

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям

О.Г. Прохоренко

01 декабря

_____ 2023 г.

Регистрационный № УД-12479/уч.



Основы цифровой обработки изображений

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 03 04 Информатика

2023 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 03 04-2021, типового учебного плана №G 31-1-029/пр-тип от 30.06.2021, учебных планов №G 31-1-031/уч. от 30.06.2021, №G 31-1-021/уч.ин. от 23.07.2021.

СОСТАВИТЕЛИ:

А.В. Тузиков – профессор кафедры биомедицинской информатики факультета прикладной математики и информатики Белорусского государственного университета, профессор;

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Э.В. Снежко– заведующий лабораторией анализа биомедицинских изображений Объединённого института проблем информатики Национальной академии наук Беларуси, кандидат технических наук;

В.М. Котов– заведующий кафедрой дискретной математики и алгоритмики факультета прикладной математики и информатики, профессор, доктор физико-математических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой биомедицинской информатики
(протокол № 6 от 23.11.2023);

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 3 от 30.11.2023)

Заведующий кафедрой



В.И.Белько

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – ознакомление студентов с основными направлениями развития данной области знаний, изучение методов и алгоритмов обработки цифровых изображений, приобретение навыков решения прикладных задач, связанных с обработкой изображений.

Задачи учебной дисциплины:

1. Формирование четкого представления об основных типах изображений и методах их обработки, количественных признаках (форма, цвет, текстура), характеризующих цифровые изображения;
2. Развитие навыков по извлечению/вычислению количественных признаков и формированию дескрипторов изображений;
3. Развитие навыков корректного формирования контрольных групп изображений и практического использования базовых статистических методов для их анализа, выявления статистически значимых взаимосвязей, а также для поиска и количественного описания зависимостей;
4. Формирование навыков практического использования существующих программных реализаций классификаторов;
5. Формирование навыков практического использования сверточных нейронных сетей и базовых элементов технологии глубокого обучения (Deep Learning);
6. Формирование мотивации к самостоятельным исследованиям в области анализа биомедицинских изображений.

Место учебной дисциплины

В системе подготовки специалиста с высшим образованием для специальности 1-31 03 04 «Информатика» учебная дисциплина **относится к циклу** дисциплин специализации.

Учебная программа составлена с учетом межпредметных **связей** и программ по дисциплинам.

Основой для изучения учебной дисциплины являются дисциплины государственного компонента «Дискретная математика и математическая логика», «Алгоритмы и структуры данных» модуля «Дискретные структуры и алгоритмы», «Основы и методологии программирования» модуля «Программирование». Полученные в результате изучения дисциплины знания и навыки необходимы студентам для изучения успешного выполнения курсовых работ, прохождения производственной практики, а также выполнения дипломной работы.

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Основы цифровой обработки изображений» должно обеспечить формирование следующей **универсальной компетенции:**

УК-2. Решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе применения информационно-коммуникационных технологий.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- алгоритмы обработки и анализа и сегментации цифровых изображений, основанные на использовании операций математической морфологии;
- алгоритмы обработки цифровых изображений, основанные на использовании преобразования Фурье и вейвлетного преобразования;
- алгоритмы сжатия изображений и видеопоследовательностей;
- алгоритмы реконструкции трехмерных сцен понесколькоким изображениям

уметь:

- улучшать качество цифровых изображений, выделять на изображениях характеристические признаки объектов изображений, выделять границы объектов изображений;
- использовать язык Python или другие языки программирования для решения задач обработки и анализа изображений;
- применять полученные знания для решения практических задач обработки и анализа цифровых изображений;

владеть:

- основными подходами решения практических задач обработки и анализа цифровых изображений.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 6-м семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Основы цифровой обработки изображений» отведено:

– в очной форме получения высшего образования: 216 часов, в том числе 72 аудиторных часа, из них: лекции – 36 часов, лабораторные занятия – 30 часов, управляемая самостоятельная работа – 6 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 6 зачетных единиц.

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Введение в цифровую обработку изображений

Тема 1.1. Цели и задачи обработки изображений, основные типы изображений и решаемых задач.

