

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В. І. ВЕРНАДСЬКОГО
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ МУНІЦИПАЛЬНОГО
УПРАВЛІННЯ ТА МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____ Олександр ГУЙДА

“ ___ ” _____ 2023 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до магістерської кваліфікаційної роботи освітнього ступеня **“магістр”**

з галузі знань 12 «Інформаційні технології»

спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

на тему: Розробка та дослідження алгоритмів для автоматичного
розпізнавання емоцій на зображеннях та відео.

Студент групи КНМ(з)-21 Зайченко Владислава Романівна _____
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник роботи д.т.н., професор Дорошенко Ю. О. _____
(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультанти:

охорона праці та навко-
лишнього середовища

доцент Гуйда О.Г. _____
(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Київ - 2023

**ТАВРІЙСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В. І. ВЕРНАДСЬКОГО
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ МУНІЦИПАЛЬНОГО
УПРАВЛІННЯ ТА МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА**

Другий освітній рівень

Галузь знань 12 «ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

(шифр і назва)

Спеціальність 122 «КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ»

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма «КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О. Г. Гуйда

“ ___ ” _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
студента Зайченко Владислави Романівни
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Розробка та дослідження алгоритмів для автоматичного розпізнавання емоцій на зображеннях та відео.

Керівник роботи д.т.н., професор Дорошенко Ю. О.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені ректором Університету від “25” вересня 2023 року

2 Строк подання студентом роботи “ 5 ” грудня 2023 р.

3 Вихідні дані до роботи Нормативна та довідкова література за темою магістерської роботи, алгоритми та технології розпізнавання зображень, комп'ютерний зір, типи емоцій людини, нейромережеві технології.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

4.1 Провести дослідження алгоритмів розпізнавання емоцій.

4.2 Розробити оптимальний алгоритм розпізнавання емоцій.

4.3 Розробити програмний прототип для автоматичного розпізнавання емоцій.

4.4 розкрити питання охорони праці та навколишнього середовища при розробці технології.

4.5 Провести розрахунок витрат на розробку технології та дослідити ефективність роботи розробленого алгоритму.

5 Перелік графічного матеріалу:

Графічна робота виконана у вигляді мультимедійної презентації

6 Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Загальна частина	професор Дорошенко Ю. О.		
Технологічна частина	професор Дорошенко Ю. О.		
Спеціальна частина	професор Дорошенко Ю. О.		
Охорона праці та навколишнього середовища	доцент Гуйда О. Г.		
Економічна частина	професор Дорошенко Ю. О.		
Графічна частина	ст. викладач Фуртат О. В.		

7 Дата видачі завдання « 26 » вересня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
<i>Загальна частина</i>	<i>жовтень</i>	
<i>Технологічна частина</i>	<i>жовтень</i>	
<i>Спеціальна частина</i>	<i>листопад</i>	
<i>Охорона праці та навколишнього середовища</i>	<i>жовтень</i>	
<i>Економічна частина</i>	<i>листопад</i>	
<i>Графічна частина</i>	<i>грудень</i>	

Студент

(підпис)

Владислава ЗАЙЧЕНКО

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Юрій ДОРОШЕНКО

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Структура та обсяг роботи. Пояснювальна записка магістерської дисертації складається з п'яти розділів, містить 106 сторінок, 30 рисунків та 39 джерел.

Актуальність теми. Актуальність роботи визначається потребою вдосконалення систем обробки та аналізу великих обсягів візуальної інформації в сучасному інформаційному суспільстві, де величезний обсяг даних швидко набуває обличчя. Один із сучасних напрямків досліджень полягає у розробці алгоритмів для автоматичного розпізнавання емоцій людей на зображеннях та відео. Здатність системи розпізнавання емоцій адекватно взаємодіяти з візуальним контентом має велике значення для різних сфер, таких як розваги, медицина, маркетинг та інші.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка, програмна реалізація та експериментальне дослідження алгоритмів для автоматичного розпізнавання емоцій людей на зображеннях та відео обличч людей.

Для досягнення поставленої мети, необхідно виконати такі завдання:

- 1) провести аналіз технологій розробки та дослідження алгоритмів для автоматичного розпізнавання емоцій людей на зображеннях та відео;
- 2) охарактеризувати створення та опис алгоритмів для автоматичного розпізнавання емоцій на зображеннях та відео;
- 3) скласти комплексний алгоритм автоматичного розпізнавання емоцій людини за зображенням її обличчя та подати його у вигляді структурно-функціональної схеми;
- 4) розробити за складеним алгоритмом програмний прототип для автоматичного розпізнавання емоцій людини.
- 5) експериментально апробувати і дослідити роботу програмного прототипу для автоматичного розпізнавання емоцій людини.

