ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.06 Теория информации

Направление подготовки (специальность) *09.03.01 Информатика и вычислительная техника*

Профиль образовательной программы *Автоматизированные системы обработки информации и управления*

Форма обучения *очная*

СОДЕРЖАНИЕ

1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1.1 Лекция №1 (2 часа).

Тема: «Понятие информации. Модели детерминированных и случайных сигналов. Преобразование непрерывных сигналов в дискретные»

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Понятие информации.
2. Модели детерминированных и случайных сигналов.
3. Преобразование непрерывных сигналов в дискретные.

1.1.2 Краткое содержание вопросов:

1. Понятие информации.

Информация — это осознанные сведения об окружающем мире, которые являются объектом хранения, преобразования, передачи и использования.

Сведения — это знания, выраженные в сигналах, сообщениях, известиях, уведомлениях и т. д. Каждого человека окружает информация различных видов.

Основные виды информации по ее форме представления, способам ее кодирования и хранения, что имеет наибольшее значение для информатики, это:

- графическая или изобразительная— первый вид, для которого был реализован способ хранения информации об окружающем мире в виде наскальных рисунков, а позднее в виде картин, фотографий, схем, чертежей на бумаге, холсте, мраморе и др. материалах, изображающих картины реального мира;
- звуковая— мир вокруг нас полон звуков и задача их хранения и тиражирования была решена с изобретение звукозаписывающих устройств в 1877 г.; ее разновидностью является музыкальная информация — для этого вида был изобретен способ кодирования с использованием специальных символов, что делает возможным хранение ее аналогично графической информации;
- текстовая— способ кодирования речи человека специальными символами — буквами, причем разные народы имеют разные языки и используют различные наборы букв для отображения речи; особенно большое значение этот способ приобрел после изобретения бумаги и книгопечатания;
- числовая— количественная мера объектов и их свойств в окружающем мире; особенно большое значение приобрела с развитием торговли, экономики и денежного обмена; аналогично текстовой информации для ее отображения используется метод кодирования специальными символами — цифрами, причем системы кодирования могут быть разными;

- видеоинформация— способ сохранения «живых» картин окружающего мира, появившийся с изобретением кино.

2. Модели детерминированных и случайных сигналов.

Детерминированным называется сигнал, значения которого в любые моменты времени являются известными величинами. В противном случае сигнал называют случайным или стохастическим (от греческого слова stochastic – догадка). Каждый конкретный вид случайного сигнала X(t), представляющего собой функцию времени, называют реализацией. Каждую реализацию можно представить бесконечной совокупностью зависимых или независимых случайных величин.

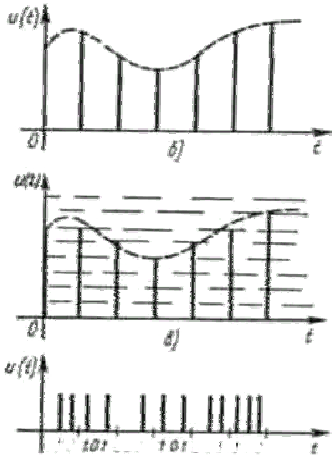
Случайный сигнал описывается статистически с помощью различных вероятностных характеристик.

3. Преобразование непрерывных сигналов в дискретные.

В любую систему информация поступает в виде сигналов. Различные параметры физических процессов с помощью датчиков обычно преобразуются в электрические сигналы. Как правило, ими являются непрерывно изменяющиеся ток или напряжение, но возможно поступление и импульсных сигналов, как, например, в радиолокации. Печатный текст отображается буквами, цифрами и другими знаками.

Хотя поступающую информацию можно хранить, передавать и обрабатывать как в виде непрерывных, так и в виде дискретных сигналов, на современном этапе развития информационной техники предпочтение отдается дискретным сигналам, поэтому сигналы, как правило, преобразуются в дискретные. С этой целью каждый непрерывный сигнал подвергается операциям квантования по времени (дискретизации) и по уровню.

Под *дискретизацией* подразумевают преобразование функции непрерывного времени в функцию дискретного времени, представляемую совокупностью величин, называемых координатами, по значениям которых исходная непрерывная функция может быть восстановлена с заданной точностью. Роль координат часто выполняют мгновенные значения функции, отсчитанные в определенные моменты времени.



Под *квантованием* подразумевают преобразование некоторой величины с непрерывной шкалой значений в величину, имеющую дискретную шкалу значений. Оно сводится к замене любого мгновенного значения одним из конечного множества разрешенных значений, называемых *уровнями квантования.*

Изменение вида сигнала $u(t)$ (рис.5.1,а) в результате проведения операции дискретизации показано на рис. 5.1,б, а в результате совместного проведения операций дискретизации и квантования — на рис. 5.1, в.

Число уровней квантования на рис. 5.1,в равно 8. Обычно их значительно больше. Передача такого множества различных по уровню импульсов даже на небольшие расстояния применяется крайне редко. Если провести нумерацию уровней, то их передача сведется к передаче чисел. Тогда, выразив эти числа в какой-либо системе счисления, можно обойтись меньшим множеством передаваемых сигналов. Как правило, дискретный сигнал преобразуется в последовательность чисел, выраженных в двоичном коде. Каждое дискретное значение сигнала представляется в этом случае последовательностью сигналов двух уровней. Наличие или отсутствие импульса на определенном месте интерпретируется единицей или нулем в соответствующем разряде двоичного числа.

Цифровая форма представления сигнала $u(t)$ (рис. 5.1,а) показана на рис. 5.1,г. Для восьми уровней достаточно трех двоичных разрядов. Импульсы старших разрядов расположены крайними справа.

1.2 Лекция №2 (2 часа).

Тема: «Меры неопределенности дискретных множеств и непрерывных случайных величин. Количество информации как мера снятой неопределенности»

1.2.1 Вопросы лекции:

1. Меры неопределенности дискретных множеств и непрерывных случайных величин.

2. Количество информации как мера снятой неопределенности.

1.2.2 Краткое содержание вопросов:

1. Меры неопределенности дискретных множеств и непрерывных случайных величин.