Цели и задачи цифровой обработки изображений. Обзор основных типов изображений и способов их формирования: бинарные и полутоновые изображения, цветные и многоспектральные изображения, трехмерные медицинские изображения. Визуализация изображений, улучшение контраста изображений и фильтрация шумов, поиск объектов на изображениях, сегментация, преобразование изображений, восстановление изображений по проекциям.

Тема 1.2. Примеры задач обработки изображений.

Примеры и обсуждение ранее выполненных проектов: выделение и визуализация сосудов на изображениях магнитно-резонансной томографии, построение плоскости, разделяющей полусферы мозга на изображениях компьютерной томографии, сегментация изображений с помощью активных сетей, компьютерная поддержка операций на тазобедренном суставе, стереореконструкция поверхности по нескольким изображениям.

Раздел 2. Математическая морфология

Тема 2.1 Базовые операции математической морфологии

Базовые операции для бинарных изображений: расширения, эрозия, отмыкание и замыкание. Основные свойства базовых операций. Полутоновые изображения, свойства полутоновых операций; бинарный и полутоновой структурирующие элементы. Геодезические морфологические операции

Тема 2.2 Морфологические преобразования

Морфологический скелет, быстрый алгоритм построения скелета и восстановления изображения по скелету. Дистанционное преобразование, алгоритм построения дистанционной функции. Алгоритмы вычисления дистанционного преобразования для различных метрик. Операции утоньшения и утолщения; алгоритмы построения выпуклой оболочки и скелета. Морфологический спектр; распределение размера (гранулометрия); преобразование отмыкания.

Тема 2.3 Фильтрация

Порядково-статистические, медианные фильтры и стековые фильтры, представление этих фильтров через морфологические операции; теорема Матэрона о представлении инвариантных относительно сдвига фильтров.

Тема 2.4 Быстрые алгоритмы математической морфологии

Алгоритмы быстрой реализации морфологических операций на основе анализа гистограммы, через свертку (для бинарных изображений),

параллельная реализация алгоритмов для линейных структурирующих элементов. Сегментация объектов изображений на основе преобразования водораздела (watershed).

Тема 2.5 Дополнительные сведения.

Периметрическое представление многоугольников, разложение выпуклых многоугольников на линейные отрезки и треугольники на основе периметрического представления, преобразования симметризации на основе сложения Минковского, неравенства Минковского, характеризующие площадь и объем объектов, полученных на основе сложения Минковского, сложение Минковского выпуклых многогранников.

Раздел 3. Линейные системы в обработке изображений

Тема 3.1 Линейные пространственно-инвариантные системы

Линейные пространственно-инвариантные системы, свертка и функция рассеяния точки, передаточная функция. Преобразование Фурье, свертка и преобразование Фурье, обобщенные функции и единичные импульсы; частные производные; корреляция и энергетический спектр.

Тема 3.2 Дискретные изображения

Обработка дискретных изображений, пространственная дискретизация, теорема отсчетов; дискретное преобразование Фурье. Быстрые алгоритмы дискретного преобразования Фурье, алгоритм Кули-Тьюки, китайская теорема об остатках, алгоритм Гуда-Томаса. Выделение границ на полутоновых изображениях, дифференциальные операторы, локальные операторы и шум, дискретные аппроксимации. Фильтрация шумов на изображениях.

Тема 3.3 Вейвлетное преобразование

Преобразование Хаара, кратномасштабный анализ, вейвлетное преобразование, дискретное вейвлетное преобразование, быстрое вейвлетное преобразование, обратное вейвлетное преобразование.

Тема 3.4 Моменты изображений

Распознавание изображений на основе моментов. Алгоритмы вычисления моментов для полигональных объектов и сплайновых кривых.

