Московский
государственный горный
университет

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Председатель	
Л.А. ПУЧКОВ	*ректор МГГУ, чл.-корр. РАН*
Зам. председателя	
Л.Х. ГИТИС	*директор Издательства МГГУ*
Члены редсовета	
И.В. ДЕМЕНТЬЕВ	*академик РАЕН*
А.П. ДМИТРИЕВ	*академик РАЕН*
Б.А. КАРТОЗИЯ	*академик РАЕН*
М.В. КУРЛЕНЯ	*академик РАН*
В.И. ОСИПОВ	*академик РАН*
Э.М. СОКОЛОВ	*академик МАН ВШ*
К.Н. ТРУБЕЦКОЙ	*академик РАН*
В.В. ХРОНИН	*профессор*
В.А. ЧАНТУРИЯ	*академик РАН*
Е.И. ШЕМЯКИН	*академик РАН*

ВЫСШЕЕ ГОРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

А.С. Вознесенский

СРЕДСТВА ПЕРЕДАЧИ И ОБРАБОТКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Рекомендовано Учебно-методическим объединением высших учебных заведений РФ по горному образованию Министерства общего и профессионального образования Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Горное дело» специальности «Физические процессы горного производства»

МОСКВА
ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

1999

УДК 621.391:681.3:622.831
В 64

Рецензенты:

- Кафедра информационных систем и измерительных технологий Московского государственного открытого университета (зав. кафедрой профессор *Г.Г. Раннев*);
- профессор *В.Ф. Калюжный*, д. т. н. – Московский технический университет связи и информатики;
- чл.-корр. РАН *Г.А. Соболев* – зам. директора Института физики Земли РАН

Вознесенский А.С.

В 64 Средства передачи и обработки измерительной информации: Учеб. пособие. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 1999. – 267 с.

ISBN 5–7418–0109–9

В учебном пособии рассмотрены средства передачи и обработки измерительной информации, используемые как в горной промышленности, так и в других отраслях науки и техники. Изложены теоретические и практические вопросы сбора, накопления, передачи, обработки и хранения информации, получаемой при измерениях.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности «Физические процессы горного производства» и изучающих курс «Средства передачи и обработки измерительной информации», а также для студентов других специальностей, инженерно-технического персонала и научных работников, деятельность которых связана с измерениями различных процессов.

ISBN 5–7418–0109–9

© А.С. Вознесенский, 1999
© Издательство МГГУ, 1999

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 9
1. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ ПЕРЕДАЧИ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ 10
2. ТЕОРИЯ ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЙ 16
2.1. Основные понятия и определения 16
2.2. Функциональная схема преобразования сообщений и сигналов в линии связи 19
2.3. Характеристики случайных процессов 21
2.4. Элементы спектральной теории случайных процессов 28
2.5. Модуляция и детектирование сигналов при передаче информации 37
2.6. Основы дискретизации функции непрерывного аргумента. Теорема Котельникова 45
2.7. Физический объем сигнала и канала связи 48
3. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ И КОДИРОВАНИЕ СООБЩЕНИЙ 54
3.1. Информация и ее характеристики 54
3.2. Кодирование сообщений 58
4. КАНАЛЫ СВЯЗИ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ 63
4.1. Требования к средствам и каналам передачи информации 63
4.2. Передача информации по каналу без помех и с помехами 64
4.3. Общие сведения о линиях и каналах связи 66
4.3.1. Проводные и кабельные линии связи 66
4.3.2. Радиолинии 69
4.3.3. Перспективные типы линий и каналов в системах передачи информации 75
4.3.4. Сравнение стоимости проводных линий и ВОЛС 78
4.4. Многоканальные методы передачи информации 80
5. ОБЩАЯ СХЕМА ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ 87

5.1. Стадии процесса обработки измерительной информации 87
5.2. Аппаратные средства обработки измерительной информации ... 91
5.3. Программные средства обработки измерительной информации ... 96
6. СБОР И НАКОПЛЕНИЕ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ... 99
6.1. Стадии процесса сбора и накопления измерительной информации ... 99
6.2. Ввод измерительной информации в компьютер ... 100
6.2.1. Ввод измерительной информации с клавиатуры ... 100
6.2.2. Ввод измерительной информации в компьютер с помощью аппаратных средств ... 102
6.3. Представление данных в устройствах обработки информации. ... 111
6.4. Форматы файлов данных ... 113
7. ПЕРВИЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДАННЫХ ... 115
8. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ... 118
8.1. Пакет программ построения двумерных графиков GRAPHER ... 119
8.2. Пакет программ SURFER для трехмерного представления результатов ... 123
9. СГЛАЖИВАНИЕ, ФИЛЬТРАЦИЯ, АНАЛИЗ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ. 133
9.1. Преобразование Фурье ... 133
9.2. Статистический анализ результатов ... 136
9.2.1. Пример обработки данных с помощью пакета Statistica 138
9.3. Прогнозирование результатов измерений ... 144
9.3.1. Классификация методов прогнозирования ... 144
9.3.2. Прогнозная экстраполяция ... 148
9.3.3. Пример экспоненциального сглаживания процесса ... 154
10. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ (КЛАССИФИКАЦИЯ СОСТОЯНИЙ ОБЪЕКТА) ... 159

