

УДК 621.391

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАНАЛОВ НИЗКОГО КАЧЕСТВА В МНОГОКОНТУРНЫХ СИСТЕМАХ С РЕШАЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ



[Н.Ф. ЛОГВИНЕНКО](#)

Харьковский национальный
университет внутренних дел

[О.А. СЕРКОВ](#)

Национальный технический
университет «ХПИ»

За критерієм середньої відносної швидкості обміну даними порівнюються системи з вирішальним зворотним зв'язком з двома і трьома контурами зворотного зв'язку. При цьому на останньому контурі завадостійкий блочний (n,k) -код використовується в режимі виявлення помилок. Для двоконтурної системи на першому, а для триконтурної системи на першому та другому контурах використовуються коригувальні коди Хемінга.

Systems with decision feedback with two and three feedback loops are compared on the criterion of the average relative speed of data to compare. At the same time on the last loop-interference block (n,k) -the code is used in mode of the finding error. For a two-contour system on the ground, and for three-contour system on the first and second contour used corrective Hamming codes.

По критерию средней относительной скорости обмена данными сравниваются системы с решающей обратной связью с двумя и тремя контурами обратной связи. При этом на последнем контуре помехоустойчивый блочный (n,k) -код используется в режиме обнаружения ошибок. Для двухконтурной системы на первом, а для трехконтурной системы на первом и втором контурах используются корректирующие коды Хэмминга.

Введение

При организации обмена данными по каналам низкого качества защиту от ошибок целесообразно реализовывать в виде систем с несколькими контурами решающей обратной связи (РОС) [1, 2]. В работе [3] показано, что исправление однократных ошибок кодами Хэмминга может дать существенный выигрыш в средней относительной скорости. Однако коды, исправляющие ошибки, при кратностях ошибок, превышающих их корректирующую способность [4], способны допускать ошибки декодирования. Поэтому на последнем контуре для достижения необходимой достоверности целесообразно применять коды в режиме только обнаружения ошибок. В силу этих обстоятельств следует определить какая из систем, двухконтурная или трехконтурная, эффективнее. Таким образом, предметом исследования авторов статьи являются системы защиты от ошибок с многоконтурной РОС и адресным переспросом ошибочных блоков как наиболее эффективных по средней относительной скорости [3].

I. Постановка проблемы

Процессы организации обмена данными по каналам низкого качества с использованием корректирующих кодов Хэмминга являются объектом исследования. При

этом целью работы является разработка рекомендаций по построению эффективных систем передачи данных в виде двухконтурной или трехконтурной системы с применением кодов Хэмминга.

Для достижения цели необходимо решение следующих задач:

1. Определить методику выбора параметров помехоустойчивых кодов для двух- и трехконтурных систем при использовании кодов в режимах с исправлением ошибок и без исправления.
2. Определить критерий сравнения систем с кодами Хэмминга и с кодами, использующимися в режиме обнаружения ошибок.
3. Провести аналитические расчеты критерия максимума средней относительной скорости для двух- и трехконтурной систем.

При этом исследовании авторы следуют методике, изложенной в [3]. Сравнение систем проводится в двух вариантах. Двух- и трехконтурные системы сравниваются с точки зрения потенциальной средней относительной скорости. Причем, в каждой точке качества дискретного канала параметры помехоустойчивых кодов выбираются оптимальными по максимуму средней относительной скорости. При этом сравнение проводится при фиксированных параметрах кодов, т.е. выбор осуществляется оптимальным в средней точке качества канала, при частоте ошибки на бит $p_0 = 5 \cdot 10^{-2}$. Таким образом, при фиксированном суммарном числе проверочных разрядов r_Σ следует определить среднюю относительную скорость двух- и трехконтурных систем при условиях:

- в двухконтурной системе в первом контуре однократные ошибки исправляются кодом Хэмминга, а во втором – применяется код в режиме обнаружения ошибок;
- в трехконтурной системе в первых двух контурах исправляются однократные ошибки кодами Хэмминга, а в третьем – ошибки только обнаруживаются.

