

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет дружбы народов»*

Факультет физико-математических и естественных наук

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины: Дискретные математические модели

Рекомендуется для направления подготовки/специальности

01.04.02 Прикладная математика и информатика

Специализация "Математические модели в междисциплинарных исследованиях "

(указываются код и наименование направления подготовки/специальности)

1. Цели и задачи дисциплины:

Дисциплина имеет следующие цели:

- введение учащихся в предметную область математического моделирования в различных областях знаний при помощи нейронных сетей и глубокого обучения: механике, физике, биологии.
- ознакомление студентов с универсальными методологическими подходами, позволяющими безотносительно к конкретным областям приложений строить адекватные математические модели изучаемых объектов на основе использования фундаментальных законов природы, вариационных принципов, иерархических цепочек, метода аналогий.
- Изучение современных пакетов и фреймворков для практического использования возможностей глубоких нейронных сетей в различных приложениях.

Задача дисциплины состоит в получении учащимися базовых знаний о методологических подходах построения дискретных математических моделей в особенности глубоких нейронных сетей, численных методах математического моделирования, освоении основных математических методов качественного анализа моделей изучаемых объектов.

В процессе обучения студенты будут выполнять домашние задания, включающие применение программирования на языке высокого уровня.

2. Место дисциплины в структуре ОП ВО:

Дисциплина относится к базовой части профессионального цикла подготовки магистров.

Дисциплина обеспечивает изучение следующих дисциплин: «Дополнительные главы математического моделирования», «Алгоритмы вычислительного эксперимента», «Высокопроизводительные вычисления», «Непрерывные математические модели», «Устойчивость в прикладных задачах оптимизации», «Вариационные методы в математическом моделировании», Компьютерный практикум. Знания и практические навыки, полученные при изучении дисциплины «Дискретные математические модели», в дальнейшем используются студентами в научно-исследовательской работе и при разработке выпускных квалификационных работ.

В таблице № 1 приведены предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций дисциплины в соответствии с матрицей компетенций ОП ВО.

Таблица № 1

Предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций

№ п/п	Шифр и наименование компетенции	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины (группы дисциплин)
Универсальные компетенции			
1	УК-6. Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	Научный семинар	Междисциплинарный экзамен
Профессиональные компетенции (вид профессиональной деятельности - научно-исследовательская деятельность)			
1	ПК-1. Способностью проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты	Непрерывные математические модели	Междисциплинарный экзамен

	самостоятельно и в составе научного коллектива		
2	ПК-2. Способностью разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач	Научное программирование, Технологии вычислительного эксперимента	Междисциплинарный экзамен

3. Требования к результатам освоения дисциплины:

В результате изучения дисциплины «Дискретные математические модели» студенты должны:

Знать:

- концепции и основные понятия предметной области методов построения дискретных математических моделей, в частности нейросетевых, на основе глубокого обучения.

Уметь:

- решать модельные задачи оптимизации, возникающие при обучении глубоких генеративно-состязательных и др. моделей нейронных сетей
- приобретать новые знания в предметной области, анализировать и систематизировать материал в области программирования, подготовки датасетов, численных методов минимизации и моделирования
- порождать новые идеи и демонстрировать навыки самостоятельной научно-исследовательской работы и работы в научном коллективе
- активно общаться в научной, производственной и социально-общественной сферах деятельности

Владеть:

- способностью проводить семинарские и практические занятия со студентами, а также лекционные занятия спецкурсов по профилю специализации

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц.

