

ПРОСТЕЙШИЕ КОДЫ

В. А. Стулов

Киев

При телемеханизации промышленных объектов емкости систем часто бывают небольшими, а отношение сигнал — помеха велико. Поэтому в таких системах рационально применять простейшие коды.

В простейших кодах кодовые комбинации состоят из одноэлементной посылки. Характерной особенностью этих кодов является то, что для их передачи не используются составляющие канала связи, т. е. каналы связи просты. В них, как и в любых других кодах, для передачи кодовой комбинации требуется только один канал связи.

Качественные коды являются простейшими. Для передачи информации здесь используются значения только одного признака. Так как в таких кодах признак может принимать несколько значений, их емкость

$$M = q, \quad (1)$$

где q — число значений признака.

В том случае, когда сигнал с нулевым значением признака не используется [1],

$$M = q - 1 = q_n, \quad (2)$$

где q_n — число ненулевых значений признака.

Минимальное число значений признака q равно двум. В этом случае имеем предельный случай, когда

$$M = q - 1 = 1.$$

Для передачи качественных кодов требуется только один канал связи. Поэтому системы, использующие эти коды, являются одноканальными.

К простейшим относятся также разделительные коды. Как и в качественных кодах, в них кодовые комбинации одноэлементные и используется лишь один признак. Но последний может принимать только два значения, одно из которых нулевое (0 и 1). Обычно единице соответствует наличие импульса в канале связи, а нулю — его отсутствие. Сигнал с нулевым значением признака не используется. Коды передаются по параллельным каналам связи. Следовательно, системы передачи информации, в которых применяются они, являются многоканальными. В них возможен циркулярный опрос объектов.

Кодовые комбинации разделительных кодов отличаются одна от другой только номерами параллельных каналов, по которым они передаются. Емкость такого кода

$$M = S_n, \quad (3)$$

где S_n — число параллельных каналов.

Распределительные коды отличаются от разделительных только тем, что сигналы при их использовании передаются по последовательным каналам связи, а не по параллельным. Следовательно, их кодовые комбинации различаются номерами последовательных каналов, по которым они передаются. Емкость распределительного кода

$$M = S_i, \quad (4)$$

где S_i — число используемых последовательных каналов.

В разделительно-распределительных кодах комбинации передаются по параллельно-последовательным каналам связи. Как известно [2], параллельно-последовательные каналы связи — это каналы, которые образуются путем совмещения параллельных и последовательных каналов связи.

В рассматриваемых кодах используется только один признак, принимающий два значения, одно из которых нулевое. Как и при разделительных кодах, сигнал с нулевым значением признака не используется. Поэтому кодовые комбинации отличаются одна от другой только номерами параллельно-последовательных каналов, по которым они передаются. Емкость разделительно-распределительного кода

$$M = S_{n,i} = S_n S_i, \quad (5)$$

где $S_{n,i}$ — количество параллельно-последовательных каналов связи.

Качественно-разделительные коды отличаются от качественных тем, что при их использовании сигналы могут передаваться не по одному каналу, а по нескольким параллельным, причем для передачи одного сигнала используется только один канал. Кодовые комбинации качест-

венно-разделительных кодов могут различаться как значениями признаков, так и номерами параллельных каналов, по которым они передаются. Но некоторые из них могут различаться только значениями признака или только номерами канала связи. Следовательно, при качественно-разделительном коде для передачи информации используются только один признак (принимающий несколько значений) и параллельные каналы связи. Емкость этого кода

$$M = \sum_{j=1}^{S_n} q_j, \quad (6)$$

где q_j — число признаков, используемых в j -м канале для передачи информации.

Если по всем параллельным каналам может передаваться одинаковое число признаков,

$$M = S_n q_j. \quad (7)$$

Когда сигналы с нулевым значением признака не используются,

$$M = \sum_{j=1}^{S_n} (q_j - 1) = \sum_{j=1}^{S_n} q_{nj}, \quad (8)$$

где q_{nj} — число ненулевых значений признака для j -го канала.