Раздел 4. Машинное зрение

Тема 4.1 Стереорекострукция изображений

Фотограмметрия и стереовидение, относительное смещение двух изображений, относительное ориентирование, вычисление глубины, внешнее ориентирование, внутреннее ориентирование, поиск сопряженных точек, совмещение блоков для цветных изображений, совмещение эпиполярных линий на основе динамического программирования. Реконструкция трехмерных сцен по нескольким изображениям.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий (ДОТ)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	Введение в цифровую обработку изображений	4						
1.1	Цели и задачи обработки изображений, основные типы изображений и решаемых задач	2						Устный опрос. Дискуссия.
1.2	Примеры задач обработки изображений	2						Устный опрос. Дискуссия. Контрольная работа №1.
II	Математическая морфология	12			28		4	
2.1	Базовые операции математической морфологии	2			4		1	Устный опрос. Дискуссия по методам реализации морфологических операций. Обсуждения подходов по корректному определению операций для полутоновых и многоспектральных изображений по домашним заданиям и их устная презентация.
2.2	Морфологические преобразования	4			16		1	Обсуждение подходов к вычислению преобразований скелетизации и роста областей для трехмерных изображений Контрольная работа №2.

2.3	Фильтрация	2			4		1	Устный опрос. Дискуссия. Контрольная работа №3
2.4	Быстрые алгоритмы математической морфологии	2			4		1	Устный опрос. Обсуждения алгоритмов быстрого вычисления морфологических операций для линейных и произвольных структурирующих элементов по домашним заданиям и их устная презентация. Контрольная работа №4.
2.5	Дополнительные сведения	2						Дискуссия.
III	Линейные системы в обработке изображений	14			2		2	
3.1	Линейные пространственно-инвариантные системы	4					1	Обсуждение алгоритмов распознавания изображений и их устная презентация. Контрольная работа №5.
3.2	Дискретные изображения	5			2		1	Устный опрос. Дискуссия. Контрольная работа №6.
3.3	Вейвлетное преобразование	3						Устный опрос. Дискуссия. Контрольная работа №7
3.4	Моменты изображений	2						Устный опрос. Дискуссия. Коллоквиум
IV	Машинное зрение.	6						
4.1	Стереореконструкция изображений	6						Устный опрос. Дискуссия.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Gonzalez, R.C. and Woods, R.E. Digital Image Processing. 4th Edition, Pearson Education, New York, 2018, 1022 p. (полный текст 4-го издания на английском языке доступен в интернете <https://dl.icdst.org/pdfs/files4/01c56e081202b62bd7d3b4f8545775fb.pdf>)
2. Р. Гонсалес, Р. Вудс. Цифровая обработка изображений. Техносфера, М., 2014 (перевод 3 издания).

Перечень дополнительной литературы

1. А.В. Тузиков, С.А. Шейнин, Д.В. Жук. Математическая морфология, моменты, стереобработка: избранные вопросы обработки и анализа цифровых изображений. Минск, Белорус. наука, 2006. -198с.
2. А.В. Тузиков. Основы цифровой обработки изображений. Часть 1: Математическая морфология. Курс лекций БГУ, электронный вариант, 2008. -63с.
3. А.В. Тузиков. Основы цифровой обработки изображений. Часть 2: Линейные системы. Курс лекций БГУ, электронный вариант, 2008. - 31с.
4. Д.В. Жук, А.В. Тузиков. Основы цифровой обработки изображений. Часть 3: Обработка стереоизображений. Курс лекций БГУ, электронный вариант, 2008. - 36с.
5. А.В. Тузиков, С.А. Шейнин. Основы цифровой обработки изображений. Часть: Геометрические моменты. Курс лекций БГУ, электронный вариант, 2008. - 31с.
6. Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. Цифровая обработка изображений в среде Матлаб. Техносфера, М., 2006.
7. Б. Хорн. Зрение роботов. - М.: Мир, 1989.
8. Р. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов. - М.: Мир, 1989- 448 с.
9. Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. Методы сжатия данных. - М.: Диалог-МИФИ, 2002- 384 с.
10. Л. Шапиро, Дж. Стокман. Компьютерное зрение. Бином. Лаборатория знаний, М., 2006.
11. У. Прэтт. Цифровая обработка изображений. - М.: Мир, 1982- 790 с.
12. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред.В. А. Сойфера – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2003. - 784 с.
13. А.В. Ахо, Д.Э. Хопкрофт, Д.Д. Ульман. Построение и анализ вычислительных алгоритмов. - М.: Мир, 1979. - 536 с.
14. А.В. Тузиков. Анализ симметричности и сравнение объектов на основе сложения Минковского. - Минск: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 1998- 176 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Объектом диагностики компетенций студентов являются знания, умения, полученные ими в результате изучения учебной дисциплины. Выявление учебных достижений студентов осуществляется с помощью мероприятий текущего контроля и промежуточной аттестации.