№	Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
			3	4	5	6
1.	Аудиторные занятия (ак. часов)				54	
	В том числе:					
1.1.	Лекции				18	
1.2.	Прочие занятия					
	<i>В том числе:</i>					
1.2.1.	<i>Практические занятия (ПЗ)</i>					
1.2.2.	<i>Семинары (С)</i>				36	
1.2.3.	<i>Лабораторные работы (ЛР)</i>					
2.	Самостоятельная работа (ак. часов)				126	
	В том числе:					
2.1.	Курсовой проект (работа)					
2.2.	Расчетно-графические работы					

2.3.	Реферат					
2.4.	Подготовка и прохождение промежуточной аттестации				27	
	<i>Другие виды самостоятельной работы</i>				99	
3.	Общая трудоемкость (ак. часов)				180	
	<i>Общая трудоемкость (зачетных единиц)</i>				5	

5. Содержание дисциплины

5.1. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1.	Основы Pytorch	1. Работа с тензорами. 2. Линейная регрессия. 3. Градиентный спуск. 4. Автоматическое дифференцирование.
2.	Конволюционные нейронные сети	1. Понятие свёртки. 2. Двумерная свёртка. 3. Работа с изображениями. 4. Нейронные сети с модулем torch.nn
3.	Автоэнкодеры	<input type="checkbox"/> Понижающие шумы автоэнкодеры <input type="checkbox"/> Расстояние Кульбака-Лейблера <input type="checkbox"/> Латентное пространство переменных <input type="checkbox"/> Вариационные автоэнкодеры
4.	U-net-архитектура	1. Сегментация изображений. 2. Различные варианты архитектур с обходными (residual) соединениями
5.	Генеративно-состязательные сети	1. Архитектура GAN 2. Примеры генеративно-состязательных сетей 3. Проблемы обучения GAN
6.	Обсуждение тенденций машинного обучения, открытые вопросы	Применение алгоритмов глубокого обучения в физике, химии, инженерных задачах

5.2. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Лекции	ЛР	ПЗ	С	СРС	Всего час.
1.	Основы Pytorch	2		4		21	27
2.	Конволюционные нейронные сети	2		4		21	27
3.	Автоэнкодеры	4		8		21	33
4.	U-net-архитектура	4		8		21	33
5.	Генеративно-состязательные сети	4		8		21	33
6.	Обсуждение тенденций машинного обучения, открытые вопросы	2		4		21	27
	Всего часов	18		36		126	180

6. Лабораторный практикум не предусмотрен

7. Практические занятия (семинары)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость (час.)
1.	1	Работа с тензорами в pytorch.	4
2.	1	Линейная регрессия	4
3.	1	Автоматическое дифференцирование	4
4.	2	Конволюционные нейронные сети	4
5.	3	Denoising autoencoders	4
6.	3	Вариационный автоэнкодер	5
7.	4	Нейронная сеть U-net	5
8.	5	Архитектура GAN	6

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Обучение происходит дистанционно

9. Информационное обеспечение дисциплины

а) Среда разработки и выполнения лабораторных работ – Google Colab:

<https://colab.research.google.com/>

б) Программное обеспечение – Windows, Anaconda, Jupyter Notebook

в) Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы не предусмотрены

10. Учебно-методическое обеспечение дисциплины:

Литература:

Сэдживик Р., Уэйн К., Дондеро Р. Программирование на языке Python: учебный курс. : Пер. с англ. – СПб.: ООО «Альфа-книга», 2017. – 736 с.

Рашка С. Python и машинное обучение / пер. с англ. А. В. Логунова. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 418 с.

Ресурсы в интернете:

1. Python и Anaconda

<https://www.anaconda.com> - Anaconda - дистрибутив python с большинством нужных библиотек (нет pytorch, нужно доустанавливать)

<https://python.ivan-shamaev.ru/guide-conda-environments-anaconda-python-data-science-platform/> - про Анаконду и настройку jupyter notebook

<https://colab.research.google.com/> - облачная альтернатива Google Colab, всё предустановлено, есть pytorch.

2. Нейронные сети

<https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/obratnoe-rasprostranenie/> - обратное распространение ошибки (backpropagation)

<https://programforyou.ru/poleznoe/convolutional-network-from-scratch-part-zero-introduction> - свёрточная нейронная сеть с нуля

<https://habr.com/ru/company/yandex/blog/307260/> - Самое главное о нейронных сетях (обзор от Яндекса, 2016 год)

<https://tproger.ru/translations/neural-network-zoo-1/> - схематические изображения различных нейросетевых архитектур

3. Pytorch

https://pytorch.org/tutorials/beginner/deep_learning_60min_blitz.html

<https://github.com/yunjey/pytorch-tutorial>

4. Статьи по применению глубокого обучения в физике:

<https://github.com/thunil/Physics-Based-Deep-Learning> - физика и глубокое обучение

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Примерным учебным планом на изучение дисциплины отводится один **семестр**. В качестве итогового контроля предусмотрен – **экзамен**.