Системы, использующие качественно-разделительные коды, являются многоканальными. В них возможен циркулярный опрос.

Качественно-распределительные коды отличаются от качественно-разделительных только тем, что их кодовые комбинации передаются по последовательным, а не по параллельным каналам. Следовательно, кодовые комбинации в этих кодах могут различаться как значениями признака, так и номерами последовательных каналов, по которым они передаются. В общем случае емкость этого кода

$$M = \sum_{j=1}^{S_t} q_j. \quad (9)$$

Если по последовательным каналам для передачи информации используется одинаковое число значений признака,

$$M = S_t q_j. \quad (10)$$

Качественно-разделительно-распределительный код отличается от разделительно-распределительного только тем, что в нем признак (качество) может принимать несколько значений и могут быть использованы нулевые кодовые комбинации. Поэтому в рассматриваемом коде комбинации могут различаться значениями признака и номерами параллельно-последовательных каналов связи, по которым они передаются. Но некоторые из них могут различаться только значениями признака, а другие — только номерами совмещенных каналов.

Емкость качественно-разделительно-распределительного кода

$$M = \sum_{j=1}^{S_{nt}} q_j. \quad (11)$$

где S_{nt} — количество совмещенных параллельно-последовательных каналов;

q_j — число значений, которое признак может принимать в j -м канале.

Если по всем совмещенным каналам может передаваться одно и то же число признаков,

$$M = S_{nt} q. \quad (12)$$

Комбинационно-качественные коды отличаются от качественных тем, что в них используется не один признак, а несколько. В элементах кода комбинируются различные значения этих признаков. Следовательно, кодовые комбинации различаются только значениями признаков. Для передачи таких кодов необходим один простой канал связи. Кодовая комбинация, как и в любом другом простейшем коде, состоит из одной одноэлементной посылки, поэтому число различных кодовых комбинаций равно количеству различных элементов кода:

$$M = k. \quad (13)$$

Найдем сначала количество различных элементов для случая, если все значения признаков могут сочетаться друг с другом, т. е. $q = q_n$. С каждым значением первого признака может сочетаться q_2 значений второго признака. Но первый признак может принимать q_1 значений, поэтому, если используется только два признака ($d=2$), число различных элементов кода

$$k_1 = q_1 q_2 = \prod_{i=1}^2 q_i.$$

Рассуждая аналогичным образом, имеем при любом значении d

$$k_1 = \prod_{i=1}^d q_i.$$

Учитывая (13), получаем для $q = q_n$

$$M = \prod_{i=1}^d q_i. \quad (14)$$

В случае, если не используется элемент кода, все признаки которого имеют первое значение,

$$M = \prod_{i=1}^d q_i - 1. \quad (15)$$

Когда же все признаки имеют одинаковое число значений, формула (14) приобретает вид

$$M = q^d. \quad (16)$$

Однако не всегда значения признаков могут сочетаться между собой [1]. Найдем емкость кода, когда один признак обладает неполным значением, т. е. значением, которое может сочетаться со значениями не всех признаков. Тот признак, со всеми значениями которого может сочетаться неполное значение признака, является полным.

Примем неполное значение признака в качестве первого. Тогда

$$q = q_n + 1,$$

где q_n — число значений признака, которые могут сочетаться со всеми значениями других признаков.

Так как неполное значение может сочетаться только со значениями полного признака, число элементов, обладающих неполным значением признака,

$$A = q_b,$$

где q_b — число используемых значений полного признака.

В число элементов кода входят элементы с полным и неполным значением признака. Поэтому число различных элементов кода в общем случае

$$k = k_1 + A = \prod_{i=1}^d q_{n_i} + A.$$

При неиспользовании для передачи полного признака $A = 1$, так как элемент кода всегда имеет какую-то длительность. При неиспользовании неполного значения признака $A = 0$. Подставляя найденное значение k в выражение (13), получаем

$$M = \prod_{i=1}^d q_{n_i} + A. \quad (17)$$

При $q = \text{const}$

$$M = q_n^d + A. \quad (18)$$

Если же не используется неполное значение признака,

$$M = q_n^d. \quad (19)$$

Комбинационно-качественно-разделительные коды отличаются от комбинационно-качественных тем, что для их передачи используются параллельные каналы связи. Следовательно, в них кодовые комбинации могут различаться как значениями признаков, так и каналами, по которым они передаются.

