

УТВЕРЖДАЮ

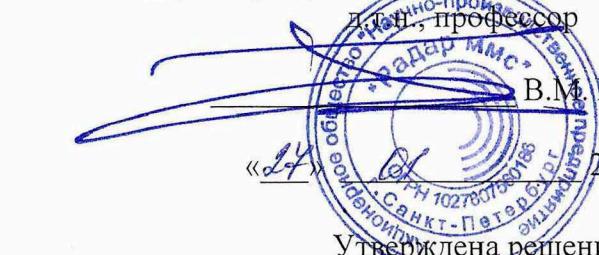
Заместитель генерального конструктора по  
программно-целевому развитию,  
директор научно-образовательного комплекса,

доктор технических наук, профессор

В.М. Балашов

2021 г.

Утверждена решением НТС  
№ 01-03/21 от 27.01.2021 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

**Укрупненная группа направлений подготовки и специальностей:** 11.00.00 Электроника, радиотехника и системы связи

**Направление подготовки:** 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

**Направленность:** Радиолокация и радионавигация

**Уровень высшего образования:** Подготовка научно-педагогических кадров высшей квалификации в аспирантуре

**Квалификация:** Исследователь. Преподаватель-исследователь

**Форма обучения:** Очная

СПб, 2021 г.

## **Аннотация**

Дисциплина «Цифровая обработка радиолокационных изображений» является дисциплиной по выбору подготовки аспирантов по направлению подготовки 11.06.01 – Электроника, радиотехника и системы связи. Дисциплина реализуется Центром подготовки кадров высшей квалификации - аспирантурой АО «Научно-производственное предприятие «Радар мms».

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций аспиранта:

### **универсальных:**

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (**УК-1**).

### **общепрофессиональных:**

- владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (**ОПК-1**);

- способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (**ОПК-3**).

### **профессиональных:**

- умение проектировать и программировать алгоритмы цифровой обработки сигналов в радиолокационных и радионавигационных системах (**ПК-4**);

- способность создавать и исследовать математические и информационные модели явлений, устройств и систем в целом в области радиолокации и радионавигации (**ПК-5**).

При изучении дисциплины аспиранты получают знания в области использования базовых информационных методов цифровой обработки радиолокационных изображений, необходимую теоретическую и практическую подготовку в области компьютерных технологий обработки информации, алгоритмов линейной и нелинейной фильтрации, приемов использования классической и фазовой двумерной кросс-корреляции, коррекции взаимных парных геометрических искажений, способов автоматической компенсации ошибок координатных определений данными дескрипторных детекторов, а также использования алгоритмов компрессии бортовых данных.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, самостоятельная работа аспиранта.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий –

выполнение практического задания; промежуточный – дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 часа. Программой дисциплины предусмотрены лекционные 26 часов занятий, 14 часов на практические занятия, 32 часа самостоятельной работы аспиранта.

## **1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине**

### **1.1 Цели и задачи освоения дисциплины**

Дисциплина готовит аспирантов в области использования современных базовых информационных методов цифровой обработки радиолокационных изображений для высокоточных навигационных определений, обеспечивая их необходимой теоретической и практической подготовкой в области линейной и нелинейной фильтрации, приемов использования классической и фазовой двумерной кросс-корреляции, коррекции взаимных парных геометрических искажений, способов автоматической компенсации ошибок координатных определений данными дескрипторных детекторов, а также использования алгоритмов компрессии бортовых данных.

Цель изучения дисциплины – подготовка по основным направлениям цифровой обработки радиолокационных изображений, в том числе: цифровой фильтрации, спектральному анализу, адаптивной обработке и аппаратно-программному обеспечению.

Для достижения поставленной цели выделяются следующие задачи дисциплины:

- приобретение теоретических знаний и практических умений в области цифровой обработки радиолокационных данных;
- овладение навыками правильного выбора методов и средств, обеспечивающих успешное решение проблем и задач диссертационного исследования;
- овладение навыками объективной оценки результатов исследований по цифровой обработке радиолокационной информации.