Рекомендуется провести контрольную работу или тестирование по материалам тем 3 и 4 содержания дисциплины. По разделам 2 и 5 рекомендуется выдать индивидуальные домашние задания с получением расчетных формул и текстов соответствующих модулей программ.

11.1 Структура лабораторных занятий

1. Задания по лабораторным работам выполняются малой группой (2-3 человека) в дисплейных классах в соответствии с календарным планом и методическими указаниями по выполнению лабораторных работ по дисциплине.

2. По результатам выполнения каждой лабораторной работы студентом готовится отчет.

11.2. Самостоятельная работа студента

1. Часть лабораторных работ предусматривает задания для индивидуальной самостоятельной работы студента, обязательные для выполнения.

2. Выполнение заданий для самостоятельной работы позволяет студенту приобрести дополнительные навыки и закрепить знания по изучаемой теме.

11.3. Примерный перечень вопросов промежуточного и итогового контроля знаний

Для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов рекомендуется использовать вопросы и задания подобные перечисленным ниже:

1. Алгоритм обратного распространения ошибки.
2. Broadcasting при работе с тензорами в numpy и pytorch.
3. Понятие свёртки в одномерном и двумерном случае.
4. Автоматическое дифференцирование.
5. Разновидности методов оптимизации нейросетей.

6. Энтропия, расстояние Кульбака-Лейблера.
7. Виды loss-функций в нейросетях.
8. Методы регуляризации.
9. Архитектура автоенкодера.
10. Архитектура U-net.
11. Вариационный автоенкодер.
12. GAN
13. CycleGAN
14. Progressive GAN.

п / п	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
<i>Аудиторная работа</i>			
1	Лабораторная работа	Система практических заданий, направленных на формирование практических навыков у обучающихся	Фонд практических заданий
2	Экзамен	Оценка работы студента в течение семестра выставляется по сумме набранных баллов за лабораторные работы и итоговое тестирование. Для учащихся, которые набрали от 31 до 50 баллов, проводится экзамен, в рамках которого за ответы на вопросы билетов учащиеся могут набрать недостающее до зачета (51) число баллов.	Примеры заданий/вопросов , пример экзаменационного билета
<i>Самостоятельная работа</i>			
3	Выполнение домашних заданий	В качестве домашних заданий предлагаются лабораторные работы. Объем лабораторных работ подразумевает самостоятельную работу студента в отведенные для этого учебным планом часы.	Комплект разноуровневых задач и заданий

Методические указания и шкала оценок.

Порядок выполнения лабораторной работы заключается в следующем:

- Ознакомиться с разделами методических указаний к данной лабораторной работе.
- Выполнить задания лабораторной работы.
- Составить отчёт.

Отчёт должен содержать следующие разделы:

1. титульный лист;
2. формулировку цели работы;
3. описание результатов выполнения задания:
 - листинги программ;
 - результаты выполнения программ (снимок экрана);
4. Для каждой модели, приводимой в отчете следует включить:
 - краткое описание моделируемого явления;
 - описание применяемого для решения задачи метода;
5. выводы, согласованные с целью работы.

Критерии оценки

Оценивается полнота выполнения работы, оформление результатов расчетов и оценки производительности. Также оцениваются ответы на вопросы преподавателя по исходному тексту программы.

Шкала оценок

95-100 баллов:

- полное выполнение лабораторных работ;
- высокий уровень культуры исполнения лабораторных работ;
- активное участие в мероприятиях, предусмотренных программой дисциплины;
- систематизированное, глубокое и полное освоение навыков и компетенций по всем разделам программы дисциплины;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- безупречное владение программным обеспечением, умение эффективно использовать его в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- выраженная способность самостоятельно и творчески решать поставленные задачи;
- полная самостоятельность и творческий подход при изложении материала по программе дисциплины;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной программой дисциплины и преподавателем.

