

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Ордена Трудового Красного Знамени  
Институт солнечно-земной физики  
Сибирского отделения Российской академии наук  
(ИСЗФ СО РАН)

УТВЕРЖДАЮ:

Врио директора ИСЗФ СО РАН

чл.–корр. РАН \_\_\_\_\_ А.В. Медведев

«12» марта 2024 г.

## **Рабочая программа дисциплины**

### **2.1.8 Цифровая обработка сигналов и изображений**

**Научная специальность 1.6.18. Науки об атмосфере и климате**

Иркутск 2024

РАБОЧУЮ ПРОГРАММУ разработали кандидат физико-математических наук	Кочанов А.А. Киселев А.В.
--	------------------------------

## **1. Место и роль дисциплины (модуля) в структуре ОПОП**

Дисциплина «Цифровая обработка сигналов и изображений» входит в образовательный компонент основной профессиональной образовательной программы по научной специальности 1.16.18. Науки об атмосфере и климате.

Дисциплина является обязательной для обучающихся в аспирантуре по научной специальности 1.16.18. Науки об атмосфере и климате.

Знания и умения, приобретаемые аспирантами после изучения дисциплины, будут использоваться для решения научных задач на этапе получения и обработки экспериментального материала, и направлены на подготовку к сдаче кандидатского экзамена и к дальнейшей научной работе.

## **2. Цели и задачи дисциплины (модуля)**

Целью дисциплины «Цифровая обработка сигналов и изображений» является изучение теоретических основ современных методов и важнейших алгоритмов, применяемых при компьютерной обработке результатов физического эксперимента, которые могут быть представлены в различных формах: электрические сигналы, акустические сигналы, статические и динамические изображения и др.

Задачами дисциплины «Цифровая обработка сигналов и изображений» является:

- изучить методы построения алгоритмов, используемых при решении физических задач;
- овладеть навыками алгоритмизации и построения программ для решения задач;
- освоить физические основы обработки сигналов и изображений.

## **3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)**

В процессе изучения дисциплины «Цифровая обработка сигналов и изображений» аспирант должен приобрести знания и умения, необходимые для его дальнейшего профессионального становления, а именно:

**Знать:**

- теоретические основы и математический аппарат цифровой обработки сигналов представимых в различных формах (электрические сигналы, акустические сигналы и др.);
- методы преобразования сигналов в телекоммуникационных системах – кодирование, сжатие, модуляцию-демодуляцию, форматы представления информации.

- базовые принципы построения алгоритмов, основные алгоритмические конструкции и структуры данных;

**Уметь:**

- выявлять существенные количественные закономерности физических явлений,
- реализовывать на типовых и специализированных программных средствах методы и алгоритмы цифровой обработки сигналов,
- уметь оптимизировать подходы при изменяющихся априорных сведениях;
- использовать языки программирования, строить логически выверенные и эффективные алгоритмы.

**Владеть:**

- навыками использования современных методов и технологий цифровой обработки сигналов,
- методами обработки данных и навыками их систематизации, анализа и осмысления.

#### 4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы/ 144 часа.

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц	Семестр	
		1	2
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	<b>72/2</b>	<b>36/1</b>	<b>36/1</b>
В том числе:			
Лекции	36	18/0,5	18/0,5
Практические занятия	36	18/0,5	18/0,5
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	<b>72/2</b>	<b>36/1</b>	<b>36/1</b>
В том числе:			
Конспектирование	36/1		
Самоподготовка и выполнение домашних заданий	36/1		
Вид промежуточной аттестации (зачет)	зачет	зачет	зачет
<b>Контактная работа (всего)</b>	<b>72/2</b>		
<b>Общая трудоемкость (часы/зачетные единицы)</b>	<b>144/4</b>	<b>72/2</b>	<b>72/2</b>

#### 5. Содержание дисциплины (модуля)

##### 5.1. Содержание разделов и темы дисциплины (модуля)

###### Раздел 1. Основы анализа сигналов

###### 1.1. Вводный курс. Основные определения

Базовые знания о представлении информации в компьютере. Основные подходы к решению задач с помощью компьютера. Классификация сигналов. Энергия и мощность сигнала. Основные статистические характеристики сигнала. Ряд Фурье. Преобразование Фурье. Корреляционная функция. Теорема Парсеваля. Дискретные представления

сигналов. Интегральные представления.

### **1.2. Цифровые сигналы и работа с ними**

Задачи языка программирования при цифровой обработке одномерных и многомерных сигналов. Компьютерная сеть. Доступ к интернет ресурсам (данным и алгоритмам). Определение аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования. Теорема Котельникова. Частота Найквиста. Спектр дискретного сигнала. Субдискретизация сигнала. Преобразование Гильберта. Дискретные случайные сигналы. Корреляционная матрица. Дискретный белый шум.