Дискретной случайной величиной называется случайная величина, которая в результате испытания принимает отдельные значения с определёнными вероятностями. Число возможных значений дискретной случайной величины может быть конечным и бесконечным. Примеры дискретной случайной величины: запись показаний спидометра или измеренной температуры в конкретные моменты времени.

Непрерывной случайной величиной называют случайную величину, которая в результате испытания принимает все значения из некоторого числового промежутка. Число возможных значений непрерывной случайной величины бесконечно. Пример

непрерывной случайной величины: измерение скорости перемещения любого вида транспорта или температуры в течение конкретного интервала времени.

Любая случайная величина имеет свой закон распределения вероятностей и свою функцию распределения вероятностей. Прежде, чем дать определение функции распределения, рассмотрим переменные, которые её определяют. Пусть задано некоторое x – действительное число и получена случайная величина X, при этом $x > X$. Требуется определить вероятность того, что случайная величина X будет меньше этого фиксированного значения x.

Функцией распределения случайной величины X называется функция $F(x)$, определяющая вероятность того, что случайная величина X в результате испытания примет значение меньшее значения x, то есть:

$$F(x) = P(X < x).$$

где x – произвольное действительное число.

2. Количество информации как мера снятой неопределенности.

Передача информации инициируется либо самим источником информации, либо осуществляется по запросу. Она диктуется желанием устранить неопределенность относительно последовательности состояний, реализуемых некоторым источником информации. Обычно запрос обусловлен отсутствием возможности наблюдать состояния источника непосредственно. Поэтому абонент обращается к информационной системе, которая извлекает интересующую его информацию из источника посредством некоторого первичного преобразователя и направляет ее по каналу связи абоненту.

Информация проявляется всегда в форме сигналов. Сигналы z, поступающие с выхода первичного преобразователя источника информации на вход канала связи, принято называть сообщениями в отличие от сигнала u, формирующихся на входе линии связи. В зависимости от формы создаваемых сообщений различают источники дискретных и непрерывных сообщений.

Отдельные первичные сигналы с выхода источника дискретных сообщений называют *элементами сообщения*. Каждому элементу сообщения соответствует определенное состояние источника информации. В случае параллельной реализации источником информации множества состояний, как это имеет место, например, в документах с печатным текстом, первичный преобразователь, в частности, обеспечивает их последовательное отображение элементами сообщения. Таким преобразователем может быть как автоматическое читающее устройство, так и человек.

Основное понятие теории информации — *количество информации* — рассматривается в данном параграфе применительно к передаче отдельных статистически

несвязанных элементов сообщения. Дискретный источник сообщений при этом полностью характеризуется ансамблем

$$Z = \begin{pmatrix} z_1 \dots z_i \dots z_N \\ p(z_1) \dots p(z_2) \dots p(z_N) \end{pmatrix},$$

а непрерывный — одномерной плотностью распределения случайной величины — z— $\rho(z)$.

1. 3 Лекция №3 (2 часа).

Тема: «Оценка информационных характеристик источников сообщений**»**

1.3.1 Вопросы лекции:

1. Энтропия источника
2. Избыточность источника
3. Производительность источника.

1.3.2 Краткое содержание вопросов:

1. Энтропия источника

Большинство реальных источников формирует сообщения с различным количеством информации, однако, при решении практических задач необходимо знать среднее количество информации приходящееся на одно сообщение. Среднее количество информации определяется как математическое ожидание количества информации в сообщении.

$$M[I(a_i)] = \sum_{i=1}^{Ma} P(a_i)\, I(a_i) = -\sum_{i=1}^{Ma} P(a_i) \log_2 P(a_i) = H(A);\ \text{бит/сообщ.} \qquad (9)$$

где Ма — количество возможных сообщений источника.

Величина Н(А) называется **энтропией источника** и характеризует среднее количество информации приходящейся на одно сообщение.

Приведенное выражение используется для определения энтропии источников дискретных сообщений. Для непрерывных сообщений a(t) энтропия теоретически стремится к бесконечности, т. к. сообщение может принимать бесконечное число значений, следовательно $P(a_i) \to 0$, а $I(a_i) \to ?$. Однако если сообщение подвергнуть дискретизации и представить его конечным числом квантованных значений по уровню L, то можно определить среднее количество информации в одном отсчете *(энтропию отсчета)*:

$$\text{Нотсч}\,(A) = -\sum_{i=1}^{L_{кв}} p_i \log_2 p_i;\ \text{бит/сообщ.} \qquad (10)$$

где p_i — вероятность появления в квантованном сообщении i-го уровня.

Lкв — количество уровней квантования.

Если осуществить предельный переход устремив L к бесконечности, то получится величина, называемая **дифференциальной энтропией.**

$$h(A) = -\int_{-\infty}^{\infty} p(a) \log_2 p(a)\, da; \text{ бит/сообщ.} \qquad (11)$$

Энтропия является объективной информационной характеристикой источника сообщений. Она всегда положительна.

Свойства энтропии.

1. Энтропия равна нулю, если одно сообщение достоверно ($P(a_i)=1$), а другие не возможны.

2. Энтропия максимальна, когда все сообщения равновероятны, и растет с увеличением равновероятных сообщений.

3. Энтропия обладает свойством аддитивности, т. е. энтропии различных источников можно складывать.

2. Избыточность источника

Под избыточностью понимают наличие в сообщении «лишних» элементов, т. е. элементов не несущих смысловой нагрузки (например, союзы, предлоги). Данные элементы могут быть восстановлены за счет статистических взаимосвязей между другими элементами сообщения. Например, союзы, предлоги и знаки препинания можно восстановить, зная правила построения предложений. Таким образом:

избыточность — это мера сокращения сообщения без потери информации, за счет статистических взаимосвязей между элементами сообщения.

Количественной мерой информации является коэффициент избыточности:

$$c_и = [Hmax(A) - H(A)]/Hmax(A) \qquad (12)$$

где H(A) — энтропия, вычисленная на основе учета статистических характеристик сообщений;

Hmax(A) — максимальная энтропия источника, которая согласно второму свойству равна:

$$Hmax(A) = \log_2 Ma; \text{ бит/сообщ.} \qquad (13)$$

Наличие избыточности при передаче сообщений имеет свои положительные и отрицательные стороны. Сообщение, обладающее избыточности требует большего времени передачи и, соответственно большего времени занятия канала. Однако повышение избыточности приводит к увеличению помехоустойчивости сообщения. Она

способствует обнаружению и исправлению ошибок в принятых сообщениях. Это связано с тем, что для формирования сообщения используются не все возможные комбинации символов, а лишь определенные (разрешенные), которые заносятся в специальные справочники (словари). При приеме сообщения с элементами (словами) которых нет в справочниках говорит о наличии ошибки и ошибочный элемент может быть заменен похожим по написанию или подходящим по смыслу. Все языки обладают избыточностью равной $c_и$»0,5.