II. Сравнение потенциальных возможностей многоконтурных систем с обнаружением и исправлением ошибок

Сравнение потенциальных возможностей многоконтурных систем проведем при следующих значениях r_Σ : 16, 24, 32. Как показано в работах [1, 2], это число проверочных разрядов целесообразно распределить по контурам следующим образом.

В двухконтурной системе: $r_1 = 5, r_2 = 11$; $r_1 = 6, r_2 = 18$; $r_1 = 7, r_2 = 25$.

В трехконтурной системе: $r_1 = 3, r_2 = 5, r_3 = 8$; $r_1 = 4, r_2 = 6, r_3 = 14$;
 $r_1 = 4, r_2 = 7, r_3 = 21$.

Исходя из этого распределения проверочных разрядов, выбираются длины кодовых блоков.

Рассмотрим случай двухконтурной системы. В первом контуре в качестве первого приближения для оценки длины кодового блока возьмем среднюю длину безошибочного интервала $n_1 = \frac{1-p_0}{p_0}$ при частоте ошибки на бит p_0 , а затем длину блока выбираем из условия:

$$|n_1 - (2^{r_1} - 1)| = \min. \quad (1)$$

Длину кодового блока во втором контуре для двухконтурной системы выбираем из соотношения:

$$n_2 = \frac{r_2}{2} + \sqrt{\frac{r_2^2}{4} - \frac{r_2}{\ln(1 - \frac{p_0}{2^{r_1}})}}. \quad (2)$$

При этом необходимо обеспечить выполнение условия: $r_1 + r_2 = r_\Sigma$.

В табл. 1, 2, 3 приведены примеры вычислений по формулам (1)–(3) для $r_\Sigma = 16, 24, 32$ проверочных разрядов соответственно.

Таблица 1. Параметры кода для $r_\Sigma = 16$

p_0	10^{-1}	$5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	10^{-2}
r_1	3	4	6	7
n_1	7	15	63	127
n_2	39	68	183	343
r_2	13	12	10	9

Таблица 2. Параметры кода для $r_\Sigma = 24$

p_0	10^{-1}	$5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	10^{-2}
r_1	3	4	6	7
n_1	7	15	63	127
n_2	52	90	249	475
r_2	21	20	18	17

Таблица 3. Параметры кода для $r_\Sigma = 32$

p_0	10^{-1}	$5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	10^{-2}
r_1	3	4	6	7
n_1	7	15	63	127
n_2	64	109	301	578
r_2	29	28	26	25

В случае трехконтурной системы длину блока в первом контуре вычисляем из условия (1). В качестве первого приближения для длины блока n_2 берем число, вычисленное по формуле (2). Данное значение используем для выбора длины блока из условия:

$$|n_2 - (2^{r_2} - 1)| = \min. \quad (3)$$

При таком выборе значение r_2 может быть скорректировано, но условие $r_1 + r_2 + r_3 = r_\Sigma$ должно выполняться, а значит несколько корректируется и значение r_3 . С учетом этой коррекции длину блока в третьем контуре определяем из условия:

$$n_3 = \frac{r_3}{2} + \sqrt{\frac{r_3^2}{4} - \frac{r_3}{\ln(1 - \frac{p_0}{2^{r_1+r_2}})}}. \quad (4)$$

В табл. 4, 5, 6 приведены примеры вычислений по формулам (1)–(4) для $r_\Sigma = 16, 24, 32$ проверочных разрядов соответственно.