### **1.3.Спектральный анализ**

Основы объектно-ориентированного программирования применительно к задачам обработки сигналов, графического представления и сохранения результатов анализа (периодограмм, спектров и тд). Форматы представления научных данных (FITS, HDF5, TIFF). Архитектура приложения и принципы модульного программирования на примере построения типовых инструментов спектрального анализа сигналов. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ). Свойства ДПФ. Восстановление непрерывного сигнала с помощью ДПФ. Связь ДПФ и спектра преобразования Фурье. Взаимосвязь ДПФ и фильтрации. Эффект Гиббса. Весовые оконные функции. Периодограмма. Метод Уэлча. Спектр дискретного случайного процесса. Текущие спектры и их свойства.

### **1.4 Фильтры**

Линейная цифровая обработка сигналов с помощью фильтров. Основы методов параллельных вычислений применительно к задаче обработки и фильтрации данных большого объема. Сборка приложений для решения специализированных задач. Импульсная характеристика фильтра. Функция передачи. Фильтры первого и второго порядка. Формы реализации цифровых фильтров. Понятие свертки. Обращение свертки. Некоторые идеализированные фильтры.

### **1.5 Адаптивные фильтры**

Основные понятия адаптивной обработки сигналов. Оптимальный фильтр Винера. Понятие целевой функции. Градиентный поиск оптимального решения и т.д. Применение адаптивных фильтров. Выравнивание частотной характеристики приемного канала.

### **1.6 Модуляция и демодуляция сигналов**

Амплитудная модуляция. Разновидности амплитудной модуляции. Фазовая и частотная модуляция. Манипуляция. Импульсно-кодовая модуляция. Демодуляция. Способы модуляции, используемые при передаче информации.

## **Раздел 2. Основы цифровой обработки изображений**

## 2.1 Вводные определения. Первичная обработка изображений

Цифровое изображение. Первичная обработка изображений. Технические средства обработки изображений. Форматы графических файлов (на примере анализа оптических астрономических и радиоастрономических наблюдений).

## 2.2 Инструменты цифровой обработки изображений

Визуализация двумерных данных: изображение, контур, поверхность. Цветовая палитра. Преобразование изображений в различные системы координат. Понятие сплайнов. Двумерное преобразование Фурье. Удаление шумов. Линейные фильтры. Алгоритмы поиска характерных линий и точек изображения. Матрица конволюции. Способы обработки границ изображений. Эрозия и наращивание. Контрастирование цифровых изображений. Преобразование Хафа. Алгоритм Кэнни. Фильтры Лапласа, Собеля и др. Примеры.

## 2.3 Формирование изображений из данных и их реконструкция

Основные принципы формирования изображений (на примерах из астрономии и радиоастрономии). Основные принципы формирования изображений (на примерах из астрономии и радиоастрономии). Характерные инструментальные искажения изображений. Восстанавливающий Фильтр Винера-Тихонова. Метод CLEAN реконструкции радиоизображений. Метод Максимальной энтропии. Метод оптимального отжига. Примеры калибровки и обработки спутниковых изображений HINODE(XRT), SDO(AIA), радиоданных, получаемых на многочастотном Сибирском радиогелиографе (СРГ). Визуализация процесса обработки данных.

## 5.2. Разделы дисциплины (модуля) и виды занятий

№	Наименование раздела	Наименование темы	Всего часов	Аудиторные занятия		СРС	Форма контроля
				Лекции	Практические занятия		
1.	Раздел 1	Вводный курс. Основные определения.	2	2			зачет
2.	Раздел 1	Цифровые сигналы и работа с ними	14	3	4	7	зачет
3.	Раздел 1	Спектральный анализ	15	4	4	7	зачет
4.	Раздел 1	Фильтры	13	3	3	7	зачет
5.	Раздел 1	Адаптивные фильтры	12	2	2	8	
6.	Раздел 1	Модуляция и демодуляция сигналов	16	4	5	7	зачет
7.	Раздел 2	Вводные определения. Первичная обработка цифровых изображений.	24	6	6	12	зачет
8.	Раздел 2	Инструменты цифровой обработки изображений	24	6	6	12	зачет
9.	Раздел 2	Формирование изображений из данных и их реконструкция	24	6	6	12	зачет

<b>Итого (часы)</b>	<b>144</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>72</b>	
<b>Итого (з.е.)</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	

### 5.3. Разделы и темы дисциплины (модуля) и междисциплинарные связи

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин и практик	№ № разделов и/или тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин
1	Исследовательская практика	1-2

