УДК 004.9

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ СТРУКТУРНЫЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ

Фрейман В.И.

ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, e-mail: vfrey@mail.ru

Настоящая статья посвящена исследованию структурных способов обеспечения помехоустойчивости сетей передачи данных в составе систем управления. Показана важность и значимость использования повторения и обратных связей для обеспечения достоверной передачи информации между элементами и устройствами современных систем управления. Выполнена классификация структурных способов обеспечения помехоустойчивости, для каждого определены достоинства, недостатки и область целесообразного применения. Проанализированы способы повторения на уровне символов и сообщений, а также организации обратной связи с целью управления процессом передачи информации. Разработаны программные модели систем управления, использующих различные структурные способы обеспечения помехоустойчивости, в среде моделирования MathWorks Matlab, пакет расширения Simulink. Даны рекомендации по использованию предложенных способов при организации систем управления различной конфигурации и назначения.

Ключевые слова: обратная связь, запрос, подтверждение, канал, обнаружение ошибок, модель, MatLab

THE DEVELOPMENT AND RESEARCH OF CONTROL SYSTEM MODELS USING STRUCTURAL METHODS OF NOISE STABILITY PROVIDING

Freyman V.I.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: vfrey@mail.ru

This article is described to research of noise stability providing structural methods of data communication networks as a part of control systems. Importance and significance of repetitions and feedback for providing reliable information transfer between elements and devised of control systems are showing. The classification of noise stability providing structural methods is executed, for each of them an advantages, shortcomings and area of expedient application are defined. The methods of symbols and messages repeating and feedback organization for information transmit process control are analyzed. A program models of control systems, using a different structural methods of noise stability providing, in MathWorks MatLab, extended software Simulink, is developed. The recommendations for using a offered methods to organization of control systems with different configuration and purpose.

Keywords: feedback, request, confirmation, channel, errors detection, model, MatLab

Постановка задачи

Для систем передачи информации наиболее актуальной является проблема повышения помехоустойчивости. Она заключается в обеспечении высокой достоверности принятых сообщений на фоне действия различных помех в каналах связи [2]. Исходя из конфигурации системы связи, можно выделить следующие основные подходы к повышению помехоустойчивости [3, 4].

Один подход базируется на использовании избыточного кодирования [6, 8], реализующего методы коррекции возникающих при передаче ошибок, а также m-кратное повторение символов или сообщений с накоплением и последующим принятием решения, что эффективно для однонаправленных каналов. Для них характерно наличие источников и получателей сообщений и фиксированное направление передачи.

Второй подход базируется на использовании обратных связей (ОС) для управления и контроля потока данных [7, 9]. При этом используются помехоустойчивые коды, способные только обнаруживать ошибки. Такой подход характерен для двунаправленных каналов связи.

Выполним классификацию систем передачи информации, используя критерий применения различных способов обеспечения достоверности передачи (рис. 1).

Для систем, использующих неизбыточное (первичное) кодирование, передача получателю неправильного сообщения (трансформация) происходит как результат возникновения одной и большего количества ошибок. Такой вариант имеет наименьшие показатели достоверности, обеспечивая при этом наиболее возможную скорость передачи информации.

При использовании кодов, исправляющих ошибки, трансформация сообщения

возникает только при превышении кратности ошибки корректирующих свойств кода. Это дает возможность в значительной мере увеличить достоверность, которая оценивается вероятностью правильной передачи сообщения, при этом снижается информационная скорость передачи за счет добавления дополнительных (избыточных) символов.

Системы с многократным (*m*-кратным) повторением являются наиболее простыми с точки зрения реализации в них метода повышения достоверности передачи. При использовании этого варианта за правильное сообщение (или символ) принимается то, которое имеет наибольшее количество одинаковых значений при повторении, например, более половины. При этом трансформация возникает тогда, когда в большом количестве повторов происходят ошибки в одних и тех же разрядах, что весьма маловероятно. Данный способ имеет достаточно большую, но фиксированную избыточность и поэтому ограничен в применении.

