

УДК 621.391

КОДИРОВАНИЕ СООБЩЕНИЙ В СИСТЕМАХ РАДИОУПРАВЛЕНИЯ БЕЗ ОБРАТНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО КАНАЛА

Г. Н. Мальцев,

доктор техн. наук, профессор

Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского

Е. В. Чернявский,

начальник отделения

ОАО «Научно-исследовательский институт точных приборов»

Рассмотрены особенности применения блочных помехоустойчивых кодов в системах командного радиоуправления без обратного информационного канала. Характер процесса управления требует осуществлять выбор кода исходя из компромисса между вероятностями пропуска и ошибочного приема сообщения при однократной передаче. Показано, что в зависимости от характеристик радиоканала и требований к достоверности передачи сообщений возможны различные варианты использования кодов с обнаружением и исправлением ошибок. Оценивается выигрыш при переходе от однократной передачи к повторению сообщений с принятием решения по заданному числу совпадений.

Ключевые слова — система радиоуправления, помехоустойчивое кодирование, обнаружение и исправление ошибок, достоверность передачи сообщений.

Системы радиоуправления представляют собой один из классов информационно-управляющих систем. Среди них можно выделить широкий класс систем командного радиоуправления, в которых сигналы управления удаленными объектами передаются по радиоканалу в виде дискретных сообщений (команд) [1]. В качестве объектов управления в таких системах могут выступать различные подвижные объекты, технологические установки, робототехнические системы и отдельные дистанционно управляемые устройства [2–4]. Особенности функционирования систем командного радиоуправления являются: широкий диапазон условий радиосвязи, асинхронно-адресный режим применения с передачей отдельных дискретных сообщений, сравнительно небольшие объемы и скорости передачи информации и высокие требования к достоверности передачи сообщений (команд управления).

Требование высокой достоверности передачи сообщений в системах радиоуправления обусловлено высокой ценой ошибок при дистанционном управлении сложными техническими системами. Принятые команды управления, как правило, исполняются в автоматическом режиме, а вну-

тренняя (семантическая) избыточность в них отсутствует, и каждое управляющее воздействие соответствует конкретной операции управления. В этих условиях типовым требованием к достоверности передачи сообщений в системах командного радиоуправления является обеспечение расчетной вероятности ошибочного приема сообщения на уровне 10^{-8} – 10^{-10} , что фактически соответствует квазибезошибочной передаче [5]. При этом передача сообщений может осуществляться как с подтверждением приема или переспросом по обратному информационному каналу, так и без обратного информационного канала.

При заданных условиях радиосвязи (они определяются энергетическим потенциалом радиоканала управления) основным методом повышения достоверности передачи сообщений является использование помехоустойчивых (корректирующих) кодов, обнаруживающих и исправляющих ошибки [6, 7]. В современных телекоммуникационных системах помехоустойчивое кодирование получает широкое распространение для повышения достоверности передачи сообщений и предусматривается большинством протоколов канального уровня современных телекоммуникацион-

ных систем [8, 9]. Основой для реализации корректирующих способностей кодов является введение избыточности в передаваемые сообщения. Исходя из этого сформулировано известное условие эффективного применения корректирующих кодов как условие энергетического выигрыша от кодирования — выигрыша в помехоустойчивости передачи сообщений по сравнению с безызыточным кодированием при фиксированной удельной скорости передачи информации [6, 9].

Особенности систем командного радиоуправления позволяют «обменивать» помехоустойчивость на скорость передачи информации. Работа в асинхронном режиме передачи дискретных сообщений без предварительного этапа синхронизации и вхождения в связь усложняет реализацию оптимального приема радиосигналов управляемым объектом и затрудняет достижение высокой достоверности приема сообщений при неблагоприятных условиях радиосвязи. В то же время небольшие объемы и скорости передачи информации делают систему не критичной к удельной скорости передачи информации, и появляется возможность вводить в передаваемые сообщения избыточность для обеспечения требуемой достоверности приема сообщений на основе обнаружения и исправления ошибок без учета условия энергетического выигрыша от кодирования, существенного для режима потоковой передачи информации.

Задача обеспечения требуемой достоверности передачи сообщений в системах радиоуправления сводится, таким образом, к выбору обеспечивающего ее в заданных (ожидаемых) условиях связи помехоустойчивого кода. При этом условия радиосвязи определяют отношение сигнал/шум в радиоканале управления и связанную с ним вероятность ошибочного приема информационного символа p_0 , являющуюся исходной для определения вероятности ошибочного приема сообщения $P_{\text{опп}}$ с учетом корректирующих способностей кода.