86- 94 балла:

- полное выполнение лабораторных работ;
- высокий уровень культуры исполнения лабораторных работ;
- систематизированное, глубокое и полное освоение навыков и компетенций по всем разделам программы дисциплины;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- хорошее владение программным обеспечением, умение эффективно использовать его в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно решать поставленные задачи в нестандартных производственных ситуациях;
- усвоение основной и дополнительной литературы, нормативных и законодательных актов, рекомендованных программой дисциплины и преподавателем.

69-85 баллов:

- частичное выполнение лабораторных работ;

- хороший уровень культуры исполнения лабораторных работ;
- систематизированное и полное освоение навыков и компетенций по всем разделам программы дисциплины;
- владение программным обеспечением, умение использовать его в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно решать проблемы в рамках программы дисциплины;
- усвоение основной литературы;

51-68 баллов:

- частичное выполнение лабораторных работ;
- систематизированное и полное освоение навыков и компетенций по всем разделам программы дисциплины;
- удовлетворительное владение программным обеспечением, умение использовать его в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность решать проблемы в рамках программы дисциплины;
- удовлетворительное усвоение основной литературы;

31 - 50 баллов – НЕ ЗАЧТЕНО:

- частичное выполнение лабораторных работ;
- недостаточно полный объем навыков и компетенции в рамках программы дисциплины;
- неумение использовать в практической деятельности научной терминологии, изложение ответа на вопросы с существенными стилистическими и логическими ошибками;
- слабое владение программным обеспечением по разделам программы дисциплины, некомпетентность в решении стандартных (типовых) производственных задач;
- способность решать проблемы в рамках программы дисциплины;
- удовлетворительное усвоение основной литературы;

0-30 баллов, НЕ ЗАЧТЕНО:

- отсутствие умений, навыков, знаний и компетенции в рамках программы дисциплины;
- невыполнение лабораторных заданий; отказ от ответа по программе дисциплины;
- игнорирование занятий по дисциплине по неуважительной причине.
- Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО РУДН.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО РУДН/ФГОС.

Разработчик

к.ф.-м.н., доцент



Я.М. Карандашев

Директор Математического института,
д.ф.-м.н., профессор



А.Л. Скубачевский

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет дружбы народов»*

Факультет физико-математических и естественных наук

Математический институт имени С.М.Никольского

УТВЕРЖДЕН

На заседании института
« » 2020 г.,
протокол №
Директор института

_____ А.Л.Скубачевский

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

по учебной дисциплине Дискретные математические модели

Рекомендуется для направления подготовки

01.04.02 Прикладная математика и информатика

Квалификация (степень) выпускника

Магистр

Квалификация (степень) выпускника

Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине «Дискретные математические модели»

Направление/Специальность: 01.04.02 Прикладная математика и информатика

Код контролируемой компетенции или ее части	Контролируемый раздел дисциплины	Контролируемая тема дисциплины	Наименование оценочного средства													Баллы темы	Баллы раздела	
			Текущий контроль										Промежуточная аттестация					
			Опрос	Тест	Коллоквиум	Контрольная работа	Выполнение ЛР	Выполнение КР/КП	СРС(Выполнение ДЗ)	Реферат	Выполнение РГР	Зачет	
ПК-1,2, УК-6	Раздел 1: «Основы pytorch, работа с тензорами, понятие свёртки»	1. Работа с тензорами в pytorch. 2. Линейная регрессия 3. Автоматическое дифференцирование 4. Конволюционные нейронные сети						30									30	30
ПК-1,2, УК-6	Раздел 2: «Простые модели нейросетей, вариационный автоэнкодер»	5. Логистическая модель 6. Denoising autoencoders 7. Вариационный автоэнкодер						30									30	30
ПК-1,2, УК-6	Раздел 3: «Генеративные нейронные сети»	8. Сеть U-net 9. Архитектура GAN						40									40	40
		ИТОГО:						100									100	100

