**3** ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

В данном разделе детально рассматривается, как функционирует программа. Раздел состоит из подразделов, каждый из которых описывает функционирование отдельного модуля программы, а также интерфейс взаимодействия с другими модулями приложения. Сами функциональные блоки также будут различаться между собой по месту, где они будут реализованы.

Стоит заметить, что функциональное проектирование модулей и описание интерфейсов взаимодействия будет зависеть от языка программирования и в некоторых случаях от используемого фреймворка, что объясняет некоторое различие подразделов данной записки.

**3.1** Структура модуля колоризации

Как было заявлено выше, для построения программного средства колоризации полутоновых изображений необходимо реализовать нейронную сеть, которая и будет обрабатывать изображения. Так как для реализации нейронной сети был выбран фреймворк Caffe, в пояснительной записке будет кратко изложены основные принципы построения нейросетей в данном фреймворке.

В библиотеке Caffe топология нейросетей, исходные данные и способ обучения задаются с помощью конфигурационных файлов в формате prototxt. Топология сетей описывается с помощью слоёв, каждый из которых имеет свой тип, параметры и связь с другими слоями нейронной сети. Ниже приведён пример описания свёрточного слоя в prototxt-файле:

# Объявление слоя

layer {

# Наименование слоя

name: "conv3\_1"

# Тип слоя

type: "Convolution"

# Ссылка на слой, за

# которым необходимо

# создать текущий

bottom: "conv2\_2norm"

top: "conv3\_1"

# Параметры слоя

convolution\_param {

# Размер выхода слоя

num\_output: 256

pad: 1

# Размер ядра свёртки

kernel\_size: 3

}

}

Файл с расширением prototxt для описания процесса обучения в сообществе пользователей Caffe принято называть «solver». Подобные файлы содержат набор обязательных и опциональных параметров для процесса обучения. Таковыми параметрами являются:

* путь к файлу с конфигурацией сети;
* периодичность тестирования во время обучения;
* параметры стохастического градиентного спуска;
* максимальное количество итераций;
* архитектура, на которой будут проводиться вычисления;
* путь для сохранения обученной сети.

Пример solver-файла будет рассмотрен в дальнейшем вместе с указанием параметров для обучения нейросети.

Для запуска обучения свёрточной нейронной сети и обработки входных данных будут использоваться соответственно интерфейс командной строки и Python-интерфейс, описание функционала, которого мы также рассмотрим в дальнейшем.

**3.2** Архитектура нейронной сети

Свёрточная нейронная сеть – специальная архитектура искусственных нейронных сетей, предложенная Яном Лекуном и нацеленная на эффективное распознавание изображений. Основной идеей свёрточной нейронной сети является чередование слоёв, выполняющих операцию свёртки со слоями субдискретизации. По определению, свёртка – это математическая операция, применённая к двум функциям, порождающая третью функцию, которая иногда может рассматриваться как модифицированная версия одной из первоначальных. В контексте обработки изображений рассматривается понятие ядра свёртки – матрицы фиксированного размера, содержащей коэффициенты, значения которых перемножаются со значениями каналов пикселей изображения. Данная маска размещается в углу изображения и высчитывается значение свёртки для пикселя в центре маски. Затем маска сдвигается к следующему пикселю, и операция повторяется.

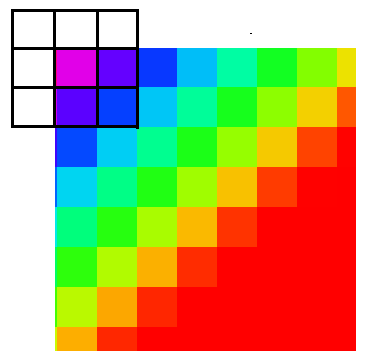


Рисунок 3.1 – Итерация обработки изображения свёрточным фильтром

Слои субдискретизации используются для уменьшения размера, последующих слоёв. Обычно из группы соседних результатов предыдущего слоя свёртки выбирается максимальный, который и становится входом для следуюшего слоя. Вставка данных слоёв увеличивает производительность нейронной сети, при этом незначительно влияя на результат.

Каждый свёрточный слой имеет несколько фильтров, после обработки которыми образуются карты признаков. Так при углублении в сеть размер слоя уменьшается, а количество карт признаков увеличивается. При этом теряется информация о расположении более мелких признаков на изображении (линий, окружностей), и появляется информация о наличии более крупных признаков на изображении (сложных фигур, объектов). Затем следуют несколько полносвязных слоёв, которые обрабатывают информацию о признаках. Подобные сети часто выполняют задачу классификации изображений. Примером такой архитектуры является VGG Convolutional Neural Network.