3. Производительность источника.

Производительность источника — это среднее количество информации создаваемое источником в единицу времени.

Производительность источника дискретных сообщений определяется как:

$$H'_{д.с.}(A)=H(A)/tcp;\ бит/с \qquad (14)$$

где tcp — средняя длительность сообщения:

$$tcp=tн/n;\ с \qquad (15)$$

где tн — время, в течении которого было сформировано n сообщений.

Производительность источника непрерывных сообщений определяется как:

$$H'_{н.с.}(A)=f_д\ Нотсч(A);\ бит/с \qquad (16)$$

где $f_д$ — частота дискретизации (2Fmax).

Если сообщение квантуется равновероятными уровнями, т. е. $p_i=1/L$, то производительность источника может быть определена как:

$$H'_{н.с.}(A)=f_д \log_2 L;\ бит/с \qquad (17)$$

1.4 Лекция №4 (2 часа)

Тема: «Информационные характеристики каналов связи**»**

1.4.1 Вопросы лекции:

1. Структура канала связи
2. Модель источника информации
3. Пропускная способность

4. Канал связи с помехами

1.4.3 Краткое содержание вопросов.

1. Структура канала связи

Каналом связи называется совокупность технических средств и физической среды, способной к передаче посылаемых сигналов, которая обеспечивает передачу сообщений от источника информации к получателю.

Кодер-источник должен обеспечивать такое преобразование сообщений источника, при котором сигналы на его выходе, обладали бы минимальной избыточностью и позволяли бы приблизить скорость передачи к максимально возможному значению, то есть пропускной способности канала. Однако, так как в реальных каналах неизбежны помехи, то для борьбы с ними приходится дополнительно вводить кодер – канала, который обеспечивает перекодирование поступающих сообщений, чтобы повысить помехоустойчивость сообщений. На выходе линий связи (канала) должно быть предусмотрено устройство для обратного преобразования (*декодирования*) сигналов, поступивших с линий связи – *декодер канала*, после которого должно быть предусмотрено устройство для декодирования сигналов с источника – *декодер источника*.

2. Модель источника информации

Произвольный источник информации создает выход, который является случайным, то выход источника характеризуется статистически. Действительно, если выход источника известен точно, то нет нужды его передавать. В этом разделе мы рассмотрим дискретные аналоговые источники информации и сформулируем математические модели для каждого типа источника.

Простейший тип дискретного источника – это такой, который выдаёт последовательность букв (символов), выбираемых из определенного алфавита. Например, **двоичный источник** выдает двоичную последовательность вида 100101110..., причём алфавит состоит из двух символов {0, 1}. В более общем случае источник дискретен информации с алфавитом из L символов, скажем $\{x_1, x_2, \ldots, x_L\}$, выдает последовательность букв, выбираемых из этого алфавита.

Чтобы конструировать математическую модель для дискретного источника предположим, что каждый символ алфавита $\{x_1, x_2, \ldots, x_L\}$ имеет заданную вероятность выбора p_k, т.е.

$$p_k = P(X = x_k), \quad 1 \le k \le L,$$

где

$$\sum_{k=1}^{I} p_k = 1$$

3. Пропускная способность

Для того чтобы ознакомиться и понять новый термин, нужно знать, что представляет собой канал связи. Если говорить простым языком, каналы связи – это устройства и средства, благодаря которым осуществляется передача данных (информации) на расстоянии. К примеру, связь между компьютерами осуществляется благодаря оптоволоконным и кабельным сетям. Кроме того, распространен способ связи по радиоканалу (компьютер, подключенный к модему или же сети Wi-Fi).

Пропускной же способностью называют максимальную скорость передачи информации за одну определенную единицу времени.

Измерение пропускной способности – достаточно важная операция. Она осуществляется для того, чтобы узнать точную скорость интернет-соединения. Измерение можно осуществить с помощью следующих действий:

- Наиболее простое – загрузка объемного файла и отправление его на другой конец. Недостатком является то, что невозможно определить точность измерения.
- Кроме того, можно воспользоваться ресурсом speedtest.net. Сервис позволяет измерить ширину интернет-канала, «ведущего» к серверу. Однако для целостного измерения этот способ также не подходит, сервис дает данные обо всей линии до сервера, а не о конкретном канале связи. Кроме того, подвергаемый измерению объект не имеет выхода в глобальную сеть Интернет.
- Оптимальным решением для измерения станет клиент-серверная утилита Iperf. Она позволяет измерить время, количество переданных данных. После завершения операции программа предоставляет пользователю отчет

4. Канал связи с помехами

До сих пор мы предполагали, что информация, поступившая от кодера/передатчика в канал связи в точности соответствует информации, принятой приемником/декодером из канала. Наличие помех в канале связи приводит к тому, что часть информации при перемещении по каналу теряется, искажается, зашумляется. Информация, принятая приемником, не полностью снимает неопределенность относительно переданной источником, хотя и уменьшает ее. Если на вход канала связи поступил сигнал **u**, а с выхода канала принят сигнал **v**, то говорят о **взаимной информации I(u,v)**.

Термин используется, когда при приеме сообщений действуют помехи. Помехи в канале характеризуются своей условной энтропией.

Взаимной (полезной) информацией между сообщениями **u** и **v** называется величина**I(u,v)**, определяемая соотношением:

I(u,v) = H(u) – H(u|v), в котором **H(u)**является энтропией источника информации, а **H(u|v)**представляет собой потерю информации, принимаемой от источника, обусловленную воздействием помех на передаваемое сообщение.

