

▼ Практическое задание №2

Общая терминология по используемым данным

Представляемые данные для разработки моделей и алгоритмов трекинга мяча в теннисе представляют собор набор игр (game), состоящих из нескольких клипов (clip), каждый из которых состоит из набора кадров (frame). Обратите внимание на структуру организации файлов внутри предоставляемого датасета для полного понимания.

Большинство алгоритмов трекинга объектов работают с несколькими последовательными кадрами, и в данном задании также подразумевается использование этого приема.

Последовательность нескольких кадров будем именовать стопкой (stack), размер стопки (stack_s) является гиперпараметром разрабатываемого алгоритма.

▼ Заготовка решения

Загрузка датасета

Для работы с данными в ноутбуке kaggle необходимо подключить датасет. File -> Add or upload data, далее в поиске написать tennis-tracking-assignment и выбрать датасет. Если поиск не работает, то можно добавить датасет по url:

<https://www.kaggle.com/xubiker/tennistrackingassignment>. После загрузки данные датасета будут примонтированы в ..[/input/tennistrackingassignment](#).

▼ Установка и импорт зависимостей

Установка необходимых пакетов (не забудьте "включить интернет" в настройках ноутбука kaggle):

```
!pip install moviepy --upgrade  
!pip install gdown
```

```
→ Collecting moviepy  
  Downloading moviepy-2.1.1-py3-none-any.whl.metadata (6.9 kB)  
Requirement already satisfied: decorator<6.0,>=4.0.2 in /opt/conda/lib/python3.10/site-p
```

```

Requirement already satisfied: imageio<3.0,>=2.5 in /opt/conda/lib/python3.10/site-packages
Collecting imageio_ffmpeg>=0.2.0 (from moviepy)
  Downloading imageio_ffmpeg-0.5.1-py3-none-manylinux2010_x86_64.whl.metadata (1.6 kB)
Requirement already satisfied: numpy>=1.25.0 in /opt/conda/lib/python3.10/site-packages
Collecting proglog<=1.0.0 (from moviepy)
  Downloading proglog-0.1.10-py3-none-any.whl.metadata (639 bytes)
Requirement already satisfied: python-dotenv>=0.10 in /opt/conda/lib/python3.10/site-packages
Requirement already satisfied: pillow<11.0,>=9.2.0 in /opt/conda/lib/python3.10/site-packages
Requirement already satisfied: setuptools in /opt/conda/lib/python3.10/site-packages (from moviepy)
Requirement already satisfied: tqdm in /opt/conda/lib/python3.10/site-packages (from moviepy)
  Downloading moviepy-2.1.1-py3-none-any.whl (123 kB)
    ━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━ 123.5/123.5 kB 2.9 MB/s eta 0:00:0000:01
  Downloading imageio_ffmpeg-0.5.1-py3-none-manylinux2010_x86_64.whl (26.9 MB)
    ━━━━━━━━━━━━━━━━━━━ 26.9/26.9 MB 66.2 MB/s eta 0:00:00:00:0100:0
  Downloading proglog-0.1.10-py3-none-any.whl (6.1 kB)
  Installing collected packages: proglog, imageio_ffmpeg, moviepy
  Successfully installed imageio_ffmpeg-0.5.1 moviepy-2.1.1 proglog-0.1.10
Collecting gdown
  Downloading gdown-5.2.0-py3-none-any.whl.metadata (5.8 kB)
Requirement already satisfied: beautifulsoup4 in /opt/conda/lib/python3.10/site-packages
Requirement already satisfied: filelock in /opt/conda/lib/python3.10/site-packages (from gdown)
Requirement already satisfied: requests[socks] in /opt/conda/lib/python3.10/site-packages
Requirement already satisfied: tqdm in /opt/conda/lib/python3.10/site-packages (from gdown)
Requirement already satisfied: soupsieve>1.2 in /opt/conda/lib/python3.10/site-packages
Requirement already satisfied: charset-normalizer<4,>=2 in /opt/conda/lib/python3.10/site-packages
Requirement already satisfied: idna<4,>=2.5 in /opt/conda/lib/python3.10/site-packages
Requirement already satisfied: urllib3<3,>=1.21.1 in /opt/conda/lib/python3.10/site-packages
Requirement already satisfied: certifi>=2017.4.17 in /opt/conda/lib/python3.10/site-packages
Requirement already satisfied: PySocks!=1.5.7,>=1.5.6 in /opt/conda/lib/python3.10/site-packages
  Downloading gdown-5.2.0-py3-none-any.whl (18 kB)
  Installing collected packages: gdown
  Successfully installed gdown-5.2.0