10.1. Байесовский классификатор 160
10.2. Влияние априорных вероятностей и значений коэффициентов платежной матрицы на выбор порога при диагностике состояния геомеханических объектов 163
11. ПРИМЕРЫ ЛАБОРАТОРНЫХ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ 167
11.1 Лабораторная информационно-измерительная система на базе осциллографа С9-8 для регистрации ультразвуковых сигналов 167
11.2. Информационно-измерительная система для регистрации акустической эмиссии, деформаций и других параметров образцов горных пород при их нагружении 171
11.2.1. Общие сведения о системе 171
11.2.2. Краткое описание пакета программ MULTIEXP 174
11.2.3. Пример использования программы. 175
11.2.4. Пример измерения и обработки данных 177
11.3. Разработка виртуальных приборов на базе программного пакета LabVIEW 180
12. СИСТЕМЫ ДЛЯ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ 185
12.1. Общие сведения 185
12.2. Сейсмоакустические системы с аналоговой передачей данных 192
12.3. Сейсмоакустический комплекс “Регион” 196
12.4. Сейсмоакустические системы с цифровой передачей данных 206
12.5 Система сейсмоакустического контроля напряженного состояния угольного пласта MESAS 213
13. СИСТЕМА ДЕФОРМОМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД С БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ПОКАЗАНИЙ 216
13.1. Аппаратная часть 216
13.2. Деформационные измерения на подземных рудниках с камерно-столбовой системой разработки 221
13.3. Эффект задержки деформационного отклика 224

13.4. Обработка результатов деформационных измерений .. 229
14. ПЕРЕДАЧА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО СЕТЯМ ИНТЕРНЕТ 234
14.1. Общие сведения об Интернет 234
14.2. Как работает Интернет 236
14.3. Доменная система имен 240
14.4. Базовые средства Интернет 242
14.5. Универсальные поисковые системы 248
15. ПРАВОВЫЕ ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ 251
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 257

ПРЕДИСЛОВИЕ

Среди прочих достижений за последние 100-200 лет два изобретения в значительной степени изменили жизнь современного человека. Это передача информации на значительные расстояния и создание компьютера. Они внедрились в жизнь и ускорили прогресс во многих областях науки и техники. Сегодня невозможно представить себе ни одну из областей человеческой деятельности, а в особенности - измерений различных физических величин и процессов - без передачи данных на расстояние и их обработки с помощью компьютеров.

В то же время для правильного применения этих мощных орудий современной цивилизации необходимо представление о процессах и устройствах, с помощью которых осуществляется как передача, так и обработка информации. Необходимо также представлять роль передачи и обработки данных в процессе измерения.

Пособие ставит своей целью дать инженеру представление об этом. Оно содержит сведения базового характера, а также технические подробности, необходимые для ориентировки современного специалиста в бурном море постоянно развивающихся областей человеческого знания. Сведения общего характера иллюстрируются примерами. По возможности эти примеры взяты из области физико-технического контроля и измерений в горной промышленности, значение которой для нашей страны велико. Однако материал может быть использован независимо от конкретной области и при решении других задач.

Разделы 9.2.1, 11.2.4 подготовлены совместно с Е.М. Шафаренко, Е.С. Оксенкругом, М.Н. Тавостиным, Ю.Л. Филимоновым. Глава 11.2 и программа MULTIEXP написана совместно с В. А. Вознесенским.

1. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ ПЕРЕДАЧИ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Если говорить о современных информационных технологиях, т. е. технологиях передачи и обработки информации, то можно сказать, что мы входим в мир, которого раньше не было. Он создан человеческим разумом совсем недавно, по меркам истории - на днях. Это мир без границ и расстояний, существующий на мониторах наших умных машин, в наслоениях интерфейсов и протоколов в бесчисленных каналах связи электронных систем. Современные информационные технологии базируются на сетях связи и электронных вычислительных машинах.

Необходимость в накоплении, обработке и обмене информацией существует столько же, сколько и сам человек. Древнейшими устройствами для передачи информации были барабаны и костры. Звук первых и дым вторых несли сведения об удачной охоте или о нападении врагов. На территории России монастыри и отдельные церкви строились в зоне видимости друг друга так, чтобы можно было передавать сигналы на видимое расстояние друг другу, перекрывая десятки и сотни верст. Но настоящий прогресс в этом деле начался с открытием электричества.