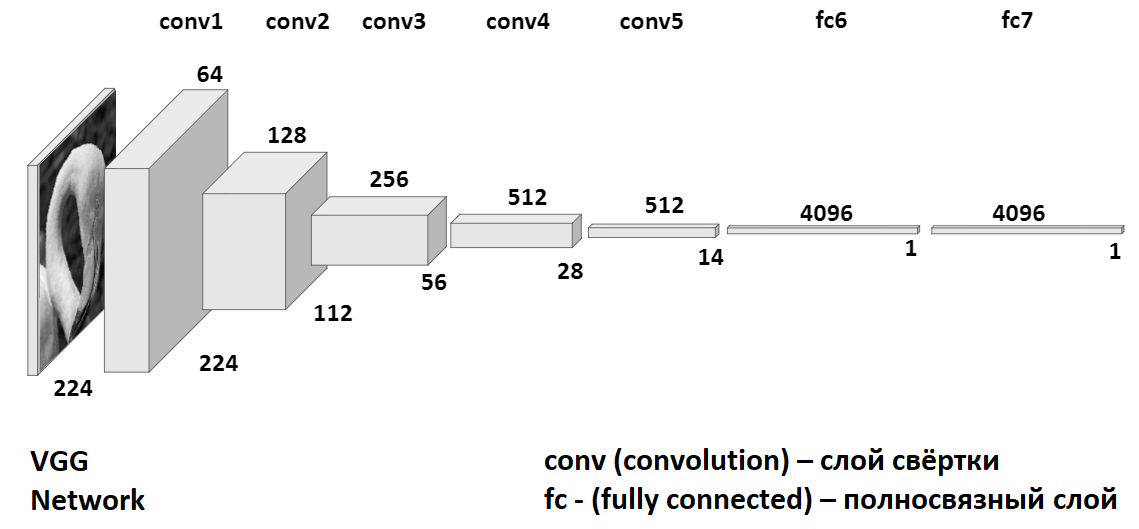


Рисунок 3.2 – Архитектура VGG сети

Для решения задачи колоризации данная архитектура не подходит из-за наличия полносвязных слоёв, при использовании которых теряется о расположении признаков на изображении теряется полностью. Также количество нейронов в последнем слое нейронной сети должно превышать или хотя бы быть равным количеству нейронов входного слоя. Исходя из этого следует, что текущую архитектуру необходимо модифицировать под задачу колоризации.

Для начала необходимо определить формат выходных данных. Для этого будет сделан выбор цветовой модели, в которой будет представлено обработанное изображение. В первую очередь модель должна быть распространённой для упрощения процесса перевода изображений из RGB и обратно. Также выбранная модель должна охватывать достаточно большое цветовое пространство.

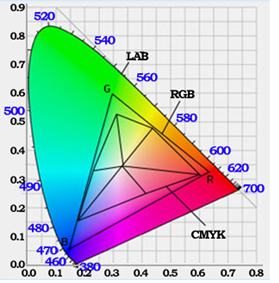


Рисунок 3.3 – Сравнение покрытия цветового пространства разными цветовыми моделями

Подходящей цветовой моделью является LAB. В данной цветовой модели цвет представлен двумя каналами: A и B. Яркость представлена третьим каналом L. В первую очередь данная модель охватывает более широкий диапазон цветового спектра, чем другие цветовые модели (см. рисунок 3.3). Также важным достоинством этой модели является наличие отдельного канала для яркости. При подаче канала яркости L на вход нейросети, необходимо лишь получить значения каналов A и B.

Следующим этапом является квантование LAB пространства, которое покрывается RGB моделью (см рисунок 3.4). Для этого делим данное пространство на квадраты со стороной 10. Количество подобных квадратов будет равным 313. Каждый из квадратов соответствует одному цвету, который является средним для всех значений цветов в квадрате.