Будем полагать, что все команды радиоуправления имеют одинаковую разрядность и для их передачи используется блочный помехоустойчивый (n, k) -код (n — общее число символов в сообщении, k — число информационных символов). Каждый (n, k) -код характеризуется кратностью обнаруживаемых q_0 и исправляемых $q_{\text{и}}$ ошибок, причем имеется возможность использовать один и тот же код с различными вариантами сочетаний кратностей q_0 и $q_{\text{и}}$ в пределах корректирующих возможностей данного кода [6, 7]. Например, блочный циклический код Голея (23,12) может использоваться в следующих четырех вариантах: $1 - q_0 = 6, q_{\text{и}} = 0$; $2 - q_0 = 5, q_{\text{и}} = 1$; $3 - q_0 = 4, q_{\text{и}} = 2$; $4 - q_0 = 3, q_{\text{и}} = 3$. Вариант 1 соответствует использованию кода только для обнаружения оши-

бок, варианты 2 и 3 — использованию кода для совместного обнаружения и исправления ошибок (исправляется часть обнаруженных ошибок), вариант 4 — использованию кода только для исправления ошибок.

Предельные возможности кодов по обнаружению и исправлению ошибок задаются в виде граничных условий (верхних и нижних границ), связывающих параметры n и k с q_0 или $q_{\text{и}}$ [6, 7]. Так, для кодов, исправляющих ошибки, связь между параметрами n, k и $q_{\text{и}}$ задается границей Хемминга

$$n - k \geq \log_2 \left(1 + \sum_{i=1}^{q_{\text{и}}} C_n^i \right). \quad (1)$$

Граница Хемминга (1) является нижней границей, задающей минимальное число проверочных символов $r = n - k$, при котором существует корректирующий код, гарантированно исправляющий ошибки с кратностью $q_{\text{и}}$. Аналогичные неравенства связывают параметры n, k и q_0 для кодов, обнаруживающих ошибки. Неравенства, определяющие границы Хемминга, решаются методом перебора величины $r = n - k$ в сторону увеличения. Первое значение r , для которого неравенство начинает выполняться, дает соотношение между величинами n и k , соответствующее заданной величине $q_{\text{и}}$. На практике не все помехоустойчивые коды обладают корректирующими способностями, соответствующими границе Хемминга, однако она задает необходимые условия для существования помехоустойчивого кода с заданными корректирующими способностями и избыточностью. Отметим, что используемый в качестве примера код Голея (23,12) имеет предельно возможные для своей избыточности $k = r/n$ корректирующие способности, соответствующие границе Хемминга.

В общем случае достоверность передачи сообщения при однократной передаче блочным помехоустойчивым (n, k) -кодом характеризуется следующими вероятностями:

— вероятностью правильного приема

$$P_{\text{п.п}} = \sum_{i=0}^{q_{\text{и}}} C_n^i p_0^i (1 - p_0)^{n-i}; \quad (2)$$

— вероятностью обнаруживаемой ошибки

$$P_{\text{о.о}} = \sum_{i=q_{\text{и}}+1}^{q_0} C_n^i p_0^i (1 - p_0)^{n-i}; \quad (3)$$

— вероятностью необнаруживаемой ошибки

$$P_{\text{н.о}} = \sum_{i=q_0+1}^n C_n^i p_0^i (1 - p_0)^{n-i}. \quad (4)$$

В выражении (2) полагается, что $C_n^0 = 1$. В выражениях (3) и (4) учитывается, что при исполь-

зовании кодов для обнаружения и исправления ошибок $q_o \geq q_{и}$. Для вероятностей $P_{п.п}$, $P_{о.о}$ и $P_{н.о}$ выполняется условие нормировки $P_{п.п} + P_{о.о} + P_{н.о} = 1$. В предельных случаях при использовании кода только для обнаружения ошибок $q_{и} = 0$, а при использовании кода только для исправления ошибок $q_{и} = q_o$ и $P_{о.о} = 0$.

Использование помехоустойчивого кодирования в системах радиуправления должно быть направлено на достижение требуемой достоверности передачи команд управления, характеризующейся вероятностями (2)–(4). Однако особенности систем командного радиуправления, условия их применения и сам характер управления как целенаправленного процесса с высокой ценой ошибок приводят к необходимости уточнить принципы использования методов помехоустойчивого кодирования при передаче по радиоканалам команд управления удаленными объектами.

