

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования_
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Трехмерное компьютерное зрение

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

01.04.02 - Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы

Компьютерные науки и приложения

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.04.03 Трехмерное компьютерное зрение относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-11: Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых задач производственно-технологической деятельности	<p>ПК-11.1: Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач</p> <p>ПК-11.2: Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач</p> <p>ПК-11.3: Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач</p>	<p>ПК-11.1: Знает основные методы разработки и анализа математических моделей, производственно-технологических задач трехмерного компьютерного зрения.</p> <p>ПК-11.2: Умеет применять методы разработки и анализа математических моделей, производственно-технологических задач трехмерного компьютерного зрения.</p> <p>ПК-11.3: Имеет навыки применения методов разработки и анализа математических моделей, производственно-технологических задач трехмерного компьютерного зрения.</p>	<p>Практическая задача</p> <p>Собеседование</p>	<p>Зачёт:</p> <p>Контрольные вопросы</p>
ПК-4: Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач	<p>ПК-4.1: Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p> <p>ПК-4.2: Умеет применять методы разработки и</p>	<p>ПК-4.1: Знает основные методы разработки и анализа математических моделей для научных проблем и задач трехмерного компьютерного зрения.</p>	<p>Практическая задача</p> <p>Собеседование</p>	<p>Зачёт:</p> <p>Контрольные вопросы</p>

	<p>анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p> <p>ПК-4.3: Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p>	<p>ПК-4.2: Умеет применять методы разработки и анализа математических моделей для научных проблем и задач трехмерного компьютерного зрения.</p> <p>ПК-4.3: Имеет навыки применения методов разработки и анализа математических моделей для научных проблем и задач трехмерного компьютерного зрения.</p>		
--	--	--	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	1
самостоятельная работа	75
Промежуточная аттестация	0
	Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Зачем нужна геометрия в компьютерном зрении? Ортогональные матрицы. Решение систем линейных уравнений. Собственные значения и	8	1	1	2	6

векторы. Разложение Холецкого. QR факторизация. Singular Value Decomposition.					
Камера. Модель камеры-обскуры. Проекция камеры-обскуры. Возникновение проективной геометрии. Поворот в плоскости вокруг начала координат. Поворот и сдвиг в плоскости. Аффинное преобразование в плоскости. Поворот и сдвиг в трехмерном пространстве. Однородные координаты. Точка на бесконечности. Прямая на бесконечности. Проективное пространство. Проекция параллельных прямых на плоскость. Матрица проекции камеры	8	1	1	2	6
Вычисление исчезающих точек. Преобразования проективной плоскости. Общее линейное преобразование. Соотношение гомографии для координат пикселей. Проективное преобразование (гомография). Теорема о представлении гомографии. Свойства гомографии. Исчезающие точки и линии. Сохранение линии на бесконечности. Нахождение гомографии. Отображение гомографии для плоских объектов. Распознавание образов. Модель искажений линзы.	9	1	1	2	7
Pose estimation. Reprojection error. Perspective-n-Points problem. Direct Linear Transformation. Решения задачи PnP. Градиентный спуск. Метод Гаусса-Ньютона. Калибровка камеры. Нахождение матрицы проекции камеры. Разложение матрицы проекции на компоненты. Нахождение параметров дисторсии.	9	1	1	2	7
Векторное произведение. Смешанное произведение. Векторное произведение и алгебраическое дополнение. Стереоскопическая геометрия. Алгебраический вывод фундаментальной матрицы. Эпиполярные линии. Свойства. Соотношение между эпиполярными линиями. Связь фундаментальной матрицы с положением камер. Каноническая форма фундаментальной матрицы. Модельные задачи.	11	2	2	4	7
Ректификация. Ректификация стереопары: первое преобразование. Неопределенность в представлении фундаментальной матрицы. Ректификация стереопары: поиск согласованных гомографий. Калибровка стереокамеры. Нахождение фундаментальной матрицы. Large-Scale SLAM: Colosseum.	9	1	1	2	7
Восстановление трехмерной сцены. Structure from motion: восстановление поз камер. Неоднозначность восстановления трехмерной сцены. Ames illusion. Проективные преобразования в P3. Плоскость на бесконечности. Hierarchy of P3 homography transformations. Неоднозначность матриц проекции. Канонический вид фундаментальной матрицы. Проективная неоднозначность камер. Теорема о проективной реконструкции. Трехмерная реконструкция. Преобразование плоскости на бесконечности. Аффинная реконструкция. Нахождение плоскости на бесконечности. Нахождение матриц камеры при известных внутренних параметрах. Восстановление позы по необходимой матрице. Неоднозначность в восстановлении позы	11	2	2	4	7
Нахождение позы по гомографии: Алгоритм Faugeras-Lustman. Другие методы декомпозиции гомографии. Получение внутренних параметров по фокусному расстоянию и dpi (по фокусному расстоянию и 35мм). SLAM: Simultaneous Localization and Mapping. Оптимизация положения камер и точек. Углы Эйлера. Представление «ось-угол». Кватернионы. Поворот при помощи кватернионов. LM optimization for Bundle Adjustment. Sparse Bundle Adjustment.	11	2	2	4	7
Построение сетки и текстурирование. Meshing. Poisson Surface Reconstruction. Texturing. Non-rigid RGBD SLAM. Представление 3D данных. Восстановление модели лица человека по одной фотографии. Параметрическая модель лица	9	1	1	2	7
Регистрация трехмерных моделей. Алгоритм Iterative Closest Point. Нахождение R в ICP. Non-rigid ICP (NICP). Проекция morphable model на изображение. Morphable face model. Слабая перспективная проекция. Фотограмметрия	11	2	2	4	7
Восстановление облака точек. Chamber distance and EMD. Восстановление 3D модели по неполным данным. Восстановление по	11	2	2	4	7

