ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ УВЕЛИЧЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В АСУП

В. В. Свиридов, А. Ф. Панов

Харьков

При проектировании автоматизированных систем управления производством (АСУП) наряду с другими проблемами возникает вопрос о достоверности передачи информации. В принципе можно проектировать системы связи с любой наперед заданной достоверностью передачи [1], однако реальные системы имеют относительно низкую помехозащищенность. Это связано с тем, что у систем с высокой достоверностью передачи сложная аппаратура реализации, и поэтому они не находят практического применения. Практический интерес представляют системы, обеспечивающие достаточно высокую достоверность передачи при относительно простой аппаратурной реализации. Предлагаем одну из таких систем связи.

В дискретных системах связи с временным разделением сигналов несмотря на относительно большую информационную избыточность часто применяется достаточно просто реализуемый позиционный код [2].

$$F(n) = C_n^1,$$

где n — количество разрядов в кодовом блоке; C_n^1 — сочетания символов из n по 1.

Код, определяемый выражением C_n^1, обычно называют простым распределительным или простым позиционным. Он обнаруживает все ошибки, кроме некоторых двойных. При этом могут возникнуть затруднения, связанные с обеспечением заданной достоверности передачи. Для повышения достоверности передачи позиционным кодом предлагается использовать решающую обратную связь (РОС) совместно с информационной обратной связью (ИОС) с посимвольным сравнением. При этом сохраняется основное преимущество передачи позиционным кодом — простота технической реализации. Такую обратную связь назовем информационно-решающей (ИРОС). В отличие от комбинированной обратной связи (КОС), при которой в зависимости от степени «сомнительности» принятого кодового блока меняются роли приемника и передатчика в определении решения о пра-

вильности принятой приемником информации [3], в ИРОС роли приемника и передатчика постоянны: приемник принимает единичный символ и передает его обратно передатчику; передатчик принимает решение — единичный символ принят приемником правильно или неправильно. В то же время после приема n единичных символов приемник производит проверку правильности принятого кодового блока (прием в «целом» [4]).

Применение такой обратной связи в общем случае обеспечивает несколько меньшую достоверность передачи по сравнению с КОС, но аппаратура ИРОС с применением позиционного кода значительно проще, мало отличается от аппаратуры, в которой используется простой позиционный код.

Рассмотрим вероятность ошибочного приема для ИРОС и сравним ее с вероятностью ошибочного приема для простого позиционного кода с применением РОС.

Нетрудно убедиться, что при действии помех в системе связи с использованием простого позиционного кода ошибочный прием информации имеет место тогда и только тогда, когда будет подавлена информационная единица и появится ложная на любом из $n-1$ разрядов.

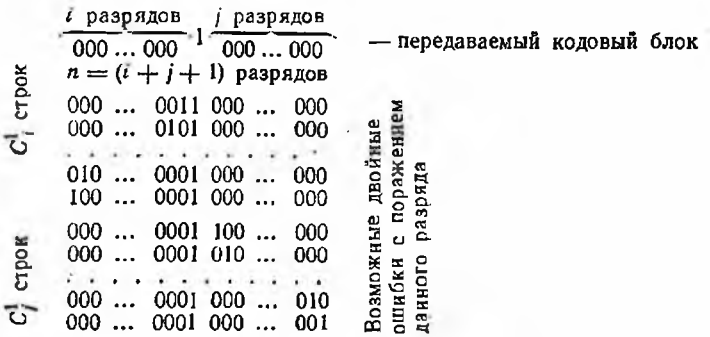
Пусть $P_{дв}$ — вероятность любой двойной ошибки. Если N_1 — число всех возможных двойных ошибок, N_2 — число двойных ошибок, поражающих один определенный разряд, то вероятность P_1 поражения данного конкретного разряда двойной ошибкой, очевидно, равна

$$P_1 = \frac{N_2}{N_1} P_{дв}. \qquad (1)$$

Число всех возможных ошибок N_1 равно [5]

$$N_1 = C_n^2 = \frac{n(n-1)}{2}. \qquad (2)$$

Как легко убедиться,



число двойных ошибок поражением определенного разряда равно

$$N_2 = C_i^1 + C_j^1,$$

или, учитывая, что $i + j = n - 1$, имеем

$$N_2 = n - 1. \tag{3}$$

Из (1), (2) и (3) находим

$$P_1 = \frac{2}{n} P_{\text{дв}}. \tag{4}$$

Это и есть вероятность ошибки, не обнаруживаемой проверкой на приемном конце системы с ИРОС. Это же выражение определяет вероятность ошибки в простом позиционном коде с применением РОС.

Вероятность ошибки $P_{\text{ед}}$, не обнаруживаемой проверкой с посимвольным сравнением на передающем конце при передаче единичного разряда, согласно теореме о повторении независимых опытов равна [6]

$$P_{\text{ед}} = p_1 p_2, \tag{5}$$

где p_1 и p_2 — вероятности единичного искажения в прямом и обратном каналах соответственно.