### 5.4. Перечень лекционных занятий

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование используемых технологий	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства
1.	Раздел 1, Тема 1	лекция	2	устный опрос
2.	Раздел 1, Тема 2	лекция	3	устный опрос
3.	Раздел 1, Тема 3	лекция	4	устный опрос
4.	Раздел 1, Тема 4	лекция	3	устный опрос
5.	Раздел 1, Тема 5	лекция	2	устный опрос
6.	Раздел 1, Тема 6	лекция	4	устный опрос
7.	Раздел 2, Тема 1	лекция	6	устный опрос
8.	Раздел 2, Тема 2	лекция	6	устный опрос
9.	Раздел 2, Тема 3	лекция	6	устный опрос

### 5.5. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства
1.	Раздел 1, Тема 2	Основные алгоритмы обработки сигналов на компьютере. Дискретные сигналы.	4	Проект, дискуссия *
2.	Раздел 1, Тема 3	Дискретное преобразование Фурье	1	Проект, дискуссия *
3.	Раздел 1, Тема 3	Спектральный анализ и фильтрация сигналов	2	Проект, дискуссия *
4.	Раздел 1, Тема 3	Весовые оконные функции	1	Проект, дискуссия *
5.	Раздел 1, Тема 4	Линейная цифровая обработка сигналов с помощью фильтров	3	Проект, дискуссия *
6.	Раздел 1, Тема 5	Алгоритмы адаптивной фильтрации сигналов. Основы реконструкции сигналов	2	Проект, дискуссия *
7.	Раздел 1, Тема 6	Модуляция сигналов. Способы модуляции, используемые при передаче информации.	2	Проект, дискуссия *
8.	Раздел 1, Тема 6	Демодуляция сигналов. Исследование спектров модулированных сигналов	3	Проект, дискуссия *
9.	Раздел 2, Тема 1	Цифровое изображение. Первичная обработка.	4	Проект, дискуссия *
10.	Раздел 2, Тема 1	Форматы графических файлов (на примере анализа данных наблюдений).	2	Проект, дискуссия *

11.	Раздел 2, Тема 2	Визуализация двумерных данных: изображение, контур, поверхность. Цветовая палитра.	1	Проект, дискуссия *
12.	Раздел 2, Тема 2	Преобразование изображений в различные системы координат. Понятие сплайнов. Двумерное преобразование Фурье.	1	Проект, дискуссия *
13.	Раздел 2, Тема 2	Удаление шумов. Линейные фильтры. Алгоритмы поиска характерных линий и точек изображения. Матрица конволюции. Способы обработки границ изображений. Эрозия и наращивание.	2	Проект, дискуссия *
14.	Раздел 2, Тема 2	Преобразование Хафа. Алгоритм Кэнни. Фильтры Лапласа, Собела и др. Примеры.	2	Проект, дискуссия *
15.	Раздел 2, Тема 3	Основные принципы формирования изображений (на примерах из астрономии и радиоастрономии). Основные понятия и определения восстановления (реконструкции) изображений.	1	Проект, дискуссия *
16.	Раздел 2, Тема 3	Характерные инструментальные искажения (геометрические, радиометрические, шумовые и тд.). Восстанавливающий Фильтр Винера-Тихонова. Метод CLEAN реконструкции радиоизображений. Метод Максимальной энтропии. Метод оптимального отжига.	2	Проект, дискуссия *
17.	Раздел 2, Тема 3	Примеры калибровки и обработки спутниковых изображений HINODE(XRT), SDO(AIA), радиоданных, получаемых на многочастотном Сибирском радиогелиографе (СРГ).	2	Проект, дискуссия *
18.	Раздел 2, Тема 3	Визуализация процесса обработки данных.	1	Проект, дискуссия *

\*- аспиранты должны показать преподавателю законченную, правильно функционирующую программу, ответить на уточняющие вопросы.

### 5.6. Перечень и содержание самостоятельной работы

№	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Всего часов
1	Цифровые сигналы и работа с ними	Создание программы. Письменная работа	Написать программу обработки заданного сигнала. Ответить на контрольные вопросы. Написать отчет.	Основная литература: 1, 2	7
2	Спектральный анализ	Письменная работа	Письменно ответить на вопросы: Показать аналитическую связь между спектрами аналогового и оцифрованного сигналов. Объяснить возникающие при этом различия двух спектров. При каком интервале дискретизации будет наблюдаться полное подобие спектров?	Основная литература: 1, 2 Дополнительная литература: 1	3
3	Спектральный анализ	Создание программы. Письменная работа	Используя метод Уолша, построить динамический спектр суммы двух гармонических сигналов, имеющих разные	Основная литература: 1, 2 Дополнительная	4