Для рассмотренных выше способов обеспечения достоверности имеет место значительное уменьшение пропускной способности за счет ввода фиксированной, заранее рассчитанной избыточности. Указанного недостатка в известной мере лишены системы с обратными связями. Их пропускная способность напрямую зависит от текущего состояния канала связи, которая описывается статистикой возникновения ошибок. С ростом количества ошибок в канале также растет число повторов, что приводит к снижению скорости передачи и, как следствие, к увеличению избыточности. При уменьшении числа ошибок в канале подавляющее большинство сообщений передается один раз, поэтому скорость передачи и пропускная способность системы увеличиваются, а избыточность, соответственно, уменьшается.

Современные системы управления, как правило, характеризуются двунаправленным взаимодействием по каналам связи (на физическом и/или на логическом уровнях). Исходя из этого, применение обратных связей является эффективным и практически используемым способом повышения достоверности при передаче данных.

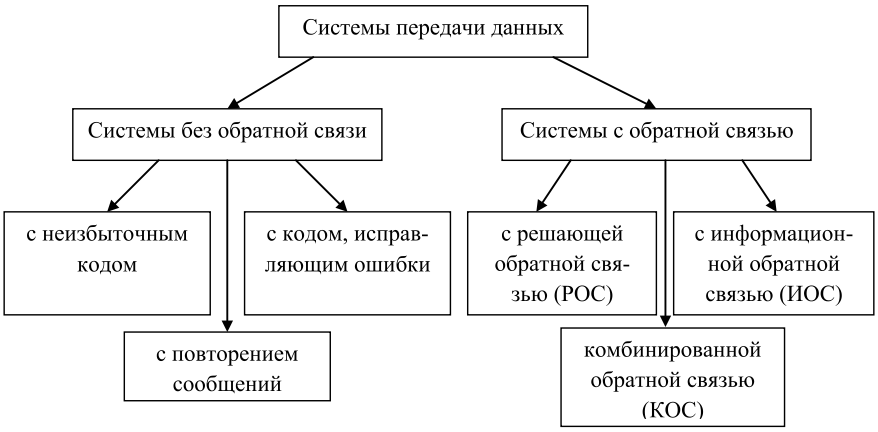


Рис. 1. Классификация систем передачи данных

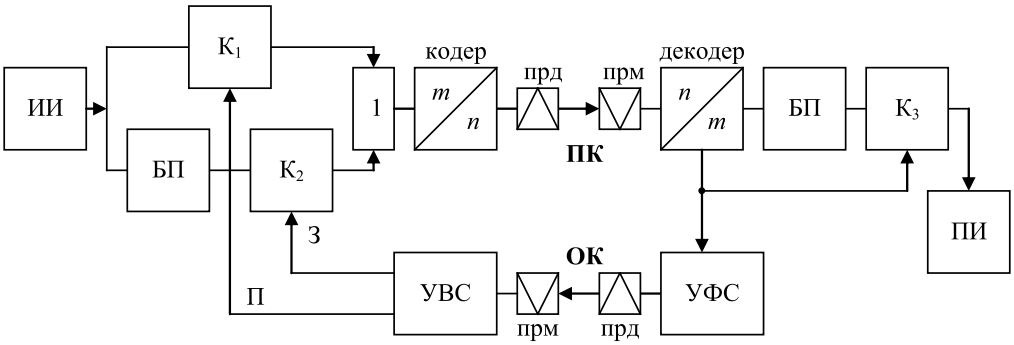


Рис. 2. Обобщенная структурная схема системы с РОС-ОЖ

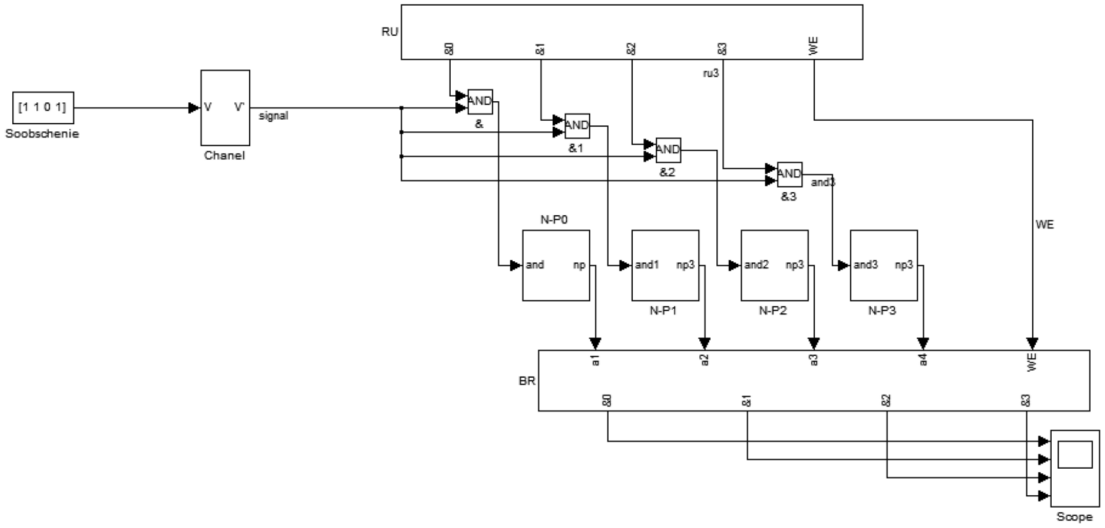


Рис. 3. Модель системы передачи с повторением сообщений

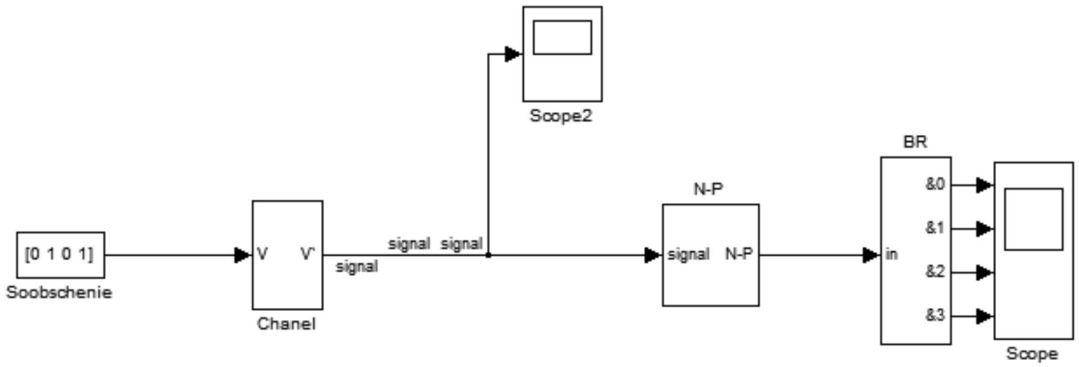