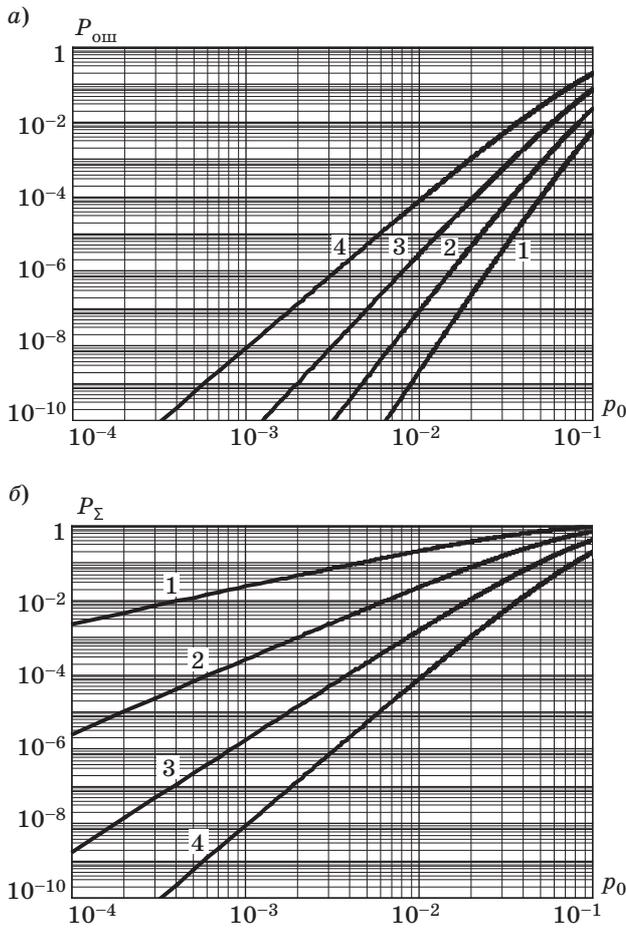
В системах передачи информации без обратного информационного канала, как правило, применяются коды, исправляющие ошибки, а при наличии обратного информационного канала — обнаруживающие ошибки [8, 9]. Первый случай соответствует FEC-протоколам канального уровня (Forward Error Correction), при этом все сообщения передаются однократно и $P_{ош} = P_{н.о}$. Второй случай соответствует ARQ-протоколам канального уровня (Automatic Request reQuire), при этом обнаружение ошибок при приеме приводит к переспросу и повторной передаче сообщения, и для предельного случая бесконечного числа повторений справедливо выражение $P_{ош} = P_{н.о} / (1 - P_{о.о}) \approx P_{н.о}$. Таким образом, в обоих случаях вероятность ошибочного приема сообщения $P_{ош}$ определяется величиной $P_{н.о}$ при отсутствии пропусков (стираний) сообщений, связанных с обнаружением ошибок при приеме (в случае FEC-протоколов обнаружение ошибок без их исправления не предусматривается, а в случае ARQ-протоколов после обнаружения ошибки происходит переспрос и повторная передача сообщения).

Если в системе командного радиуправления имеется обратный информационный канал, то, как и в рассмотренном случае систем передачи информации, наиболее предпочтительно использовать коды, обнаруживающие ошибки, в сочетании с ARQ-протоколами. Такая ситуация характерна, например, для систем радиуправления космическими аппаратами, в которых широко используется передача по обратному каналу квитанций на принятые команды [1, 4]. При отрицательной квитанции команда повторяется, а при положительной квитанция осуществляется переход к передаче следующей команды. При этом обеспечивается $P_{ош} \approx P_{н.о}$, причем величина $P_{н.о}$,

определяемая выражением (4), является минимально возможной для всех вариантов применения выбранного помехоустойчивого кода, поскольку соответствует максимальному значению q_o при $q_{и} = 0$.

