

## МАЖОРИТАРНЫЙ СПОСОБ ПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ КОДА С БИТОМ ПАРИТЕТА

*И.А. Кулик, канд. техн. наук, доцент;*

*Е.Л. Онанченко, канд. техн. наук, доцент;*

*В.Б. Чередниченко\*,*

*Сумский государственный университет, г. Сумы;*

*\*Сумский филиал Харьковского национального университета  
внутренних дел, г. Сумы*

*В статье предлагается метод повышения верности передачи данных, основанный на комбинировании мажоритарного принципа кодирования и кода с битом паритета. Рассмотрены критерии правильности принятых комбинаций, существенно расширяющие класс обнаруживаемых ошибок. Приведена оценка вероятности необнаруживаемой ошибки для предлагаемого метода.*

***Ключевые слова:** верность передачи, помехоустойчивость, мажоритарный принцип, код с битом паритета, вероятность ошибки.*

*У статті пропонується метод підвищення правильності передачі даних, який базується на комбінуванні мажоритарного принципу кодування і коду з бітом паритету. Розглянуті критерії правильності прийнятих комбінацій, що істотно розширюють клас помилок, які виявляються. Наведена оцінка імовірності помилок, які не виявляються, для методу, що пропонується.*

***Ключові слова:** підвищення правильності передачі, завадостійкість, мажоритарний принцип, код з бітом паритету, імовірність помилок.*

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Выбор метода защиты данных от помех при передаче по каналу связи основывается прежде всего на учете следующих факторов:

- тип канала передачи;
- уровень помех и их группирование в канале связи;
- ограничения на аппаратно-программные затраты и время выдачи информации потребителю.

Для симплексных каналов связи повышение верности передачи может быть достигнуто только за счет применения корректирующих кодов или путем многократного повторения данных, т.е. используя мажоритарный принцип передачи сообщений. Если ошибки в дискретном канале независимы или они группируются в пакеты небольшой кратности, то необходимая помехоустойчивость сравнительно легко может быть получена за счет применения корректирующих кодов, например кодов Хэмминга или Файра. С увеличением длины пакета (пять и более ошибок) кодирующие и декодирующие устройства становятся очень громоздкими, а сами процедуры кодирования и декодирования могут занимать значительное время [1, 2]. В этом случае целесообразно использовать мажоритарный принцип передачи, причем длина повторяемого сообщения должна быть не менее длительности пакета ошибок.

Мажоритарный способ передачи является наиболее простым способом повышения верности, который состоит в том, что в канал посылается нечетное число раз одно и то же сообщение, а на приемной стороне происходит сравнение между собой одноименных кодовых комбинаций (или двоичных разрядов). Потребителю выдается то сообщение (или бит), которое было принято большее число раз. Недостатком такого способа передачи является то, что избыточность информации растет пропорционально количеству повторений одних и тех же сообщений, аналогично возрастают и затраты времени на передачу всего блока.

Данный недостаток становится еще более заметным при пакетировании ошибок, когда приходится производить их декорреляцию, т.е. повторять не отдельные сообщения, а их группы или весь массив. Кроме того, присущее мажоритарному способу скачкообразное изменение избыточности в зависимости от числа повторов сообщений или числа сообщений, входящих в один повтор, представляет собой достаточно неудобный механизм для адаптации к уровню помех в канале и достижения требуемой помехоустойчивости передачи.

Целью данной работы является уменьшение информационной избыточности мажоритарного кодирования при требуемом уровне помехозащищенности данных и ограничениях на объем аппаратно-программных затрат и время выдачи информации потребителю.

С учетом вышеприведенных недостатков мажоритарного способа передачи представляется актуальным для достижения сформулированной цели решение следующих задач:

1) разработка метода обеспечения требуемой верности передачи за счет комбинирования мажоритарного способа кодирования и помехоустойчивого кода;

2) разработка механизма плавного изменения помехоустойчивости (избыточности) мажоритарного способа кодирования при фиксированном критерии  $r/m$  обнаружения ошибки, где  $r$  – число совпадающих двоичных сообщений (или разрядов), а  $m$  – число повторов двоичных сообщений (или разрядов).