### **1.2 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ООП**

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

**знать:**

- современные методы разработки информационных технологий обработки сигналов радиотехнических систем;
- базовые информационные методы цифровой обработки радиолокационных изображений для высокоточных навигационных определений.
- автоматические средства коррекции ошибок координатных определений с помощью

дескрипторных детекторов, формирующих контрольные точки.

**уметь:**

- оценивать характеристики систем и устройств в области профессиональной деятельности с помощью компьютерного моделирования;
- интерпретировать, обобщать и прогнозировать результаты экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности.

**владеть:**

- Навыками выбора наиболее перспективно применимых технологических средств для выполнения программы научных и экспериментальных исследований в области цифровой обработки данных.

**Результат обучения:** по окончанию изучения дисциплины аспирант должен уметь выполнять комплексные инженерные проекты по созданию базовых и прикладных информационных технологий и средств их реализации (информационных, математических, алгоритмических, технических и программных) при цифровой обработке информации.

В процессе освоения дисциплины у аспирантов должны сформироваться следующие компетенции:

**универсальные:**

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (**УК-1**);

**общепрофессиональные:**

- владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (**ОПК-1**);
- способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (**ОПК-3**);

**профессиональные:**

- умение проектировать и программировать алгоритмы цифровой обработки сигналов в радиолокационных и радионавигационных системах (**ПК-4**);
- способность создавать и исследовать математические и информационные модели явлений, устройств и систем в целом в области радиолокации и радионавигации (**ПК-5**).

**Таблица 1.** Профессиональные компетенции, приобретаемые при изучении дисциплины

Компетенция	Код	Основные признаки освоения (показатели достижения результата)	Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции
умение проектировать и программировать алгоритмы цифровой обработки сигналов в радиолокационных и радионавигационных системах	ПК-4	Знает современные методы разработки информационных технологий обработки сигналов радиотехнических систем Умеет применять информационные методы обработки радиолокационной информации при решении актуальных отраслевых задач	<u>Лекции,</u> <u>практические</u> <u>занятия, са-</u> <u>мостоятельная ра-</u> <u>бота</u>
способность создавать и исследовать математические и информационные модели явлений, устройств и систем в целом в области радиолокации и радионавигации	ПК-5	Знает методы и алгоритмы создания математических моделей радиолокационных и радионавигационных систем Умеет разрабатывать математическое и алгоритмическое обеспечение радиотехнических явлений, новых принципов управления и работы радиолокационных систем	<u>Лекции,</u> <u>практические</u> <u>занятия, са-</u> <u>мостоятельная ра-</u> <u>бота</u>

## 2. Место дисциплины в структуре ООП.

Дисциплина «Цифровая обработка радиолокационных изображений» является дисциплиной базовой вариативной части основной образовательной программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению 11.06.01 – Электроника, радиотехника и системы связи – Радиолокация, радионавигация.

Для её успешного освоения необходимы знания базовых понятий обработки изображений, базовых понятий математического анализа, линейной алгебры и аналитической геометрии, дискретной математики, теории автоматического управления, информатики, программирования, вычислительной математики, теории оптимизации, систем искусственного интеллекта.

Компетенции, полученные при изучении материала данной дисциплины, направлены на применение приобретенных знаний для решения поставленной научной задачи и умения применять полученные знания для решения практических задач цифровой обработки изображений.

## 3. Объем дисциплины

Данные об общем объеме дисциплины, трудоемкости отдельных видов учебной работы по дисциплине (и распределение этих трудоемкостей по семестрам) представлены в **Таблице 2**.