Неудачных идей и попыток его использования для передачи информации было множество. Решить, наконец, задачу передачи удалось русскому изобретателю Павлу Львовичу Шиллингу, создавшему в 1832 году первый действующий электромагнитный телеграф [1]. Ему же принадлежит мысль о прокладке изолированных подземных и подводных кабелей - прототипов нынешних линий связи. К сожалению, его смерть в 1837 году не позволила реализовать заказ правительства России по прокладке кабеля и создании телеграфной связи между Петергофом и Кронштадтом.

Сэмюэль Морзе, художник по профессии, возвращаясь из Европы на морском судне, привез в Америку идею телеграфа.

Идея эта настолько захватила его, что вплотную занявшись ею, в 1837 году он демонстрировал телеграфный аппарат в Нью-Йоркском университете [2]. Позднее, в 1845 году он изобрел код, известный ныне как азбука Морзе. В 1876 году Александр Белл в США запатентовал телефонный аппарат. В дальнейшем он создал телефонную компанию Bell, преобразованную позже в AT&T и ставшую на многие годы монополистом в области проводной связи.

История развития средств передачи информации невозможна без упоминания опытов, проводимых русским ученым Александром Степановичем Поповым [3]. 7 мая 1895 года на заседании физического отделения Русского физико-химического общества был заслушан его доклад со скучным названием "Об отношении металлических порошков к электрическим колебаниям". Однако темой доклада была демонстрация грозоотметчика - прибора, способного воспринимать электромагнитные колебания, возникающие из электрических искр. По существу он продемонстрировал первую беспроводную систему передачи информации.

Приблизительно в те же годы развивались и средства обработки информации [4]. Теоретиком, заложившим основы идеи создания вычислительной машины, принято называть англичанина Чарльза Беббиджа, который приблизительно в 1822 году создал действующую модель машины, которая позволяла вычислять с точностью до 8 знаков значения полиномов второй степени. В 1896 году Холлеризом была организована фирма по выпуску перфокарт и счетно-перфорационных машин, на которых осуществлялась обработка данных. Эта фирма была затем преобразована в фирму IBM, которая сегодня является одной из самых крупных фирм - производителей компьютеров.

В 1946 году в США завершено создание первой электронной вычислительной машины ENIAC (Electrical Numerical Integrator And Calculator). Она работала в десятичной системе счисления, занимала площадь 600 м^2 , потребляла 180 киловатт элек-

троэнергии и весила 30 тонн. Примерно в то же время в Германии Цербст создал свою вычислительную машину, производящую баллистические расчеты. Однако этот факт менее известен, если учесть время создания машины - 1939 - 1942 годы, когда шла Вторая мировая война. Первая машина, которая обладала всеми необходимыми компонентами современной ЭВМ т. е. промежуточной внутренней памятью и хранимой программой, была английская машина EDSAC, сделанная в 1949 году.

В Советском Союзе в Киеве в 1947 году началась разработка малой электронной вычислительной машины МЭСМ, которая вступила в строй в 1951 году. Эта машина была разработана под руководством академика С. А. Лебедева, с именем которого связано дальнейшее развитие вычислительной техники.

В 1966 году в США принят стандарт ASCII (American Standard Code for Information Interchange - американский стандартный код для информационного обмена, используемый ныне производителями компьютеров и коммуникационного оборудования во всем мире. В нашей стране используются стандарты КОИ-7 (семиразрядный код) и КОИ-8 (восьмиразрядный код), разработанные с учетом стандарта ASCII.

Большую роль в развитии средств передачи и обработки информации играют локальные и глобальные сети. Десятки лет компьютер оставался чрезвычайно дорогим удовольствием. Не всякий университет или научный центр мог похвастать подобным вычислителем, но и не всякий обладатель мог загрузить его на всю мощь. Поэтому возникла идея распределения их вычислительных мощностей. Первыми реализовали ее военные. По заданию Пентагона в 1969 году создана первая глобальная компьютерная сеть. Все операции в ней осуществлялись на нескольких больших вычислительных машинах, к которым подсоединялись удаленные терминалы - простейшие устройства, состоящие из монитора и клавиатуры. По инициалам создателя - Управления перспективных исследований Министерства обороны США (Advanced Research Project Agency) - ее назвали ARPAnet. Ясно, что будучи соединенными с центральным процессором, ученые

придумали способ обмениваться между собой сообщениями. Известный сейчас как электронная почта, или E-mail, способ этот быстро превратил сеть в гораздо более эффективное средство коммуникации, чем телеграф и телефон. А протокол обмена информацией, разработанный для ARPAnet, стал впоследствии стандартом и для межсетевого обмена. Он получил название IP - Internet Protocol (межсетевой протокол), а использующее его объединение сетей стало называться Internet. Ему, родившемуся в 80-х, и было суждено уже в начале 90-х завоевать компьютерный мир. Но чтобы это стало возможным, компьютеры сами должны были преобразоваться в нечто иное, чем занимающие целые здания монстры. Это произошло в 70-е годы, когда благодаря развитию микроэлектроники появились первые персональные компьютеры, достаточно дешевые, простые и надежные для массового потребителя. В 1976 году создана компания Apple и продан ее первый персональный компьютер (ПК). Индустрия ПК развивалась поразительными темпами, особенно после выхода на этот рынок в 1981 году корпорации IBM.