Используя зависимость (3.11), можно записать иначе:

I(u,v) = H(u) – H(u|v) = H(u) – (H(u,v) – H(v)) = H(u) + H(v) – H(u,v) =

= H(u) + H(v) – (H(u) + H(v|u)) = H(v) – H(v|u)

То есть взаимная информация симметрична:

I(u,v) = H(u) – H(u|v) = H(v) – H(v|u)(4.8)

В формуле (4.8):

H(u)– априорная энтропия источника сообщения;

H(u|v) – апостериорная энтропия, которая учитывает утечку информации при передаче из-за разрушения ее помехами. Иначе называется **ненадежность канала**;

H(v)–энтропия приемника (выхода) канала;

H(v|u) – характеризует постороннюю информацию, вносимую помехами. Называется **энтропия шума**.

1.5 Лекция № 5 (2 часа)

Тема: «Эффективное кодирование. Введение в теорию помехоустойчивого кодирования»

1.5.1 Вопросы лекции:

1. Эффективное кодирование
2. Основы теории помехоустойчивого кодирования

1.5.2 Краткое содержание вопросов:

1. Эффективное кодирование

Эффективное кодирование – это процедуры направленные на устранение избыточности. Основная задача эффективного кодирования – обеспечить, в среднем, минимальное число двоичных элементов на передачу сообщения источника. В этом случае, при заданной скорости модуляции обеспечивается передача максимального числа сообщений, а значит максимальная скорости передачи информации.

Пусть имеется источник дискретных сообщений, алфавит которого K. При кодировании сообщений данного источника двоичным, равномерным кодом, потребуется $L_{рк} = \log_2 K$ двоичных элементов на кодирование каждого сообщения.

Если вероятности $P(a_i)$появления всех сообщений источника равны, то энтропия источника (или среднее количество информации в одном сообщении) максимальна и равна $H_{\max}(x) = \log_2 K$.

В данном случае каждое сообщение источника имеет информационную емкость $\log_2 K = L_{рк}$бит, и очевидно, что для его кодирования (перевозки) требуется двоичная комбинация не менее $L_{рк}$элементов. Каждый двоичный элемент, в этом случае, будет переносить 1 бит информации.

Если при том же объеме алфавита сообщения не равновероятны, то, как известно, энтропия источника будет меньше

$$H_{реал}(x) = -\sum_{i=1}^{K} p(a_i)\log_2 p(a_i) < H_{\max}(x).$$

Если и в этом случае использовать для перевозки сообщения $L_{рк}$-разрядные кодовые комбинации, то на каждый двоичный элемент кодовой комбинации будет приходиться меньше чем 1 бит.

Появляется избыточность, которая может быть определена по следующей формуле

$$D = \frac{H_{\max}(x) - H_{реал}(x)}{H_{\max}(x)} = 1 - \frac{H_{реал}(x)}{H_{\max}(x)} \left[\frac{бит}{на\ элемент}\right].$$

Среднее количество информации, приходящееся на один двоичный элемент комбинации при кодировании равномерным кодом

$$\frac{H_{реал}(x)}{L_{рк}} = \frac{H_{реал}(x)}{H_{\max}(x)}$$

2. Основы теории помехоустойчивого кодирования

Для согласования источника дискретных сообщений с каналом связи используют корректирующее (помехоустойчивое) кодирование сообщений (кодирование с обнаружением и (или) исправлением ошибок). Кодирование дискретных сообщений является одним из основных путей осуществления уверенного приёма сигналов в тяжёлых условиях связи - высоком уровне помех, значительных искажениях сигнала из-за флуктуаций параметров канала связи и т.д. Поэтому знание принципов построения кодированных сигналов, методов их формирования на передающей и декодирования на приёмной сторонах системы связи является необходимым и обязательным для современного инженера-связиста. Теоретическую основу помехоустойчивого кодирования составляет теорема К. Шеннона для канала с шумами, в которой утверждается, что для указанного канала можно найти такую систему оптимального кодирования, при которой сообщения будут переданы со сколь угодно большой степенью верности, если только

производительность источника не превышает пропускной способности канала связи. Другой важный результат теории оптимального кодирования состоит в том, что принципиально сколь угодно малая вероятность неправильного декодирования может быть достигнута при использовании кодов, имеющих весьма длинные кодовые комбинации (кодовые слова).

1.6 Лекция №6 (2 часа)

Тема: «Построение групповых кодов. Циклические коды»

1.6.1 Вопросы лекции:

1. Построение групповых кодов
2. Циклические коды

1.6.2Краткое содержание вопросов:

1. Построение групповых кодов

Построение конкретного корректного кода производится исходя из требуемого объема кода Q, т.е. необходимого числа передаваемых команд или дискретных значений измеряемой величины и статистических данных по наиболее вероятным векторам ошибок.

Вектором ошибки называют кодовую комбинацию имеющую единицы в разрядах подвергшихся искажению и «0» во всех остальных разрядах.

2^(k)-1>= Q исходя из неравенства определим число информационныхх разрядов k необходимых для передачи данного числа каналов. В каждой из 2^(k)-1 не нулевых комбинаций k разрядного без избыточного кода необходимо поставить в соответствие комбинацию из n символов.

Значение символов n-k проверочных разрядов устанавливают в результате суммируются по модулю 2 значений символов в определенных информационных разрядов.

Поскольку 2^k комбинаций информационных символов образует подгруппу группы всех n-разрядных комбинаций, то множество 2^k n-разрядных комбинаций тоже будет являться подгруппой n-разрядных кодовых комбинаций.

Чтобы иметь возможность получить информацию о том к какому смежному классу относится комбинация, каждому классу д.б. поставлена в соответствие некоторая контрольная последовательность, которая называется **опознавателем.**

2. Циклические коды

Циклические коды характеризуются тем, что при циклической перестановке всех символов кодовой комбинации данного кода образуется другая кодовая комбинация этого же кода.

$x_n \; x_{n-1} \ldots x_2 \; x_1$ - комбинация циклического кода;

$x_{n-1} \; x_{n-2} \ldots x_2 \; x_1 \; x_n$ - также комбинация циклического кода.

При рассмотрении циклических кодов двоичные числа представляют в виде многочлена, степень которого (n - 1), n - длина кодовой комбинации.