```

После установки пакетов для корректной работы надо обязательно перезагрузить ядро. Run -> Restart and clear cell outputs. Без сего действия будет ошибка при попытке обращения к библиотеке moviepy при сохранении визуализации в виде видео. Может когда-то авторы библиотеки это починят...

Импорт необходимых зависимостей:

```

from pathlib import Path
from typing import List, Tuple, Sequence

import numpy as np
from numpy import unravel_index
from PIL import Image, ImageDraw, ImageFont
from tqdm import tqdm, notebook

from moviepy.video.io.ImageSequenceClip import ImageSequenceClip

import math
from scipy.ndimage import gaussian_filter

```

```
import gc
import time
import random
import csv

import tensorflow as tf
from tensorflow import keras
from tensorflow.keras import layers
from tensorflow.keras import backend as K
from tensorflow.keras.optimizers import Adam
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.interpolate import interp1d

import gdown
```

▼ Набор функций для загрузки данных из датасета

Функция `load_clip_data` загружает выбранный клип из выбранной игры и возвращает его в виде пятури массива [n_frames, height, width, 3] типа uint8. Для ускорения загрузки используется кэширование - однажды загруженные клипы хранятся на диске в виде прз архивов, при последующем обращении к таким клипам происходит загрузка прз архива.

Также добавлена возможность чтения клипа в половинном разрешении 640x360, вместо оригинального 1280x720 для упрощения и ускорения разрабатываемых алгоритмов.

Функция `load_clip_labels` загружает референсные координаты мяча в клипе в виде пятури массива [n_frames, 4], где в каждой строке массива содержатся значения [code, x, y, q]. x, y соответствуют координате центра мяча на кадре, q не используется в данном задании, code описывает статус мяча:

- code = 0 - мяча в кадре нет
- code = 1 - мяч присутствует в кадре и легко идентифицируем
- code = 2 - мяч присутствует в кадре, но сложно идентифицируем
- code = 3 - мяч присутствует в кадре, но заслонен другими объектами.

При загрузке в половинном разрешении координаты x, y делятся на 2.

Функция `load_clip` загружает выбранный клип и соответствующий массив координат и возвращает их в виде пары.

```
def get_num_clips(path: Path, game: int) -> int:
    return len(list((path / f'game{game}/').iterdir()))
```

```
def get_game_clip_pairs(path: Path, games: List[int]) -> List[Tuple[int, int]]:
    return [(game, c) for game in games for c in range(1, get_num_clips(path, game) + 1)]


def load_clip_data(path: Path, game: int, clip: int, downscale: bool, quiet=False) -> np.ndarray:
    if not quiet:
        suffix = 'downscaled' if downscale else ''
        print(f'loading clip data (game {game}, clip {clip}) {suffix}')
    cache_path = path / 'cache'
    cache_path.mkdir(exist_ok=True)
    resize_code = '_ds2' if downscale else ''
    cached_data_name = f'{game}_{clip}{resize_code}.npz'
    if (cache_path / cached_data_name).exists():
        clip_data = np.load(cache_path / cached_data_name)['clip_data']
    else:
        clip_path = path / f'game{game}/clip{clip}'
        n_imgs = len(list(clip_path.iterdir())) - 1
        imgs = [None] * n_imgs
        for i in notebook.tqdm(range(n_imgs)):
            img = Image.open(clip_path / f'{i:04d}.jpg')
            if downscale:
                img = img.resize((img.width // 2, img.height // 2))
            imgs[i] = np.array(img, dtype=np.uint8)
        clip_data = np.stack(imgs)
        cache_path.mkdir(exist_ok=True, parents=True)
        np.savez_compressed(cache_path / cached_data_name, clip_data=clip_data)
    return clip_data


def load_clip_labels(path: Path, game: int, clip: int, downscale: bool, quiet=False):
    if not quiet:
        print(f'loading clip labels (game {game}, clip {clip})')
    clip_path = path / f'game{game}/clip{clip}'
    labels = []
    with open(clip_path / 'labels.csv') as csvfile:
        lines = list(csv.reader(csvfile))
        for line in lines[1:]:
            values = np.array([-1 if i == '' else int(i) for i in line[1:]])
            if downscale:
                values[1] //= 2
                values[2] //= 2
            labels.append(values)
    return np.stack(labels)


def load_clip(path: Path, game: int, clip: int, downscale: bool, quiet=False):
    data = load_clip_data(path, game, clip, downscale, quiet)
    labels = load_clip_labels(path, game, clip, downscale, quiet)
    return data, labels
```