Стремительный рост возможностей и эффективности персональных компьютеров обесценил идею распределения вычислительной мощности. Но осталась необходимость информационного обмена между вычислительными машинами, обрабатывающими и хранящими большие объемы информации. Тогда и нашел коммерческое применение распространенный сейчас стандарт для локальных сетей - Ethernet, разработанный еще в 1973 году одним из подразделений компании Xerox PARC. Появились и успешно действуют другие стандарты - Token Ring, Arcnet, PCNet, DECnet.

В 1982 году основана компания Sun. Она является сейчас крупнейшим поставщиком сетевого оборудования для глобальных сетей. Сейчас 90% серверов в Internet - ее производства.

В начале 1980-х произошло еще одно важное событие: компания Hayes представила первый не требующий ручного управления модем (модулятор-демодулятор) - устройство, преобразующее цифровые сигналы компьютера в аналоговые для пе-

редачи их по обычным телефонным линиям. Модем обеспечил возможность обмена информацией между компьютерами без прокладки специальных линий. Значение этого невозможно переоценить - ведь в распоряжении компьютеров оказалась сразу вся гигантская сеть коммуникаций, развивавшаяся почти полтора столетия для нужд телеграфной и телефонной связи. Неудивительно, что почти сразу вслед за появлением модемов возникают и первые коммерческие информационные службы (самая известная из них - CompuServe), а также электронные доски объявлений (Bulletin Board System, называемые просто BBS). В 1984 году Том Дженнингс создает любительскую сеть FidoNet. Владельцы компьютеров и модемов получили возможность обмениваться электронной почтой, файлами и вообще любой информацией с той же легкостью, что и обычными речевыми сообщениями.

Сегодня количество пользователей Internet превысило 25 миллионов и постоянно увеличивается. Особенная популярность в последнее время обусловлена появлением так называемой технологии World Wide Web (WWW).

В России сети ЭВМ существовали достаточно давно и успешно функционировали. Правда, они не были рассчитаны на рядовых потребителей. Среди наиболее крупных действовавших и продолжающих действовать сетей - сети МПС (Экспресс), МГА (Сирена), Минтопэнерго, Мингазпрома и некоторых других. В начале 90-х годов в России образована наиболее крупная сеть Relcom, построенная на базе операционной системы UNIX. Развивается в России и сеть Internet. Число российских серверов Internet пока еще не очень велико. На начало 1996 года число непрерывно соединенных с сетью и действующих хост-компьютеров составляет примерно 700, среди них серверов WWW - около 200.

Сегодня появились технологии, обеспечивающие доступ в реальном времени ко всем "богатым" видам информации: звук, трехмерная графика и мультипликация, видео. Однако распространенные сейчас сети не способны обеспечить высокую пропускную способность и доставлять зрителю аудио- и видеоинфор-

мацию без задержек. Физически решить эту проблему сможет цифровая сеть с интеграцией услуг ISDN (Integrated Services Digital Network).

2. ТЕОРИЯ ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЙ

2.1. Основные понятия и определения

Слово "информация" сравнительно недавно стало научным термином. Существует несколько определений информации. Наиболее общим является определение информации как совокупности сведений о каком-либо событии [5]. Форма представления информации - сообщение. Это может быть текст телеграммы, речь, музыка, телевизионное изображение, данные на выходе ЭВМ, отраженные от цели локационные сигналы, сведения об устойчивости массива пород вокруг горных выработок и т. д.

Чтобы передать сообщение получателю, необходимо воспользоваться некоторым физическим процессом, способным с той или иной скоростью распространяться от источника к получателю сообщений. Изменяющаяся во времени физическая величина (звуковая волна, ток, напряжение, напряженность электромагнитного поля и т. д.), отображающая сообщение в процессе передачи, называется сигналом. Для передачи информации может использоваться электрическая проводная, беспроводная оптическая связь, связь с использованием упругих колебаний (например, через массив замороженных пород на метеостанции) и др.

На рисунке 2.1 изображена общая схема передачи сообщений (направление сигнала слева направо).

Передающее устройство - преобразует исходное сообщение в сигнал, форма которого удобна для передачи по данной линии связи. Приемное устройство осуществляет обратное преобразование.