			частоты. Исследовать влияние применения разных весовых функций на результат (к примеру: прямоугольное окно и окно Ханна). Результаты оформить в виде графиков.	литература: 1	
4	Фильтры	Создание программы. Письменная работа	Дано: зашумленный гидроакустический сигнал. Построить спектр сигнала и определить участки спектра для последующей фильтрации. Применить два типа фильтров (частота среза задается самостоятельно): ФНЧ и ФВЧ. Объяснить полученные результаты. На примере фазового фильтра, реализовать плавный сдвиг сигнала по оси времени.	Основная литература: 1, 2, 3  Дополнительная литература: 1	7
5	Адаптивные фильтры	Создание программы.	Используя адаптивный фильтр Винера, произвести фильтрацию зашумленного сигнала. С помощью аппарата спектрального анализа провести качественное сравнение спектра фильтрованного сигнала с результатами применения обычных линейных фильтров (ФНЧ, ФВЧ). Описать основные различия в спектрах, достоинства и недостатки адаптивного фильтра Винера.	Основная литература: 1, 2  Дополнительная литература: 1	8
6	Модуляция и демодуляция сигналов	Создание программы. Письменная работа.	Для случая однотональной модуляции построить графики амплитудно-модулированных сигналов для разных значений параметра $m$ (глубины модуляции) $= 0, 0.5, 1, 1.5$ ; Проверить, что происходит с восстановленным (демодулированным) сигналом в случае перемодуляции? Вычислить пиковую мощность однотонального сигнала. Какая доля мощности уходит в среднем на формирование несущего колебания? Объяснить основные различия между фазовой и частотной модуляцией. Построить спектр гармонического сигнала для случая гармонической угловой модуляции. Объяснить, что будет происходить со спектром при изменении параметра глубины модуляции. Реализовать амплитудно-манипулированный сигнал, для случая алфавита (0 и 1 - двоичной последовательности).	Основная литература: 1, 2  Дополнительная литература: 1	4
7	Модуляция и демодуляция сигналов	Создание программы.	Реализовать алгоритм синхронного детектирования для случая демодуляции амплитудно-модулированного сигнала. Показать на графиках, что будет происходить при внесении ошибки	Основная литература: 1, 2  Дополнительная литература: 1	3

			фазы и частоты в алгоритм?		
8	Вводные определения. Первичная обработка цифровых изображений.	Создание программы.	Определить основные характеристики для предложенных изображений: размер, количество цветных каналов, глубину цвета. Разработать алгоритмы (функции) для изменения дискретизации и разрешения изображений.	Основная литература: 1, 2, 3 Дополнительная литература: 1	4
9	Вводные определения. Первичная обработка цифровых изображений.	Создание программы. Письменная работа.	Изучить структуры различных файловых форматов: текстового, бинарного, табличного и иерархического в применении к научным данным. Определить преимущества и недостатки форматов в применении к хранению научных данных. Написать отчет.	Основная литература: 1, 2, 3 Дополнительная литература: 1	8
10	Инструменты цифровой обработки изображений	Создание программы. Письменная работа.	Построить двумерный массив от заданной функции интенсивности. Визуализировать полученные данные в виде изображения с изолиниями.	Основная литература: 1, 2, 3	3
11	Инструменты цифровой обработки изображений	Создание программы.	Очистить изображение, зашумленное периодическим сигналом, применяя двумерное преобразование Фурье. Вывести результат в виде двух изображений: оригинального и после фильтрации.	Основная литература: 2, 3	3
12	Инструменты цифровой обработки изображений	Создание программы.	Разработать программу для выделения объектов переднего плана на предложенных данных с учетом минимальной допустимой площади объекта. Воспользоваться методами бинарной морфологии для разделения плотно прилегающих объектов. Результат оформить в виде изображения.	Основная литература: 1, 2, 3 Дополнительная литература: 1	3
13	Инструменты цифровой обработки изображений	Создание программы.	Используя алгоритм Хафа на заданной ионограмме определить треки. Полученный результат в виде линий нанести на исходную ионограмму. Прodelать ту же процедуру, используя алгоритм Кэнни. Объяснить основные различия, получаемых результатов.	Основная литература: 1, 2, 3	3
14	Формирование изображений из данных и их реконструкция	Создание программы. Письменная работа.	Обработать изображение одним из предложенных методов. Написать отчет.	Основная литература: 1, 2, 3 Дополнительная литература: 1, 3	3
15	Формирование изображений из данных и их реконструкция	Создание программы. Письменная работа.	Дано цифровое изображение радиостанции, имеющего гауссову форму. Изображение подвергнуто процедуре свертки с диаграммой направленности Сибирского радиогелиографа. На	Основная литература: 1, 2, 3 Дополнительная литература: 3	3

