношений сигнал/шум. Для малых отношений сигнал/шум (порядка 6 дБ) оптимальной, как правило, является вертикальная конфигурация, при более высоких отношениях сигнал/шум оптимальной является горизонтальная либо квадратная конфигурация. Для матрицы, объемом 128 символов, оптимальная конфигурация во всем исследуемом диапазоне отношений сигнал/шум имеет горизонтальный вид.

ЛИТЕРАТУРА

1. Питерсон У., Уэлдон Э. Коды, исправляющие ошибки. –М.: Мир, 1976. –594 с.
2. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра /Под ред. В.И. Журавлева. –М.: Радио и связь, 2000. –520 с.
3. Колесник В.Д., Мирончиков Е.Т. Декодирование циклических кодов. –М.: Связь, 1968. –320 с.

Поступила в редколлегию 16.04.2006

ВОРОНИН В.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ ВИНИКНЕННЯ ПОМИЛКИ ПРИ КОДУВАННІ ІНФОРМАЦІЇ ЦИКЛІЧНИМ КОДОМ

Досліджувалися можливі конфігурації матриць перемеження для певних обсягів сигналу й приведені результати математичного моделювання матриць перемеження обсягом 64, 128, 256, 512, 1024 символів із застосуванням діагонального перемеження, при різних відносинах сигнал/шум.

VORONIN V.V. RESEARCH PROBABILITY OF OCCURRENCE A MISTAKE AT CODING THE INFORMATION BY A CYCLIC CODE

The possible configurations of matrixes intersections for the certain volumes of a signal were investigated and results of mathematical modelling of matrixes intersections by volume 64, 128, 256, 512, 1024 symbols with application diagonal intersections are resulted, at various attitudes signal/noise.