Для диагностики компетенций в рамках учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы:

1. Устная форма: дискуссия, собеседование, коллоквиум.
2. Письменная форма: контрольные работы.
3. Устно-письменная форма: доклады по определенным темам с подготовкой презентации и выступления перед аудиторией.

В качестве рекомендуемых технических средств диагностики используется Образовательная платформа Moodle (<https://edufpmi.bsu.by>).

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Основы цифровой обработки изображений» учебными планами предусмотрен экзамен.

При формировании итоговой отметки используется рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения.

Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации.

Примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации:

Формирование отметки за текущую аттестацию:

- доклад по выбранной теме с выступлением перед аудиторией – 30 %;
- лабораторные работы – 30 %;
- контрольные работы – 20 %;
- коллоквиум – 20 %.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе отметки текущей аттестации (рейтинговой системы оценки знаний) – 40% и экзаменационной отметки – 60%.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Управляемая самостоятельная работа предлагается в виде подготовки доклада по теме, раскрывающей более углубленно отдельные темы курса лекций. По результатам устного доклада и ответа на вопросы ставится оценка.

Примеры заданий включают (но не ограничиваются):

- корректное определению операций математической морфологии для полутоновых и многоспектральных изображений;

- реализация преобразований скелетизации и роста областей для трехмерных изображений;
- алгоритмы быстрого вычисления морфологических операций для линейных и произвольных структурирующих элементов;
- алгоритмы распознавания изображений.

Примерная тематика лабораторных занятий

Занятие 1 – 2. Алгоритм построения морфологического скелета изображения и восстановления изображения по морфологическому скелету для бинарных изображений и различных структурирующих элементов.

Занятие 3 - 4. Алгоритм построения дистанционной функции для бинарных изображений и различных структурирующих элементов.

Занятие 5 - 6. Алгоритм построения скелета бинарного изображения на основе преобразований утоньшения и выпуклой оболочки бинарного объекта на основе преобразований утолщения.

Занятие 9 - 10. Алгоритм вычисления и визуализации морфологического спектра для бинарных и полутоновых изображений для различных структурирующих элементов.

Занятие 11 - 12. Использование порядково-статистических фильтров для бинарных и полутоновых изображений.

Занятие 13 - 14. Сегментация изображений алгоритмом морфологического водораздела. Вычисление сложения Минковского и порядково-статистических фильтров для бинарных изображений через операцию свертки и преобразование Фурье.

Занятие 15. Полосовая фильтрация изображений.

Рекомендуемые задания к лабораторным работам:

1) Лабораторная работа № 1. Разработать программу построения морфологического скелета изображения и восстановления изображения по морфологическому скелету для бинарных изображений и различных структурирующих элементов.

2) Лабораторная работа № 2. Разработать программу построения скелета бинарного изображения на основе преобразований утоньшения и построения выпуклой оболочки бинарного объекта на основе преобразований утолщения.

3) Лабораторная работа № 3. Разработать программу вычисления и визуализации морфологического спектра для бинарных и полутоновых изображений для различных структурирующих элементов (структурирующий элемент задается в виде аргумента).

4) Лабораторная работа № 4. Разработать программу, иллюстрирующую результаты применения порядково-статистических фильтров для бинарных и полутоновых изображений для квадратных окон размера 3×3 , 5×5 , 7×7 .

5) Лабораторная работа № 5. Разработать программу вычисления сложения Минковского и порядково-статистических фильтров для бинарных изображений через операцию свертки и преобразование Фурье.

6) Лабораторная работа № 6. Разработать программу полосовой фильтрации изображений с переходом в частотную область.

Рекомендуемая тематика контрольных работ и коллоквиума:

1) Контрольная работа № 1 «Введение в цифровую обработку изображений».

2) Контрольная работа № 2 «Морфологические операции и преобразования».