Канал связи - совокупность средств, предназначенных для передачи сообщений или сигналов. Состоит из технических устройств и линии связи. Понятие "канал связи" может трактоваться

по-разному. Иногда под ним понимают только линию связи, а иногда все вместе.

Помимо полезного сигнала в канале связи возникают помехи. Накладываясь на полезный сигнал, помехи приводят к неоднозначности при восстановлении сообщений. Помехи могут возникнуть в любом месте, однако на рис. 2.1 они изображены как воздействующие на линию связи.

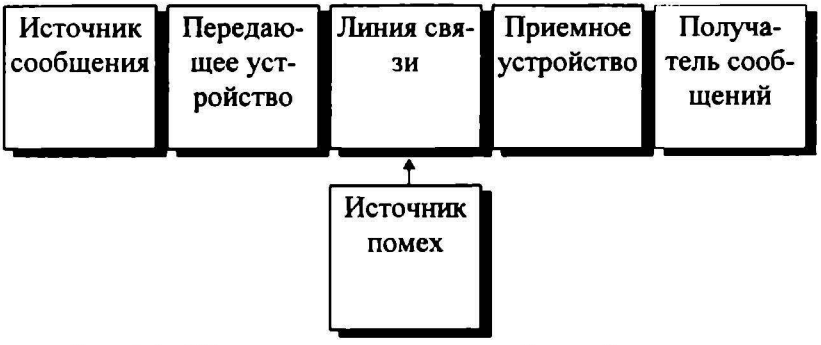

Рис. 2.1. Общая схема передачи сообщений

Источник сообщения, передающее устройство, линия (среда) между пунктами связи, приемное устройство и получатель сообщения образуют систему связи.

Сообщения , а также соответствующие им сигналы обычно делят на непрерывные и дискретные.

Непрерывные сообщения - те, для которых соответствующие сигналы могут принимать любые значения, отличающиеся друг от друга на сколь угодно малую величину. Количество таких значений бесконечно велико. С такими сообщениями и величинами приходится иметь дело в большинстве случаев в окружающей жизни. Это речь, музыка, температура окружающей среды, напряжения в массиве пород и т. д.

Дискретные сообщения - те, для которых соответствующие сигналы могут принимать только определенные значения из конечного набора возможных значений. Дискретным является источник, выдающий сообщение в виде текста, записанного рус-

ским, латинским или каким-либо другим алфавитом, в виде последовательности арабских цифр.

Системы связи, предназначенные для передачи непрерывных сообщений, называются непрерывными или аналоговыми, а для передачи дискретных сообщений - дискретными или цифровыми. Существуют комбинированные системы, в которых аналоговые сигналы, с которыми приходится иметь дело в большинстве случаев в повседневной жизни, преобразуются в цифровые, а затем преобразуются и передаются уже как дискретные. После передачи и обработки в цифровом виде они преобразуются опять в аналоговые. В последнее время цифровые системы передачи и обработки информации занимают все большее и большее место, вытесняя аналоговые. Это обусловлено достоинствами цифрового представления сигналов, такими как:

- возможность большого диапазона представления чисел;
- высокая помехоустойчивость при передаче за счет применения корректирующих кодов;
- значительное упрощение настройки цифровой аппаратуры по сравнению с аналоговой.

Сравнительная сложность цифровых устройств в настоящее время не является препятствием для массового производства в связи с развитием микроэлектроники, стоимость цифровых микросхем при массовом их производстве невелика и постоянно снижается.

Дискретные сообщения составляются из отдельных элементов (или букв) , их совокупность образует первичный алфавит сообщения. Когда количество K букв в первичном алфавите велико, прибегают еще к одному дополнительному преобразованию, называемому кодированием. При этом каждая k-я буква $\overline{a_k}$ передается с помощью кодовой комбинации $\overline{b_k}$ (k=1,2,...K), содержащей несколько более простых символов b_i (i=1,2,...m) - элементов вторичного алфавита. Число различных символов вторичного алфавита m называют основанием кода.

Пример. Кодирование русского и латинского алфавита с помощью двоичного кода КОИ-8. При этом m=2, вторичный алфавит состоит из двух символов - 0 и 1. Для кодирования каждой буквы, цифры или другого знака используется 8 двоичных символов.

Число различных кодовых комбинаций при основании кода m и длине кодовой комбинации n равно m^n. Длину кодовой комбинации n следует выбирать из условия

$$m^n \geq K$$

где K - количество символов первичного алфавита.

Для кода Бодо (n=5; m=2) $K=2^5=32$ - можно закодировать 32 символа. Поэтому телеграммы, посланные с помощью кода Бодо, ограничиваются только буквами алфавита, и для передачи точки или запятой следует писать ТЧК и ЗПТ. Код КОИ-7 позволяет закодировать $2^7=128$ символов, код КОИ-8 соответственно $2^8=256$ символов. Так как общее количество символов, которое может встретиться (разные языки, графические символы и т. д.), превышает это число, используются различные кодовые таблицы.