**Таблица 2. Объем и трудоемкость дисциплины**

Вид учебной работы	Направление 11.06.01, форма обучения - очная	
	Всего	Трудоемкость по семестрам
		4 семестр
<b>Общая трудоемкость дисциплины, ЗЕ/(час)</b>	<b>1/72</b>	<b>1/72</b>
<i>Аудиторные занятия, всего час.</i>	<b>40</b>	<b>40</b>
в том числе:		
Лекции (Л), (час)	<b>26</b>	<b>26</b>
Практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)	<b>14</b>	<b>14</b>
Лабораторные работы (ЛР), (час)	Не предусмотрено	Не предусмотрено
<i>Самостоятельная работа, всего (час)</i>	<b>32</b>	<b>32</b>
<b>Вид итогового контроля: дифференцированный зачет</b>	<b>дифференцированный зачет</b>	<b>дифференцированный зачет</b>

#### **4. Содержание дисциплины**

##### **4.1. Содержание разделов дисциплины**

###### **1. Базовые средства высокоточных радиолокационных навигационных определений.**

Представление информации в цифровом виде. Математические модели изображений. Дискретизация и квантование изображения. Фундаментальные отношения между пикселями. Поэлементные операции над изображениями. Линейные и нелинейные преобразования. Обзор современных базовых средств высокоточных радиолокационных определений: кросс-корреляционный анализ стандартный и фазовый, алгоритмы Фурье, Фурье-Меллина, Радона, дескрипторная технология контрольных точек, компрессия бортовых видеоданных (**ОПК-1**).

**2. Теория и практика алгоритмов линейной обработки радиолокационных изображений.** Базовые понятия качества цифровых изображений. Морфологический анализ изображений. Методы улучшения качества изображений. Модуляция и демодуляция, среда передачи данных. Алгоритмы фильтрации сигналов. Оптимальная линейная фильтрация. Стандартные алгоритмы обработки радиолокационных изображений: алгоритмы двумерной линейной свертки (апериодической и циклической), метод быстрых Фурье преобразований, использование аддитивных и мультиплексивных фильтров. *Основное внимание уделяется практическому программированию математических моделей линейной фильтрации реальных радиолокационных изображений. (ОПК-1, ПК-4).*

**3. Базовые алгоритмы стандартной и фазовой кросс-корреляции.** Алгоритмы корреляционного анализа сигналов. Модель процесса искажения/восстановления изображения. Модели шума. Подавление шумов с использованием пространственной и частотной фильтрации. Оценка искажающей функции. Алгоритмы подавления шума путем фильтрации.

Теория и практики разработки и применения алгоритмов корреляции в условиях влияния шумов, помех разного вида и геометрических искажений. Особое внимание уделяется возможному решению проблемных задач суб-пиксельного повышения точности координатных определений. (ОПК-1, ПК-4).

**4. Автоматическая коррекция координатных определений радиолокационных изображений с геопривязкой.** Базовая задача обнаружения объектов на изображении. Опорные точки. Поисковые деревья, ассоциированные с изображениями и оптимизация алгоритмов работы с ними. Характеристические функции блоков. Метрические характеристики и их использование при оптимизации поиска. Методы теории и практики применения дескрипторных детекторов автоматического выделения контрольных точек в текущих (целевых) радиолокационных изображениях, по данным яркости, геометрическим углам, характерной форме наземных объектов. Предусматривает освоение методов программирования и машинного моделирования реальных ситуаций. (ОПК-3, ПК-4).

**5. Архивация бортовых радиолокационных видеоданных.** Методы и алгоритмы сжатия мультимедиа информации. Интерполяционные методы компрессии изображений. Отображение алгоритмов на матричные структуры. Массивы для свертки и восстановления изображений. Классификация методов безусловной оптимизации. Скорости сходимости. Методы первого порядка. Градиентные методы. Методы покоординатного спуска. Градиентные методы обнаружения контуров. Сжатие изображений с применением вейвлет - преобразований. Базовые методы компрессии радиолокационных данных для расширения резерва электронной памяти и повышения эффективности действия бортовых вычислительных алгоритмов: статистические методы, RLE, метод главных компонент, классические ортогональные и современные вейвлет - преобразования. (ОПК-1, ПК-5).