Например, комбинация 1001111 (n=7) будет представлена многочленом

$$1 \cdot x^6 + 0 \cdot x^5 + 0 \cdot x^4 + 1 \cdot x^3 + 1 \cdot x^2 + 1 \cdot x^1 + 1 \cdot x^0 = x^6 + x^3 + x^2 + x + 1.$$

При таком представлении действия над кодовыми комбинациями сводятся к действиям над многочленами. Эти действия производятся в соответствии с обычной алгебры, за исключением того, что приведение подобных членов осуществляется по модулю 2.

Обнаружение ошибок при помощи циклического кода обеспечивается тем, что в качестве разрешенных комбинаций выбираются такие, которые делятся без остатка на некоторый заранее выбранный полином $G(x)$. Если принятая комбинация содержит искаженные символы, то деление на полином $G(x)$ осуществляется с остатком. При этом формируется сигнал, свидетельствующий об ошибке. *Полином* $G(x)$ *называется образующим*.

Построение комбинаций циклического кода возможно путем умножения исходной комбинации $A(x)$ на образующий полином $G(x)$с приведением подобных членов по модулю 2:

- если старшая степень произведения не превышает (n - 1), то полученный полином будет представлять кодовую комбинацию циклического кода;
- если старшая степень произведения больше или равна n, то полином произведения делится на заранее выбранный полином степени n и результатом умножения считается полученный остаток от деления.

Таким образом, все полиномы, отображающие комбинации циклического кода, будут иметь степень ниже n.

Часто в качестве полинома, на который осуществляется деление, берется полином $G(x)= x^n +1$. При таком формировании кодовых комбинаций позиции информационных и контрольных символов заранее определить нельзя.

Большим преимуществом циклических кодов является простота построения кодирующих и декодирующих устройств, которые по своей структуре представляют регистры сдвига с обратными связями.

Число разрядов регистра выбирается равным степени образующего полинома.

Обратная связь осуществляется с выхода регистра на некоторые разряды через сумматоры, число которых выбирается на единицу меньше количества ненулевых членов образующего полинома. Сумматоры устанавливаются на входах тех разрядов регистра, которым соответствуют ненулевые члены образующего полинома.

1.7 Лекция № 7 (2 часа)

Тема: «Матричные представления в теории кодирования. Кодирование линейными последовательными машинами»

1.7.1 Вопросы лекции:

1. Матричные представления в теории кодирования
2. Кодирование линейными последовательными машинами

1.7.2 Краткое содержание вопросов:

1. Матричные представления в теории кодирования

В теории кодирования широко используется матричное представление кодов.

Все разрешенные кодовые комбинации систематического (n, k) кода можно получить, располагая k исходными кодовыми комбинациями. Исходные кодовые комбинации должны удовлетворять следующим условиям [11]:

1. В число исходных комбинаций не должны входить нули.
2. Кодовое расстояние между любыми парами исходных кодовых комбинаций не должно быть меньше $d_{min.}$
3. Каждая исходная комбинация, как и любая не нулевая разрешенная комбинация, должна содержать единиц не меньше d_{min}.
4. Все исходные комбинации должны быть линейно независимыми, т.е. ни одна из них не может быть получена путем суммирования других.

Исходные комбинации могут быть получены из матрицы, состоящей из k строк и n столбцов.

$$P_{n,k} = \left\| \begin{array}{cccc|cccc} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1k} & b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2k} & b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{k1} & a_{k2} & \dots & a_{kk} & b_{k1} & b_{k2} & \dots & b_{km} \end{array} \right\| \quad (2.34)$$

I_k H_m

Производящая матрица состоит из двух подматриц: из информационной I_k и проверочной H_m (2.34)

Информационную матрицу строим как квадратную единичную

$$I_k = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (2.35)$$

При этом проверочная матрица строится с соблюдением условий:

1. Количество единиц в строке должно быть не менее d_{min}-1.

2. Сумма по модулю два двух любых строк должна содержать не менее d_{min}-2 единиц.

Проверочные символы образуются за счет линейных операций над информационными. Для каждой кодовой комбинации должно быть составлено m независимых сумм по модулю два.

Проверочные суммы легко установить с помощью проверочной матрицы H, построенной следующим образом [11]. Вначале строится подматрица H’, являющаяся транспортированной по отношению к подматрице H_m:

$$H' = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{21} & \dots & b_{k1} \\ b_{12} & b_{22} & \dots & b_{k2} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ b_{1m} & b_{2m} & \dots & b_{km} \end{vmatrix} \quad (2.36)$$

Транспортированной матрицей к матрице H_m называется матрица, строки которой являются столбцы, а столбцами – строки матрицы H_m.

Затем, к ней справа приписывается единичная подматрица, состоящая из n-k строк и n-k столбцов.

$$H = \left\| \begin{array}{cccc|cccc} b_{11} & b_{21} & \dots & b_{k1} & 1 & 0 & \dots & 0 \\ b_{12} & b_{22} & \dots & b_{k2} & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ b_{1m} & b_{2m} & \dots & b_{km} & 0 & 0 & \dots & 1 \end{array} \right\| \quad (2.37).$$

Алгоритм определения проверочных символов по соответствующим информационным (2.37) следующий. Позиции единиц в первой строке подматрицы H^1 определяют информационные разряды, которые участвуют в формировании первого проверочного разряда комбинации. Аналогично определяется второй проверочный разряд и т.д.

Рассмотрим на примере кода (7/4). Построим производящую и проверочную матрицы и определим алгоритм кодирования (образования проверочных символов) и декодирования, т.е. определения опознавателя ошибки

$a_1\ a_2\ a_3\ a_4\ b_1\ b_2\ b_3$

$$P_{7,4} = \left\| \begin{array}{cccc|ccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{array} \right\|$$

$a_1\ a_2\ a_3\ a_4\ b_1\ b_2\ b_3$

$$H = \left\| \begin{array}{cccc|ccc} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right\|$$

Формирование проверочных символов производится по вышеуказанным правилам.

b_1= a2⊕a3⊕a4

b_2= a2⊕a3⊕a4

b3= a2⊕a3⊕a4

Тогда для передаваемого сообщения 0110 символы будут:

b_1= 1+1+0=0

b_2= 0+1+0=1

b3= 0+1+0=1

Полная кодовая комбинация, передаваемая в линию связи, будет иметь вид: 0110011.