Рис. 4. Модель системы передачи с повторением символов

Структурные способы обеспечения достоверности исследуются как методы взаимодействия при обмене информацией по сетям передачи данных в составе систем управления. Разработке лабораторного практикума по исследованию структурных методов повышения помехоустойчивости и посвящена данная работа. Исследование включает две работы: систем с *m*-кратным повторением и систем с обратной связью (решающей, с ожиданием – РОС-ОЖ, рис. 2).

Раскроем приведенные на рис. 2 условные обозначения:

- ИИ – источник информации;
- ПИ – получатель информации;
- $К_1$, $К_2$, $К_3$ – ключи;
- БП – буферная память;
- 1 – логический дизъюнктор (элемент «ИЛИ»);
- прд – передатчик канального сигнала;
- прм – приемник канального сигнала;
- ПК – прямой канал;
- ОК – обратный канал;
- УФС – устройство формирования сигнала обратной связи;
- УВС – устройство выделения сигнала обратной связи;
- П – подтверждение правильности передачи;
- З – запрос на повторную передачу сообщения с ошибкой.

Принципы и алгоритмы реализации структурных методов обеспечения помехоустойчивости будут пояснены на разработанных моделях. В качестве программного инструментария для реализации и исследования выбран пакет моделирования MATLAB фирмы MathWorks и его расширение Simulink [10]. Он обладает широкими функциональными возможностями и активно применяется в научных исследованиях и инженерных проектах.