Если же в системе командного радиуправления обратный информационный канал отсутствует, то, как показывает анализ, использование по аналогии с рассмотренным случаем систем передачи информации кодов, исправляющих ошибки, в сочетании с FEC-протоколами оказывается предпочтительным далеко не всегда. Такая ситуация характерна, например, для так называемых радиотелемеханических систем управления, в которых использование обратного канала не предусматривается, а также для специальных систем связи, предназначенных для управления подвижными объектами с помощью радиogramм [1, 2]. В этом случае при использовании кодов, исправляющих ошибки, обеспечивается $P_{ош} = P_{н.о}$, однако величина $P_{н.о}$, определяемая выражением (4), является максимально возможной для всех вариантов применения выбранного помехоустойчивого кода, поскольку соответствует минимальному значению $q_o = q_{и}$. В то же время при использовании кодов, обнаруживающих ошибки, канал радиуправления становится каналом со стираниями: при минимально возможной величине $P_{н.о}$, определяемой выражением (4) для максимального значения q_o , имеет место конечная вероятность пропуска сообщения $P_{проп} = P_{о.о}$, где величина $P_{о.о}$ определяется выражением (3). Это приводит к необходимости выбора кода исходя из значений обеих вероятностей ($P_{ош}$ и $P_{проп}$) и компромисса между риском пропуска команды и ошибочного приема, приводящего к исполнению ложной команды.

Соотношение между вероятностями ошибочного приема сообщения $P_{ош} = P_{н.о}$ и пропуска сообщения $P_{проп} = P_{о.о}$ при различных вариантах использования помехоустойчивого кода для обнаружения и исправления ошибок на примере кода Голея (23,12) иллюстрируется зависимостями, приведенными на рис. 1. На рис. 1, а — зависимости $P_{ош}$ от p_0 , на рис. 1, б — зависимости суммарной вероятности ошибки $P_{\Sigma} = P_{ош} + P_{проп}$ от p_0 , соответствующие четырем вариантам использования данного кода, характеризующимся сочетанием значений q_o и $q_{и}$. Из графиков видно, как с увеличением q_o и уменьшением $q_{и}$ уменьшается вероятность ошибочного приема сообщения $P_{ош}$ и увеличиваются вероятность пропуска сообщения $P_{проп}$ и суммарная вероятность ошибки P_{Σ} . В этих условиях с учетом того, что пропуск команды управления может иметь меньшую цену потерь, чем исполнение ложной команды в случае необнаруживаемой ошибки при приеме, целе-



■ **Рис. 1.** Зависимости вероятности ошибочного приема сообщения $P_{\text{ош}}$ (а) и суммарной вероятности ошибки P_{Σ} (б) от вероятности ошибочного приема информационного символа p_0 для различных вариантов использования кода (23,12): 1 - $q_o = 6, q_{и} = 0$; 2 - $q_o = 5, q_{и} = 1$; 3 - $q_o = 4, q_{и} = 2$; 4 - $q_o = 3, q_{и} = 3$

сообразно задавать допустимое значение вероятности пропуска сообщения $P_{\text{проп.доп}}$ и выбирать код, обеспечивающий минимальное значение вероятности ошибочного приема сообщения $P_{\text{ош}}$ при условии $P_{\text{проп}} \leq P_{\text{проп.доп}}$. При этом величина $P_{\text{проп.доп}}$ с учетом соотношения между ценой потерь при пропуске команды управления и выполнении ложной команды может на несколько порядков превышать требуемую величину $P_{\text{ош}}$.

В зависимости от параметров (n, k) -кода, условий радиосвязи, характеризуемых величиной p_0 , и допустимого значения вероятности пропуска сообщения $P_{\text{проп.доп}}$, которое задается с учетом решаемых задач управления, рассмотренный подход приводит к различным вариантам использования помехоустойчивых кодов, причем в ряде случаев наиболее предпочтительным оказывается обнаружение ошибок или совместное обнару-

жение и исправление ошибок. Так, при $P_{\text{проп.доп}} = 10^{-3}$ для кода Голея (23,12) предложенный подход к выбору варианта его использования для обнаружения и исправления ошибок при $p_0 = 10^{-2}$ приводит к выбору варианта 3, при $p_0 = 10^{-3}$ и $p_0 = 10^{-4}$ — к выбору варианта 2, при $p_0 = 10^{-5}$ и ниже — к выбору варианта 1. В последнем случае при хороших условиях радиосвязи, как и в системах с обратным информационным каналом, оказывается предпочтительно обнаружение, а не исправление ошибок: вследствие малой величины $P_{\text{проп}} = P_{o.o}$ условие $P_{\text{проп}} \leq P_{\text{проп.доп}}$ выполняется без исправления ошибок, а величина $P_{\text{ош}} = P_{н.о}$ является минимально возможной. Отметим, что при использовании предложенного подхода ни в одном из рассмотренных случаев не оказался предпочтительным вариант 4 с исправлением ошибок, при котором $P_{\text{проп}} = P_{o.o} = 0$, но величина $P_{\text{ош}} = P_{н.о}$ является максимальной по сравнению с остальными вариантами.