неполным данным с помощью TSDF. Дифференцируемый рендеринг. Single view reconstruction. Multi-view stereo.					
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	16	16	33	75

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Зачем нужна геометрия в компьютерном зрении? Ортогональные матрицы. Решение систем линейных уравнений. Собственные значения и векторы. Разложение Холецкого. QR факторизация. Singular Value Decomposition.
2. Камера. Модель камеры-обскуры. Проекция камеры-обскуры. Возникновение проективной геометрии. Поворот в плоскости вокруг начала координат. Поворот и сдвиг в плоскости. Аффинное преобразование в плоскости. Поворот и сдвиг в трехмерном пространстве. Однородные координаты. Точка на бесконечности. Прямая на бесконечности. Проективное пространство. Проекция параллельных прямых на плоскость. Матрица проекции камеры
3. Вычисление исчезающих точек. Преобразования проективной плоскости. Общее линейное преобразование. Соотношение гомографии для координат пикселей. Проективное преобразование (гомография). Теорема о представлении гомографии. Свойства гомографии. Исчезающие точки и линии. Сохранение линии на бесконечности. Нахождение гомографии. Отображение гомографии для плоских объектов. Распознавание образов. Модель искажений линзы.
4. Pose estimation. Reprojection error. Perspective-n-Points problem. Direct Linear Transformation. Решения задачи PnP. Градиентный спуск. Метод Гаусса-Ньютона. Калибровка камеры. Нахождение матрицы проекции камеры. Разложение матрицы проекции на компоненты. Нахождение параметров дисторсии.
5. Векторное произведение. Смешанное произведение. Векторное произведение и алгебраическое дополнение. Стереоскопическая геометрия. Алгебраический вывод фундаментальной матрицы. Эпиполярные линии. Свойства. Соотношение между эпиполярными линиями. Связь фундаментальной матрицы с положением камер. Каноническая форма фундаментальной матрицы. Модельные задачи.
6. Ректификация. Ректификация стереопары: первое преобразование. Неопределенность в представлении фундаментальной матрицы. Ректификация стереопары: поиск согласованных гомографий. Калибровка стереокамеры. Нахождение фундаментальной матрицы. Large-Scale SLAM: Colosseum.
7. Восстановление трехмерной сцены. Structure from motion: восстановление поз камер. Неоднозначность восстановления трехмерной сцены. Ames illusion. Проективные преобразования в P3. Плоскость на бесконечности. Hierarchy of P3 homography transformations. Неоднозначность матриц проекции. Канонический вид фундаментальной матрицы. Проективная неоднозначность камер. Теорема о проективной реконструкции. Трехмерная реконструкция. Преобразование плоскости на бесконечности. Аффинная реконструкция. Нахождение плоскости на бесконечности. Нахождение матриц камеры при известных внутренних параметрах. Восстановление позы по необходимой матрице. Неоднозначность в восстановлении позы
8. Нахождение позы по гомографии: Алгоритм Faugeras-Lustman. Другие методы декомпозиции гомографии. Получение внутренних параметров по фокусному расстоянию и d_{pi} (по фокусному расстоянию и 35мм). SLAM: Simultaneous Localization and Mapping. Оптимизация положения камер и точек. Углы Эйлера. Представление «ось-угол». Кватернионы. Поворот при помощи кватернионов. LM optimization for Bundle Adjustment. Sparse Bundle Adjustment.
9. Построение сетки и текстурирование. Meshing. Poisson Surface Reconstruction. Texturing. Non-rigid RGBD SLAM. Представление 3D данных. Восстановление модели лица человека по одной фотографии. Параметрическая модель лица
10. Регистрация трехмерных моделей. Алгоритм Iterative Closest Point. Нахождение R в ICP. Non-rigid ICP (NICP). Проекция morphable model на изображение. Morphable face model. Слабая перспективная