В подавляющем большинстве практических случаев

$$p_1 = p_2 = p. \tag{6}$$

При ИРОС ошибочный прием возможен только при одном определенном виде ошибок, поражающих данный разряд. Вероятность этого события P_2 равна:

$$P_2 = \frac{2}{n} P_{\text{ед}}, \tag{7}$$

или с учетом (6)

$$P_2 = \frac{2}{n} p^2. \tag{7а}$$

(Вывод соотношения (7) аналогичен выводу соотношения (4)). Так как проверки на приемном и передающем концах в системе с ИРОС производятся независимо, то вероятность ошибочного приема $P_{\text{ИРОС}}$ при ИРОС равна произведению вероятностей P_1 и P_2

$$P_{\text{ИРОС}} = \frac{4}{n^2} p^2 P_{\text{дв}}. \tag{8}$$

Для случая независимых ошибок вероятность появления двойной ошибки равна [5]:

$$P_{\text{дв}} = C_n^2 p^2 (1 - q)^{n-2}, \tag{9}$$

где C_n^2 — число сочетаний из n по 2;

$q = 1 - p$ — вероятность правильного приема единичного символа.

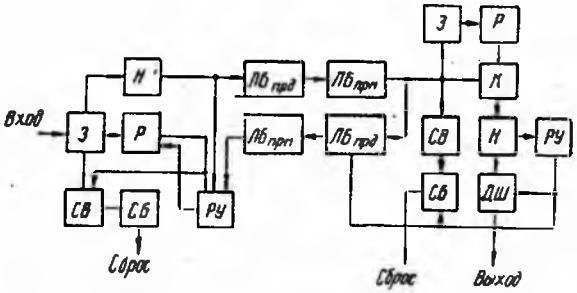
Тогда с учетом (5), (6)

$$P_{\text{ирос}} = \frac{2(n-1)}{n} p^4 (1-q)^{n-2}. \qquad (10)$$

В случае независимых ошибок вероятность ошибки для простого позиционного кода с РОС определяется из соотношений (4) и (9):

$$P_{\text{i}} = (n-1) p^2 (1-q)^{n-2}. \qquad (11)$$

Из сравнения (10) и (11) следует, что ИРОС обеспечивает вероятность ошибочного приема в $\frac{n}{2p^2}$ раз меньше ($p \ll 1$), чем РОС.



Из соотношения (8) видно, что при заданных n и p вероятность $P_{\text{ирос}}$ зависит только от вероятности возникновения двойной ошибки и не зависит от вероятности появления ошибок любой другой кратности. Это очень важное свойство ИРОС целесообразно использовать в том случае, когда распределение ошибок в канале связи таково, что более вероятным являются ошибки более высоких кратностей и менее вероятными двойные ошибки.

На рисунке приведена функциональная схема одного из возможных вариантов систем связи с применением информационно-решающей обратной связи и простого позиционного кода. Алгоритм работы системы заключается в следующем.

От передатчика передается к приемнику 1-й разряд кодовой комбинации, хранимой в накопителе Н. Этот разряд запоминается в решающем устройстве РУ. Приемник принимает этот разряд, запоминает (записывает в накопитель Н) и передает его обратно на передатчик по обратному каналу. В случае совпадения этого разряда с переданным РУ выдает один тактовый импульс на продвижение единицы в распределителе Р на один разряд; следовательно, будет передан следующий разряд, хранимый в накопителе Н, и процесс этот повторяется до передачи последнего n-го разряда.

В случае несовпадения переданного по прямому и принятого по обратному каналам разрядов РУ выдает сигнал сброса, который останавливает всю систему. Таким образом, передатчик осуществляет проверку правильности приема информации по принципу информационной обратной связи с посимвольным сравнением. После принятия всех n разрядов, приемник производит проверку соответствия числа информационных единиц в накопителе Н. В случае необходимого соответствия РУ выдает сигнал разрешения на дешифрацию принятой кодовой комбинации и сигнал квитанции на передающий пункт; в случае несоответствия — сигнал сброса всей системы.

Вполне очевидно, что в случае стирания одного из разрядов в прямом или обратном каналах, система будет находиться в режиме ожидания, который в принципе может длиться бесконечно длинный промежуток времени. Для этого случая на обоих пунктах предусмотрены счетчики времени СВ, которые в случае затягивания процесса приема — передачи овыше расчетного времени останавливают всю систему связи (блок сброса Сб выдаст импульс сброса).

На рисунке блоки запуска З осуществляют установление приемно-передающей системы в исходное состояние (набор комбинаций в передатчике, запуск распределителей и счетчиков времени, а также формирование продвигающего импульса для распределителя в приемнике). Коммутатор К осуществляет селекцию информационной единицы и запись ее в накопитель Н. Линейные блоки (передающей $ЛБ_{прд}$, приемный $ЛБ_{прм}$) в общем случае выполняют функции усиления, согласования и фильтрации. Выходная информация снимается с дешифратора ДШ.

Данная система отличается аппаратурно от системы передачи с использованием простого позиционного кода наличием счетчиков времени на обоих пунктах и решающего устройства на передающем пункте; все это составляет незначительную часть по сравнению со всей аппаратурой. В то же время существенно возрастает помехоустойчивость системы связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. Шеннон. Связь при наличии шума. «Труды по теории информации и кибернетике». Перев. с англ. под ред. А. Н. Колмогорова. ИЛ, 1963.
2. В. Н. Силаев. Новый тип структуры временной селекции и ее реализация на неуправляемых диодах $p-n-p-n$ структуры. «Техническая кибернетика». Изд-во «Наука», 1965.
3. Э. Л. Блох. Помехоустойчивость систем связи с переспросом. АН СССР, 1963.
4. К. А. Мешковский, Н. Е. Кириллов. Кодирование в технике связи. Изд-во «Связь», 1966.
5. П. А. Котов. Повышение достоверности передачи цифровой информации. Изд-во «Связь», 1966.
6. Е. С. Вентцель. Теория вероятностей. Изд-во «Наука», 1969.