При выбранных параметрах кода дальнейшее повышение достоверности передачи команд радиоуправления возможно на основе повторения сообщений. В отсутствие обратного информационного канала канал радиоуправления с повторением сообщений остается каналом со стираниями, и принятие решения, в отличие от мажоритарного декодирования [7], осуществляется по заданному числу, а не по максимуму совпадений. Хотя количество принятых сообщений с учетом обнаруживаемых ошибок может быть различным, и к пропуску сообщения могут приводить различные сочетания обнаруживаемых и необнаруживаемых ошибок, вероятности пропуска и ошибочного приема сообщения при повторении сообщений могут быть существенно уменьшены.

В общем случае передача сообщений с повторениями характеризуется числом повторений w и числом совпадений v , по которому принимается решение о переданном сообщении. Так, при трехкратном повторении ($w = 3$) сообщений и принятии решения по двум совпадениям ($v = 2$) достоверность передачи сообщения характеризуется следующими вероятностями:

— вероятностью правильного приема

$$P_{\text{прав}} = P_{п.п}^3 + 3P_{п.п}^2(1 - P_{п.п}); \quad (5)$$

— вероятностью пропуска сообщения

$$P_{\text{проп}} = P_{o.o}^3 + 3P_{o.o}^2(1 - P_{o.o}) + 3P_{н.о}^2(1 - P_{н.о}) \frac{N-1}{N} + 6(1 - P_{o.o} - P_{н.о}) \times P_{o.o}P_{н.о} + P_{н.о}^3 \frac{3N-2}{N^2}; \quad (6)$$

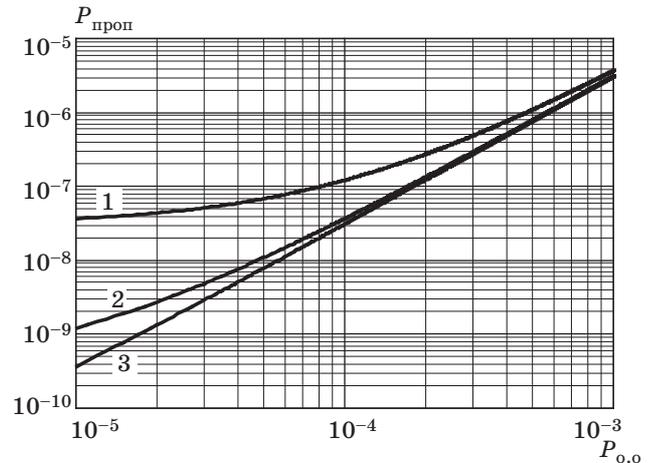
— вероятностью ошибочного приема сообщения

$$P_{\text{ош}} = P_{\text{н.о}}^3 \frac{N^2 - 3N + 2}{N^2} + 3P_{\text{н.о}}^2(1 - P_{\text{н.о}}) \frac{1}{N}. \quad (7)$$

В выражениях (5)–(7) $P_{\text{п.п}}$, $P_{\text{о.о}}$ и $P_{\text{н.о}}$ — соответственно вероятности правильного приема, обнаруживаемой ошибки и необнаруживаемой ошибки при однократной передаче, определяемые для выбранного помехоустойчивого кода выражениями (2)–(4); N — количество (объем ансамбля) передаваемых сообщений. Для вероятностей $P_{\text{прав}}$, $P_{\text{проп}}$ и $P_{\text{ош}}$ выполняется условие нормировки $P_{\text{прав}} + P_{\text{проп}} + P_{\text{ош}} = 1$. Зависимость вероятностей $P_{\text{проп}}$ и $P_{\text{ош}}$ от N отражает то обстоятельство, что к ошибочному приему сообщения приводят только одинаковые необнаруживаемые ошибки (искажения одних и тех же символов кода) при нескольких повторных передачах, а различные необнаруживаемые ошибки (искажения различных символов кода) при повторных передачах приводят к пропуску сообщения вследствие несовпадений.