В работе [3] был предложен подход к решению поставленных задач, заключающийся в комбинировании мажоритарного способа передачи и различных ошибкообнаруживающих и корректирующих кодов. Принимая во внимание ограничения на аппаратно-программные затраты при построении кодирующих и декодирующих устройств и ограничения на время задержки выдачи данных приемнику, предлагается вместе с мажоритарным способом передачи использовать код с битом паритета. Устройства кодирования и декодирования кода с битом паритета являются весьма простыми, а сам код – широко распространенным в различных информационных системах, прежде всего в системах передачи и локальных сетях.

В рамках решения сформулированных в данной работе задач представляет интерес анализ помехоустойчивости мажоритарного способа передачи при следующих обстоятельствах:

1) поразрядном сравнении как более эффективном с точки зрения обнаружения ошибок;

2) с учетом свойств повторяемой кодовой комбинации с битом паритета.

Анализ помехоустойчивости следует проводить на основе такого критерия, как вероятность необнаруживаемой ошибки, обоснование которого приведено в работе [4].

## 1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К ИССЛЕДОВАНИЮ

В качестве модели канала передачи используем несимметричный канал без памяти, в котором вероятности правильной передачи для двоичных нуля и единицы отличаются друг от друга:  $p_{11} \neq p_{00}$ . Такая модель канала находит наибольшее применение, поскольку моделируемые ее реальные каналы наиболее часто встречаются на практике. В дальнейших расчетах примем изменение вероятности  $p_{11}$  в пределах

$$0,75 \leq p_{11} \leq 1. \quad (1)$$

Исследуем мажоритарный способ передачи при поразрядном сравнении в сочетании с кодом длины  $n = 7$  разрядов, имеющий дополнительный восьмой разряд с битом паритета (четности или нечетности). Критерием оценки правильности принятых двоичных разрядов является критерий  $2/3$ , то есть передача данных осуществляется на основе трехкратного повторения кодовых комбинаций.

В соответствии с [2] вероятности правильного приема двоичных разрядов при мажоритарном поразрядном сравнении определяются как

$$P_{M11} = 3 \cdot p_{11}^2 - 2 \cdot p_{11}^3, \quad (2)$$

$$P_{M00} = 3 \cdot p_{00}^2 - 2 \cdot p_{00}^3. \quad (3)$$

## 2 МАЖОРИТАРНЫЙ СПОСОБ ПЕРЕДАЧИ И КОД С БИТОМ ПАРИТЕТА

Одним из широко применяемых кодов для передачи информации является код с битом паритета. Значение данного бита определяется четностью (или нечетностью) количества содержащихся в передаваемой комбинации двоичных единиц. С целью принятия решения о безошибочности передачи на приемной стороне производится контроль соответствия количества единиц в принятой комбинации и значения бита паритета. Кодирующие и декодирующие устройства кода с битом паритета имеют весьма простую схемотехническую реализацию, основанную на применении сумматоров по модулю два или счетных триггеров [1, 2]. Вероятность  $V_k$  необнаруживаемой ошибки для кода с битом паритета, приведенная в работе [5], имеет следующий вид:

$$V_k = \sum_{\alpha=0}^{\lfloor \frac{m-1}{2} \rfloor} \sum_{\beta=0}^{\lfloor \frac{k-1}{2} \rfloor} C_m^{2\alpha+1} C_k^{2\beta+1} p_{00}^{[m-(2\alpha+1)]} p_{01}^{(2\alpha+1)} p_{11}^{[k-(2\beta+1)]} p_{10}^{(2\beta+1)} + \sum_{\alpha=0}^{\lfloor \frac{m}{2} \rfloor} \sum_{\beta=0}^{\lfloor \frac{k}{2} \rfloor} C_m^{2\alpha} C_k^{2\beta} p_{00}^{[m-2\alpha]} p_{01}^{2\alpha} p_{11}^{[k-2\beta]} p_{10}^{2\beta} - p_{00}^m p_{11}^k. \quad (5)$$

Комбинирование кода с битом паритета с мажоритарным способом передачи позволяет выявить ошибки, которые не обнаруживаются при их раздельном использовании. В результате достаточно существенно повышается помехозащищенность передачи при таком комбинированном подходе к защите информации от ошибок. Особого внимания заслуживает то обстоятельство, что это происходит, с одной стороны, без увеличения числа повторов передаваемого сообщения, а с другой - без перехода к более сложному помехоустойчивому коду.