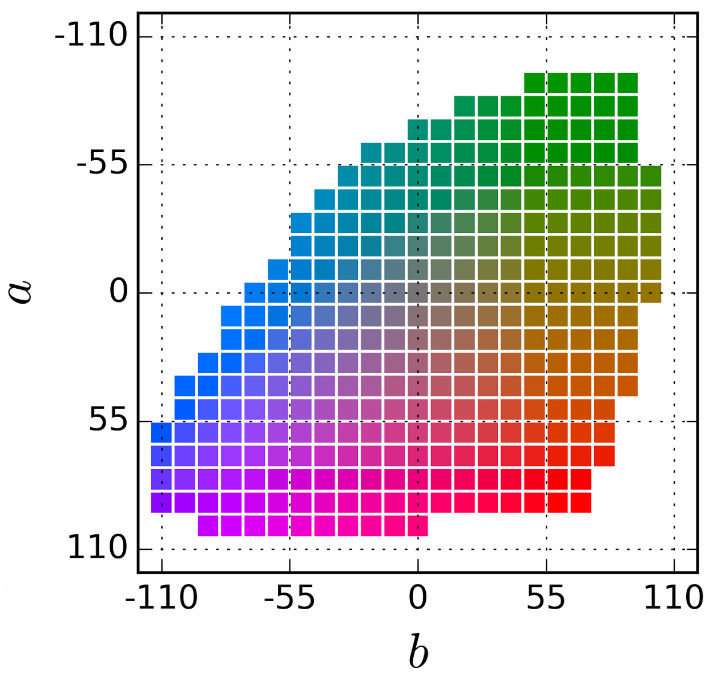


Рисунок 3.4 – Квантование цветового пространства LAB

На основании полученных цветов можно построить слой из 313 карт признаков, каждая из которых будет содержать вероятность того, что группы пикселей будут принимать цвет соответствующей этой карте. Входом для данного слоя будет являться результат последнего слоя свёртки, а на основании результатов группе пикселей присваиваться цвет наибольшей вероятностью (см. рисунок 3.5).

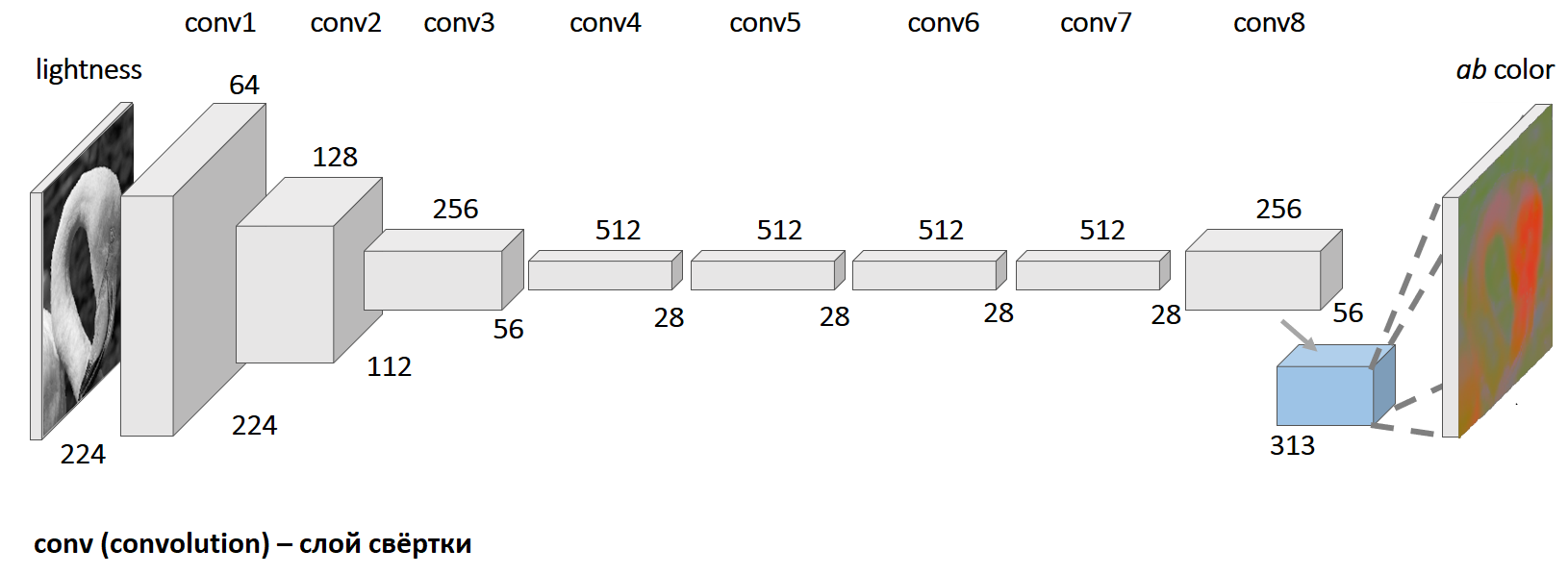


Рисунок 3.5 – Архитектура нейросети для колоризации изображения

Стоит также отметить, что полносвязные слои будут заменены свёрточными слоями с некоторыми модификациями. Реализация этих слоёв будет описана в следующих разделах, а также в приложенном листинге.