На приёмной стороне формируются контрольные равенства на основании проверочной матрицы М. В первые равенства должны входить символы, позиции которых заняты единицами.

Аналогично формируются второе и третье контрольные равенства. Так, для кода (7,4) эти равенства будут иметь вид:

b_1= ⊕a2⊕a3⊕a4=0

b_2= ⊕a1⊕a3⊕a4=0

b3= ⊕a1⊕a2⊕a4=0

Таким образом, если нет ошибки, то сформированы все нули. Если получится кодовая комбинация, соответствующая столбцу проверочной матрицы, то она является опознавателем ошибки соответствующего разряда.Например, если получится кодовая комбинация 011, то это свидетельствует об ошибке в первом разряде a1.

Например, если получится кодовая комбинация 011, то это свидетельствует об ошибке в первом разряде a1.

2. Кодирование линейными последовательными машинами

Цифровой сигнал после процедуры группообразования и АЦП имеет вид, представленный на рисунке 4.7, а. Он является однополярным и в нем нетрудно выделить три типичных ситуации:

1) чередование нулей и единиц;

2) последовательность одних единиц;

3) последовательность одних нулей.

Однополярный характер сигнала требует больших энергетических затрат. Для того, чтобы увидеть это, сравним энергию W, необходимую для передачи двух битов в электрической линии с помощью однополярного $S_1(t)$ и биполярного $S_2(t)$ сигналов (рисунок 4.8). Если сопротивление нагрузки R=1Ом, t = 1сек., то

W = ,

W_1 = 1 Вт×сек.,

W_2 = 0.5 Вт×сек.

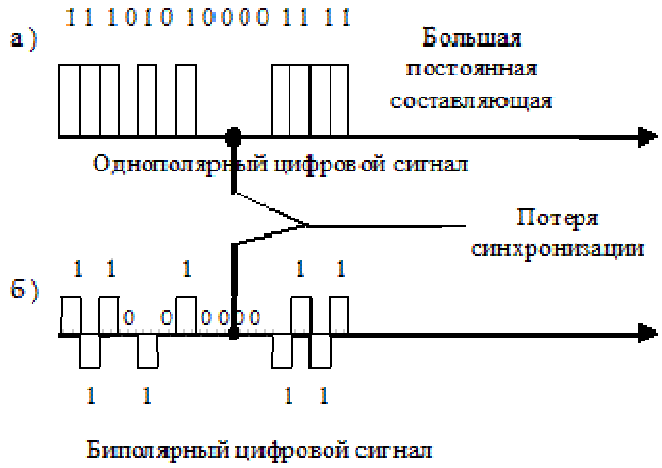


Рисунок 4.7 – Преобразование к коду передачи

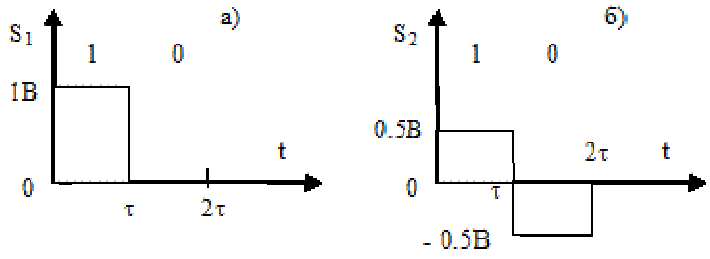


Рисунок 4.8 – Элементарные цифровые сигналы

При одинаковой помехоустойчивости (перепад между состояниями равен 1В) преимущества биполярного сигнала очевидны.

Наиболее простым переходом от однополярных сигналов к биполярным является применение кодов ЧПИ (чередование полярности импульсов, рисунок 4.7, б). Здесь каждый четный импульс меняет полярность.

Как у однополярного сигнала, так и у сигналов ЧПИ есть еще один существенный недостаток. Для нормального функционирования ЦСП с ВРК нужна жесткая синхронизация цифрового потока во времени. Поэтому на приемном конце из цифрового потока обычно выделяют тактовую частоту (частоту следования импульсов). Если обратиться к рисунку 4.7, то нетрудно увидеть, что синхронизация нарушается там, где присутствуют последовательности одних единиц или нулей. Поэтому в кодах ЧПИ на участках с большим числом нулей добавляют специальные биполярные кодовые комбинации, которые при приеме опознаются и удаляются. Такие коды называют модифицированными ЧПИ (МЧПИ).

Таким образом, для передачи по протяженной линии связи однополярный цифровой сигнал преобразуют с помощью специальных кодов, которые называют *кодами передачи*, или *линейными кодами*. Помимо ЧПИ и МЧПИ существует много других линейных кодов.

1.8 Лекция №8(2 часа)

Тема: «Обнаружение и различение сигналов»

1.8.1 Вопросы лекции:

1. Обнаружение сигналов
2. Различение сигналов

1.8.2 Краткое содержание вопросов:

1. Обнаружение сигналов

Абсолютная чувствительность сенсорной системы основана на ее свойстве обнаруживать слабые, короткие или маленькие по размеру раздражители. Абсолютную чувствительность измеряют **порогом** той или иной реакции организма на сенсорное воздействие. Чувствительность системы и порог реакции – обратные понятия: чем выше порог, тем ниже чувствительность, и наоборот.

На обнаружение сигнала существенное влияние оказывают процессы пространственной и временной суммации. Они сводятся к способности сенсорной системы накапливать энергию сигнала, распределенную по некоторой зоне в пространстве рецепторов или во времени. Так, увеличение до определенного предела

размера сенсорного стимула или его длительности снижает порог. Этот предел называют критическим размером, или же критической длительностью стимула.

2. Различение сигналов

Дифференциальная сенсорная чувствительность основана на способности сенсорной системы к различению сигналов. Важная характеристика каждой сенсорной системы – способность замечать различия в свойствах одновременно или последовательно действующих раздражителей. Различение начинается в рецепторах, но в нем участвуют нейроны всех отделов сенсорной системы. Оно характеризует то минимальное различие между стимулами, которое человек может заметить (дифференциальный или разностный порог).

1.9 Лекция №9 (2 часа)

Тема: «Оценка параметров сигналов**»**

1.9.1 Вопросы лекции

1**.** Понятие точечной оценки параметров сигнала

2. Основные методы оценки параметров сигнала.

