

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



УТВЕРЖДАЮ:  
Директор ИСЗФ СО РАН  
А.В. Медведев  
2022 г.

## Рабочая программа дисциплины

**Д.Ф.2 Цифровая обработка сигналов и изображений**

**Научная специальность 1.16.18 Науки об атмосфере и климате**

Иркутск 2022

РАБОЧУЮ ПРОГРАММУ разработал кандидат физико-математических наук	А.А. Кочанов
РАБОЧУЮ ПРОГРАММУ разработал младший научный сотрудник н.с. ИСЗФ СО РАН	А.В. Киселев

## **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 факультативной 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:**

- понятие системы программирования;
- базовые принципы построения алгоритмов, основные алгоритмические конструкции и структуры данных;
- 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.

**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 часов.

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

**5. Содержание дисциплины**

**5.1. Содержание разделов и темы дисциплины**

**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 Модуляция и демодуляция**

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

## **1.6 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.

## Раздел 2. Основы цифровой обработки изображений

### 2.1 Вводные определения

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 Восстановление изображений

Основные понятия и определения восстановления (реконструкции) изображений. 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

№ п/п	Наименование раздела	Наименование темы	Виды занятий в часах					
			Лек.	Практ. зан.	Семина	Лаб. зан.	СРС	Всего
1.	Раздел 1	Вводный курс. Основные определения.	1					1
2.	Раздел 1	Алгоритмы обработки сигналов на компьютере.	2	2			4	8
3.	Раздел 1	Дискретное преобразование Фурье.	3	2			5	10
4.	Раздел 1	Спектральный анализ и фильтрация сигналов.	2	2			5	9
5.	Раздел 1	Весовые оконные функции.	1	1			3	5
6.	Раздел 1	Линейная цифровая обработка сигналов с помощью фильтров.	2	2			4	8
7.	Раздел 1	Модуляция сигналов.	2	3			4	9
8.	Раздел 1	Демодуляция сигналов.	2	3			4	9

9.	Раздел 1	Основы реконструкции сигналов.	2	2			2	6
10.	Раздел 1	Алгоритмы адаптивной фильтрации сигналов.	2	2			2	6
11	Раздел 2	Первичная обработка цифровых изображений.	2	2			4	8
12	Раздел 2	Форматы графических файлов.	1	1			2	4
13	Раздел 2	Визуализация двумерных данных.	1	1			4	6
14	Раздел 2	Преобразование изображений в различные системы координат.	2	2			4	8
15	Раздел 2	Удаление шумов. Алгоритмы поиска характерных линий и точек изображения. Способы обработки границ изображений.	2	2			6	10
16	Раздел 2	Преобразование Хафа. Алгоритм Кэнни. Фильтры Лапласа, Собела и др. Примеры.	1	1			4	6
17	Раздел 2	Основные принципы формирования изображений.	2	2			4	8
18	Раздел 2	Характерные инструментальные искажения. Методы восстановления изображений.	2	2			4	8
19	Раздел 2	Примеры калибровки и обработки спутниковых и наземных изображений.	2	2			3	7
20	Раздел 2	Визуализация процесса обработки данных.	2	2			4	8

### 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.	Вводный курс. Основные определения.	лекция	1	устный опрос

2.	Алгоритмы обработки сигналов на компьютере.	лекция	2	устный опрос
3.	Дискретное преобразование Фурье.	лекция	3	устный опрос
4.	Спектральный анализ и фильтрация сигналов.	лекция	2	устный опрос
5.	Весовые оконные функции.	лекция	1	устный опрос
6.	Линейная цифровая обработка сигналов с помощью фильтров.	лекция	2	устный опрос
7.	Модуляция сигналов.	лекция	2	устный опрос
8.	Демодуляция сигналов.	лекция	2	устный опрос
9.	Основы реконструкции сигналов.	лекция	2	устный опрос
10.	Алгоритмы адаптивной фильтрации сигналов.	лекция	2	устный опрос
11.	Первичная обработка цифровых изображений.	лекция	2	устный опрос
12.	Форматы графических файлов.	лекция	1	устный опрос
13.	Визуализация двумерных данных.	лекция	1	устный опрос
14.	Преобразование изображений в различные системы координат.	лекция	2	устный опрос
15.	Удаление шумов. Алгоритмы поиска характерных линий и точек изображения. Способы обработки границ изображений.	лекция	2	устный опрос
16.	Преобразование Хафа. Алгоритм Кэнни. Фильтры Лапласа, Собела и др. Примеры.	лекция	1	устный опрос
17.	Основные принципы формирования изображений.	лекция	2	устный опрос
18.	Характерные инструментальные искажения. Методы восстановления изображений.	лекция	2	устный опрос
19.	Примеры калибровки и обработки спутниковых и наземных изображений.	лекция	2	устный опрос
20.	Визуализация процесса обработки данных.	лекция	2	устный опрос