❖ Набор дополнительных функций

Еще несколько функций, немножко облегчающих выполнение задания:

- `prepare_experiment` создает новую директорию в `out_path` для хранения результатов текущего эксперимента. Нумерация выполняется автоматически, функция возвращает путь к созданной директории эксперимента;
- `ball_gauss_template` - создает "шаблон" мяча, может быть использована в алгоритмах поиска мяча на изображении по корреляции;
- `create_masks` - принимает набор кадров и набор координат мяча, и генерирует набор масок, в которых помещает шаблон мяча на заданные координаты. Может быть использована при обучении нейронной сети семантической сегментации;

```
def prepare_experiment(out_path: Path) -> Path:
    out_path.mkdir(parents=True, exist_ok=True)
    dirs = [d for d in out_path.iterdir() if d.is_dir() and d.name.startswith('exp_')]
    experiment_id = max(int(d.name.split('_')[1]) for d in dirs) + 1 if dirs else 1
    exp_path = out_path / f'exp_{experiment_id}'
    exp_path.mkdir()
    return exp_path

def ball_gauss_template(rad, sigma):
    x, y = np.meshgrid(np.linspace(-rad, rad, 2 * rad + 1), np.linspace(-rad, rad, 2 * rad + 1))
    dst = np.sqrt(x * x + y * y)
    gauss = np.exp(-(dst ** 2 / (2.0 * sigma ** 2)))
    return gauss

def create_masks(data: np.ndarray, labels: np.ndarray, resize):
    rad = 64 #25
    sigma = 10
    if resize:
        rad // 2
    ball = ball_gauss_template(rad, sigma)
    n_frames = data.shape[0]
    sh = rad
    masks = []
    for i in range(n_frames):
        label = labels[i, ...]
        frame = data[i, ...]
        if 0 < label[0] < 3:
            x, y = label[1:3]
            mask = np.zeros((frame.shape[0] + 2 * rad + 2 * sh, frame.shape[1] + 2 * rad + 2 * sh))
            mask[y + sh : y + sh + 2 * rad + 1, x + sh : x + sh + 2 * rad + 1] = ball
            mask = mask[rad + sh : -rad - sh, rad + sh : -rad - sh]
```

```

        masks.append(mask)
    else:
        masks.append(np.zeros((frame.shape[0], frame.shape[1]), dtype=np.float32))
return np.stack(masks)

```

Набор функций, предназначенных для визуализации результатов

Функция `visualize_prediction` принимает набор кадров, набор координат детекции мяча (можно подавать как референсные значения, так и предсказанные) и создает видеоклип, в котором отрисовывается положение мяча, его трек, номер кадра и метрика качества трекинга (если она была передана в функцию). Видеоклип сохраняется в виде mp4 файла. Кроме того данная функция создает текстовый файл, в который записывает координаты детекции мяча и значения метрики качества трекинга.