#### 4.2. Структура дисциплины по разделам и формам организации обучения

Таблица 3. Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и видам занятий

Название раздела/темы	Аудиторная работа (час)		СРА (час)	Итого
	Лекции	Практ./сем. занятия		
1. Базовые средства высокоточных радиолокационных навигационных определений	6	2	4	12
2. Теория и практика алгоритмов линейной обработки радиолокационных изображений	6	2	4	14
3. Базовые алгоритмы стандартной и фазовой кросс-корреляции	6	2	4	14

4. Автоматическая коррекция координатных определений радиолокационных изображений с геопривязкой	4	4	4	8
5. Архивация бортовых радиолокационных видеоданных	4	4	4	8
Изучение тем для самостоятельной работы			12	12
Дифференцированный зачет				
Итого	26	14	32	72

#### 4.3 Практические (семинарские) занятия

Темы практических занятий приведены в **Таблице 4.**

**Таблица 4.** Темы практических занятий

№	Практическое занятие
1	Организация сбора данных с аналогового входа аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Выбор канала преобразования в случае многоканального сбора.
2	Разработка программного модуля Фурье-преобразования входных сигналов методом быстрого Преобразования Фурье (БПФ). Разработка программы для подавления детерминированного шума в изображении посредством фильтрации в частотной области
3	Разработка программного модуля фильтрации цифрового сигнала. Анализ работы фильтра на примере синтезированного или записанного с аналогового входа АЦП сигнала.
4	Разработка программы вычисления функции корреляции между двумя сигналами. Расчет функции корреляции двух различных векторов данных Расчет автокорреляционной функции одного вектора данных.
5	Разработка программы оценки спектра цифрового сигнала. Оценка спектра цифрового сигнала. Архивация с шифрованием информации.

**4.4 Лабораторные занятия не предусмотрены.**

#### 4.5 Самостоятельная работа аспирантов

**Таблица 5.** Самостоятельная работа аспиранта

Вид самостоятельной работы	Всего, час	Семестр 4, час
Изучение теоретического материала дисциплины (ТО) - подготовка к дифференцированному зачету	32	32

**Содержание самостоятельной работы студентов по дисциплине (дополнительно изучаемые разделы)**

- Изучение свойств фазовой кросс-корреляции;
- Основные свойства функции фазовой кросс-корреляции;
- Формирование изображений, плоско сдвинутых друг относительно друга;
- Вычисление 2D разделимой дискретной свертки;
- Написание скрипт-программы для моделирования смаза изображения в направлениях по горизонтали и вертикали.

**5. Фонд оценочных средств для проведения аттестации обучающихся по дисциплине**

**5.1 Текущий контроль**

В качестве текущего контроля и для получения допуска к промежуточной аттестации, обучающийся должен выполнить практические задания. Критерии оценки практических заданий приведены в **Таблице 6**.

**Таблица 6. Шкала оценивания и критерии оценки практических заданий**

<b>Зачтено</b>	Выполнены все задания, обучающийся четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы. Выполнены все задания; обучающийся ответил на все контрольные вопросы с замечаниями. Выполнены все задания с замечаниями; обучающийся ответил на все контрольные вопросы с замечаниями.
<b>Не зачтено</b>	Обучающийся не выполнил или выполнил неправильно задания; обучающийся ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы.

**5.2 Промежуточный контроль**

Для получения промежуточной аттестации, обучающемуся необходимо сдать устный дифференцированный зачет. Критерии оценки приведены **Таблице 7**.