проекция. Фотограмметрия

11. Восстановление облака точек. Chamber distance and EMD. Восстановление 3D модели по неполным данным. Восстановление по неполным данным с помощью TSDF. Дифференцируемый рендеринг. Single view reconstruction. Multi-view stereo.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

1) Ненашев В. А. Компьютерное зрение. Анализ, обработка и моделирование : учеб. пособие / Ненашев В. А. - Санкт-Петербург : ГУАП, 2022. - 78 с. - Книга из коллекции ГУАП - Информатика. - ISBN 978-5-8088-1806-4., <https://e.lanbook.com/book/341057>. Ссылка библиотечки ННГУ:

<https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=867121&idb=0> .

2) Селянкин В. В. Компьютерное зрение. Анализ и обработка изображений : учебное пособие для вузов / Селянкин В. В. - 3-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2023. - 152 с. - Книга из коллекции Лань - Информатика. - ISBN 978-5-507-45583-6: <https://e.lanbook.com/book/276455> Ссылка библиотечки ННГУ: <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=829599&idb=0>

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Практическая задача) для оценки сформированности компетенции ПК-11:

1. (5 баллов) Найти ближайшую ортогональную матрицу (в смысле нормы Фробениуса) к матрице

$$A = \begin{pmatrix} 0.5 & 2.16506351 & -0.8660254 \\ -0.8660254 & 1.25 & 0.25 \\ 0 & 0.5 & 2.5 \end{pmatrix}$$

Посмотрев на результат, найти соответствующие этому преобразованию угол и направление поворота. Матрицу, угол и направление поворота распечатать в stdout

2. (5 баллов) При помощи SVD найти обратную матрицу к квадратной матрице n на n , состоящей из элементов

$$A_{ij} = \frac{1}{i+j-1},$$

для размеров матрицы $n=3$ и $n=10$. Результат распечатать в stdout.

3. (5 баллов) При помощи SVD найти обратную матрицу к квадратной матрице n на n ,

состоящей из элементов $A_{ij} = i + j - 1$.

для размеров матрицы $n=3$ и $n=10$. Результат распечатать в stdout.

4. (5 баллов) Написать программу, находящую все точки пересечения двух прямых на плоскости методом однородных координат. Прямые заданы уравнениями $ax+by+c=0$, $sx+dy+e=0$. Коэффициенты задать константами на ваше усмотрение. Результат распечатать в stdout.

