

УДК 621.391

Ю.Д. ШироковГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк
кафедра автоматики и телекоммуникаций
E-mail: shirokov38@mail.ru**МАЖОРИТАРНЫЙ МЕТОД КОДИРОВАНИЯ ДАННЫХ
В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ КАНАЛАХ**

Рассматриваются вопросы оценки верности данных, передаваемых по составным каналам в сетях доступа с высокими уровнями помех. Коррекция ошибок в телекоммуникационных сетях на канальном уровне осуществляется путем обнаружения ошибок циклическим кодом с кодовым расстоянием $d=4$ и повторной передачей кадра данных. Наличие распределенных в пространстве независимых источников помех приводит к группированию ошибок в передаваемом кадре данных и появлению эффекта повторного искажения бита при его передаче по различным участкам составного канала связи. Появление длин пакетов ошибок, превышающих количество контрольных символов циклического кода, снижает эффективность обнаружения ошибок в массиве передаваемых данных.

Ключевые слова: составной канал связи, многомерное распределение ошибок Пуассона, мажоритарное кодирование, вероятностные характеристики.

Постановка проблемы

Реальные каналы связи сетей доступа, разделенных транспортной сетью, характеризуются высокими уровнями помех от различных источников помех, распределенных в пространстве, что требует разработки эффективных методов защиты передаваемой дискретной информации от ошибок.

Методы коррекции ошибок в телекоммуникационных сетях основаны на обнаружении ошибок циклическим кодом с кодовым расстоянием $d=4$ и повторной передаче кадра данных. При наличии пакетов ошибок снижается эффективность обнаружения ошибок в массиве передаваемых данных.

Вопросы оценки эффективности каналов связи рассмотрены в работах [1–5] с помощью различных математических моделей потоков ошибок в каналах связи, учитывающих влияние отдельных факторов. Эти модели не учитывают того, что транспортная система телекоммуникационной сети может объединять линии связи с различными физическими средами, технологиями передачи и источниками помех, то есть для обмена информацией формируется составной канал (СК). В работе [3] предложена многомерная пуассоновская модель потока ошибок в СК, учитывающая группирование ошибок и повторное воздействие их на элементы сообщения в различных сегментах СК. В работах [4–7] полно рассмотрены теоретические и практические аспекты построения мажоритарных кодов. Однако в этих работах не отражены вопросы их эффективности в СК с учетом побитового искажения данных.

Целью работы является исследование эффективности применения мажоритарного кодирования данных в составных каналах сетей доступа.

Решение задачи

Исследование проводилось на модели составного канала (СК) [3] при следующих условиях:

© Широков Ю.Д., 2013

1. Количество участков составного канала –3, длина передаваемого сообщения по СК определялась форматом Ethernet-1520байт.

2. Закон распределения помех на участках и выходном участке СК – пуассоновский:

$$P_m = \frac{a^m}{m!} e^{-a} \quad (m = 0, 1, \dots) \tag{1}$$

где $a = \sum(\lambda_i \cdot \tau_i)$ - параметр распределения, $a > 0$; λ_i , τ_i - соответственно частота следования помех и длительность сообщения в i -м участке канала.

3. Распределение интервалов между искаженными битами на каждом участке канала – геометрическое (задает вероятность $P(x)$ того, что искажение наступило на определенном шаге x , дискретный аналог показательного распределения)

$$P(x) = p(1-p)^{x-1} \tag{2}$$

где p —вероятность ошибки бита, $x = 1, 2, 3, \dots$

4. Вероятность появления пакетов ошибок P_{Π} длиной $m+1$ бит, где m -показатель степени образующего полинома циклического кода, применяемого для обнаружения ошибок на канальном уровне, описывается в виде:

$$P_{\Pi} = (1/2)^{m-1} \tag{3}$$

Для $m=16$ $P_{\Pi}=0.00003$.

5. Среднее значение интервала, свободного от ошибок, T_{co} определяется в зависимости от длины блока $N_{бл}$, скорости передачи V (бит/с) и вероятности ошибки в блоке $P_{бл}$ выражением:

$$T_{co} \mid M_{бл} \rightarrow \infty = N_{бл} / (V \cdot P_{бл}) \tag{4}$$

где $M_{бл}$ - количество блоков.

Вероятность блока с ошибками определяется как

$$P_{бл} = 1 - e^{-\lambda \cdot \tau} = 1 - e^{-p \cdot N_{бл}} \tag{5}$$

где λ и τ – соответственно частота следования помех и длительность передачи блока.

Входными параметрами модели являются количество циклов моделирования, длина и содержание передаваемого сообщения, скорость передачи, частота следования импульсных помех. Выходными параметрами являются: в режиме моделирования одного участка – номера сообщений с ошибками номера и количество ошибочных бит в сообщении, а также статистические данные по распределению ошибок в процентах; в режиме моделирования СК с тремя участками – статистику распределения ошибок по всем участкам и количество повторно искаженных бит. Анализ ошибок в переданных сообщениях проводился по трем участкам СК для скоростей передачи от 1,96 кбит/с до 10 мбит/с, частотами следования помех от долей имп/с до десятков имп/с. В таблицах 1-11 приведены фрагменты результатов моделирования, отражающие высокие уровни помех и искажения переданных сообщений.