Если бы для передачи кода был необходим один канал, емкость его M определялась бы по формуле (17). Но для передачи кода используется S_n параллельных каналов. Поэтому

$$M = \sum_{i=1}^{S_n} \left(\prod_{l=1}^{d_i} q_{n_{il}} + A_i \right). \quad (20)$$

Если же по всем параллельным составляющим могут передаваться одни и те же элементы кода,

$$M = S_n \left(\prod_{l=1}^d q_{n_l} + A \right), \quad (21)$$

а при $q = \text{const}$

$$M = S_n (q_n^d + A). \quad (22)$$

Комбинационно-качественно-распределительные коды отличаются от комбинационно-качественно-разделительных тем, что для их передачи используются последовательные каналы связи, а не параллельные. Поэтому в этих кодах кодовые комбинации могут различаться значениями признаков и последовательными каналами связи, по которым они передаются.

Емкость кода определяется таким же образом, как и при предыдущем коде. В общем случае

$$M = \sum_{i=1}^{S_t} \left(\prod_{l=1}^{d_i} q_{n_{il}} + A_i \right). \quad (23)$$

Когда же алфавит является общим для всех каналов,

$$M = S_t \left(\prod_{l=1}^d q_{n_l} + A \right), \quad (24)$$

а при $q = \text{const}$

$$M = S_t (q_n^d + A). \quad (25)$$

Комбинационно-качественно-разделительно-распределительные коды отличаются от комбинационно-качественно-разделительных тем, что для их передачи используются параллельно-последовательные каналы связи, а не только параллельные. Следовательно, кодовые комбинации в таких кодах могут различаться не только значениями признаков, но и совмещенными каналами, по которым они передаются.

Количество кодовых комбинаций, которые могут быть переданы по одному совмещенному каналу, определяется из выражения (17). Но число совмещенных каналов S_n , поэтому емкость комбинационно-качественно-разделительно-распределительного кода в общем случае

$$M = \sum_{i=1}^{S_n} \left(\prod_{j=1}^{d_j} q_{nj} + A_j \right). \quad (26)$$

Если же алфавит для всех совмещенных каналов связи общий,

$$M = S_n \left(\prod_{j=1}^{d_j} q_{nj} + A_j \right). \quad (27)$$

При $q = \text{const}$

$$M = S_n (q_n^d + A). \quad (28)$$

Если же не используется неполное значение признака,

$$M = S_n q_n^d. \quad (29)$$

Системы, использующие качественные и комбинационно-качественные коды, являются одноканальными, а другие простейшие — многоканальными.

Из комбинационно-качественно-разделительно-распределительного кода могут быть получены все другие простейшие коды путем наложения на него тех или других ограничений. Например, накладывая ограничение, заключающееся в том, что для передачи кода требуется только один канал связи, получаем комбинационно-качественный код. А если еще дополнительно оговорить, что число признаков $d = 1$, получаем качественный код.

Среди рассматриваемых кодов имеются такие, в кодовых комбинациях которых нет комбинирования различных признаков (в них $d = 1$). Такие коды могут быть названы элементарными. К ним относятся качественные, разделительные, распределительные, разделительно-распределительные, качественно-разделительные, качественно-распределительные и качественно-разделительно-распределительные. Самыми простыми из них являются качественные, разделительные и распределительные. Они обладают минимальной емкостью (кривые 1, 2, 3 на рис. 1). На рисунке D — изменяемый параметр.

Из этих трех кодов практически минимальную емкость имеют качественные, так как трудно обеспечить селекцию большого числа значений одного и того же параметра. Но зато качественные коды обеспечивают максимальную приведенную скорость передачи R_n (кривая 1 на рис. 2). Последняя получается из относительной скорости передачи путем замены F числом параллельных, а T — числом последовательных каналов.