			примере использования метода чистки CLEAN (алгоритм Хегбома) выполнить процедуру восстановления истинного распределения радиояркости источника. Объяснить результаты такой реконструкции. Прodelать ту же процедуру, для случая, когда в исходное изображение внесен белый шума. Проследить зависимость получаемых результатов реконструкции от величины вносимого в изображение шума.		
16	Формирование изображений из данных и их реконструкция	Создание программы.	Написать программу, которая считывает радиоизображения Солнца (формат FITS), полученные на СРГ. Провести их визуализацию и первичный анализ (центрирование, фильтрацию и т.д).	Основная литература: 1, 2, 3 Дополнительная литература: 3	3
17	Формирование изображений из данных и их реконструкция	Создание программы.	Написать программу для визуализации процесса поиска активных субапертур на серии данных полученных адаптивной оптикой. Даны, результаты натуральных измерений Солнца на телескопе БСВТ.	Основная литература: 1, 2, 3	3

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 6.1. Основная литература

№	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров
1	Умняшкин С. Основы теории цифровой обработки сигналов. Учебное пособие. Москва: Техносфера, 2017. - 512 с. -ISBN 978-5-94836-484-1	2
2	Майкл Доусон Програмируем на Python. Санкт-Петербург: Питер. 2018. - 416 с. -ISBN 978-5-496-01071-9	3
3	Л. Рубанов, П. Чочиа, Рафаэль Гонсалес, Ричард Вудс Цифровая обработка изображений. Москва: Техносфера, 2012, - 1104 с. -ISBN 978-5-94836-331-8	3

### 6.2. Дополнительная литература

№	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров
1	Умняшкин, С. В. Теоретические основы цифровой обработки и представления сигналов: учебное пособие / С. В. Умняшкин. - Москва : Техносфера, 2012. - 368 с. - Режим доступа: ЭБС "Айбукс" - ISBN 978-5-94836-318-9	1
2	Джиган, В.И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы [Текст] : научное издание / В. И. Джиган. - М. : Техносфера, 2013. - 527 с. : ил. ; 25 см. - (Мир цифровой обработки). - Библиогр.: с. 505-520. - Предм. указ.: с. 521-527. - ISBN 978-5-94836-342-4.	1
3	Томпсон, А. Ричард. Интерферометрия и синтез в радиоастрономии [Текст] : научное издание / А.Р. Томпсон ; Д.М. Моран, Д.У. Свенсон. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Физматлит, 2003. - 624 с. : ил ; 24 см. - ISBN 5-9221-0015-7.	1

### **6.3. Профессиональные базы данных, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:**

- <http://ssrt.iszf.irk.ru/indexru.shtml>
- Архив наблюдений радиоастрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (<http://badary.iszf.irk.ru/>)
- Научная база данных Scopus (<https://www.scopus.com>)
- Научные данные (материалы) издательства Cambridge University Press (<http://www.cambridge.org>)

### **6.4. Информационные, информационно-справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:**

- Информационно-справочная информация в библиотеке ИСЗФ СО РАН <http://irbis.iszf.irk.ru>
- Государственная публичная научно-техническая библиотека России <http://www.gpntb.ru/>
- Журналы Американского физического общества <http://publish.aps.org/>
- научная электронная библиотека + Российский Индекс Научного Цитирования <https://elibrary.ru>
- Международный каталог и поисковая система по публикациям в области астрофизики [http://adsabs.harvard.edu/abstract\\_service.html](http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html)
- Международная система индексирования публикаций Web of Science <http://webofknowledge.com>
- Научные ресурсы зарубежного издательства Elsevier B.V. – Freedom Collection (<https://www.elsevier.com>)

### **6.5. Программное обеспечение**

Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- Операционная система Ubuntu 18.04 (свободно распространяемое ПО)
- Офисный пакет Libre Office (свободно распространяемое ПО)
- 7-Zip (свободно распространяемое ПО)
- Adobe Acrobat Reader DC (свободно распространяемое ПО)
- Mozilla Firefox 1 (свободно распространяемое ПО)
- VLC Mediaplayer (свободно распространяемое ПО)
- K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО)
- Операционная система Microsoft Windows 10 Pro
- VideoMost Proton

## **7. Образовательные технологии**

В учебном процессе используются как активные, так интерактивные формы проведения занятий.

Интерактивные формы включают в себя:

- Лекции;
- Творческие задания в форме изложения проблемного материала;
- Групповые оценки и взаимооценки: а именно рецензирование аспирантами выступлений друг друга.
- Проект — комплексное задание прорабатываемое несколько занятий, учитывая работу на дому, по окончании которой предоставляется письменный отчет.

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ПК, проектор). Презентации позволяют качественно иллюстрировать аудиторные занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками и структурировать материал занятия. Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что улучшает восприятие материала.