Вероятность ошибочного приема сообщения $P_{\text{ош}}$ в соответствии с выражением (7) зависит от вероятности $P_{\text{н.о}}$ и от N и в рассмотренном случае ($w = 3, v = 2$) практически определяется величиной $P_{\text{ош}} \approx 3N^{-1}P_{\text{н.о}}^2$. С увеличением N величина $P_{\text{ош}}$ уменьшается вследствие увеличения разрядности кода и уменьшения вероятности искажения одних и тех же символов кода при нескольких повторных передачах. Вероятность пропуска сообщения $P_{\text{проп}}$ в соответствии с выражением (6) зависит от вероятностей $P_{\text{о.о}}$ и $P_{\text{н.о}}$ и от N . Влияние на величину $P_{\text{проп}}$ вероятностей $P_{\text{о.о}}$ и $P_{\text{н.о}}$ иллюстрируется приведенными на рис. 2 зависимостями $P_{\text{проп}}$ от $P_{\text{о.о}}$ при различных значениях $P_{\text{н.о}}$ и $N = 100$. Из графиков видно, что в рассмотренном случае величина $P_{\text{н.о}}$ оказывает влияние на вероятность пропуска сообщения $P_{\text{проп}}$ только тогда, когда $P_{\text{о.о}}$ и $P_{\text{н.о}}$ соизмеримы, а с уменьшением $P_{\text{н.о}}$ вероятность пропуска сообщения практически определяется величиной $P_{\text{проп}} \approx 3P_{\text{о.о}}$. Влияние N на величину $P_{\text{проп}}$ в рассмотренном диапазоне значений $P_{\text{о.о}}$ и $P_{\text{н.о}}$ оказывается несущественным.

Пусть при однократной передаче сообщений выбранный корректирующий код обеспечивает $P_{\text{о.о}} = 10^{-3}$ и $P_{\text{н.о}} = 10^{-5}$. Тогда при передаче с повторениями при $w = 3, v = 2$ и $N = 100$ даже при выбранных достаточно высоких исходных вероятностях пропуска и ошибочного приема сообщений $P_{\text{о.о}}$ и $P_{\text{н.о}}$ обеспечивается существенное повышение достоверности: $P_{\text{проп}} = 3 \cdot 10^{-6}$ и $P_{\text{ош}} = 3 \cdot 10^{-12}$. В общем случае при произвольных значениях w и v ($w > v$) и при $P_{\text{н.о}} \ll P_{\text{о.о}}$ можно полагать $P_{\text{проп}} \approx C_w^v P_{\text{о.о}}^v$ и $P_{\text{ош}} \approx C_w^v N^{-1} P_{\text{н.о}}^v$.



■ Рис. 2. Зависимости вероятности пропуска сообщения $P_{\text{проп}}$ при $w = 3$ повторениях и принятии решения по $v = 2$ совпадениям от вероятностей обнаруживаемой ошибки $P_{\text{о.о}}$ и необнаруживаемой ошибки $P_{\text{н.о}}$ при однократной передаче: 1 — $P_{\text{н.о}} = 10^{-4}$; 2 — $P_{\text{н.о}} = 10^{-5}$; 3 — $P_{\text{н.о}} = 10^{-6}$

Таким образом, учет особенностей передачи команд в системах радиуправления приводит к различным вариантам использования блочных корректирующих кодов для обнаружения и исправления ошибок. Наиболее сложным для анализа является случай отсутствия обратного информационного канала, когда необходимо достичь компромисса между риском пропуска команды и исполнением ложной команды. Для этого случая обоснован подход, при котором задается допустимое значение вероятности пропуска сообщения и выбирается код, обеспечивающий минимальное значение вероятности ошибочного приема сообщения. Показано, что в зависимости от условий радиосвязи и накладываемых ограничений данный подход приводит к различным вариантам сочетаний обнаруживающей и исправляющей способности кода, причем при хороших условиях радиосвязи, как и в системах с обратным информационным каналом, может оказаться предпочтительно обнаружение, а не исправление ошибок. При выбранных параметрах помехоустойчивого кода дальнейшее повышение достоверности передачи сообщений возможно на основе их повторения с принятием решения по заданному числу совпадений. Показаны пределы уменьшения вероятностей пропуска и ошибочного приема сообщений при произвольном числе повторений. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании систем командного радиуправления и специальных систем связи, функционирующих без обратного информационного канала.