5. Необязательная задача (15 баллов) В книге Дж. Голуб, Ч. Ван Лоун «Матричные вычисления» теорема Эккарта-Янга доказана для 2-нормы. Доказать теорему Эккарта-Янга для нормы Фробениуса.

6. (5 баллов) Система координат камеры получается из мировой поворотом на 45 градусов вокруг оси z и трансляцией на 10 вдоль оси z . Внутренние параметры камеры: $f_x=f_y=400$, $s_x=960$, $s_y=540$. Написать программу, которая выводит на экран матрицу проекции камеры и целочисленные координаты пикселя на изображении, соответствующего трехмерной точке с координатами (10, -10, 100) в мировой системе координат.

7. (5 баллов) Используя прямое линейное преобразование (DLT) и SVD, написать программу, которая принимает на вход множество пар двумерных точек, и выводит на экран соответствующую этим парам матрицу гомографии. Написать генератор пар двумерных точек для теста алгоритма, удовлетворяющих заданному заранее преобразованию гомографии.

8. (5 баллов) Модифицировать генератор из Задачи 7 так, чтобы он выдавал $n=1000$ соответствий, из которых 10% соответствуют заданному заранее преобразованию гомографии, а остальные взяты случайно (преобразованию гомографии не удовлетворяют). Реализовать нахождение преобразования гомографии, используя DLT и RANSAC.

9. (5 баллов) Два изображения одной и той же сцены сделаны одной и той же камерой с такой же матрицей внутренних параметров, как в Задаче 6. Второй снимок сделан после поворота камеры на 30 градусов вокруг оси x относительно начала координат системы отсчета, связанной с камерой (без сдвига). Найти матрицу гомографии между двумя изображениями.

10. (5 баллов) Вывести формулу для метода Гаусса-Ньютона минимизации функции с разложением до второго порядка (используя Гессиан). У функции

$$\min C(\vec{\beta}) = \sum_i (y_i - f(\vec{x}_i, \vec{\beta}))^2 = \vec{\epsilon}^T(\vec{\beta}) \vec{\epsilon}(\vec{\beta})$$

непрерывны вторые производные.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Практическая задача) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

1. (5 баллов) Шахматная доска 8×8 клеток имеет длину клетки 0.2. Начало мировой системы координат находится в левом нижнем углу, оси X и Y направлены вдоль сторон клеток, ось Z перпендикулярна плоскости доски. Используя внутренние параметры и положение камеры относительно мировой системы координат из задачи 6 (второе домашнее задание), и предполагая отсутствие дисторсии, найти координаты проекций углов клеток на плоскость изображения. Решить задачу PnP, используя функцию `cv2.solvePnPGeneric`, для трехмерных координат клеток в мировой системе координат и найденных двумерных проекций. Сравнить полученные поворот и трансляцию с взятыми из задачи 6.