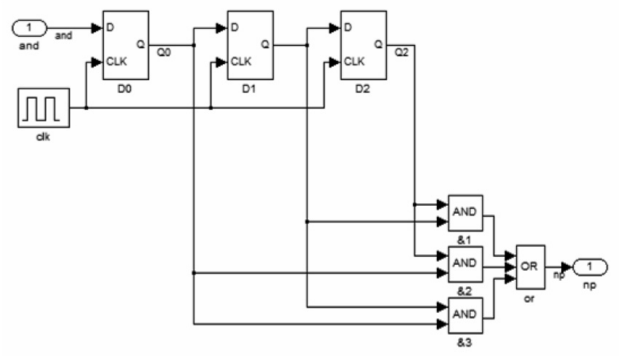


Рис. 5. Модель накопителя с порогом

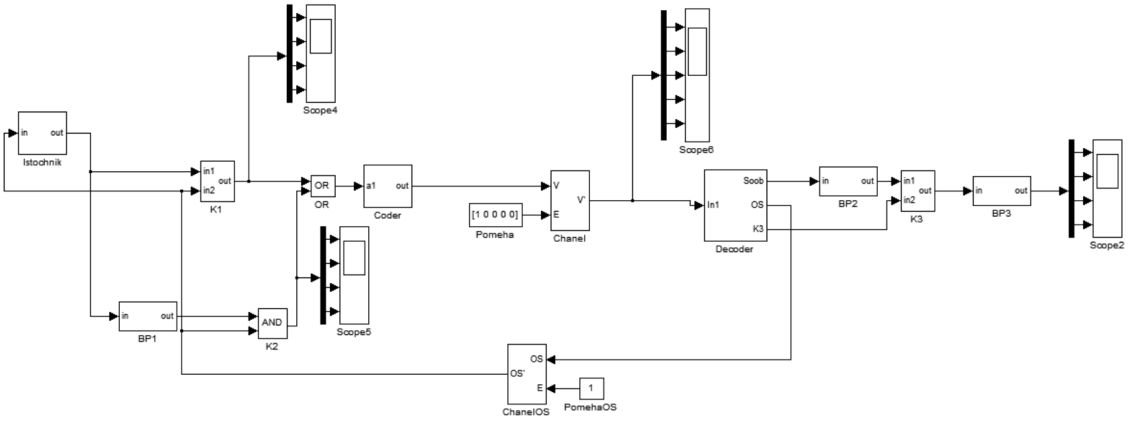


Рис. 6. Модель системы передачи с РОС–ОЖ

Далее приведены модели систем управления с многократным повторением сообщений (рис. 3) и символов (рис. 4). Каждая модель состоит из модели источника сообщений, канала связи и декодера. Поскольку процедура кодирования в обоих случаях достаточно проста, то основное внимание уделяется разработке моделей декодирующих устройств.

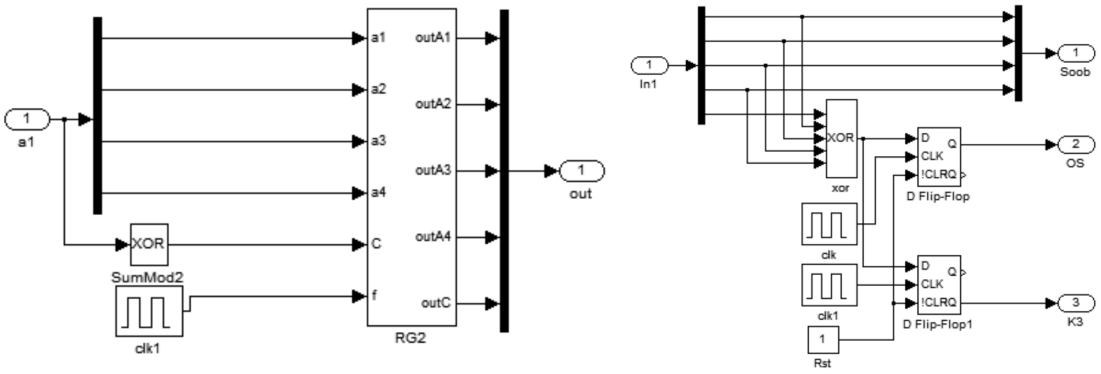
Основным элементом декодирующих устройств для обоих вариантов систем является накопитель с порогом (рис. 5). Только в первом случае он принимает решение по каждому символу, а во втором – по всему сообщению.

Применение повторения позволяет уменьшить вероятность ошибочного принятия решения по символу и вероятность трансформации – по всему сообщению. Основные расчетные формулы для определения вероятностных характеристик приведены в [3].