**3.3** Модуль для запуска нейронной сети

Как было указано ранее, для запуска обработки нейронной сетью входных данных будет использоваться Python-интерфейс библиотеки Caffe. Код для запуска будет размещён в отдельном Python-пакете в виде единого файла colorization.py. Внутри данного находится единственная функция с интерфейсом:

def colorize(id, token)

Аргументы функции:

* id – идентификатор изображения, необходимый для загрузки нужного файла из файловой системы; также данный идентификатор необходим для сохранения результата в файл и оповещения клиента о завершении колоризации конкретного изображения; является строкой;
* token – идентификатор клиента, загрузившего изображение, необходимый для оповещения конкретного клиента о завершении колоризации; также является строкой.

Оба аргумента генерируются в клиентском приложении и передаются серверной части. Формат этих параметров будет рассмотрен позднее при описании взаимодействия между сервером и клиентом.

Основная задачи модуля для запуска колоризации состоит в инициализации нейронной сети и передачи ей параметров. Кроме этого данный модуль выполняет следующие функции:

* загрузка исходного файла из соответствующего каталога;
* изменение размера изображения для входного слоя нейронной сети;
* перевод изображения из цветовой модели RGB в LAB и последующее выделение L-канала в отдельное изображение, которое в дальнейшем загружается в сеть;
* изменение размера результата обработки до изначального;
* объединение результата работы нейронной сети с L-каналом, для получения колоризованного изображения;
* сохранение результата в файловую систему;
* вызов модуля, использующего python-gcm, для оповещения пользователя о окончании колоризации изображения.

Некоторые части реализации модуля для запуска нейросети будут представлены в следующем разделе.

**3.4** Модуль сетевого интерфейса серверной части

Для взаимодействия с клиентом используется протокол HTTP. В качестве веб-фреймворка для сервера был выбран Bottle. Чтобы обосновать такой выбор, в данном подразделе будет описан протокол передачи изображений между клиентской и серверной частью.

Исходя из того факта, что колоризация изображения может занимать длительное время, было решено спроектировать протокол таким образом, чтобы инициатором загрузки полутоновых и выгрузки колоризованных изображений являлся клиент. Согласно данному протоколу сервер должен иметь способ оповестить клиента, об окончании процесса колоризации, чтобы клиент смог своевременно получить обработанное изображение. При этом, механизмом для оповещения решено использовать технологию Google Cloud Messaging использующую протокол XMPP. Сам механизм оповещения вынесен в отдельный модуль. Следовательно, основными функциями данного блока являются:

* загрузка полутонового изображения на сервер, его сохранение в файловую систему по запросу пользователя и вызов модуля запуска колоризации изображений;
* загрузка колоризированного изображения из файловой системы и его отправка на клиентское приложение по запросу пользователя.

Интерфейс для поддержки данных функций является достаточно простым для его реализации при помощи Bottle. Bottle реализован в едином файле, потому процесс подключения этого фреймворка очень прост. Для обработки HTTP запросов создаются функции с соответствующими аннотациями. Рассмотрим интерфейс функции, которая обрабатывает запрос на передачу изображения серверной части:

@post('/load')

def load():

# ...

id = request.get\_header("id")

# ...

Как видно по примеру тип обрабатываемого HTTP-запроса обозначен аннотацией. Конкретно данная функция будет обрабатывать POST-запрос. Значение в кавычках объединяется со строкой адреса сервера в полный адрес, на который клиентской части необходимо будет слать запрос. Доступ к заголовкам и телу запроса можно получить при помощи объекта request, который доступен из тела функции.

Интерфейс функции для обработки запроса на получение обработанного изображения:

@get("/get")

def get():

# ...

return img

Как и функция для обработки POST-запроса метод не имеет аргументов, а все необходимые данные можно получить из самого запроса. Также стоит заметить, что данная функция имеет возвращаемое значение, которое в последствии передаётся клиенту через тело ответа от сервера.

Способ передачи изображений и содержание дополнительной информации в заголовке каждого из запросов будет описано в дальнейшем, при описании сетевого интерфейса клиентского приложения.