1.9.2 Краткое содержание вопросов

1. Понятие точечной оценки параметров сигнала

Как известно сигнал поступающий на приемную сторону РТС, несет существенную для получателя информацию, содержащуюся в значениях тех или иных параметров: амплитуды, частоты, фазы, времени запаздывания и др. Очевидно, пользователю для извлечения из полученного сигнала сведений следует определить значения параметров сигнала, несущих требуемую информацию. Устройство, предназначенное для измерения параметров сигнала, будем называть измерителем. Измеренные значения параметров не обязательно воспроизведут истинные значения параметров, так как в реальных условиях полезный сигнал поступает на приемную сторону только в смеси с помехами. Кроме того, на измерения может существенно влиять наличие у сигнала не только полезных (несущих необходимую информацию) параметров, но и параметров, не известных потребителю и не содержащих интересных для него сведений. Полезные параметры сигнала, содержащие нужную абоненту информацию, будем называть информационными, а остальные неизвестные параметры - мешающими (неинформационными, несущественными, паразитными, нежелательными). Если в процессе измерения информационных параметров на интервале времени [0,T] их значения не изменяются, то в этом случае задача измерения параметров сводится к задаче оценки параметров сигнала. В случае же, когда зависимость информационных параметров $\lambda(t)$ пренебречь нельзя и требуется отслеживание

меняющихся информационных параметров, такую процедуру измерения называют фильтрацией параметров сигнала. Задачу фильтрации мы рассмотрим с Вами на следующей лекции. Пусть случайная величина имеет определенное распределение, но в нем неизвестен какой-либо параметр . Известна условная плотность вероятности Для оценки неизвестного параметра , проводят наблюдения случайной величины и получают выборку объёма n, которую можно представить в виде n-мерного вектора, где результаты наблюдения являются проекциями этого вектора в n-мерном пространстве. Затем подбирают такую функцию от выборки (называемую статистикой), которую можно было бы принять за оценку параметра. При конкретной выборке эта оценка является конкретной точкой на оси оцениваемого параметра. Поэтому оценка, определяемая формулой, называется точечной Если истинное значение параметра, то будет находиться где-то вблизи точки. Для другой выборки точечная оценка будет находиться в другой точке оси.

2. Основные методы оценки параметров сигнала.

Пусть на входе измерителя действует случайный процесс, представляющий собой сумму детерминированного сигнала s(t,λ) с неизвестным параметром λ и гауссовского белого шума n(t) со спектральной плотностью N0: ξ(t) = s(t,λ) + n(t) Оптимальный измеритель определяет математическую операцию, которую необходимо выполнить над реализацией x(t) случайного процесса на интервале времени [0,T], чтобы найти оптимальную оценку параметра λ по выбранному критерию оптимальности. При этом считается, что задача обнаружения сигнала решена и на входе измерителя действительно существует сумма (10.6). На практике для оценки параметров сигналов наиболее часто применяют два метода: - метод максимума апостериорной плотности вероятности; p[λ / x(t)] = k1 p(λ) Lздесь k1 - коэффициент пропорциональности; p(λ) - априорная плотность вероятности параметра λ, L(λ) - функция правдоподобия. - метод максимума функции правдоподобия. Второй метод используется в тех случаях, когда априорная плотность вероятности p(λ) неизвестна для оцениваемого параметра λ. Оценки, найденные по этому методу, называются правдоподобными оценками. Правдоподобная оценка и оценка, найденная по методу максимума апостериорной плотности вероятности, совпадают между собой, если параметр λ имеет равномерное распределение. Если функция правдоподобия имеет один максимум, то правдоподобная оценка λ находится из решения уравнения где y(λ) является достаточной статистикой, определяемой по формуле. Достаточная статистика вычисляется как разность между корреляционным интегралом и половиной квадрата отношения сигнал/шум. При этом, как корреляционный интеграл, так и

отношения сигнал/шум в общем случае зависят от параметра λ. Все оцениваемые параметры можно разделить на энергетические и неэнергетические. Энергетическим называется такой параметр, от которого зависит энергия сигнала и, соответственно, отношение сигнал/шум. К энергетическим параметрам относятся амплитуда и длительность сигнала. Неэнергетическим называется такой параметр, от которого энергия сигнала и отношение сигнал/шум не зависят. К неэнергетическим параметрам относятся начальная фаза, частота и т.д. Для неэнергетического параметра в качестве достаточной статистики y(λ) вместо выражения удобнее использовать соотношение Таким образом, измеритель, оптимальный по критерию максимума функции правдоподобия, должен сформировать достаточную статистику или ,а затем для нахождения оценки параметра решить уравнение. Оптимальные схемы

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

2.1 Практическое занятие №1,2 (4 часа).

Тема: «Понятие информации. Модели детерминированных и случайных сигналов. Преобразование непрерывных сигналов в дискретные»

2.1.1. Краткое описание проводимого занятия:

Задания для проведения текущего контроля успеваемости

1. Информацию делят на два вида ...

- Логическую и непрерывную
- Непрерывную и дискретную
- Непрерывную и логическую
- Дискретную и логическую

2. Теория информации рассматривается как существенная часть ...

- Электротехники
- Математики
- Кибернетики
- Физики

3. Математическая теория, посвященная измерению информации и каналам связи, называется …

- Теорией вероятностей
- Кибернетикой
- Информатикой
- Теорией информации

2.2 Практическое занятие №3,4 (4 часа).

Тема: «Меры неопределенности дискретных множеств и непрерывных случайных величин. Количество информации как мера снятой неопределенности»

2.2.1. Краткое описание проводимого занятия:

Задания для проведения текущего контроля успеваемости

1. Количество информации при выборе одного из сообщений "выпала решка", "выпал орел" равно …

- 1 байт
- 1 бит
- 2 бита

- 2 байта

2. Формула Шеннона …

- $I = - (p_1 \log_2 p_1 - p_2 \log_2 p_2 - \ldots - p_N \log_2 p_N)$
- $I = (p_1 \log_2 p_1 + p_2 \log_2 p_2 + \ldots + p_N \log_2 p_N)$
- $I = (p_1 \log_2 p_1 - p_2 \log_2 p_2 - \ldots - p_N \log_2 p_N)$
- $I = - (p_1 \log_2 p_1 + p_2 \log_2 p_2 + \ldots + p_N \log_2 p_N)$

3. Формула Шеннона превращается в формулу Хартли если …

- вероятности сообщений равны
- вероятности сообщений неравны
- количество сообщений равно 2
- количество сообщений равно 10

2.3 Практическое занятие №5,6 (4 часа).