Как известно [5], относительная скорость передачи информации определяется из выражения

$$R_I = \frac{1}{FT}.$$

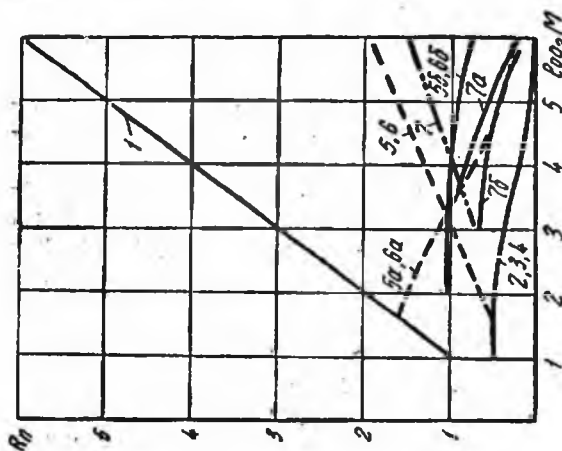
За время T может быть организовано S_t последовательных каналов связи, каждый длительностью

$$\Delta t = \frac{T}{S_t}.$$

В полосе F может быть организовано S_n параллельных каналов связи, каждый шириной

$$\Delta f = \frac{F}{S_n}.$$

I — качественного кода при $q = D$; 2 — раз-
разделительного кода при $S_n = D$, δ — раз-
разделительного кода при $S_f = D$; 4 — разде-
разделительного кода при $S_n = D$, $S_f = 2$; 5 — то же при $S_n = D$, $S_f = 2$; 6 —
 D , $S_f = 2$; 7 — то же при $S_n = D$, $S_f = 2$; 8 —
качественно-разделительного кода при
качественно-разделительного кода при $S_n = D$,
 $q = 3$; 9 — D , $5a$ — то же при $S_n = D$,
 $q = 3$; $6b$ — то же при $S_n = q = D$; $6 -$
качественно-разделительного кода при
качественно-разделительного кода при $q = D$, $S_n = 2$; $7a$ — то же
при $S_n = D$, $S_f = 2$; $q = 3$; $7b$ — то же при
 $S_f = D$, $S_n = 2$, $q = 3$; $7c$ — то же при
 $S_f = S_n = q = D$.



l — ка-чественного кода при $q = D_1^2 \cdot 2$ — раз-
делительного кода при $S_{\Pi} = D_1 \cdot 3$ — разде-
лительного кода при $S_f = D_1 \cdot 6$; a — раздели-
тельно-распределительного кода при $S_{\Pi} = D_1 \cdot S_f = 2 \cdot 6$ — ка-чественно-разделительного
кода при $S_{\Pi} = 3$, $q = D_1$; $5a$ — то же при
 $S_{\Pi} = D_1 \cdot q = 3$, $66 - q$ — то же при $S_{\Pi} = q = D_1$; $6 -$
ка-чественно-распределительного кода при
 $S_f = 3$, $q = D_1$; $6a -$ то же при $S_f = D_1$; $7 -$
 $66 - q$ — то же при $S_f = q = D_1$; $7 -$
ка-чественно-раздели-тельно-распределитель-
ного кода при $q = D_1$, $S_{\Pi} = 2$, $S_f = 2 \cdot 7a -$
то же при $S_{\Pi} = D_1$, $S_f = 2$, $q = 76 -$ то
же при $S_f = D_1$, $S_{\Pi} = 2$, $q = 76 -$