Об'єкт дослідження. Процес автоматичного розпізнавання емоцій людини за зображенням чи відео обличчя.

Предмет дослідження. Розробка та вивчення алгоритмів, спрямованих на автоматичне розпізнавання емоцій людини за зображенням чи відео обличчя.

Методи дослідження. В роботі використовуються алгоритми машинного навчання та нейронні мережі.

Наукова новизна. З використанням машинного навчання та нейронної мережі розроблено оригінальний комплексний алгоритм автоматичного розпізнавання емоцій людини за зображенням чи відео обличчя.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблена система цілком підходить для будь-якого комерційного чи некомерційного проєкту, який має потребу в аналізі емоцій людини які виявляються на зображеннях та відеоматеріалах. Наразі розроблений програмний прототип, який може розпізнавати 7 основних емоційних станів людини: радість, подив, страх, відраза, сум, гнів, інтерес.

Ключові слова: емоції, машинне навчання, алгоритм, зображення, відео, розпізнавання, нейронні мережі.

ЗМІСТ

ОСНОВНІ УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	8
ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ РОЗРОБКИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙ НА ЗОБРАЖЕННЯХ ТА ВІДЕО.....	11
1.1 Загальна концепція розпізнавання емоцій.....	11
1.2 Алгоритм як невід’ємна складова попередньої обробки зображень	19
1.3 Алгоритм комп’ютерного зору для виокремлення на зображенні обличчя та визначення його основних характеристик.....	21
1.4 Висновки до першої частини	28
2 СТВОРЕННЯ ТА ОПИС АЛГОРИТМІВ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙ НА ЗОБРАЖЕННЯХ ТА ВІДЕО	29
2.1 Використання рекурентних нейронних мереж для автоматичного розпізнавання емоцій людини на зображеннях та відео її обличчя.....	29
2.2 Алгоритм AdaBoost.....	36
2.3 Гістограма напрямлених градієнтів	41
2.4 Застосування методу опорних векторів для розпізнавання емоцій.....	55
2.5 Висновки до другої частини.....	66

					МКР.122.001.ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Розробка та дослідження алгоритмів для автоматичного розпізнавання емоцій на зображеннях та відео Пояснювальна записка</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Зайченко В. Р.						
Перевір.		Дорошенко О.В.					6	103
Н. Контр.		Фуртат О.В.				ННІМУМГ гр.КНм-21		
Затверд.		Гуйда О. Г.						

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ПРОТОТИПУ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙ НА ЗОБРАЖЕННЯХ ТА ВІДЕО	67
3.1 Розробка та налаштування програмного прототипу	67
3.2 Тестування програмного прототипу для автоматичного розпізнавання емоцій на зображеннях та відео	74
3.3 Висновки до третьої частини	76
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	78
4.1 Вимоги ергономіки до організації робочого місця оператора ПК.....	78
4.2 Заходи захисту від випромінювань оптичного діапазону.....	80
4.3 Охорона навколишнього природного середовища.....	82
4.4 Висновки до четвертої частини	85
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	87
5.1 Розрахунок витрат на розробку технології.....	87
5.2 Висновки до п'ятої частини	90
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	92
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	96
Додаток А.....	100
Додаток Б	102

ОСНОВНІ УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

грн. - гривень

див. – дивитися

ДСТУ – Державний стандарт України

рис. – рисунок

AdaBoost – Adaptive Boosting

CNN – Convolutional Neural Networks

GRU – Gated Recurrent Unit

HOG – Histogram of Oriented Gradients

LSTM – Long Short-Term Memory

OpenCV – Open Source Computer Vision Library

RFE – Recursive Feature Elimination

RNN – Recurrent Neural Networks

SFS – Sequential Feature Selection

SSD – Single Shot MultiBox Detector

SVM – Support Vector Machine

ВСТУП

Актуальність роботи. В сучасному інформаційному суспільстві, де величезний обсяг даних швидко набуває обличчя, виникає необхідність вдосконалення систем обробки та аналізу великих обсягів візуальної інформації. Одним із актуальних напрямків досліджень в цьому контексті є розробка алгоритмів для автоматичного розпізнавання емоцій на зображеннях та відео. Здатність системи розпізнавання емоцій адекватно взаємодіяти з візуальним контентом має велике значення для ряду сфер, включаючи розваги, медицину, маркетинг, та інші.