Перечень оценочных средств
по дисциплине Дискретные математические модели

п/п	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
<i>Аудиторная работа</i>			
	Опрос	Средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу или теме.	Примерные вопросы для опроса
<i>Самостоятельная работа</i>			
	СРС (домашнее задание)	Форма проверки качества усвоения студентами учебного материала в соответствии с утвержденной программой.	Примерный вариант домашнего задания

Приложение 3

Дисциплина *Дискретные математические модели*

ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ № 1

Домашнее задание №1 - Фильтрация картинок при помощи `pytorch torch.nn.Conv2d`

Прочитайте внимательно статью про то, что такое свёртка:

<https://programforyou.ru/poleznoe/convolutional-network-from-scratch-part-zero-introduction>

```
In [11]: import torch
import torch.nn as nn
from PIL import Image
from torchvision import transforms
```

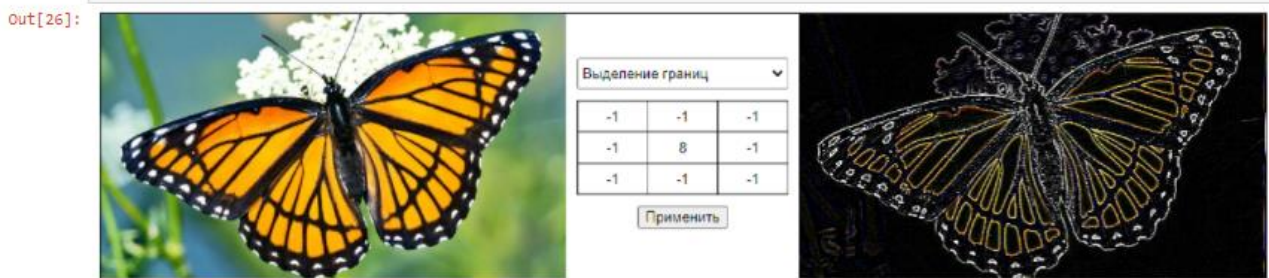
Пусть задана цветная картинка с изображением бабочки:

```
In [27]: filename = 'image.png'
image = Image.open(filename)
image = image.convert('RGB')
image
```



Цель задания в том, чтобы реализовать функцию, которая бы по заданному входному изображению и матрицей размера 3x3, получала бы фильтрованное изображение, как на рисунке ниже:

```
In [26]: filename = 'laplace filter.png'
filter_example = Image.open(filename)
filter_example = filter_example.convert('RGB')
filter_example
```



Для реализации фильтра необходимо использовать свёртку, которая осуществляется модулем `torch.nn.Conv2d`. В созданном объекте необходимо заменить имеющиеся веса на заданные веса фильтра, как в примере ниже:

ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ № 2

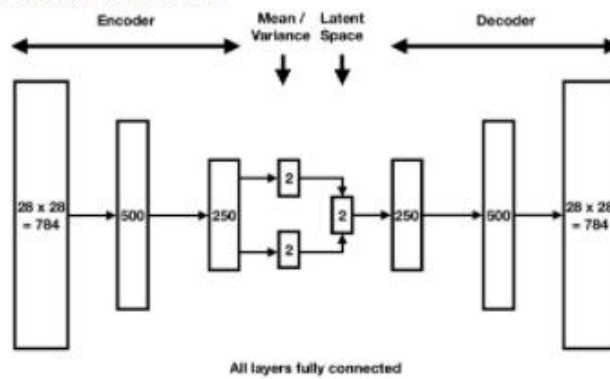
Домашнее задание №2 - Латентное пространство в VAE автоэнкодере

Прочитайте внимательно статью "Variational Autoencoders are Beautiful":