2.2. Функциональная схема преобразования сообщений и сигналов в линии связи

Рассмотрим функциональную схему преобразования сообщений в системе связи (рис. 2.2).

На вход передающего устройства от источника поступает сообщение $a(x,y,z,t)$, которое в общем случае (например, в системах телевидения) может быть функцией времени t и пространственных координат x,y,z. В частных случаях сообщение a может не зависеть от некоторых из аргументов x,y,z,t. Так например, при передаче изображения по телефаксу сообщение зависит лишь от двух пространственных координат передаваемого элемента изображения.

Передающее устройство преобразует сообщение *a* в канальный сигнал *s(t)*, являющийся только функцией времени. Подобное преобразование осуществляется, как правило, в несколько этапов, в связи с чем можно выделить несколько самостоятельных блоков передающего устройства. Чаще всего их бывает два. В блоке 2 сообщение *a* преобразуется в так называемый первичный (или низкочастотный) сигнал *b(t)*. В системах телеизмерения такие преобразователи получили название *датчиков*.

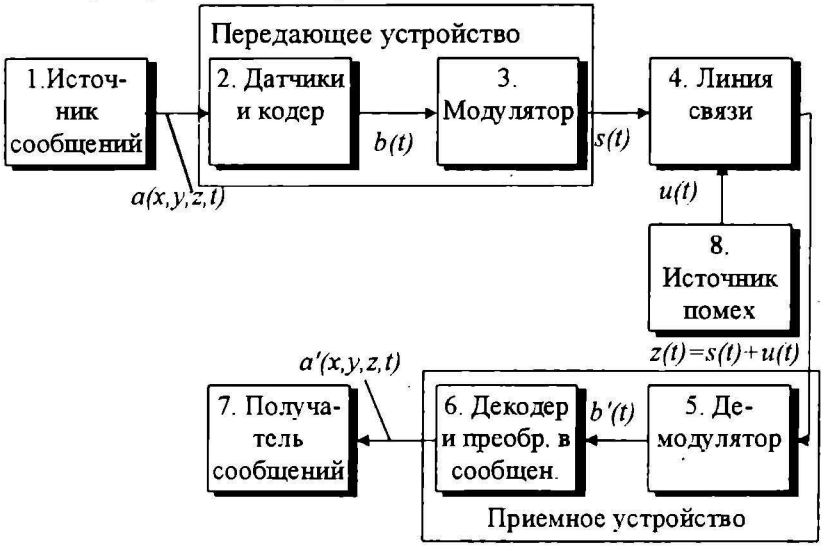

Рис. 2.2. Функциональная схема передачи сообщений.

В аналоговых (непрерывных) системах связи первичный сигнал *b(t)*, как правило, линейно связан с сообщением. В дискретных системах этот сигнал образуется из сообщения в результате более сложных преобразований (кодирования) и представляет собой на выходе кодера последовательность кодовых символов, образованную по некоторому определенному правилу. Это преобразование необходимо для лучшего согласования с каналом связи, с его характеристиками. Сигнал *b(t)* в дискретных систе-

ной последовательности; г) дискретной случайной последовательности

Непрерывный случайный процесс: t и X могут принимать любые значения на отрезке или на всей действительной оси.

Дискретный случайный процесс: t непрерывно, а величины X дискретны (принимают одно из возможных значений с шагом Δx.

Непрерывная случайная последовательность: t дискретно (с шагом Δt), а X может принимать любые значения на отрезке или на всей числовой оси. Такие процессы часто называют процессами с дискретным временем.

Дискретная случайная последовательность: t и X дискретны. Дискретная случайная последовательность часто служит аппроксимацией непрерывного случайного процесса в процессе измерения и в других областях при передаче и обработке информации.

Рассмотрим некоторые количественные характеристики случайных процессов.

При рассмотрении процесса $s(t)$ зафиксируем какой-либо момент времени t_1, т. е. возьмем сечение $X_1=X(t_1)$, подчиняющееся как всякая случайная величина тому или иному закону распределения вероятностей. Пусть $F_1(x, t_1)$ - интегральная функция распределения выбранного сечения. Это означает, что

$$F_1(x, t_1) = P(X_1<x)$$

где символом P обозначена вероятность выполнения неравенства, указанного в скобках. Сечению $X_2=X(t_2)$, взятому в другой момент времени $t_2 \neq t_1$ соответствует другая функция распределения

$$F_2(x, t_2) = P(X_2<x)$$

$F_1(x, t_1)$ $F_2(x, t_2)$ в общем случае могут быть различными в различные моменты времени. Поэтому, характеризуя процесс $X(t)$, можно говорить о семействе функций распределения, зависящем от параметра t:

$$F_1(x, t) = P(X(t)<x) \qquad (2.1)$$

бого момента времени. Поскольку информацию несут случайные процессы, мы будем в основном рассматривать их.