На рисунке 1 продемонстрирована ситуация, когда обнаружение ошибки в исходном сообщении осуществляется только за счет свойств применяемого кода с битом паритета. При этом учет только лишь критерия  $2/3$  мажоритарности привел бы к выдаче потребителю ошибочной комбинации. Действительно, на рисунке 1 исходное сообщение 1100100 дополняется единичным битом паритета с тем, чтобы привести количество единиц к четному значению (контроль по четности). В первой и третьей попытках повторной передачи комбинации произошла одинаковая ошибка: во втором разряде слева вместо двоичной единицы принят двоичный ноль. Поскольку ошибочная комбинация 10001001

повторяется дважды, то согласно мажоритарному принципу она могла бы считаться правильной, что противоречит второму критерию – четности числа принятых двоичных единиц и в результате ошибка будет обнаружена.

На рисунке 2 отражена обратная ситуация, когда обнаружение ошибки в том же исходном сообщении 1100100 осуществляется за счет мажоритарности, а критерий четности количества единиц в принятом сообщении оказывается недейственным. Произошедшая двойная ошибка во втором и пятом разрядах первого повтора и во втором и третьем разрядах третьего повтора комбинации привела к четному значению числа единиц, что является допустимым при проверке на четность. Но все три принятых комбинации являются различными, и в результате такая ошибка также будет обнаружена.

Исходное сообщение:																							
1-й повтор								2-й повтор								3-й повтор							
1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1
Принятое сообщение:																							
1-й повтор								2-й повтор								3-й повтор							
1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1

Рисунок 1 – Обнаружение ошибки за счет контроля по четности числа единиц

Исходное сообщение:																							
1-й повтор								2-й повтор								3-й повтор							
1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1
Принятое сообщение:																							
1-й повтор								2-й повтор								3-й повтор							
1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1

Рисунок 2 – Обнаружение ошибки за счет критерия мажоритарности

Следовательно, можно заключить, что при таком подходе, заключающемся в комбинировании критериев проверки на ошибку, вероятность необнаруживаемой ошибки будет существенно снижена. Запишем формулу (5) с учетом соотношений для мажоритарного поразрядного сравнения (2, 3):

$$\begin{aligned}
 V_{Mk} = & \sum_{\alpha=0}^{\lfloor \frac{m-1}{2} \rfloor} \sum_{\beta=0}^{\lfloor \frac{k-1}{2} \rfloor} C_m^{2\alpha+1} C_k^{2\beta+1} P_{00M}^{[m-(2\alpha+1)]} P_{01M}^{(2\alpha+1)} P_{11M}^{[k-(2\beta+1)]} P_{10M}^{(2\beta+1)} + \\
 & + \sum_{\alpha=0}^{\lfloor \frac{m}{2} \rfloor} \sum_{\beta=0}^{\lfloor \frac{k}{2} \rfloor} C_m^{2\alpha} C_k^{2\beta} P_{00M}^{[m-2\alpha]} P_{01M}^{2\alpha} P_{11M}^{[k-2\beta]} P_{10M}^{2\beta} - P_{00M}^m P_{11M}^k.
 \end{aligned} \tag{6}$$

Функции (5) и (6) явились основой для дальнейшего графического анализа с использованием интегральных значений вероятности необнаруживаемой ошибки. Графики функций (5) и (6) приведены на рисунках 3 и 4 соответственно.