Таблица 4. Параметры кода для $r_{\Sigma} = 16$

p_0	10^{-1}	$5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	10^{-2}
r_1	3	3	3	3
n_1	7	15	63	127
n_2	63	127	255	511
r_2	6	7	8	9
n_3	192	353	718	1282
r_3	7	6	5	4

Таблица 5. Параметры кода для $r_{\Sigma} = 24$

p_0	10^{-1}	$5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	10^{-2}
r_1	4	4	4	4
n_1	7	15	63	127
n_2	63	127	255	511
r_2	6	7	8	9
n_3	385	736	1573	3007
r_3	14	13	12	11

Таблица 6. Параметры кода для $r_{\Sigma} = 32$

p_0	10^{-1}	$5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	10^{-2}
r_1	4	4	4	4
n_1	7	15	63	127
n_2	63	127	255	511
r_2	6	7	8	9
n_3	485	938	2033	3954
r_3	22	21	20	19

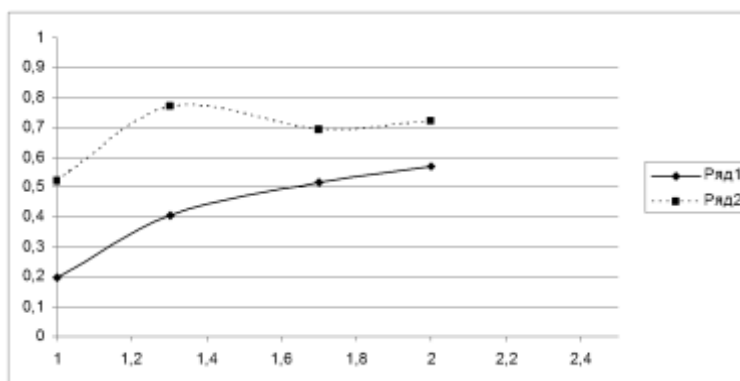
Среднюю относительную скорость двухконтурной системы с исправлением однократных ошибок в первом контуре и обнаружением ошибок во втором будем вычислять по формуле:

$$R_O^{(2)} = \frac{n_1 - r_1}{n_1} \cdot [(1 - p_0)^{n_1} + n_1(1 - p_0)^{n_1-1} \cdot p_0] \frac{n_2 - r_2}{n_2} (1 - \frac{p_0}{2^{r_1}})^{n_2}. \quad (5)$$

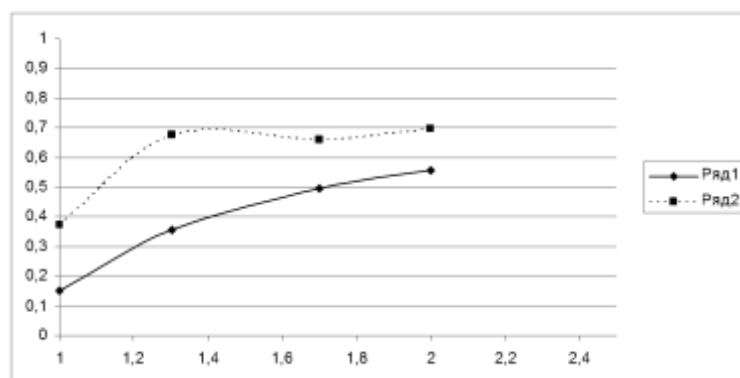
Среднюю относительную скорость трехконтурной системы с исправлением однократных ошибок в первом и втором контурах и обнаружением ошибок в третьем контуре будем определять из соотношения:

$$R_O^{(2)} = \frac{n_1 - r_1}{n_1} \cdot [(1 - p_0)^{n_1} + n_1(1 - p_0)^{n_1-1} \cdot p_0] \frac{n_2 - r_2}{n_2} [(1 - \frac{p_0}{2^{r_1}})^{n_1} + \\ + n_2(1 - \frac{p_0}{2^{r_1}})^{n_2-1} \cdot (\frac{p_0}{2^{r_1}})] \cdot \frac{n_3 - r_3}{n_3} \cdot (1 - \frac{p_0}{2^{r_1+r_2}})^{n_3}. \quad (6)$$