Метою роботи є розробка, програмна реалізація та експериментальне дослідження алгоритмів для автоматичного розпізнавання емоцій людей на зображеннях та відео обличч людей.

Для досягнення поставленої мети, необхідно виконати такі завдання:

- 1) провести аналіз технологій розробки та дослідження алгоритмів для автоматичного розпізнавання емоцій людей на зображеннях та відео;
- 2) охарактеризувати створення та опис алгоритмів для автоматичного розпізнавання емоцій на зображеннях та відео;
- 3) скласти комплексний алгоритм автоматичного розпізнавання емоцій людини за зображенням її обличчя та подати його у вигляді структурно-функціональної схеми;
- 4) розробити за складеним алгоритмом програмний прототип для автоматичного розпізнавання емоцій людини.
- 5) експериментально апробувати і дослідити роботу програмного прототипу для автоматичного розпізнавання емоцій людини.

Об'єкт дослідження. Процес автоматичного розпізнавання емоцій людини за зображенням чи відео обличчя.

Предмет дослідження. Розробка та вивчення алгоритмів, спрямованих на автоматичне розпізнавання емоцій людини за зображенням чи відео обличчя.

Методи дослідження. В роботі використовуються алгоритми машинного навчання та нейронні мережі.

Наукова новизна. З використанням машинного навчання та нейронної мережі розроблено оригінальний комплексний алгоритм автоматичного розпізнавання емоцій людини за зображенням чи відео обличчя.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблена система цілком підходить для будь-якого комерційного чи некомерційного проекту, який має потребу в аналізі емоцій людини які виявляються на зображеннях та відеоматеріалах. Наразі розроблений програмний прототип, який може розпізнавати 8 основних емоційних станів людини: злість, презирство, огида, страх, щастя, нейтральний стан, сум та здивування.

Результати дослідження мають практичне застосування та можуть знайти використання в різних сферах індустрії та науки, роблячи важливий внесок у вдосконалення сучасних технологій обробки візуальної інформації.

Апробація. Нами була проведена апробація (тестування) програмного комплексу яке представляло собою запровадження певного алгоритму для автоматичного розпізнавання емоцій на зображеннях та відео. У разі якщо людина виражала візуально емоцію, то програма з'єднана з відеокамерою визачала емоцію людини яку вона зображала.

Структура та обсяг роботи. Пояснювальна записка магістерської дисертації складається з п'яти розділів, містить 106 сторінок, 30 рисунків та 39 джерел.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження та розробки і експериментальної апробації програмного прототипу можна стверджувати, що мета роботи досягнута і всі завдання реалізовані. Зокрема можна констатувати такі положення:

1. Проведений аналіз технологій розробки та дослідження алгоритмів для автоматичного розпізнавання емоцій на зображеннях та відео.

Проведено аналіз методів розробки та вивчення алгоритмів для автоматичного визначення емоцій на зображеннях та відео. Використано алгоритми для визначення контурів обличчя та підкреслення його форми та розміру. Використано методи маскуванню для виділення та ізоляції області, що відповідає обличчю, зробивши його більш помітним на зображенні чи відео. Використано алгоритми, які адаптуються до руху та змін розміру обличчя в кадрі відео. Ці алгоритми дозволяють ефективно та точно локалізувати обличчя на вхідних візуальних даних, що є ключовим етапом для подальшого аналізу та розпізнавання емоцій.

Застосування нейронних мереж (CNN) широко використовується в обробці зображень та відео, де просторові властивості грають важливу роль. Вони успішно впораються з розпізнаванням об'єктів, класифікацією зображень, виявленням облич, сегментацією зображень та іншими завданнями в області комп'ютерного зору. Рекурентні нейронні мережі (RNN), які здатні зберігати попередні стани для обробки нових вхідних даних, розвинуті архітектури, такі як Long Short-Term Memory (LSTM) і Gated Recurrent Unit (GRU), допомагають вирішити проблему зниклого градієнта.

Алгоритм лінійного усереднення використовується для обробки зображень, де для кожної точки обчислюється середнє значення сусідів. Цей метод ефективний та простий, застосовується до зображень різної природи. Однак, він може втратити деталізацію в областях з великою зміною яскравості

чи контрасту. Важливо враховувати оптимальний розмір локального вікна для усереднення.

У визначенні емоцій використовується пошук обличчя з використанням ознак Хаара та визначення окремих рис обличчя. Глибинне навчання застосовується для аналізу емоцій особи на зображенні.

Отже, використані алгоритми та методи є важливими для точного визначення та аналізу емоцій на вхідних візуальних даних.