Самостоятельная работа включает в себя:

- формулирование проблемных вопросов в результате самостоятельного изучения темы с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей;
- конспектирование;
- выполнение лабораторных и практических работ.

При необходимости, в процессе работы над заданием, аспирант может получить индивидуальную консультацию у преподавателя.

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Для обучения имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы.

Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории, компьютерным оборудованием.

## **9. Контроль качества освоения программы аспирантуры**

**Цель контроля** – получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

### Планируемые результаты освоения дисциплины

**Знать:** теоретические основы и математический аппарат цифровой обработки сигналов, представимых в различных физических формах (электрические сигналы, акустические сигналы и др.), методы преобразования сигналов в телекоммуникационных системах – кодирование, сжатие, модуляцию, форматы представления информации;

**Уметь:** выявлять количественные закономерности физических явлений, реализовывать на типовых и специализированных программных средствах методы и алгоритмы цифровой обработки сигналов, уметь оптимизировать подходы при изменяющихся априорных сведениях;

**Владеть:** навыками использования современных методов и технологий цифровой обработки сигналов, а также методами обработки данных и навыками их систематизации и анализа.

### Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости аспиранта, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляется на протяжении семестра. Текущий контроль знаний обучающихся организован как устный групповой опрос и тестирование.

Текущая самостоятельная работа аспиранта направлена на углубление и закрепление знаний, и развитие практических умений аспиранта.

Объектами оценивания выступают:

- Учебная дисциплина - активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость занятий;
- Степень усвоения теоретических знаний.

### Характеристика ОС для обеспечения текущего контроля по дисциплине

Раздел/Тема	ОС	Содержание задания
Раздел 1. Вводный курс. Основные определения.	Устный опрос	Дискуссия, устный опрос.
Раздел 1. Основные алгоритмы обработки сигналов на компьютере. Дискретные сигналы. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ)	Решение задач	<b>Решение типовых теоретических задач</b> в ходе практических занятий. Работа у доски.  <b>Проект компьютерного практикума:</b> <i>Дано:</i> Цифровая запись гидроакустического сигнала длительностью 1.03 с. Сигнал получен с помощью специализированного 4-х канального приемника на о. Байкал с глубины 150м. Шаг квантования сигнала

		<p>– 5 мкс.</p> <p>Необходимо написать программу, которая а) считывает сигнал из файла; б) вычисляет такие характеристики сигнала как: математическое ожидание, дисперсию; в) производит вычисление и построение в виде графиков функции корреляции между парами приемных каналов; г) выполняет операцию усреднения сигнала по трем точкам.</p> <p><b>Контрольные вопросы:</b></p> <p>а) Сигнал имеет частотный спектр, ограниченный частотой <math>f_{max} = 50</math> кГц. Каким должен быть выбран шаг квантования сигнала по времени (при его приеме), чтобы обеспечить условие отсутствия потерь информации?</p> <p>б) Сигнал регистрируется приемным устройством в течение 10 с., дискретные отсчеты сигнала снимаются через каждые 10 мкс. Какова предельная частота сигнала <math>f_{max}</math> может быть зафиксирована. Какое разрешение по частоте будет обеспечиваться в этом случае?</p> <p><b>Отчет и обсуждение результатов.</b></p>
<p>Раздел 1. Спектральный анализ и фильтрация сигналов.</p> <p>Весовые оконные функции</p>	<p>Решение задач</p>	<p><b>Решение типовых теоретических задач</b> в ходе практических занятий. Работа у доски.</p> <p><b>Проект компьютерного практикума:</b>  <i>Дано:</i> Набор тестовых сигналов (синусоидальный сигнал, синус + белый шум и тд.) представленных в цифровой форме. Цифровая запись радиопотока Солнца на длине волны 5.2 см (шаг квантования 1.6 сек, период наблюдения 8 часов) в формате fits.</p> <p>Необходимо написать программу, которая совершает следующие действия: а) считывает сигналы из файлов; б) выполняет прямое БПФ над тестовыми сигналами и выводит результат в виде графиков (спектры мощности); в) фильтрует спектры в заданной полосе частот (тип фильтра по выбору пользователя) и производит обратное ДПФ. Используя наработанный материал, выполнить анализ спектра реального радиосигнала. Выявить основные свойства спектра. В качестве дополнительного задания предлагается построить скользящий спектр мощности радиосигнала используя метод построения периодограмм Уэлча.</p>