Случайным называется процесс, изменение которого зависит не только от времени или пространства, но и от случайных факторов. Конкретный ход случайного процесса называется реализацией.

Количественно случайный процесс описывается случайной функцией времени $X(t)$.

В зависимости от того, какие значения могут принимать аргумент (время t или пространственные координаты x,y,z) и уровни реализаций случайного процесса $X(t)$, различают четыре типа случайных процессов (рис. 2.3 а-г).

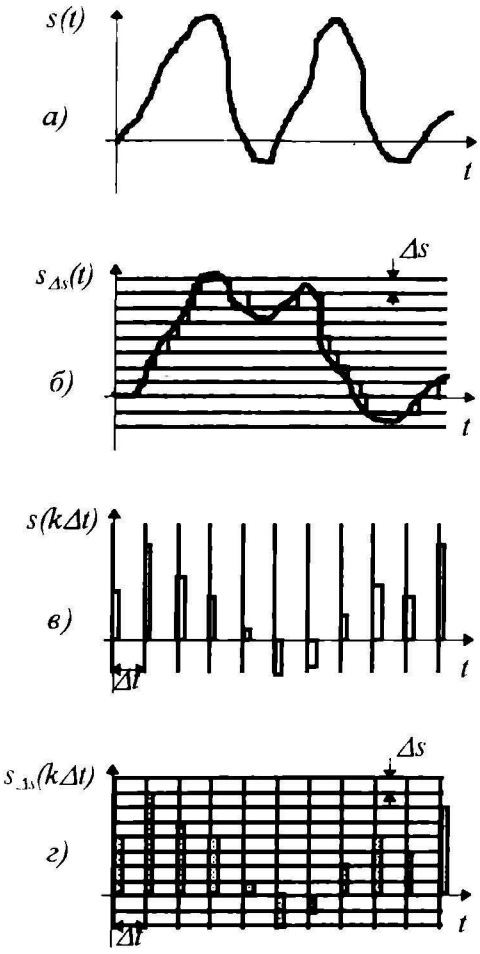

Рис. 2.3. Реализации: а) непрерывного случайного процесса; б) дискретного случайного процесса; в) непрерывной случайной последовательности; г) дискретной случайной последовательности

Непрерывный случайный процесс: t и X могут принимать любые значения на отрезке или на всей действительной оси.

Дискретный случайный процесс: t непрерывно, а величины X дискретны (принимают одно из возможных значений с шагом Δx.

Непрерывная случайная последовательность: t дискретно (с шагом Δt), а X может принимать любые значения на отрезке или на всей числовой оси. Такие процессы часто называют процессами с дискретным временем.

Дискретная случайная последовательность: t и X дискретны. Дискретная случайная последовательность часто служит аппроксимацией непрерывного случайного процесса в процессе измерения и в других областях при передаче и обработке информации.

Рассмотрим некоторые количественные характеристики случайных процессов.

При рассмотрении процесса $s(t)$ зафиксируем какой-либо момент времени t_1, т. е. возьмем сечение $X_1=X(t_1)$, подчиняющееся как всякая случайная величина тому или иному закону распределения вероятностей. Пусть $F_1(x, t_1)$ - интегральная функция распределения выбранного сечения. Это означает, что

$$F_1(x, t_1) = P(X_1<x)$$

где символом P обозначена вероятность выполнения неравенства, указанного в скобках. Сечению $X_2=X(t_2)$, взятому в другой момент времени $t_2 \neq t_1$ соответствует другая функция распределения

$$F_2(x, t_2) = P(X_2<x)$$

$F_1(x, t_1)$ $F_2(x, t_2)$ в общем случае могут быть различными в различные моменты времени. Поэтому, характеризуя процесс $X(t)$, можно говорить о семействе функций распределения, зависящем от параметра t:

$$F_1(x, t) = P(X(t)<x) \qquad (2.1)$$

Фиксируя в функции двух переменных (2.1) второй аргумент (время t), получим интегральную функцию распределения

для сечения процесса *X(t)* в соответствующий момент времени. Если существует частная производная от функции (2.1),по переменной *x*

$$p_1(x,t) = \frac{\partial F_1(x,t)}{\partial x}, \qquad (2.2)$$

то она называется одномерной дифференциальной функцией распределения случайного процесса *X(t)* или его одномерной плотностью вероятности.

Если случайный процесс *X(t)* может принимать только дискретные значения x_k (k=1, 2, 3, ..., *K*) с вероятностями P_k, то интегральная функция (2.1) принимает вид

$$F_1(x,\ t) = P(X<x) = \sum_{k=1}^{K} P_k 1(x - x_k) \qquad (2.3)$$

где $1(z)$ - единичная функция, равная 1 при $z > 0$ и 0 при $z < 0$.