**Таблица 7. Критерии оценки знаний, умений и навыков при сдаче дифференциированного зачета**

<b>Зачтено (отлично)</b>	Дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, показана совокупность осознанных знаний об объекте, доказательно раскрыты основные положения темы; в ответе прослеживается четкая структура, логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий, теорий, явлений. Знание об объекте демонстрируется на фоне понимания его в системе данной науки и междисциплинарных связей. Ответ изложен литературным языком в терминах науки, показана способность быстро реагировать на уточняющие вопросы.
--------------------------	--

<b>Зачтено (хорошо)</b>	Дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, показано умение выделить существенные и несущественные признаки, причинно-следственные связи. Ответ четко структурирован, логичен, изложен в терминах науки. Однако допущены незначительные ошибки или недочеты, исправленные обучающимся с помощью «наводящих» вопросов.
<b>Зачтено (удовлетворительно)</b>	Дан неполный ответ, логика и последовательность изложения имеют существенные нарушения. Допущены грубые ошибки при определении сущности раскрываемых понятий, теорий, явлений, вследствие непонимания обучающимся их существенных и несущественных признаков и связей. В ответе отсутствуют выводы. Умение раскрыть конкретные проявления обобщенных знаний не показано. Речевое оформление требует поправок, коррекции.
<b>Зачтено (неудовлетворительно)</b>	Обучающийся демонстрирует незнание теоретических основ предмета, не умеет делать аргументированные выводы и приводить примеры, показывает слабое владение монологической речью, не владеет терминологией, проявляет отсутствие логичности и последовательности изложения, делает ошибки, которые не может исправить, даже при коррекции преподавателем, отказывается отвечать на занятия.

## 6. Перечень основной и дополнительной литературы

### *Основная литература (локальная сеть Предприятия)*

1. B. Dong, Image Super-Resolution Problems: F Friendly Introduction, Department of Mathematics, UCSD, 2010.
2. C.D. Kuglin, D.C. Hines, The phase correlation image alignment method, IEEE Conference on Cybernetics Society, September, 1975.
3. M.K. Hu, Visual Pattern Recognition on by Moment Invariants, IRE Trans. Info. Theory, vol. IT-8, pp. 179-187, 1962.
4. Harris, C., and M. Stephens, "A Combined Corner and Edge Detector," Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference, August 1988, pp. 147-151.
5. Shi, J., and C. Tomasi, "Good Features to Track," Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, June 1994, pp. 593-600.
6. Rosten, E., and T. Drummond. "Fusing Points and Lines for High Performance Tracking," Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, Vol. 2 (October 2005): pp. 1508-1511.

### *Дополнительная литература (локальная сеть Предприятия)*

1. С.А. Юкин, Формирование и обработка радиолокационного изображения поверхности Земли при маловысотном полете, докторская диссертация, Артикул диссертации 403035, 2010 г.

2. А.А. Роженцов, Синтез и анализ систем распознавания изображений групповых точечных объектов с оценкой их потенциальной помехоустойчивости, докторская диссертация, Институт космических исследований РАН, 2008 г.

3. А.М. Матвеев, Всеракурсное распознавание радиолокационных изображений наземных (надводных) объектов с сегментацией пространства признаков на зоны квазиинвариантности, докторская диссертация, Артикул 250709, 2006 г.

4. Lowe, David G. "Distinctive image features from scale-invariant keypoints," International Journal of Computer Vision, Volume 60, Number 2, Pages 91-110.

5. Mikolajczyk, K. and C. Shmid, "A Performance Evaluation of Local Descriptors," Journal IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Volume 27, Issue 10, October 2005, pp. 1615-1630.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети ИНТЕРНЕТ, необходимых для освоения дисциплины**

1. <http://old.kpfu.ru/infres/stolov/Annot.htm> - Конспект лекций по цифровой обработке сигналов
2. <http://dsp-book.narod.ru/DSP.htm> - Цифровая обработка сигналов - некоторые основные понятия.

## **8. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

- 1) Предметная аудитория, оснащена мультимедийным проектором и экраном, ПК преподавателя - 1 шт.
- 2) Персональные компьютеры (15 шт.), локальная сеть, компьютер с выходом в Интернет - 1 шт.
- 3) Microsoft Windows (№ СТР - 20/01/10 от 20.01.2010)
- 4) Microsoft Office (№ СТР 20/01/10 от 20.01.2010)
- 5) Microsoft Visio (№ СТР 20/01/10 от 20.01.2010)