		<p><b>Контрольные вопросы:</b></p> <p>а) Покажите, что преобразование Фурье и обратное преобразование суть линейные операции.</p> <p>б) Объяснить, в чем заключается смысл применения оконного преобразования Фурье и оконных весовых функций.</p> <p>в) Определите максимальный размер <math>M</math> окна сканирования, при котором предпочтителен прямой алгоритм вычисления свертки, если <math>N = 2048</math>, а исходные данные таковы <math>X = [x_0, x_1 \dots x_{N-2}, x_{N-1}, x_0, x_1 \dots x_{N-2}, x_{N-1}]</math> и ядро свертки <math>G = [g_0, g_1 \dots g_{M-1}, g_0, g_1 \dots g_{M-1}]</math> комплексные.</p> <p><b>Отчет и обсуждение результатов.</b></p>
<p>Раздел 1. Линейная цифровая обработка сигналов с помощью фильтров.</p>	<p>Решение задач Расчетно-графическая работа</p>	<p><b>Решение типовых теоретических задач</b> в ходе практических занятий. Работа у доски.</p> <p><b>Расчетно-графическая работа для компьютерного практикума:</b> Конструирование простейших цифровых фильтров. Генерация тестовых сигналов. Фильтрация.</p> <p><b>Отчет и обсуждение результатов.</b></p>
<p>Раздел 1. Амплитудная модуляция. Разновидности амплитудной модуляции. Фазовая и частотная модуляция Демодуляция. Способы модуляции, используемые при передаче информации.</p>	<p>Решение задач Расчетно-графическая работа</p>	<p><b>Решение типовых теоретических задач</b> в ходе практических занятий. Работа у доски.</p> <p><b>Проект компьютерного практикума:</b> Необходимо смоделировать систему передачи информации по радиоканалу, которая состоит из передатчика сигнала, канала связи с аддитивным белым гауссовым шумом, приемника сигнала. Передатчик включает в себя источник сообщения и модулятор радиосигнала, а приемник - входной полосовой фильтр, демодулятор радиосигнала, ФНЧ. Отобразить графики временных и спектральных функций на выходе каждого блока. Параметры системы передачи приведены ниже: Источник сигнала - гармонический сигнал по закону синуса в третьей степени с частотой 130 Гц. Вид модуляции - фазовая модуляция с индексом модуляции 4. Несущая частота 3 кГц. Отношение сигнал/шум 9 дБ. Частота дискретизации 8 кГц.</p> <p><b>Отчет и обсуждение результатов.</b></p>



<p>Раздел 2. Основы реконструкции сигналов. Алгоритмы адаптивной фильтрации сигналов</p>	<p>Решение задач Расчетно-графическая работа</p>	<p><b>Решение типовых теоретических задач</b> в ходе практических занятий. Работа у доски.</p> <p><b>Проект компьютерного практикума:</b> Радиосигнал от наблюдаемого объекта удовлетворяет уравнению вида: <math>H(u)*F(u)=G(u) +N(u)</math> где <math>H</math> – передаточная функция радиотелескопа, <math>F</math> – истинный сигнал, <math>G</math> – наблюдаемый сигнал, <math>N</math> – стационарный гауссов шум; * - знак оператора свертки. Необходимо написать программу, которая на основе применения оптимального фильтра Винера производит операцию обращения свертки и дает оценку истинного сигнала. Также необходимо исследовать влияние шума на качество восстановленного сигнала. Даны в виде массивов данных: а) наблюдаемый сигнал; б) истинный сигнал (для тестов алгоритма); в) передаточная функция радиотелескопа.</p> <p><b>Отчет и обсуждение результатов.</b></p>
--	--	---

### Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация аспирантов по дисциплине осуществляется по окончанию дисциплины, в виде зачетов в соответствии с графиком учебного процесса. Для допуска к зачету студент должен выполнить все практические задания. В случае наличия учебной задолженности (пропущенных занятий и (или) невыполненных заданий), аспирант отрабатывает пропущенные занятия и выполняет задания.

### Вопросы для зачета

- Классификация сигналов
- Основные статистические характеристики сигнала
- Ряд Фурье. Преобразование Фурье. Корреляционная функция
- Теорема Парсевала
- Дискретные и интегральные представления сигналов.
- Аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразование. Теорема Котельникова. Частота Найквиста.
- Спектр дискретного сигнала. Субдискретизация сигнала.
- Дискретный белый шум.
- Дискретное преобразование Фурье (ДПФ).

- Восстановление непрерывного сигнала с помощью ДПФ.
- Алгоритм быстрого ДПФ (БПФ).
- Эффект Гиббса
- Метод Уэлча
- Спектр дискретного случайного процесса
- Линейная цифровая обработка сигналов с помощью фильтров
- Фильтры первого и второго порядка
- Понятие свертки. Обращение свертки.
- Амплитудная модуляция.
- Фазовая и частотная модуляция
- Демодуляция.
- Оптимальный фильтр Винера.