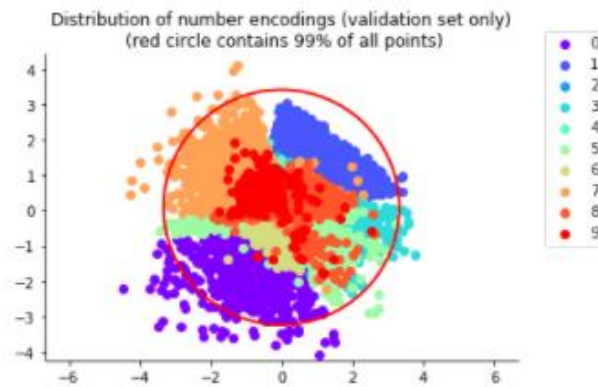
<https://www.compthree.com/blog/autoencoder/>

В данном задании необходимо:

1) реализовать VAE автоэнкодер с архитектурой как на рисунке:

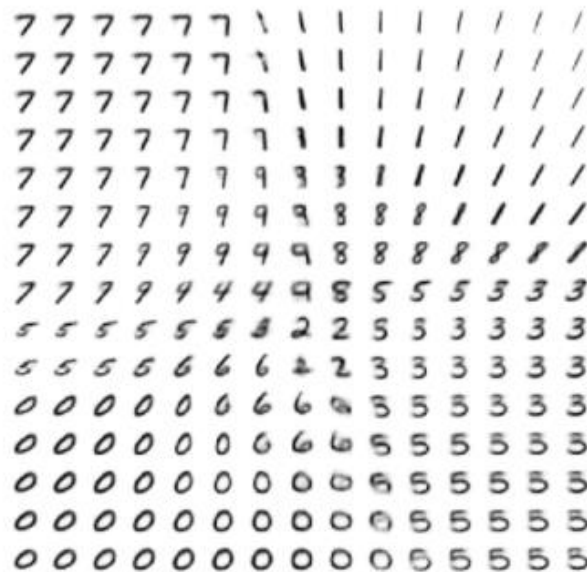


2) Обучить его на обучающей выборке из базы данных MNIST и после этого, воспользоваться энкодером, чтобы преобразовать картинки из тестовой выборки в латентное пространство и получить рисунок похожий на рисунок ниже:



3) Наконец, построить в латентном пространстве на квадрате $[-2, 2] \times [-2, 2]$ сетку из 15×15 значений и построить с помощью декодера картинки цифр для каждого значения из этой сетки и получить рисунок похожий на рисунок ниже:

Numbers generated from latent variable values at sites of the square lattice inscribed in the red disk



ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ № 3

Домашнее задание №3 - Перенос стиля с картинки на картинку

Нужно прочитать разбор статьи Gatys ("A Neural Algorithm of Artistic Style" <https://arxiv.org/abs/1508.06576>) про перенос стиля:

<https://towardsdatascience.com/breaking-down-leon-gatys-neural-style-transfer-in-pytorch-faf9f0eb79db>

И прислать мне jupyter notebook с тем, как вам удалось применить этот метод к своей картинке со своим стилевым изображением.

В качестве исходного кода можно использовать тот, что описан в статье, либо взять этот: https://pytorch.org/tutorials/advanced/neural_style_tutorial.html

примеры того, что должно получиться на выходе:



Ваша задача - получить подобный перенос стиля на выбранную вами фотографию и с выбранным вами стилевым изображением.

ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО КУРСУ

- 1) Создание и манипуляции с тензорами в Pytorch.
- 2) Автоматическое дифференцирование.
- 3) Конволюционные нейронные сети, понятие свёртки, двумерная свёртка.
- 4) Автоэнкодеры, понижающие шумы автоэнкодеры
- 5) Расстояние Кульбака-Лейблера
- 6) Вариационные автоэнкодеры, латентное пространство переменных
- 7) U-net-архитектура, сегментация изображений.
- 8) Различные варианты архитектур глубоких нейросетей, обходные (residual) соединения.
- 9) Генеративно-сопоставительные сети , архитектура GAN
- 10) Примеры генеративно-сопоставительных сетей
- 11) Проблемы обучения GAN
- 12) Примеры применения алгоритмов глубокого обучения в физике, химии, инженерных задачах