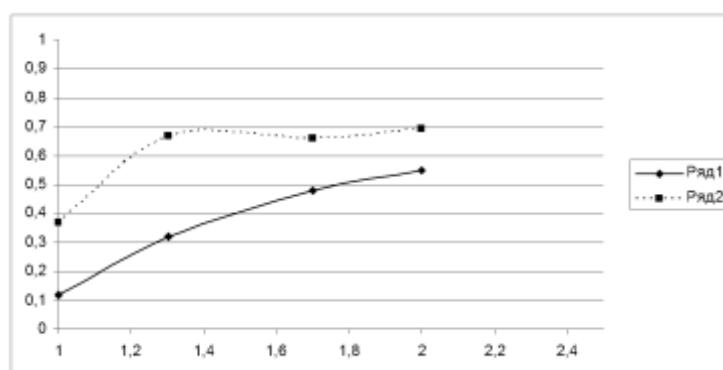
Зависимости этих скоростей от качества дискретного канала для различного количества контуров и значений r_{Σ} приведены на рис. 1. При этом по оси ординат откладываются R – значения средней относительной скорости, а по оси абсцисс – значения $[-\log p_0]$, где p_0 – вероятность ошибки. Как показывают полученные зависимости (рис. 1), применение кодов Хэмминга в многоконтурных системах смешанного типа дает выигрыш в средней относительной скорости в смысле потенциального ее значения, причем выигрыш выше на каналах низкого качества. При этом трехконтурная система выигрывает перед двухконтурной. С практической точки зрения более ценным является сравнение систем с фиксированными параметрами.



а) $r_{\Sigma} = 16$



б) $r_{\Sigma} = 24$



в) $r_{\Sigma} = 32$

Рис. 1. Зависимости средней относительной скорости от качества дискретного канала (ряд 1 – двухконтурная система, ряд 2 – трехконтурная система)

III. Сравнение многоконтурных систем с фиксированными параметрами

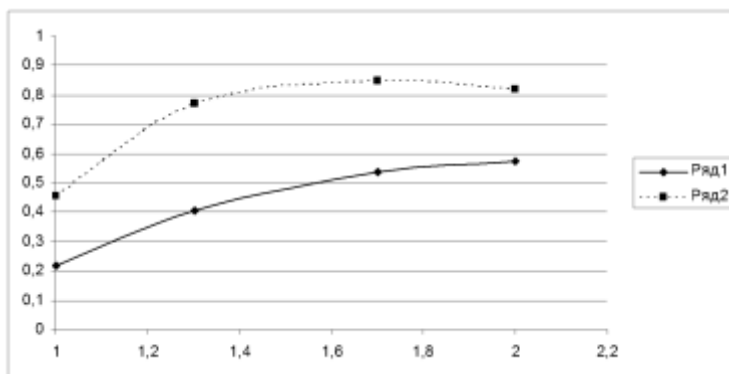
Для сравнения систем с фиксированными параметрами выберем оптимальные значения параметров помехоустойчивых кодов во втором и в третьем контурах, исходя из среднего значения качества дискретного канала $p_0 = 5 \cdot 10^{-2}$. Такими значениями, как видно из табл. 1–6, являются следующие:

в случае двухконтурной системы: 15,11 и 68,56 – коды при $r_{\Sigma} = 16$;

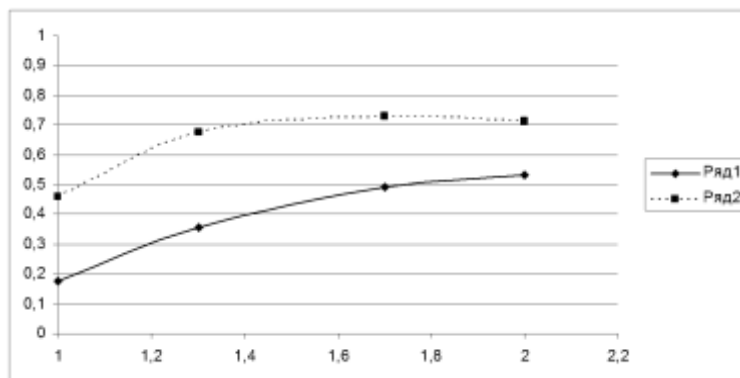
15,11 и 90,70 – коды при $r_{\Sigma} = 24$; 15,11 и 109,81 – коды при $r_{\Sigma} = 32$;