#### 5.4 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	Вводный курс. Основные определения.	1	Проект, дискуссия *
2.	Раздел 1	Основные алгоритмы обработки сигналов на компьютере. Дискретные сигналы.	4	Проект, дискуссия *
3.	Раздел 1	Дискретное преобразование Фурье	5	Проект, дискуссия *
4.	Раздел 1	Спектральный анализ и фильтрация сигналов	4	Проект, дискуссия *
5.	Раздел 1	Весовые оконные функции	2	Проект, дискуссия *
6.	Раздел 1	Линейная цифровая обработка сигналов с помощью фильтров.	4	Проект, дискуссия *
7.	Раздел 1	Амплитудная модуляция. Разновидности амплитудной модуляции. Фазовая и частотная модуляция. Манипуляция. ИКМ.	5	Проект, дискуссия *
8.	Раздел 1	Демодуляция. Способы модуляции, используемые при передаче информации.	5	Проект, дискуссия *
9	Раздел 1	Основы реконструкции сигналов.	4	Проект, дискуссия *
10	Раздел 1	Алгоритмы адаптивной фильтрации сигналов.	4	Проект, дискуссия *
11	Раздел 2	Цифровое изображение. Первичная обработка.	4	Проект, дискуссия *
12	Раздел 2	Форматы графических файлов (на примере анализа данных наблюдений).	2	Проект, дискуссия *
13	Раздел 2	Визуализация двумерных данных: изображение, контур,	2	Проект, дискуссия *

		поверхность. Цветовая палитра.		
14	Раздел 2	Преобразование изображений в различные системы координат. Понятие сплайнов. Двумерное преобразование Фурье.	4	Проект, дискуссия *
15	Раздел 2	Удаление шумов. Линейные фильтры. Алгоритмы поиска характерных линий и точек изображения. Матрица конволюции. Способы обработки границ изображений. Эрозия и наращивание.	4	Проект, дискуссия *
16	Раздел 2	Преобразование Хафа. Алгоритм Кэнни. Фильтры Лапласа, Собела и др. Примеры.	2	Проект, дискуссия *
17	Раздел 2	Основные понятия и определения восстановления (реконструкции) изображений. Основные принципы формирования изображений (на примерах из астрономии и радиоастрономии).	4	Проект, дискуссия *
18	Раздел 2	Характерные инструментальные искажения (геометрические, радиометрические, шумовые и тд.). Восстанавливающий Фильтр Винера-Тихонова. Метод CLEAN реконструкции радиоизображений. Метод Максимальной энтропии. Метод оптимального отжига.	4	Проект, дискуссия *
19	Раздел 2	Примеры калибровки и обработки спутниковых изображений HINODE(XRT), SDO(AIA), радиоданных, получаемых на многочастотном Сибирском радиогелиографе (СРГ).	4	Проект, дискуссия *

20	Раздел 2	Визуализация процесса обработки данных.	4	Проект, дискуссия *
----	----------	---	---	---------------------

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

### 5.5 План самостоятельной работы студентов

№	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1.	Раздел 1. Тема: Основные алгоритмы обработки сигналов на компьютере. Дискретные сигналы.	Создание программы. Письменная работа	Написать программу обработки заданного сигнала. Ответить на контрольные вопросы. Написать отчет.	Основная литература: 1, 2	4
2.	Раздел 1. Тема: Дискретное преобразование Фурье	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	5
3.	Раздел 1. Тема: Спектральный анализ и фильтрация сигналов	Создание программы. Письменная работа	Написать программу для определения частот гармоник, входящих в заданный сигнал. Отфильтровать гармонику с максимальной частотой. Результаты оформить в виде таблиц и графиков.	Основная литература: 1, 2 Дополнительная литература: 1, 2	5
4.	Раздел 1. Тема: Весовые оконные функции	Создание программы. Письменная работа	Используя метод Уолша, построить динамический спектр суммы двух гармонических сигналов, имеющих	Основная литература: 1, 2 Дополнительная	3