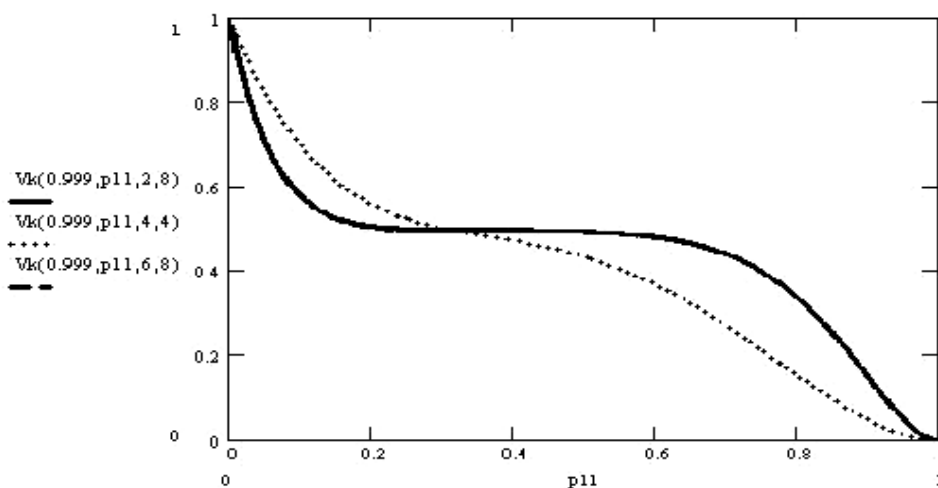


Рисунок 3 – График вероятности необнаруживаемой ошибки при обычном использовании кода с битом паритета

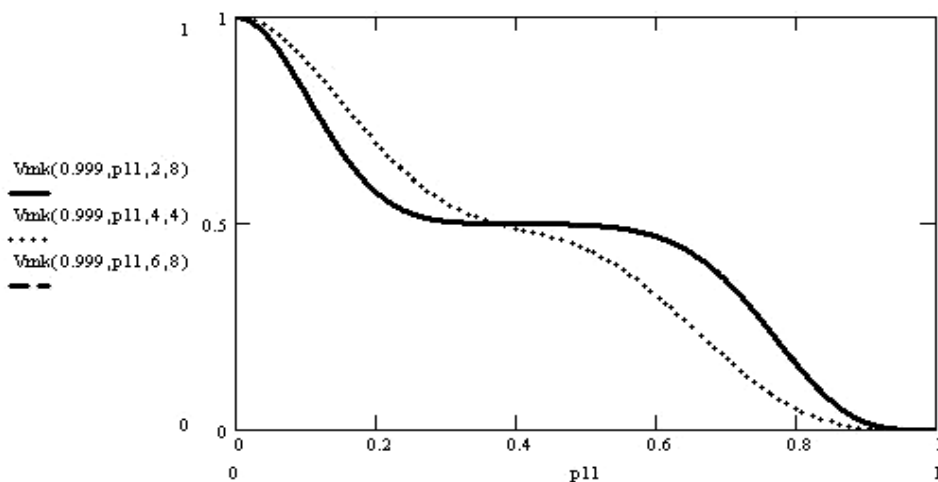


Рисунок 4 – График вероятности необнаруживаемой ошибки при комбинированном способе передачи

В связи с тем, что в большинстве случаев на практике имеют дело с нестационарными каналами, когда  $p_{11}$  (или  $p_{00}$ ) изменяются во времени в пределах  $p_1 \leq p_{11} \leq p_2$ , то для сравнения вероятностей необнаруживаемой ошибки введем величину средней вероятности  $V_{cp}$  в диапазоне от  $p_1$  до  $p_2$ . С математической точки зрения величина  $V_{cp}$  представляет собой плотность распределения вероятности и представляет интеграл функции вероятности  $V_k$  необнаруживаемой ошибки для кода с битом паритета

$$V_{kcp} = \int_{p_1}^{p_2} V_k dp_{11} \quad (7)$$

и вероятности  $V_{Mk}$  мажоритарного способа передачи с использованием кода с битом паритета

$$V_{Mkcp} = \int_{p_1}^{p_2} V_M(p_{11}) dp_{11} \cdot \quad (8)$$

Проинтегрируем исследуемые функции (5, 6) в соответствии с (7, 8) по вероятности  $p_{11}$  в пределах (1) и вычислим их отношение:

$$A = \frac{V_{kcp}}{V_{Mkcp}}. \quad (10)$$

В результате получаем

$$V_{kcp} = \int_{0,75}^1 V_k(p_{11}) dp_{11} = 0,021,$$

$$V_{Mkcp} = \int_{0,75}^1 V_{Mk}(p_{11}) dp_{11} = 6,189 \cdot 10^{-3}.$$

Подставив вычисленные значения  $V_{kcp}$  и  $V_{Mkcp}$  в выражение (10), находим величину  $A$ :

$$A = \frac{V_{kcp}}{V_{Mkcp}} = \frac{\int_{0,75}^1 V_k(p_{11}) dp_{11}}{\int_{0,75}^1 V_{Mk}(p_{11}) dp_{11}} = 3,398.$$

Исходя из значения  $A = 3,398$ , можно сделать вывод о более эффективном использовании кода с битом паритета в сочетании с мажоритарным способом передачи. Кроме того, такое комбинирование позволяет расширить класс обнаруживаемых ошибок, которые при раздельном использовании кода с битом паритета и мажоритарного способа являлись бы необнаруживаемыми.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ мажоритарного использования кода с битом паритета позволяет заключить, что комбинирование мажоритарного способа передачи с кодом контроля по четности (нечетности) предоставляет возможность:

1) в существенной степени уменьшить вероятность необнаруживаемой ошибки по сравнению с:

- немажоритарным использованием кода с битом паритета;
- мажоритарным способом передачи обычных двоичных комбинаций;

2) расширить класс обнаруживаемых ошибок.

Очевидно также, что сообщения, построенные по принципу сочетания ошибкообнаруживающих кодов с мажоритарным способом передачи, будут иметь меньшую избыточность, чем при мажоритарном способе передачи обычных двоичных комбинаций. При этом, используя различные помехоустойчивые коды, включительно код с битом паритета, можно достигнуть нескачкообразного увеличения длины информационных последовательностей.

Предложенные меры по повышению эффективности мажоритарного способа передачи могут найти широкое применение при построении мобильных телекоммуникационных систем с высокой помехозащищенностью, таких как бортовых систем автоматического управления, дистанционных автоматизированных систем контроля и управления опасными объектами и т.д.

Перспективной разработкой является разработка адаптационных мер по выбору ошибкообнаруживающего и корректирующего кода для мажоритарного способа передачи в зависимости от интенсивности помех в канале связи.

## SUMMARY

### MAJORITY METHOD OF DATA TRANSMISSION ON BASIS OF CODE WITH A PARITY BIT

*I.A. Kulik, E.L. Onanchenko, V.B. Cherednichenko\**

*Sumy State University, Sumy*

*\*Sumy Branch of Kharkov National University of Internal Affairs, Sumy*

*The method of increasing fidelity of data transmission, based on combining majority principle of coding and code with a parity bit, is offered in the paper. The criteria of correctness for received combinations, extending a class of detectable errors, are considered. The estimation for probability of not-detectable errors for the offered method is given.*

**Key words:** *Fidelity of transmission, noise immunity, majority principle, code with a parity bit, probability of an error.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьмин И.В. Кодирование и декодирование в информационных системах / И.В. Кузьмин, В.И. Ключко, В.А. Литвин. – К. Вища шк. Головное изд-во, 1985. – 190 с.
2. Чернега В.С. Расчет и проектирование технических средств обмена и передачи информации: учеб. пособие для вузов / В.С. Чернега, В.А. Василенко, В.Н. Бондарев. – М.: Высш. шк., 1990. – 224 с.
3. Кулик И.А. Об одном способе повышения эффективности мажоритарного принципа передачи / И.А. Кулик, А.В. Супрун // Вісник Сумського ун-ту. – 2003. – № 11(57). – С. 114-122.
4. Борисенко А.А. Оценка помехоустойчивости неразделимых кодов / А.А. Борисенко, Е.Л. Онанченко // Вісник Сумського ун-ту. – 1994. – №2. – С. 64-68.
5. Кулик И.А. Ошибкообнаруживающая способность кода с битом паритета / И.А. Кулик // Тезисы докладов "Современные методы кодирования в электронных системах". – 2002. – С. 38-39.

*Поступила в редакцию 22 апреля 2010 г.*