2. Охарактеризували створення та опис алгоритмів для автоматичного розпізнавання емоцій на зображеннях та відео

Використання рекурентних нейронних мереж для автоматичного визначення емоцій на зображеннях та відео є підходом, що базується на використанні архітектур нейронних мереж, які здатні враховувати контекстуальні залежності в часі. Рекурентні нейронні мережі (RNN) представляють собою спеціальний тип нейронних мереж, який дозволяє моделювати послідовність даних та враховувати попередні інформаційні стани.

Модифікації RNN, такі як Long Short-Term Memory (LSTM) і Gated Recurrent Unit (GRU), використовуються для ефективного моделювання послідовностей з тривалими залежностями, зокрема в завданнях розпізнавання мови, перекладу та аналізу емоцій на зображеннях та відео.

3. Склали комплексний алгоритм автоматичного розпізнавання емоцій людини за зображенням її обличчя та подали його у вигляді структурно-функціональної схеми.

Алгоритм автоматичного розпізнавання емоцій людини за зображенням її обличчя виглядає наступним чином:

1. Завантаження необхідних бібліотека і моделей.
2. Ініціалізація моделей.
3. Запуск відеопотоку.
4. Обробка кадрів відеопотоку.

5. Розпізнавання обличчя.
 6. Підготовка обличчя до розпізнавання емоцій.
 7. Розпізнавання емоцій.
 8. Відображення результатів на кадрі.
 9. Виведення кадру.
 10. Закриття програми.
4. Розробили за складеним алгоритмом програмний прототип для автоматичного розпізнавання емоцій людини.

Для автоматичного розпізнавання емоцій на зображеннях та відео використано бібліотеки OpenCV для роботи з зображеннями та відео, а також бібліотеку для розпізнавання обличчя та емоцій.

Бібліотека OpenCV (Open Source Computer Vision Library) є відкритою бібліотекою комп'ютерного зору, яка забезпечує доступ до алгоритмів комп'ютерного зору та обробки зображень. Вона підтримує зчитування та запис зображень і відео, обробку та аналіз зображень, розпізнавання обличчя та об'єктів, відслідковування об'єктів, роботу з камерою та машинне навчання. У коді для автоматичного розпізнавання емоцій використано класифікатор обличчя HaarCascade, що забезпечує швидке та ефективне виявлення обличчя на зображеннях чи кадрах відео.

Основні етапи розпізнавання емоцій включають конвертацію кадру до відтінків сірого, виявлення обличчя за допомогою класифікатора HaarCascade, вирізання та підготовку області обличчя, розпізнавання емоцій та позначення їх на оригінальному кадрі.

Усі ці кроки об'єднані в функції `detect_emotion`, яка використовується в основному циклі обробки відео для кожного кадру. Крім того, використано список `emotion_labels` для призначення міток розпізнаним емоціям.

Усі ці техніки та бібліотеки дозволили створити ефективну систему автоматичного розпізнавання емоцій на зображеннях та відео яка може бути використана в різноманітних сценаріях, таких як аналіз емоцій у відеоблогах, визначення емоційної реакції тощо.

5. Експериментально апробували і дослідили роботу програмного прототипу для автоматичного розпізнавання емоцій людини.

Нами була проведена апробація (тестування) програмного комплексу яке представляло собою запровадження певного алгоритму для автоматичного розпізнавання емоцій на зображеннях та відео. У разі якщо людина виражала візуально емоцію, то програма з'єднана з відеокамерою визачала емоцію людини яку вона зображала.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Закон України «Про охорону навколишнього середовища», від 08.10.2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>
2. Автоматичне розпізнавання емоцій користувача для організації інтелектуального інтерфейсу // Електронний журнал «Молодіжний науковотехнічний вісник», 2013, № 9. С.7
3. Бабій М. С. Ідентифікація та розпізнавання емоційно-психічного стану людини за зображенням обличчя. Вісник СумДУ. 2013. С. 29.
4. Мелех Л. В. Безпека життєдіяльності та охорона праці. Навчальний посібник для здобувачів вищої освіти із галузі знань 08 «Право», спеціальність 081 «Право». Львів: Львівський державний університет внутрішніх справ, 2022. 219с.
5. Савченко А. С., Синельников О. О. Методи та системи штучного інтелекту: навч. посібник. К.: НАУ, 2017. 108-111 с.
6. Уляненко А. Л. Огляд методів автоматичного розпізнавання емоційного стану людини по зображенню // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології, № 1(3) 2020. С.85-88
7. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. Киев: Вильямс. 2016. 1104 с.
8. Ян Сі. Автоматичні розпізнавання емоцій користувача для організації інтелектуального інтерфейсу // Електронний журнал «Молодіжний науково - технічний вісник», 2013. № 9.
9. A. Newell, K. Yang, and J. Deng, «Stacked hourglass networks for human pose estimation» in Computer Vision - ECCV 2016 - 14th European Conference, Amsterdam, The Netherlands, October 11-14, 2016, Proceedings, Part VIII, ser. Lecture Notes in Computer Science, vol. 9912, Springer, 2016, pp. 483–499