			<p>разные частоты. Исследовать влияние применения разных весовых функций на результат (к примеру: прямоугольное окно и окно Ханна). Результаты оформить в виде графиков.</p>	литература: 1	
5.	<p>Раздел 1. Тема: Линейная цифровая обработка сигналов с помощью фильтров.</p>	<p>Создание программы. Письменная работа</p>	<p>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.</p>	<p>Основная литература: 1, 2, 3</p> <p>Дополнительная литература: 1</p>	4
6.	<p>Раздел 1. Тема: Амплитудная модуляция. Разновидности амплитудной модуляции. Фазовая и частотная модуляция. Манипуляция. ИКМ.</p>	<p>Создание программы. Письменная работа.</p>	<p>Для случая однотоновой модуляции построить графики амплитудно-модулированных сигналов для разных значений параметра <math>m</math> (глубины модуляции) = 0, 0.5, 1, 1.5; Проверить, что происходит с восстановленным (демодулированным) сигналом в случае перемодуляции? Вычислить пиковую мощность однотонового сигнала. Какая доля мощности уходит в среднем на формирование несущего колебания? Объяснить основные различия между</p>	<p>Основная литература: 1, 2</p> <p>Дополнительная литература: 1</p>	4

			<p>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).</p>		
7.	<p>Раздел 1. Тема: Демодуляция. Способы модуляции, используемые при передаче информации.</p>	<p>Создание программы.</p>	<p>Реализовать алгоритм синхронного детектирования для случая демодуляции амплитудно-модулированного сигнала. Показать на графиках, что будет происходить при внесении ошибки фазы и частоты в алгоритм?</p>	<p>Основная литература: 1, 2 Дополнительная литература: 1</p>	4
8.	<p>Раздел 1. Тема: Основы реконструкции сигналов.</p>	<p>Создание программы. Письменная работа.</p>	<p>Обработать сигнал одним из предложенных методов. Написать отчет.</p>	<p>Основная литература: 1, 2</p>	2
9	<p>Раздел 1. Тема: Алгоритмы адаптивной фильтрации сигналов.</p>	<p>Создание программы.</p>	<p>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.</p>	<p>Основная литература: 1, 2 Дополнительная литература: 1</p>	2

10	Раздел 2. Тема: Цифровое изображение. Первичная обработка.	Создание программы.	Определить основные характеристики для предложенных изображений: размер, количество цветовых каналов, глубину цвета. Разработать алгоритмы (функции) для изменения дискретизации и разрешения изображений.	Основная литература: 1, 2, 3  Дополнительная литература: 1	4
11	Раздел 2. Тема: Форматы графических файлов (на примере анализа данных наблюдений).	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	2
12	Раздел 2. Тема: Визуализация двумерных данных: изображение, контур, поверхность. Цветовая палитра.	Создание программы. Письменная работа.	Построить двумерный массив от заданной функции интенсивности. Визуализировать полученные данные в виде изображения с изолиниями.	Основная литература: 1, 2, 3	4
13	Раздел 2. Тема: Преобразование изображений в различные системы координат. Понятие сплайнов. Двумерное преобразование Фурье.	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	4
14	Раздел 2. Тема: Удаление шумов. Линейные	Создание программы.	Разработать программу для выделения объектов переднего плана на предложенных	Основная литература: 1, 2, 3	6

	<p>фильтры. Алгоритмы поиска характерных линий и точек изображения. Матрица конволюции. Способы обработки границ изображений. Эрозия и наращивание.</p>		<p>данных с учетом минимальной допустимой площади объекта. Воспользоваться методами бинарной морфологии для разделения плотно прилегающих объектов. Результат оформить в виде изображения.</p>	<p>Дополнительная литература: 1</p>	
15	<p>Раздел 2. Тема: Преобразование Хафа. Алгоритм Кэнни. Фильтры Лапласа, Собела и др. Примеры.</p>	<p>Создание программы.</p>	<p>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.</p>	<p>Основная литература: 1, 2, 3</p>	4
16	<p>Раздел 2. Тема: Основные понятия и определения восстановления (реконструкции) изображений. Основные принципы формирования изображений (на примерах из астрономии и радиоастрономии).</p>	<p>Создание программы. Письменная работа.</p>	<p>Обработать изображение одним из предложенных методов. Написать отчет.</p>	<p>Основная литература: 1, 2, 3  Дополнительная литература: 1, 3</p>	4
17	<p>Раздел 2. Тема: Характерные инструментальные искажения (геометрические, радиометрические, шумовые и</p>	<p>Создание программы. Письменная работа.</p>	<p>Дано цифровое изображение радиисточника, имеющего гауссову форму. Изображение подвергнуто процедуре свертки с диаграммой направленности Сибирского</p>	<p>Основная литература: 1, 2, 3  Дополнительная литература: 3</p>	4