### Типовые задания для зачета

1. Основные алгоритмы обработки сигналов на компьютере. Дискретные сигналы.  
*Дано:* Цифровая запись гидроакустического сигнала длительностью 1.03 с. Сигнал получен с помощью специализированного 4-х канального приемника на о. Байкал с глубины 150м. Шаг квантования сигнала – 5 мкс.

Необходимо написать программу, которая а) считывает сигнал из файла; б) вычисляет такие характеристики сигнала как: математическое ожидание, дисперсию; в) производит вычисление и построение в виде графиков функции корреляции между парами приемных каналов; г) выполняет операцию усреднения сигнала по трем точкам.

Контрольные вопросы:

а) Сигнал имеет частотный спектр, ограниченный частотой  $F_{max} F_{max} = 50$  кГц. Каким должен быть выбран шаг квантования сигнала по времени (при его приеме), чтобы обеспечить условие отсутствия потерь информации?

б) Сигнал регистрируется приемным устройством в течение 10 с., дискретные отсчеты сигнала снимаются через каждые 10 мкс. Какова предельная частота сигнала  $F_{max} F_{max}$  может быть зафиксирована. Какое разрешение по частоте будет обеспечиваться в этом случае?

2. Спектральный анализ и фильтрация сигналов

*Дано:* Набор тестовых сигналов (синусоидальный сигнал, синус + белый шум и тд.) представленных в цифровой форме. Цифровая запись радиопотока Солнца на длине волны 5.2 см (шаг квантования 1.6 сек, период наблюдения 8 часов) в формате fits.

Необходимо написать программу, которая совершает следующие действия: а) считывает

сигналы из файлов; б) выполняет прямое БПФ над тестовыми сигналами и выводит результат в виде графиков (спектры мощности); в) фильтрует спектры в заданной полосе частот (тип фильтра по выбору пользователя) и производит обратное БПФ. Используя наработанный материал, выполнить анализ спектра реального радиосигнала. Выявить основные свойства спектра. В качестве дополнительного задания предлагается построить скользящий спектр мощности радиосигнала, используя метод построения периодограмм Уэлча.

Контрольные вопросы:

- а) Покажите, что преобразование Фурье и обратное преобразование суть линейные операции.
- б) Объяснить, в чем заключается смысл применения оконного преобразования Фурье и оконных весовых функций.
- в) Определите максимальный размер  $M$  окна сканирования, при котором предпочтителен прямой алгоритм вычисления свертки, если  $N = 2048$ , а исходные данные таковы  $X = [x_0, x_1 \dots x_{N-2}, x_{N-1} x_0, x_1 \dots x_{N-2}, x_{N-1}]$  и ядро свертки  $G = [g_0, g_1 \dots g_{M-1} g_0, g_1 \dots g_{M-1}]$  комплексные.

3. Модуляция-демодуляция простейших сигналов

Необходимо смоделировать систему передачи информации по радиоканалу, которая состоит из передатчика сигнала, канала связи с аддитивным белым гауссовым шумом, приемника сигнала. Передатчик включает в себя источник сообщения и модулятор радиосигнала, а приемник - входной полосовой фильтр, демодулятор радиосигнала, ФНЧ. Отобразить графики временных и спектральных функций на выходе каждого блока. Параметры системы передачи приведены ниже:

Источник сигнала - гармонический сигнал по закону синуса в третьей степени с частотой 130 Гц. Вид модуляции - фазовая модуляция с индексом модуляции 4. Несущая частота 3 кГц. Отношение сигнал/шум 9 дБ. Частота дискретизации 8 кГц.

Проверяемые компетенции: ОПК-1, ПК-1, ПК-2

4. Реконструкция сигналов. Алгоритмы адаптивной фильтрации сигналов

Радиосигнал от наблюдаемого объекта удовлетворяет уравнению вида:

$$H(u)*F(u)=G(u) +N(u)$$

где  $H$  – передаточная функция радиотелескопа,  $F$  – истинный сигнал,  $G$  – наблюдаемый сигнал,  $N$  – стационарный гауссов шум; \* - знак оператора свертки.

Необходимо написать программу, которая на основе применения оптимального фильтра Винера производит операцию обращения свертки и дает оценку истинного сигнала.

Также, необходимо исследовать влияние шума на качество восстановленного сигнала. Даны в виде массивов данных: а) наблюдаемый сигнал; б) истинный сигнал (для тестов алгоритма); в) передаточная функция радиотелескопа.

**Критерии оценки:**

- оценка «зачтено» выставляется аспиранту, если основной материал усвоен, аспирант приобрел необходимые знания и умения;
- оценка «не зачтено» - если основной материал усвоен недостаточно, аспирант не приобрел необходимых знаний и умений