Тема: «Оценка информационных характеристик источников сообщений»

2.3.1. Краткое описание проводимого занятия:

Задания для проведения текущего контроля успеваемости

1. Зачем кодируют информацию при передаче по каналам связи

- чтобы более точно передать информацию
- чтобы экономно передать информацию
- чтобы более точно и экономно передать информацию
- чтобы засекретить информацию

2. Чего не хватает в последовательности (источник, канал, приемник)

- кодировщик и декодировщик
- интегратор и дифференциатор
- модем источника и модем приемника
- модулятор и демодулятор

3. Чего не хватает в последовательности (источник, кодировщик, декодировщик, приемник)

- шум
- помехи
- провод
- канал

2.4 Практическое занятие №7,8 (4 часа).

Тема: «Информационные характеристики каналов связи**»**

2.4.1. Краткое описание проводимого занятия:

Задания для проведения текущего контроля успеваемости

1. Совокупность устройств, объединенных линиями связи, предназначенных для передачи информации от источника информации до ее приемника называется ...

- запоминающим устройством
- семантической информацией
- информационным каналом
- логическим устройством

2. Эффективность информационного канала характеризуется ...

- видом сигнала
- составом физической среды канала
- задержкой сигнала во времени
- скоростью и достоверностью передачи информации

3. Технические характеристики канала определяются ...

- принципом действия входящих в него
- надежностью работы
- задержкой сигнала во времени
- скоростью передачи информации

2.5 Практическое занятие №9,10 (4 часа).

Тема: «Эффективное кодирование. Введение в теорию помехоустойчивого кодирования**»**

2.5.1. Краткое описание проводимого занятия:

Задания для проведения текущего контроля успеваемости

1. Запись пути по дереву Хаффмана 0 и 1 означает …

- вверх, вниз
- влево, вправо
- назад, вперед
- нет буквы, есть буква

2. Почему пример арифметического кодирования может показывать эффективность сжатия меньше энтропии

- В примере не учитывался код-маркер конца сообщения

- Арифметическое кодирование самое эффективное
- Рассматривался частный случай с хорошей сжимаемостью
- Нельзя сравнивать эффективность сжатия с энтропией

3. По какому принципу работает помехозащитное кодирование

- Уменьшает вероятность возникновения ошибки
- Уменьшает вероятность возникновения помех
- Уменьшает вероятность необнаруженной ошибки
- Улучшает пропускную способность канала

2.6 Практическое занятие №11,12 (4 часа).

Тема: «Построение групповых кодов. Циклические коды**»**

2.6.1. Краткое описание проводимого занятия:

Задания для проведения текущего контроля успеваемости

1. Совершенным называется групповой (m,n) код, исправляющий все ошибки веса …

- не большего k
- не меньшего k и никаких других
- не большего k и никаких других
- не меньшего k

2. Квазисовершенным называется групповой (m,n) код, исправляющий все ошибки веса …

- не меньшего к, и некоторые ошибки веса к + 1
- не большего к, и все ошибки веса к + 1
- не меньшего к, и все ошибки веса к + 1
- не большего к, и некоторые ошибки веса к + 1

3. Для любого целого положительного числа r существует совершенный (m,n)- код исправляющий одну ошибку, называемый …

- кодом Хаффмана
- кодом Хэмминга
- кодом Шеннона
- кодом Фэно

2.7 Практическое занятие №13,14 (4 часа).

Тема: «Матричные представления в теории кодирования. Кодирование линейными последовательными машинами**»**

2.7.1. Краткое описание проводимого занятия:

Задания для проведения текущего контроля успеваемости

1. Чем выгодно матричное кодирование

- Проходит с большей скоростью
- Требует меньше объема памяти
- Обнаруживает больше ошибок
- Исправляет больше ошибок

2. Что такое криптография

- Наука об изменении файла с целью сделать его непонятным для непосвященных лиц
- Наука об изменении шифра с целью сделать его непонятным для непосвященных лиц
- Наука об изменении письма с целью сделать его непонятным для непосвященных лиц
- Наука об изменении кода с целью сделать его непонятным для непосвященных лиц

3. В шифре простой замены …

- каждый знак письма меняется на число по выбранному правилу
- каждый знак письма меняется на двоичное число по выбранному правилу
- каждый знак письма меняется на знак другого языка по выбранному правилу
- каждый знак письма меняется на другой знак по выбранному правилу

2.8 Практическое занятие №15,16 (4 часа).

Тема: «Обнаружение и различение сигналов**»**

2.8.1. Краткое описание проводимого занятия:

Задания для проведения текущего контроля успеваемости

1. Как называется процесс измерения сигнала через равные промежутки времени и запись измерений в двоичном виде

- Дискретизация
- Дефрагментация
- Деформация
- Шифрование

2. Что влияет на качество воспроизведения закодированного звука

- Размер в байтах

- Частота гармоники
- Размер в битах
- Частота дискретизации

3. Перевод дискретной информации в непрерывную осуществляется с помощью …

- Цифро-аналогового преобразователя
- Аналого-цифрового преобразователя
- Арифметическо-логического устройства
- Цифровой вычислительной машины

2.9 Практическое занятие №17,18 (4 часа).

Тема: «Оценка параметров сигналов**»**

2.9.1. Краткое описание проводимого занятия:

Задания для проведения текущего контроля успеваемости

1. Эффективность информационного канала характеризуется ...

- видом сигнала
- составом физической среды канала
- задержкой сигнала во времени
- скоростью и достоверностью передачи информации

2. Технические характеристики канала определяются ...

- принципом действия входящих в него
- надежностью работы
- задержкой сигнала во времени
- скоростью передачи информации

3. Способность информационного канала передавать информацию, характеризуется ...

- эффективностью канала
- задержкой сигнала во времени
- достоверностью канала
- пропускной способностью