	<p>тд.).  Восстанавливающий Фильтр Винера-Тихонова.  Метод CLEAN реконструкции радиоизображений. Метод Максимальной энтропии.  Метод оптимального отжига.</p>		<p>радиогелиографа. На примере использования метода чистки CLEAN (алгоритм Хегбома) выполнить процедуру восстановления истинного распределения радиояркости источника. Объяснить результаты такой реконструкции.  Проделать ту же процедуру, для случая, когда в исходное изображение внесен белый шума.  Проследить зависимость получаемых результатов реконструкции от величины вносимого в изображение шума.</p>		
18	<p>Раздел 2.  Тема: Создание программы.  Примеры калибровки и обработки спутниковых изображений HINODE(XRT), SDO(AIA), радиоданных, получаемых на многочастотном Сибирском радиогелиографе (СРГ).</p>	<p>Создание программы.</p>	<p>Написать программу, которая считывает радиоизображения Солнца (формат FITS), полученные на СРГ.  Провести их визуализацию и первичный анализ (центрирование, фильтрацию и т.д).</p>	<p>Основная литература: 1, 2, 3  Дополнительная литература: 3</p>	3
19	<p>Раздел 2.  Тема:  Визуализация процесса обработки данных.</p>	<p>Создание программы.</p>	<p>Написать программу для визуализации процесса поиска активных субапертур на серии данных полученных адаптивной оптикой.  Даны, результаты натурных измерений Солнца на телескопе БСВТ.</p>	<p>Основная литература: 1, 2, 3</p>	4

## 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

Программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

№	Наименование программного продукта	Кол-во	Обоснование для пользования ПО (Лицензия, Договор, счёт, акт или иное)	Дата выдачи лицензии	Срок действия права пользования
1	Microsoft Office 2010 Russian Academic OPEN 1 License No Level	3	Номер Лицензии Microsoft 47790919	30.01.2009	бессрочно
2	Microsoft Windows Professional 7 Russian OPEN 1 License No Level Legalization Get Genuine	5	Номер Лицензии Microsoft 47771806	06.12.2010	бессрочно
3	7-Zip	1	Свободно распространяется на условиях лицензии GNU LGPL		бессрочно

4	Adobe Acrobat Reader DC	1	Лицензионное соглашение на программное обеспечение Adobe.		бессрочно
5	Mozilla Firefox	1	Свободно распространяется на условиях тройной лицензии Mozilla ( <a href="#">MPL</a> / <a href="#">GPL</a> / <a href="#">LGPL</a> ).		бессрочно
6	VLC Media player	1	Свободно распространяется на условиях лицензии GNU GPL		бессрочно
7	Операционная система Ubuntu	6	свободная лицензия		бессрочно
8	Дистрибутив Python Anaconda	6	свободная лицензия		бессрочно
9	Офисный пакет Libre Office	6	свободная лицензия		бессрочно
10	Радиоастрономический пакет Casa	6	свободная лицензия		бессрочно

## 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
<b>Т1.</b> Вводный курс. Основные определения.	УК	<b>Дискуссия, устный опрос.</b>
<b>Т2.</b> Основные алгоритмы обработки сигналов на компьютере. <b>Т3.</b> Дискретные сигналы. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ)	ПК, УК, ПР	<p><b>Решение типовых теоретических задач</b> в ходе практических занятий. Работа у доски.</p> <p><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 – 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.</p> <p><b>Контрольные вопросы:</b>          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?          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><b>T4.</b> Спектральный анализ и фильтрация сигналов</p> <p><b>T5.</b> Весовые оконные функции</p>	<p>ПК, УК, ПР</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.          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>          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 <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><b>T6.</b> Линейная цифровая обработка сигналов с помощью фильтров.</p>	<p>ПК, УК, ПР</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>

		<b>Отчет и обсуждение результатов.</b>
<p><b>Т7.</b> Амплитудная модуляция. Разновидности амплитудной модуляции. Фазовая и частотная модуляция</p> <p><b>Т8.</b> Демодуляция. Способы модуляции, используемые при передаче информации.</p>	ПК, УК, ПР	<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><b>Т9.</b> Основы реконструкции сигналов.</p> <p><b>Т10.</b> Алгоритмы адаптивной фильтрации сигналов</p>	ПК, УК, ПР	<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 зачета 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