Для запуска фреймворка необходим вызов функции run:

run(host='172.17.0.2', port=8080, debug=True)

Аргументами этой функции являются:

* host – строка определяющее адрес сервера; в примере указан адрес виртуального Ethernet-интерфейса Docker-контейнера;
* port – порт, по которому будет доступен сервер;
* debug – булевая переменная, определяющая необходимость вывода сервисной информации в STDOUT поток.

Данный модуль является входной точкой для сервера – именно запуск этого модуля приводит серверную часть в рабочее состояние. Весь код для реализации блока размещён в одном файле server.py, который расположен в корневом каталоге проекта.

**3.5** Модуль оповещения

Основной и единственной функцией модуля оповещения является отправление сообщения о завершении процесса колоризации клиентской стороне. Данный модуль использует python-gcm – библиотеку для отправки сообщений через GCM. Отправка сообщения осуществляется через выделенные компанией Google сервера. Для взаимодействия с подобными серверами клиентское приложение и серверная часть должны иметь статичный API-ключи, необходимые для идентификации приложения или его компонентов. Также для отправки сервером GCM-сообщений конкретному клиенту необходим идентификатор клиента (token). Этот идентификатор назначается клиенту сторонним сервером в процессе работы приложения и может изменяться. Процесс получения идентификатора клиента будет описан в дальнейшем.

Для получения API-ключей необходимо зарегистрировать приложение в Google API Console, а затем импортировать его в Firebase console. Важно, чтобы при регистрации данные о корневом пакете Android-приложения совпадали с реальными. После данной процедуры можно получить API-ключи из интерфейса Google API Console (см. рисунок 3.6)

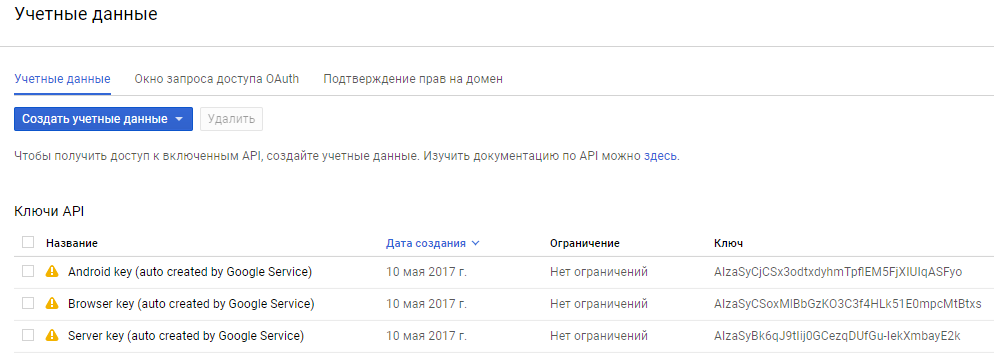


Рисунок 3.6 – Фрагмент веб-страницы Google API Console с учётными данными приложения

Для реализации модуля оповещения необходим API-ключ для сервера. Как было указано выше данный модуль вызывается модулем запуска колоризации. Модуль оповещения передаёт клиенту id обработанного изображения. Входными аргументами для единственного метода данного модуля является id изображения и token клиента:

def notify(id, token)

Код модуля находится в файле notifier.py, который не имеет дополнительных зависимостей и расположен в корневом каталоге проекта. Реализация модуля будет указана в следующем разделе.

**3.6** Иерархия каталогов для хранения изображений.

Для хранения изображений был создан каталог storage. Внутри данного каталога находятся два дочерних: input – для хранения полутоновых изображений; output – для хранения результатов обработки. Для наименования файлов используется id файла. Все изображения хранятся в формате PNG.

**3.7** Создание Docker-образа

За основу для создания собственного образа был взят образ от The Berkeley Vision and Learning Center. Данный образ представляет собой ОС Ubuntu 14 с предустановленным Caffe. Команда docker pull копирует образ из удалённого репозитория в каталог для хранения образов:

docker pull bvlc/caffe:cpu

Для создания контейнера используется команда docker run. Важно на данном этапе используя Docker NAT связать порт хоста с портом контейнера указанным в server.py:

docker run -p 192.168.0.104:8080:8080 -it bvlc/caffe:cpu

Открытие порта необходимо, чтобы возможно было получить доступ к Docker-контейнеру из сети.

После установки сети и всех модулей. необходимо сохранить изменения в новом образе:

docker commit -m «init commit» containername colorserver

Создание образа в дальнейшем позволит создавать контейнеры содержащие полностью сконфигурированный сервер. Также существует возможность загрузки образа на удалённый репозиторий. Использование Docker для установки готового сервера будет отображено в руководстве пользователя.