2. (15 баллов, необязательно) Найти внутренние параметры камеры и параметры дисторсии по изображениям из архива <https://drive.google.com/file/d/1m6qNqSkZYLZW9YD89zsHIgEgbjWRMvN/view?usp=sharing>. Можно использовать сэмпл `example_cpp_calibration` из OpenCV.
3. (5 баллов) Первая камера повернута относительно второй на 45 градусов по оси z и сдвинута на 10 вдоль направления оси x. У обеих камер матрицы внутренних параметров единичные. Найти и распечатать фундаментальную матрицу.
4. (5 баллов) Первая камера повернута относительно мировой системы координат на 45 градусов по оси z, а вторая – на -45 градусов по оси y и сдвинута на 10 в направлении оси x. У обеих камер матрицы внутренних параметров единичные. Найти и распечатать фундаментальную матрицу.
5. В задаче 14 найти и распечатать оба эпиполя
6. В задаче 14 найти и распечатать эпиполярную линию, проходящую через точку (0,0) на первом изображении, и соответствующую ей линию на втором изображении.
7. Вторая камера сдвинута относительно первой вдоль направления оси x. Найти и распечатать вектор эпиполярной линии на изображении второй камеры, соответствующей эпиполярной линии на изображении первой камеры, заданной вектором
- $$l = (0, 1, 0)^T.$$
8. (5 баллов) Первая камера находится в начале координат, ее оптическая ось направлена вдоль оси z. Вторая камера сдвинута относительно первой на 1 в направлении оси x. Матрицы внутренних параметров обеих камер единичные. Сгенерировать случайный набор точек в трехмерном пространстве с $z > 0$, спроектировать их на обе камеры (`cv2.projectPoints`), по проекциям найти необходимую матрицу (`cv2.findEssentialMat`).
9. По необходимой матрице, полученной в задаче 18, получить позу первой камеры относительно второй. Для этого использовать `cv2.decomposeEssentialMat`, и из получившихся 4 решений выбрать одно, используя условие, что трехмерные точки должны быть перед камерами.
10. (5 баллов) Найти матрицу внутренних параметров камеры изображения https://drive.google.com/file/d/1mC0PI9k4q_wJt9iAn6uosEVSJb9PcZIk/view?usp=sharing, предполагая, что оптическая ось проходит строго через центр изображения, а фокусное расстояние в эквиваленте 35мм равно 6.46 дюйма.
11. (5 баллов) Используя матрицу внутренних параметров https://drive.google.com/file/d/1A4H84PLy7971Xd1ErS1bRRupWk9_TCYI/view?usp=sharing, запустить функцию `cv2.undistort()` на изображении https://drive.google.com/file/d/1mC0PI9k4q_wJt9iAn6uosEVSJb9PcZIk/view?usp=sharing, и записать в файл изображение с компенсацией искажений линзы.

Критерии оценивания (оценочное средство - Практическая задача)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Выполнены все или большая часть этапов решения задачи или задача решена с незначительными недочетами. Результаты работы представлены преподавателю в срок.

Оценка	Критерии оценивания
не зачтено	Выполнены не все практические задания или выполнены не в полном объеме (представлено не полное описание этапов выполнения заданий, получен неверный ответ, результаты работы не представлены преподавателю).

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-11:

1. Восстановление трехмерной сцены. Structure from motion: восстановление поз камер. Неоднозначность восстановления трехмерной сцены. Ames illusion. Проективные преобразования в P3. Плоскость на бесконечности. Hierarchy of P3 homography transformations. Неоднозначность матриц проекции. Канонический вид фундаментальной матрицы. Проективная неоднозначность камер. Теорема о проективной реконструкции. Трехмерная реконструкция. Преобразование плоскости на бесконечности. Аффинная реконструкция. Нахождение плоскости на бесконечности. Нахождение матриц камеры при известных внутренних параметрах. Восстановление позы по необходимой матрице. Неоднозначность в восстановлении позы
2. Построение сетки и текстурирование. Meshing. Poisson Surface Reconstruction. Texturing. Non-rigid RGBD SLAM. Представление 3D данных. Восстановление модели лица человека по одной фотографии. Параметрическая модель лица
3. Восстановление облака точек. Chamber distance and EMD. Восстановление 3D модели по неполным данным. Восстановление по неполным данным с помощью TSDF. Дифференцируемый рендеринг. Single view reconstruction. Multi-view stereo.

5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

1. Зачем нужна геометрия в компьютерном зрении? Ортогональные матрицы. Решение систем линейных уравнений. Собственные значения и векторы. Разложение Холецкого. QR факторизация. Singular Value Decomposition.
2. Камера. Модель камеры-обскуры. Проекция камеры-обскуры. Возникновение проективной геометрии. Поворот в плоскости вокруг начала координат. Поворот и сдвиг в плоскости. Аффинное преобразование в плоскости. Поворот и сдвиг в трехмерном пространстве. Однородные координаты. Точка на бесконечности. Прямая на бесконечности. Проективное пространство. Проекция параллельных прямых на плоскость. Матрица проекции камеры
3. Вычисление исчезающих точек. Преобразования проективной плоскости. Общее линейное преобразование. Соотношение гомографии для координат пикселей. Проективное преобразование (гомография). Теорема о представлении гомографии. Свойства гомографии. Исчезающие точки и линии. Сохранение линии на бесконечности. Нахождение гомографии. Отображение гомографии для плоских объектов. Распознавание образов. Модель искажений линзы.
4. Pose estimation. Reprojection error. Perspective-n-Points problem. Direct Linear Transformation. Решения задачи PnP. Градиентный спуск. Метод Гаусса-Ньютона. Калибровка камеры. Нахождение матрицы проекции камеры. Разложение матрицы проекции на компоненты. Нахождение параметров дисторсии.
5. Векторное произведение. Смешанное произведение. Векторное произведение и алгебраическое дополнение. Стерео: эпиполярная геометрия. Алгебраический вывод