3) Контрольная работа № 3 «Фильтрация».

4) Контрольная работа № 4 «Быстрые алгоритмы математической морфологии».

5) Контрольная работа № 5 «Линейные пространственно-инвариантные системы».

6) Контрольная работа № 6 «Алгоритмы вычисления дискретного преобразования Фурье»

7) Контрольная работа № 7 «Вейвлетное преобразование».

8) Коллоквиум «Математическая морфология. Линейные системы в обработке изображений».

Примерные варианты контрольных работ

Контрольная работа № 2:

- Определение морфологических операций расширения и эрозии для бинарных изображений;
- Как вводятся операции отмыкания и замыкания?
- Геометрический смысл операций отмыкания и замыкания.
- Определение морфологических операций для полутоновых изображений.
- Что такое морфологический скелет бинарного изображения.
- Вычислительная сложность вычисления морфологического скелета.
- Определение операций утоньшения и утолщения.
- Скелетное преобразование бинарного изображения на основе операций утоньшения.

- Построение выпуклой оболочки бинарного объекта на основе операций утолщения.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используются следующие методы:

– *метод учебной дискуссии*, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

– *метод группового обучения*, который представляет собой форму организации учебно-познавательной деятельности обучающихся, предполагающую функционирование разных типов малых групп, работающих как над общими, так и специфическими учебными заданиями.

В качестве технических средств для организации работы в рамках учебной дисциплины рекомендуется использовать Образовательный портал БГУ (<https://edufpmi.bsu.by>) – инструмент с эффективной функциональностью контроля, тренинга и самостоятельной работы.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Для организации самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине следует использовать современные информационные ресурсы: разместить на образовательном портале комплекс учебных и учебно-методических материалов (учебно-программные материалы, учебное издание для теоретического изучения дисциплины, методические указания к лабораторным занятиям, материалы текущего контроля и текущей аттестации, позволяющие определить соответствие учебной деятельности обучающихся требованиям образовательного стандарта высшего образования и учебно-программной документации, в т.ч. вопросы для подготовки к экзамену, задания, тесты, вопросы для самоконтроля, список рекомендуемой литературы, информационных ресурсов и др.).

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Базовые операции для бинарных и полутоновых изображений, свойства операций.
2. Морфологический скелет, быстрый алгоритм построения скелета и восстановления изображения.

3. Дистанционное преобразование, алгоритм построения дистанционной функции.
4. Утоньшение и утолщение; алгоритмы построения выпуклой оболочки и скелета.
5. Морфологический спектр; распределение размера (гранулометрия), преобразование отмыкания.
6. Порядково-статистические и медианные фильтры.
7. Стековые фильтры.
8. Представление инвариантных фильтров, теорема Матерона.
9. Линейные пространственно-инвариантные системы, свертка и функция рассеяния точки, передаточная функция.
10. Преобразование Фурье, связь свертки и преобразование Фурье, энергетический спектр.
11. Обработка дискретных изображений, пространственная дискретизация, теорема отсчетов.
12. Дискретное преобразование Фурье, быстрый алгоритм дискретного преобразования Фурье.
13. Алгоритм Кули-Тьюки, китайская теорема об остатках, алгоритм Гуда-Томаса.
14. Выделение границ на полутоновых изображениях.
15. Фотограмметрия и стереовидение: матрица камеры, калибровка камеры, вычисление матрицы камеры.
16. Фотограмметрия и стереовидение: эпиполярная геометрия, фундаментальная матрица, вычисление фундаментальной матрицы, выравнивание изображений.
17. Обработка стереоизображений: поиск сопряженных точек блочным алгоритмом, совмещение эпиполярных линий на основе динамического программирования и разреза в графе.
18. Одномерное вейвлетное преобразование, прямое и обратное дискретное вейвлетное преобразование.
19. Быстрый алгоритм дискретного вейвлетного преобразования, двумерное вейвлетное дискретное преобразование (разделимая масштабирующая и вейвлетные функции).

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Основы компьютерного моделирования биомолекул	Биомедицинской информатики	нет	Изменений не требуется (протокол № 14 от 26.05.2023 г.)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