10. Kahou S. EmoNets: Multimodal deep learning approaches for emotion recognition in video//Journal on Multimodal User Interfaces,2015.No.10.P. 99–111
11. Khabarlak K. Fast Facial Landmark Detection and Applications: A Survey. Journal of Computer Science & Technology, vol. 22, no. 1, pp. 12–41, 2022
12. Khorrami P. How Deep Neural Networks Can Improve Emotion Recognition on Video Data. 2016 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). Piscataway, IEEE Publ., 2016, pp. 619–623
13. Krizhevsky, A.; Sutskever, I.; Hinton, G. E. (2012). «Imagenet classification with deep convolutional neural networks» (PDF). Advances in Neural Information Processing Systems. 1: 1097–1105.
14. LeCun Y. Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition// Proceedings of the IEEE.1998.Vol.86, no.11. P. 2278–2324
15. M. Suwa, N. Sugie and K. Fujimora «A preliminary note on pattern recognition of human emotional expression» in International Joint Conference on Pattern Recognition, pp. 408-410, 1978.
16. Nefian A., Hayes M., Hidden Markov model for face recognition // Image Processing, 1998. ICIP 98. Proceedings. 1998 International Conference on, 06 August 2002. P. 48-56
17. W. Li, Y. Lu, K. Zheng, et al., «Structured landmark detection via topology-adapting deep graph learning» in Computer Vision – ECCV 2020, Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 266-283
18. Z. Feng, J. Kittler, M. Awais, P. Huber, and X. Wu, «Wing loss for robust facial landmark localisation with convolutional neural networks» in 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, Jun. 2018, pp. 2235–2245.
19. Емоційний AI: як технологія набуває людських рис. URL: <https://evergreens.com.ua/ua/articles/emotion-ai.html>
20. A Gentle Introduction to Transfer Learning for Deep Learning. URL: <https://machinelearningmastery.com/transfer-learning-for-deep-learning/>

21. AffectNet database. URL: <http://mohammadmahoor.com/affectnet/> - Назва з екрану.
22. ASCERTAIN Dataset. URL: <https://ascertain-dataset.github.io/>
23. Bartlett M. S. Machine learning methods for fully automatic recognition of facial expressions and facial actions. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1398364>.
24. Emotic dataset. URL: <http://sunai.uoc.edu/emotic/>
25. Habr. OpenCV & Python. URL: <https://habr.com/ru/post/519454/>
26. Image augmentation for machine learning experiments. URL: <https://github.com/aleju/imgaug>
27. Iryna Sydorenko. AI in Emotion Recognition: Does It Work? URL: <https://labeyourdata.com/articles/ai-emotion-recognition>
28. OpenCV – Overview URL.: <https://www.geeksforgeeks.org/opencv-overview/>
29. OpenCV. Docs. URL: <https://docs.opencv.org/4.x/>
30. OpenCV. Python tutorial. URL: https://docs.opencv.org/4.x/d6/d00/tutorial_py_root.html
31. Python. Library Reference. URL: <https://docs.python.org/3/library/index.html>
32. Python. Python Docs. URL: [<https://docs.python.org/3/>
33. Recurrent neural network. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Recurrent_neural_network
34. Ronneberger O. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. URL: <https://arxiv.org/pdf/1505.04597.pdf>.
35. Rosebrock A. Facial landmarks with dlib, OpenCV, and Python. URL: <https://www.pyimagesearch.com/2017/04/03/facial-landmarks-dlib-opencv-ython/>.
36. Serdar Yegulalp. What is TensorFlow? The machine learning library explained URL: <https://www.infoworld.com/article/3278008/what-is-tensorflow-themachine-learning-library-explained.html>

37. SourceForge. OpenCV Library. URL: <https://sourceforge.net/projects/opencvlibrary/>
38. The Python Package Index (PyPI). URL: <http://omzsoftware.com/pythonista/docs/distutils/packageindex.html>
39. What is TensorFlow? URL: https://www.simplilearn.com/tutorials/deeplearning-tutorial/what-is-tensorflow#what_is_tensorflow