фундаментальной матрицы. Эпиполярные линии. Свойства. Соотношение между эпиполярными линиями. Связь фундаментальной матрицы с положением камер. Каноническая форма фундаментальной матрицы. Модельные задачи.

6. Ректификация. Ректификация стереопары: первое преобразование. Неопределенность в представлении фундаментальной матрицы. Ректификация стереопары: поиск согласованных гомографий. Калибрация стереокамеры. Нахождение фундаментальной матрицы. Large-Scale SLAM: Colosseum.
7. Нахождение позы по гомографии: Алгоритм Faugeras-Lustman. Другие методы декомпозиции гомографии. Получение внутренних параметров по фокусному расстоянию и d_{pi} (по фокусному расстоянию и 35мм). SLAM: Simultaneous Localization and Mapping. Оптимизация положения камер и точек. Углы Эйлера. Представление «ось-угол». Кватернионы. Поворот при помощи кватернионов. LM optimization for Bundle Adjustment. Sparse Bundle Adjustment.
8. Регистрация трехмерных моделей. Алгоритм Iterative Closest Point. Нахождение R в ICP. Non-rigid ICP (NICP). Проекция morphable model на изображение. Morphable face model. Слабая перспективная проекция. Фотограмметрия

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент дал развернутый ответ на все вопросы без существенных ошибок.
не зачтено	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале.

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-11

1. Восстановление трехмерной сцены. Structure from motion: восстановление поз камер. Неоднозначность восстановления трехмерной сцены. Ames illusion. Проективные преобразования в P3. Плоскость на бесконечности. Hierarchy of P3 homography transformations. Неоднозначность матриц проекции. Канонический вид фундаментальной матрицы. Проективная неоднозначность камер. Теорема о проективной реконструкции. Трехмерная реконструкция. Преобразование плоскости на бесконечности. Аффинная реконструкция. Нахождение плоскости на бесконечности. Нахождение матриц камеры при известных внутренних параметрах. Восстановление позы по необходимой матрице. Неоднозначность в восстановлении позы
2. Построение сетки и текстурирование. Meshing. Poisson Surface Reconstruction. Texturing. Non-rigid RGBD SLAM. Представление 3D данных. Восстановление модели лица человека по одной фотографии. Параметрическая модель лица
3. Восстановление облака точек. Chamber distance and EMD. Восстановление 3D модели по неполным данным. Восстановление по неполным данным с помощью TSDF. Дифференцируемый рендеринг. Single view reconstruction. Multi-view stereo.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-4