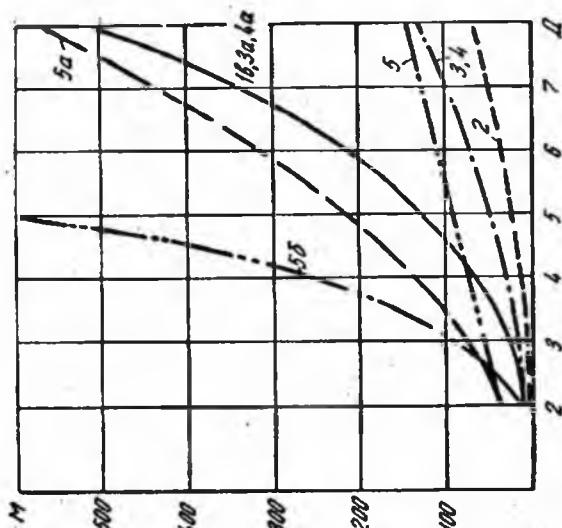


Рис. 3. Зависимость емкости кода от D .
Кривые:

1 — качественно-разделительно-распределительного кода при $S_1^1 = S_n^1 = q$, $d = 1$, 2 — комбинационно-качественного кода при $q = D$, $d = 2$; 3 — комбинационно-качественно-разделительного кода при $q = D$, $d = 2$; 3а — то же при $q_n = S_n = D$, $d = 2$; 3б — то же при $q_n = S_n = D$, $d = 2$; 4 — комбинационно-качественно-разделительного кода при $q_n = S_1^1 = q$, $d = 2$; 5 — комбинационно-качественно-разделительно-распределительного кода при $S_1^1 = S_n^1 = D$, $d = 2$; 5а — то же при $S_1^1 = S_n^1 = D$, $d = 2$; 5б — то же при $S_1^1 = S_n^1 = D$, $d = 2$; 5в — то же при $S_1^1 = S_n^1 = D$, $d = 2$.

Поэтому

$$R_f = \frac{I}{FT} = \frac{I}{\Delta f S_n \Delta t S_t} \quad (30)$$

Если в выражении (30) Δf и Δt приравняем единице, получим приведенную скорость передачи информации

$$R_n = \frac{I}{S_n S_t}$$

Как видно из рис. 2, при одном и том же количестве информации на одну кодовую комбинацию системы передачи информации с другими элементарными кодами имеют меньшую приведенную скорость передачи R_n , чем с качественными. Качественные коды в этом случае обеспечивают максимальную приведенную скорость передачи благодаря тому, что для их передачи в системе не используют ни параллельные, ни последовательные каналы связи.

Минимальную приведенную скорость передачи имеют системы с разделительными, распределительными и разделительно-распределительными кодами. Емкость этих кодов также невысока. Но несмотря на это, в системах с небольшой емкостью, особенно в системах управления и сигнализации ближнего действия, они часто используются ввиду простоты их реализации. Наиболее простой является реализация, когда параллельные каналы образуются проводами или жилами кабеля (многопроводные системы). Однако следует учитывать, что при использовании этих кодов возможна также циркулярная передача сигналов. В этом случае приведенная скорость выше, чем при передаче только одной кодовой комбинации.

Максимальную емкость среди элементарных кодов имеют качественно-разделительно-распределительные коды (кривая 7e). Приведенная скорость передачи при их использовании весьма низка.

Простейшие коды с комбинированием значений признаков при одних и тех же значениях параметров имеют более высокую емкость (рис. 3). Устройства же, в которых они используются, имеют более сложную структуру. Максимальную емкость среди них имеют комбинационно-качественно-разделительно-распределительные коды. Такие коды успешно используются при значительных емкостях систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Стулов. Элементы кода. Сб. «Телемеханика в промышленности». вып. 2. Изд-во «Техніка», Киев, 1968.
2. В. А. Стулов. Про якісні ознаки та канали зв'язку в телемеханіці. «Автоматика», 1964, № 6.
3. В. А. Стулов. Про деякі визначення і класифікації кодів. «Автоматика», 1963, № 1.
4. Ф. О. Катков, В. В. Маслов. Про ефективність використання групового змінно-посилочного коду для передачі даних і телеграфних повідомлень. Вісник Київського політехнічного інституту, серія автоматики та приладобудування, вип. 3. Вид-во КДУ, Київ, 1966.
5. В. А. Ильин. Телеконтроль и телеуправление рассредоточенными объектами. Госэнергоиздат, 1963.