в случае трехконтурной системы: 15,12, 127,120 и 353, 347 – коды при $r_{\Sigma} = 16$; 15,11, 127,120 и 736, 723 – коды при $r_{\Sigma} = 24$; 15,11, 127,120 и 938, 917 – коды при $r_{\Sigma} = 32$.

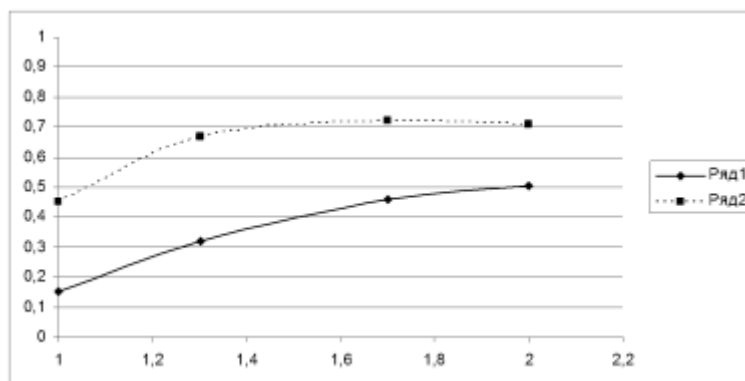
Зависимости средней относительной скорости (R) от качества дискретного канала ($[-\log p_0]$) для различного количества контуров и значений r_{Σ} для систем с фиксированными параметрами приведены на рис. 2.



а) $r_{\Sigma} = 16$



б) $r_{\Sigma} = 24$



в) $r_{\Sigma} = 32$

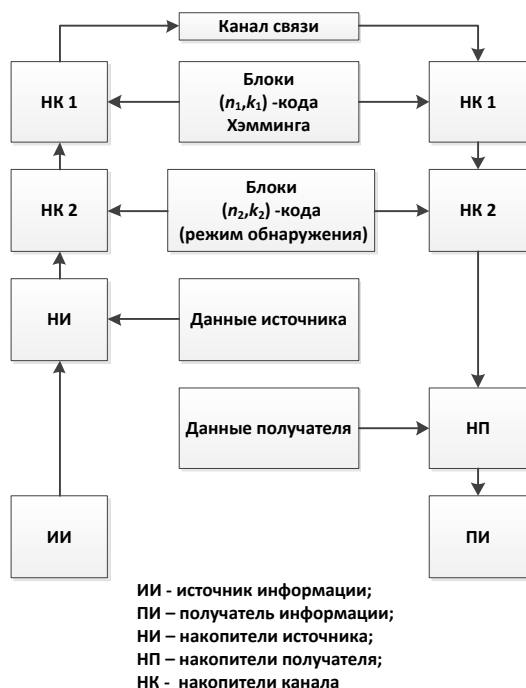
Рис. 2. Зависимости средней относительной скорости от качества дискретного канала для систем с фиксированными параметрами (ряд 1 – двухконтурная система, ряд 2 – трехконтурная система)

Как видно из рис. 2, при фиксированных параметрах кодов трехконтурные системы также выигрывают перед двухконтурными, при этом выигрыш в средней относительной скорости составляет до 60% на каналах с качеством $p_0 = 10^{-1}$ и до 30% на