1. Зачем нужна геометрия в компьютерном зрении? Ортогональные матрицы. Решение систем линейных уравнений. Собственные значения и векторы. Разложение Холецкого. QR факторизация. Singular Value Decomposition.
2. Камера. Модель камеры-обскуры. Проекция камеры-обскуры. Возникновение проективной геометрии. Поворот в плоскости вокруг начала координат. Поворот и сдвиг в плоскости. Аффинное преобразование в плоскости. Поворот и сдвиг в трехмерном пространстве. Однородные координаты. Точка на бесконечности. Прямая на бесконечности. Проективное пространство. Проекция параллельных прямых на плоскость. Матрица проекции камеры
3. Вычисление исчезающих точек. Преобразования проективной плоскости. Общее линейное преобразование. Соотношение гомографии для координат пикселей. Проективное преобразование (гомография). Теорема о представлении гомографии. Свойства гомографии. Исчезающие точки и линии. Сохранение линии на бесконечности. Нахождение гомографии. Отображение гомографии для плоских объектов. Распознавание образов. Модель искажений линзы.
4. Pose estimation. Reprojection error. Perspective-n-Points problem. Direct Linear Transformation. Решения задачи PnP. Градиентный спуск. Метод Гаусса-Ньютона. Калибровка камеры. Нахождение матрицы проекции камеры. Разложение матрицы проекции на компоненты. Нахождение параметров дисторсии.
5. Векторное произведение. Смешанное произведение. Векторное произведение и алгебраическое дополнение. Стереоскоп: эпиполярная геометрия. Алгебраический вывод фундаментальной матрицы. Эпиполярные линии. Свойства. Соотношение между эпиполярными линиями. Связь фундаментальной матрицы с положением камер. Каноническая форма фундаментальной матрицы. Модельные задачи.

6. Ректификация. Ректификация стереопары: первое преобразование. Неопределенность в представлении фундаментальной матрицы. Ректификация стереопары: поиск согласованных гомографий. Калибровка стереокамеры. Нахождение фундаментальной матрицы. Large-Scale SLAM: Colosseum.
7. Нахождение позы по гомографии: Алгоритм Faugeras-Lustman. Другие методы декомпозиции гомографии. Получение внутренних параметров по фокусному расстоянию и d_{pi} (по фокусному расстоянию и 35мм). SLAM: Simultaneous Localization and Mapping. Оптимизация положения камер и точек. Углы Эйлера. Представление «ось-угол». Кватернионы. Поворот при помощи кватернионов. LM optimization for Bundle Adjustment. Sparse Bundle Adjustment.
8. Регистрация трехмерных моделей. Алгоритм Iterative Closest Point. Нахождение R в ICP. Non-rigid ICP (NIP). Проекция morphable model на изображение. Morphable face model. Слабая перспективная проекция. Фотограмметрия

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент ответил на большую часть вопросов возможно с незначительными недочетами.
не зачтено	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале и решении стандартных задач.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Ненашев В. А. Компьютерное зрение. Анализ, обработка и моделирование : учеб. пособие / Ненашев В. А. - Санкт-Петербург : ГУАП, 2022. - 78 с. - Книга из коллекции ГУАП - Информатика. - ISBN 978-5-8088-1806-4., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=867121&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Селянкин В. В. Компьютерное зрение. Анализ и обработка изображений : учебное пособие для вузов / Селянкин В. В. - 3-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2023. - 152 с. - Книга из коллекции Лань - Информатика. - ISBN 978-5-507-45583-6., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=829599&idb=0>.
2. Шапиро Линда. Компьютерное зрение = Computer Vision : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Прикладная информатика (в областях)" / пер. с англ. А. А. Богуславского ; под ред. С. М. Соколова. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2006. - 752 с., 8 с. ил. - (Лучший зарубежный учебник). - ISBN 0-13-030796-3 (англ.) : 369.60., 1 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

- 1) 3D Computer Vision resources: Courses; Papers with code; Collections; Projects; Datasets. (<https://github.com/flamato/3D-computer-vision-resources>)

- 2) A curated list of awesome computer vision resources (<https://github.com/jbhuang0604/awesome-computer-vision>)
- 3) 3D Computer Vision: Unlocking the Third Dimension (Part 1): ML6's comprehensive guide (<https://www.ml6.eu/blogpost/3d-computer-vision-unlocking-the-third-dimension-part-1>)
- 4) OpenCV - Open Computer Vision Library: сайт библиотеки (<https://opencv.org/>)
- 5) OpenCV-Python Tutorials. https://docs.opencv.org/4.x/d6/d00/tutorial_py_root.html

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 01.04.02 - Прикладная математика и информатика.

Автор(ы): Турлапов Вадим Евгеньевич, доктор технических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Мееров Иосиф Борисович, кандидат технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 13.12.2023, протокол № 3.