Таблица 1

Число ошибочных бит в сообщениях, $V=0.25$ мбит/с, $\lambda=60$ имп/с

№сообщ	Номера ошибочных бит
1	1129
2	7427,9077
3	1165,1441,2905,3418,7953,10545
5	2483,2823,4111,4507,8042,8191,9279,9732,10186

Таблица 2

Процент сообщений с ошибками, $V=0.25$ мбит/с, $\lambda=60$ имп/с

Кол ош в сообщ	0	1	2	3	≥ 4
процент	5,25	14,5	24,25	21,75	34,25

Таблица 3

Число ошибочных бит в сообщениях, $V=0.5$ мбит/с, $\lambda=120$ имп/с

Нсообщ	Номера ошибочных бит
139	2842.6054.10834.11171.11966
140	1554.6093.7038.8234.9643.10549.12027
141	441.1215.3379.5483.6558.7750
143	1829.3402.3662.4713.5549.9894.11435

Таблица 4

Процент сообщений с ошибками, $V=0.5$ мбит/с, $\lambda=120$ имп/с

Кол ош в сообщ	0	1	2	3	≥ 4
процент	5,25	17.25	21	20.75	35.75

Таблица 5

Число ошибочных бит в сообщениях, $V=1.0$ мбит/с, $\lambda=500$ имп/с

Нсообщ	Номера ошибочных бит
1	1633.1831.8780.11408
2	254.969.1373.11493.11893
3	4484.4565.5270.6406.9852.10623
4	1642.2057.3246.3975.4304.11658

Таблица 6

Процент сообщений с ошибками, $V=1.0$ мбит/с, $\lambda=500$ имп/с

Кол ош в сообщ	0	1	2	3	≥ 4
процент	0	1.75	4.5	8.5	85.25

Таблица 7

Число ошибочных бит в сообщениях, $V=2.0$ мбит/с, $\lambda=500$ имп/с

Нсообщ	Номера ошибочных бит
1	5932.9360
2	461
3	6477.6541.7576.8067.9556
5	2632.3994.4720.7441

Таблица 8

Процент сообщений с ошибками, $V=2.0$ мбит/с, $\lambda=500$ имп/с

Кол ош в сообщ	0	1	2	3	≥ 4
процент	4.5	14.25	23.25	23	35

Таблица 9

Число ошибочных бит в сообщениях, $V=100$ мбит/с, $\lambda=2200$ имп/с

№сообщ	Номера ошибочных бит
1	1781.7864.10620
2	948.2610.5490.6138.9774
3	1705.6159.6198.7098.11223
4	2095.8148

Таблица 10

Процент сообщений с ошибками, $V=10.0$ мбит/с, $\lambda=2200$ имп/с

Кол ош в сообщ	0	1	2	3	≥ 4
процент	7	17.75	25.25	24	26

Таблица 11

Статистика ошибок в сегментах СК

Кол ош в сообщ	0	1	2	3	≥ 4
Кол сообщ (1участок)	236	339	253	113	59
P - % (1участок)	23.6%	33.9%	25.3%	11.3%	5.9%
Кол сообщ (2участок)	228	362	231	114	65
P - % (2участок)	22.8%	36.2%	23.1%	11.4%	6.5%
Кол сообщ (3участок)	263	306	239	124	68
P - % (3участок)	26.3%	30.6%	23.9%	12.4%	6.8%
Кол повт иск бит	1				

Анализ сообщений на приемной стороне (таблицы 1-11) показал:

1. Даже для наихудшего случая (все сообщения приняты с ошибками) в группах по три сообщения на каждую "триаду" приходится не более одного искаженного бита. Это позволяет применить мажоритарное кодирование для каждого бита при вводе данных и декодирование по методу "два из трех", то есть "триада" является кодом с кодовым расстоянием $d = 2s+1=3$, где $s=1$ - количество исправляемых ошибок.

2. Присутствие повторно искаженных бит, обусловленное воздействием на один и тот же бит помех от разнесенных в пространстве различных источников. Вероятность повтор-

ного искажения бита P_{pi} может быть вычислена с учетом попадания одиночного импульса помехи на интервал длительности бита τ_b по выражению:

$$P_{pi} = \lambda_1 \tau_{b1} (1 - \lambda_1 \cdot \tau_{b1}) \cdot \lambda_2 \tau_{b2} (1 - \lambda_2 \cdot \tau_{b2}) \quad (6)$$

Вероятность ошибки декодирования бита по методу "два из трех" определяется в виде

$$P_{0M} = P(1)P(2)(1-P(3)) + P(1)P(3)(1-P(2)) + P(2)P(3)(1-P(1)) + P(1)P(2)P(3), \quad (7),$$

где $P(i)$ - соответственно вероятности искажения трижды повторяемого бита с удалением на n тактов. После подстановки (2) в (7), преобразования и пренебрежения последним слагаемым получим:

$$P_{0M} = P(n) \approx 2p^2(1-p)^{n-1} \quad (8)$$

Кодирование отдельных бит путем их повторения и блока циклическим кодом приводит к формированию каскадного кода с минимальным кодовым расстоянием $D = d_1 d_2 = 12$, где $d_1 = 3$, $d_2 = 4$ - минимальные расстояния составляющих кодов.