Общий вид модели системы передачи с РОС–ОЖ показан на рис. 6.

Решение о правильности передачи принимается в декодирующем устройстве, которое выполняет процедуру обнаружения ошибок, поскольку в системе используется избыточное кодирование сообщений (комбинаторными, групповыми, циклическими или другими кодами). При обнаружении ошибки в обратный канал формируется служебное сообщение «Запрос», по которому передача сообщения повторяется. В противном случае передается служебное сообщение «Подтверждение», информация отправляется получателю, а система готова к передаче нового сообщения.

В качестве корректирующего кода в работе используется комбинаторный код на некоторые сочетания, реализующий контроль четности в принятом сообщении. Данный код является достаточно простым в реализации и позволяет гарантированно обнаруживать все ошибки нечетной кратности. Это дает возможность уменьшить вероятность трансформации на два-три порядка (в 100–1000 раз) за счет повторного запроса и последующего приема безошибочного сообщения. Ниже приведены схемотехнические модели кодирующего устройства (рис. 7, *а*) и декодирующего устройства (рис. 7, *б*) кода с контролем четности в среде моделирования Simulink.



а *б*

Рис. 7. Модели кодера и декодера для кода с контролем четности

При выполнении исследований необходимо ознакомиться с принципами построения структурных схем и основных элементов, промоделировать работу в режимах безошибочной передачи и ошибках различной кратности и расположения. Исследования проводятся как для модели канала связи с независимыми, так и с пакетирующимися ошибками. Развитием данных работ может быть исследование статистических характеристик систем.

Заключение

В настоящей статье представлены результаты исследования принципов организации систем управления с повторением и обратной связью. В современных сетях передачи данных они нашли применение не только в протоколах канального уровня, но и других (например, сетевого, транспортного, сеансового). Система с обратной связью является наиболее эффективным способом управления потоком данных в двунаправленных каналах передачи информации, несмотря на сложность реализации и алгоритмов взаимодействия. Поэтому важно обеспечить эффективное изучение данных вопросов на разных уровнях системы подготовки специалистов по системам управления [1, 4].

Список литературы

1. Волкова В.Н., Козлов В.Н., Горелова Г.В., Лыпарь Ю.И., Паклин Н.Б., Фирсов А.Н., Черненькая Л.В. Моделирование систем и процессов: учебник. Серия 58. Бакалавр. Академический курс (1-е изд.). – М.: Изд-во Юрайт, 2016. – 450 с.

2. Гаврилов А.В., Кон Е.Л., Фрейман В.И. К вопросу об управлении распределенными гетерогенными мультивендорными инфокоммуникационными системами // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2011. – № 5. – С. 264–270.

3. Кон Е.Л., Фрейман В.И. Теория электрической связи. Помехоустойчивая передача данных в информационно-управляющих и телекоммуникационных системах: модели, алгоритмы, структуры: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 317 с.: ил.

4. Никифоров В.И., Речинский А.В., Черненькая Л.В. Понятийно-терминологический аппарат государственных образовательных стандартов системы непрерывного профессионального образования // Alma mater (Вестник высшей школы). – 2013. – № 11. – С. 43–47.

5. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – Изд. 2-е, испр.: пер. с англ. – М.: Вильямс, 2003. – 1104 с.: ил.

6. Фрейман В.И., Пирожков А.П. Изучение эффективного (экономного) кодирования данных в телекоммуникационных системах в рамках лабораторного практикума // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике. – 2012. – № 1. – С. 308–317.

7. Фрейман В.И., Пирожков А.П. Исследование моделей дискретных каналов с памятью в рамках лабораторного практикума, построенного на базе пакета Matlab // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2013. – Т. 1, № 7. – С. 26–36.

8. Фрейман В.И., Пирожков А.П. Исследование эффективного кодирования в системах передачи и хранения информации // Научные исследования и инновации. – 2012. – Т. 6, № 1–4. – С. 214–222.

9. Фрейман В.И., Савиных В.А. Изучение систем передачи с многократным повторением и обратной связью при помощи моделирования в среде Matlab // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2011. – № 5. – С. 271–275.

10. MATLAB Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mathworks.com/help/matlab/ (дата обращения: 04.07.2016).