Взяв производную от (2.3) по *x*, получим выражение для плотности вероятности дискретного распределения в виде решетчатой функции

$$p_1(x,t) = \frac{\partial F_1(x,t)}{\partial x} = \sum_{k-1}^{K} P_k \delta(x - x_k), \qquad (2.4)$$

где

$\delta(z) = \dfrac{d1(z)}{dz}$ - функция Дирака, существующая только в точке z=0, равная в этой точке +∞ и имеющая единичную площадь.

Значительную роль при исследовании случайных процессов играют их числовые характеристики (или различные усредненные значения). В первую очередь можно упомянуть математическое ожидание

$$M\{X_1\} = \overline{X}_1 = \int_{-\infty}^{\infty} x p_1(x,t_1) dx \qquad (2.5)$$

и дисперсию

$$D\{X_1\} = \overline{(X_1 - \overline{X}_1)^2} = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \overline{X}_1)^2 p_1(x,t_1) dx \qquad (2.6)$$

сечения случайного процесса, получаемые путем усреднения по величине x. Кроме того можно определить две неслучайные функции времени

$$m_x(t) = M\{X(t)\} = \overline{X}(t) \qquad (2.7)$$

$$\sigma_X^2(t) = D\{X(t)\} = \overline{\overset{0}{X}{}^2}(t), \qquad (2.8)$$

которые называются соответственно математическим ожиданием и дисперсией случайного процесса $X(t)$. Центрированный процесс $\overset{0}{X}(t)$ получается путем вычитания из $X(t)$ его математического ожидания:

$$\overset{0}{X}(t) = X(t) - m_x(t) \qquad (2.9)$$

В отличие от математического ожидания и дисперсии случайной величины эти же характеристики случайного процесса являются не числами, а функциями времени. В частном случае может оказаться (для стационарного процесса), что математическое ожидание и дисперсия процесса неизменны во времени.

Пусть теперь t_1 и t_2 - два различных момента времени. Сечения $X_1 = X(t_1)$ и $X_2 = X(t_2)$, будучи случайными величинами, подчиняются их совместному (двумерному) закону распределения. Таким образом, можно говорить о <u>двумерном</u> законе распределения случайного процесса $X(t)$, который может быть задан функцией четырех переменных

$$F_2(x_1, x_2, t_1, t_2) = P(X_1 < x_1, X_2 < x_2), \qquad (2.10)$$

называемой двумерной интегральной функцией распределения случайного процесса $X(t)$. Если существует вторая смешанная производная

$$p_2(x_1, x_2, t_1, t_2) = \frac{\partial^2 F_2(x_1, x_2, t_1, t_2)}{\partial x_1 \partial x_2}, \qquad (2.11)$$

то она называется <u>двумерной плотностью вероятности</u> процесса $X(t)$. В этом случае возможно определить так называемую

корреляционную функцию $B_x(t_1,t_2)$, характеризующую связь процесса *X(t)* с самим собой, но в разные моменты времени t_1 и t_2:

$$B_x(t_1,t_2)=\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}(x_1-\overline{X}_1)(x_2-\overline{X}_2)p_2(x_1,x_2,t_1,t_2)dx_1dx_2 \qquad (2.12)$$

Поскольку корреляционная функция характеризует связь самой с собой, то она носит название автокорреляционной функции (ФАК) в отличие от просто корреляционной функции, характеризующей связь двух разных процессов в различные моменты времени. При $t_1 = t_2 = t$ $B_x(t,t)=\sigma_X^2(t)$, то есть в совпадающие моменты времени $B_x(t_1,t_2)$ характеризует дисперсию случайного процесса *X(t)*. Причем $B_x(t_1,t_2)=B_x(t_2,t_1)$

Часто пользуются нормированной корреляционной функцией

$$r_x(t_1,t_2)=\frac{B_x(t_1,t_2)}{\sigma_X(t_1)\sigma_X(t_2)}, \qquad (2.13)$$

которая носит название коэффициента корреляции случайного процесса. Однако на практике часто говорят "корреляционная функция", подразумевая коэффициент корреляции и нормированную корреляционную функцию. Поэтому каждый раз необходимо выяснять, что имеют в виду, употребляя этот термин. Корреляционная функция измеряется в единицах мощности, может принимать какие угодно положительные и отрицательные значения, а коэффициент корреляции, являясь нормированной величиной, измеряется в безразмерных единицах. Он изменяется в пределах от -1 до +1, $r_x(t,t)=1$.

Стационарными называются процессы, вероятностные характеристики которых не меняются во времени. Для них $B_x(t_1,t_2)=B_x(t_2-t_1)=B_x(\tau)$

Автокорреляционная функция обладает свойством симметрии

$$B_x(\tau)=B_x(-\tau) \qquad (2.14)$$