Принятая из канала последовательность сначала декодируется мажоритарным декодером внутреннего кода, а затем полученная последовательность декодируется декодером внешнего циклического кода. Все одиночные ошибки, попадающие на "триады", исправляются, а двойные и тройные - приводят к трансформации бита.

Из выражения (8), задавая допустимым значением вероятности ошибки $P_{0M} = P_{доп}$, с учетом величины отношения вероятностей $P_{доп} / p \ll 1$ и представления логарифмов в виде рядов определяется количество тактов разноса n дублируемого бита:

$$n \approx [8/(3p)], \quad (9)$$

где $[\cdot]$ - целое большее число.

Выводы

Из выше изложенного следует:

1. В составных каналах сетей телекоммуникаций происходит группирование ошибок от разнесенных в пространстве источников помех. Кроме того, возникает эффект повторного искажения бит информации.

2. Существующее циклическое кодирование не справляется с обнаружением пакетов ошибок большой длины.

3. Применение мажоритарного кодирования данных и циклического кодирования на канальном уровне приводит к существенному увеличению и корректирующей способности полученного каскадного кода. Часть ошибок исправляется мажоритарным декодером, а часть обнаруживается циклическим декодером с последующим переспросом данных.

4. Вероятность битовой ошибки мажоритарного декодера пропорциональна квадрату битовой ошибки сообщения в канале связи.

Список использованной литературы

1. Вудворд Ф. Теория вероятностей и теория информации с применением в радиолокации / Ф. Вудворд. - М.: Сов. радио. - 1955. - 240 с.
2. Широков Ю. Д. Модель ошибок в составных каналах связи / Ю. Д. Широков, М. Хашан // «Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых»: XI Международная научно-техническая конференция. - Донецк: ДонНТУ, 2012.
3. Советов Б. Я. Эффективность введения избыточности в системы передачи телемеханической информации / Б. Я. Советов. - Л.: Наука, 1970. - 130 с.
4. Верма П. Сети связи ЭВМ. Оценка эффективности функционирования: Структурный анализ / П. Верма. - М.: Радио и связь, 1992. - 113 с.
5. Колесник В. Д. Декодирование циклических кодов / В. Д. Колесник, Е. Т. Мирончиков - М.: Связь, 1968. - 252 с.

6. Кулик И. А. Мажоритарный способ передачи на основе кода с битом паритета / И.А. Кулик, Е.А. Онанченко, В.Б. Чередниченко // Вісник СумДУ .Серия Технічні науки. – 2010. – №1. – С. 127- 133.

Надійшла до редакції:
24.04.2013

Рецензент:
д-р техн. наук, проф. Зорі А.А.

Ю.Д. Широков

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Мажоритарний метод кодування даних у телекомунікаційних каналах. Аналізується ефективність застосування кодування даних у форматі TCP/IP у виду каскаду: внутрішній код мажоритарний і зовнішній - циклічний. Оцінки розглядає питання точності даних, що передаються по комбінованих каналах у мережі доступу з високим рівнем помилок. Виправлення помилок в телекомунікаційних мережах на дані виконує циклічний код $d = 4$ і повторне відправлення даних кадру. Присутність розподілених джерел перешкод призводить до групування помилок у кадрі даних та вплив на одноразові перешкоди біта в спотворенні інформації, коли він надсилається на різних частинах складеного каналу. Поява довжин пакетів перевищує кількість символів контролю циклічного коду, знижує ефективності виявлення помилок у передачі даних.

Ключові слова: канал зв'язку, багатовимірний закон помилок Пуассона, код мажоритарний.

Yu.D. Shirokov

Donetsk National Technical University

The Majority Method of Data Encoding for Telecommunication Channels. This article provides an analysis of the effectiveness of the cascade data encoding protocol TCP/IP. We study the problem of fidelity of data transmitted by composite channels in access networks with high levels of interference. Error correction in telecommunication networks at data link level is performed by error detection with a cyclic code with code distance $d = 4$ and data frame re-sending. The presence of distributed independent interference sources leads to the grouping of errors in the transmitted data frame and causes the effect of repeated bit misrepresentation during the transmission through different segments of a composite channel. The appearance of packet lengths, which exceed the number of control characters of cyclic code, reduces the effectiveness of detecting errors in the transmitted data. An effective method of detecting and correcting errors is majority coding. Errors modeling in an Ethernet message showed that data bits encoding using the "two-out-of-three" method allows correcting a great number of errors. First the sequence is decoded by a majority internal code decoder, and then the obtained sequence is decoded by an external cyclic code decoder. All single errors that fall in "triads" are corrected, while double and triple errors lead to bits transformation. The article contains the dependencies to determine the probabilities of repeated misrepresentation of bits and of errors on the output of the majority decoder.

Keywords: communication, multivariate Poisson error distribution, majority code.