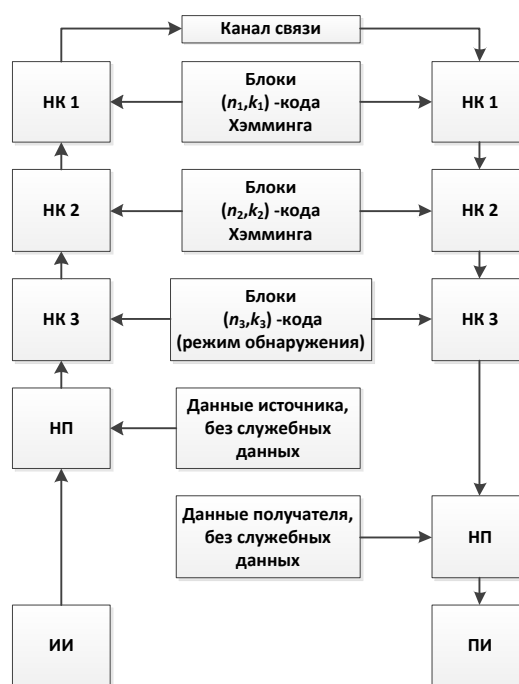
каналах с $p_0 = 10^{-2}$. Однако здесь следует отметить, что критерий средней относительной скорости правомерен при достаточно длинных сообщениях. Ясно, что и двухконтурные, и трехконтурные системы по сравнению с одноконтурными будут иметь дополнительные задержки в передаче, что будет особенно ощущаться при коротких транзакциях. Как следует из табл. 1–3, двухконтурные системы с кодом Хэмминга в первом контуре целесообразно строить для каналов со средним качеством $p_0 = 10^{-2}$, когда длины циркулирующих сообщений составляют свыше 100 байт. На каналах, близких к состоянию «обрыв канала» ($p_0 = 10^{-1}$), длины циркулирующих сообщений должны составлять не менее 10 байт. Как видно из табл. 4–6, трехконтурные системы целесообразно применять на каналах со средним качеством $p_0 = 10^{-2}$, если средние длины циркулирующих сообщений не менее 0,5 Кбайт. На каналах же с качеством $p_0 = 10^{-1}$ трехконтурные системы целесообразно строить, если средние длины циркулирующих сообщений составляют не менее 60 байтов. Вышеуказанные длины сообщений рекомендуются, если в качестве критерия выбирать максимум средней относительной скорости. Данные результаты и работа [3] показывают целесообразность применения кодов Хэмминга, которые достаточно просты в реализации, для каналов низкого качества.

IV. Особенности реализации

Для реализации рассмотренных систем приведем логическую структуру (структуру информационных массивов) передающего и приемного трактов аппаратуры передачи данных (АПД) для двух- (рис. 3 а) и трехконтурной системы (рис. 3 б).



а) для двухконтурной системы



б) для трехконтурной системы

Рис. 3. Структуры информационных массивов передающего и приемного трактов АПД

Выводы

1. На каналах низкого качества целесообразно применение исправления однократных ошибок кодами Хэмминга, что может дать выигрыш в средней относительной скорости в среднем на 30-60%.
2. При необходимости передачи данных с высокой достоверностью, длиной до 0,5 Кбайт, целесообразно строить двухконтурные системы.
3. Если средняя длина данных превышает 4 Кбайт, то целесообразно строить трехконтурные системы.

Список литературы:

1. Петрович В.И., Логвиненко М.Ф. Системы защиты от ошибок с многоконтурной решающей обратной связью // Техника средств связи. Сер. ТПС. – 1987. – Вып. 8. – С. 107 – 112.
2. Логвиненко М.Ф., Шевцова В.В. Ефективність систем передачі даних з декількома ієрархічними контурами зворотного зв'язку // Радіотехніка: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. – 2009. – Вип. 156, ч. 2. – С. 150–154.
3. Логвиненко, Н.Ф., Романюков Н.Г. Эффективность использования кодов Хэмминга в системах передачи данных по каналам низкого качества // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2010. – № 2(14). – С. 261–264.
4. Питерсон У., Уэлдон Э. Коды, исправляющие ошибки: Пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 594 с.