Литература

1. Вейцель В. А. и др. Радиосистемы управления / Под ред. В. А. Вейцеля. — М.: Дрофа, 2005. — 416 с.
2. Тузов Г. И. и др. Адресные системы управления и связи. Вопросы оптимизации / Под ред. Г. И. Тузова. — М.: Радио и связь, 1993. — 384 с.
3. Директоров Н. Ф. и др. Автоматизация управления и связь в ВМФ / Под ред. Ю. М. Кононова. — СПб.: Элмор, 1998. — 288 с.
4. Молотов Е. П. Наземные радиотехнические системы управления космическими аппаратами. — М.: Физматлит, 2004. — 256 с.
5. Тепляков И. М. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей. — М.: Радио и связь, 2004. — 328 с.
6. Золотарев В. В., Овечкин Г. В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы: справочник. — М.: Горячая линия—Телеком, 2004. — 126 с.
7. Вернер М. Основы кодирования: пер с нем. — М.: Техносфера, 2008. — 288 с.
8. Гаранин М. В., Журавлев В. И., Кунегин С. В. Системы и сети передачи информации. — М.: Радио и связь, 2001. — 336 с.
9. Деев В. В. Методы модуляции и кодирования в современных системах связи. — СПб.: Наука, 2007. — 268 с.

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

При подготовке рукописей статей редакция просит Вас руководствоваться следующими рекомендациями.

Объем статьи (текст, таблицы, иллюстрации и библиография) не должен превышать эквивалента в 20 страниц, напечатанных на бумаге формата А4 на одной стороне через 1,5 интервала в Word шрифтом Times New Roman размером 13.

Обязательными элементами оформления статьи являются: индекс УДК, заглавие, инициалы и фамилия автора (авторов), ученая степень, звание, полное название организации, аннотация (7–10 строк) и ключевые слова на русском и английском языках, подрисуночные подписи.

Формулы в текстовой строке набирайте в Word, не используя формульный редактор (Mathtype или Equation), только в том случае, если средства Word не позволяют набрать формулу или символ (например, простая дробь, символы с «крышками» и т. д.), используйте имеющийся в Word формульный редактор Mathtype или Equation; формулы, стоящие в отдельной строке, могут быть набраны как угодно; при наборе формул в формульном редакторе знаки препинания, ограничивающие формулу, набирайте вместе с формулой; для установки размера шрифта никогда не пользуйтесь вкладкой Other..., используйте вкладку Define; в формулах не отделяйте пробелами знаки: + = –.

При наборе символов в тексте помните, что символы, обозначаемые латинскими буквами, набираются светлым курсивом, русскими и греческими — светлым прямым, векторы и матрицы — прямым полужирным шрифтом.

Иллюстрации в текст не заверстываются и предоставляются отдельными исходными файлами, поддающимися редактированию:

— рисунки, графики, диаграммы, блок-схемы изготавливаются в векторных программах: Visio 4, 5, 2002–2003 (*.vsd); Coreldraw (*.cdr); Excel; Word; AdobeIllustrator; AutoCad (*.dxf); Компас; Matlab (экспорт в формат *.ai);
— фото и растровые — в формате *.tif, *.png с максимальным разрешением (не менее 300 pixels/inch).

В редакцию предоставляются:

— сведения об авторе (фамилия, имя, отчество, место работы, должность, ученое звание, учебное заведение и год его окончания, ученая степень и год защиты диссертации, область научных интересов, количество научных публикаций, домашний и служебный адреса и телефоны, факс, эл. адрес), фото авторов: анфас, в темной одежде на белом фоне, должны быть видны плечи и грудь, высокая степень четкости изображения без теней и отблесков на лице, фото можно представить в электронном виде в формате *.tif, *.png с максимальным разрешением — не менее 300 pixels/inch при минимальном размере фото 40 × 55 мм;

— экспертное заключение.

Список литературы составляется по порядку ссылок в тексте и оформляется следующим образом:

— для книг и сборников — фамилия и инициалы авторов, полное название книги (сборника), город, издательство, год, общее количество страниц;

— для журнальных статей — фамилия и инициалы авторов, полное название статьи, название журнала, год издания, номер журнала, номера страниц;

— ссылки на иностранную литературу следует давать на языке оригинала без сокращений;

— при использовании web-материалов указывайте адрес сайта и дату обращения.

Более подробную информацию см. на сайте: www.i-us.ru