Функция `visualize_prob` принимает набор кадров и набор предсказанных карт вероятности и создает клип с наложением предсказанных карт вероятности на исходные карты. Области "подсвечиваются" желтым, клип сохраняется в виде mp4 видеофайла. Данная функция может быть полезна при наличии в алгоритме трекинга сети, осуществляющей семантическую сегментацию.

```

def _add_frame_number(frame: np.ndarray, number: int) -> np.ndarray:
    fnt = ImageFont.load_default() # ImageFont.truetype("arial.ttf", 25)
    img = Image.fromarray(frame)
    draw = ImageDraw.Draw(img)
    draw.text((10, 10), f'frame {number}', font=fnt, fill=(255, 0, 255))
    return np.array(img)

def _vis_clip(data: np.ndarray, lbls: np.ndarray, metrics: List[float] = None, ball_rad=5, c
print('performing clip visualization')
n_frames = data.shape[0]
frames_res = []
fnt = ImageFont.load_default() # ImageFont.truetype("arial.ttf", 25)
for i in range(n_frames):
    img = Image.fromarray(data[i, ...])
    draw = ImageDraw.Draw(img)
    txt = f'frame {i}'
    if metrics is not None:
        txt += f', SiBaTrAcc: {metrics[i]:.3f}'
    draw.text((10, 10), txt, font=fnt, fill=(255, 0, 255))
    label = lbls[i]
    if label[0] != 0: # the ball is clearly visible
        px, py = label[1], label[2]

```

```

        draw.ellipse((px - ball_rad, py - ball_rad, px + ball_rad, py + ball_rad), outline='black')
    for q in range(track_length):
        if lbls[i-q-1][0] == 0:
            break
        if i - q > 0:
            draw.line((lbls[i - q - 1][1], lbls[i - q - 1][2], lbls[i - q][1], lbls[i - q][2]))
    frames_res.append(np.array(img))
return frames_res

def _save_clip(frames: Sequence[np.ndarray], path: Path, fps):
    assert path.suffix in ('.mp4', '.gif')
    clip = ImageSequenceClip(frames, fps=fps)
    if path.suffix == '.mp4':
        clip.write_videofile(str(path), fps=fps, logger=None)
    else:
        clip.write_gif(str(path), fps=fps, logger=None)

def _to_yellow_heatmap(frame: np.ndarray, pred_frame: np.ndarray, alpha=0.4):
    img = Image.fromarray((frame * alpha).astype(np.uint8))
    maskR = (pred_frame * (1 - alpha) * 255).astype(np.uint8)
    maskG = (pred_frame * (1 - alpha) * 255).astype(np.uint8)
    maskB = np.zeros_like(maskG, dtype=np.uint8)
    mask = np.stack([maskR, maskG, maskB], axis=-1)
    return img + mask

def _vis_pred_heatmap(data_full: np.ndarray, pred_prob: np.ndarray, display_frame_number):
    n_frames = data_full.shape[0]
    v_frames = []
    for i in range(n_frames):
        frame = data_full[i, ...]
        pred = pred_prob[i, ...]
        hm = _to_yellow_heatmap(frame, pred)
        if display_frame_number:
            hm = _add_frame_number(hm, i)
        v_frames.append(hm)
    return v_frames

def visualize_prediction(data_full: np.ndarray, labels_pr: np.ndarray, save_path: Path, name):
    with open(save_path / f'{name}.txt', mode='w') as f:
        if metrics is not None:
            f.write(f'SiBaTrAcc: {metrics[-1]} \n')
        for i in range(labels_pr.shape[0]):
            f.write(f'frame {i}: {labels_pr[i, 0]}, {labels_pr[i, 1]}, {labels_pr[i, 2]} \n')

    v = _vis_clip(data_full, labels_pr, metrics)
    _save_clip(v, save_path / f'{name}.mp4', fps=fps)

```

```
def visualize_prob(data: np.ndarray, pred_prob: np.ndarray, save_path: Path, name: str, frame_number: int, fps: float):
    v_pred = _vis_pred_heatmap(data, pred_prob, frame_number)
    _save_clip(v_pred, save_path / f'{name}_prob.mp4', fps=fps)
```

▼ Класс DataGenerator

Класс, отвечающий за генерацию данных для обучения модели. Принимает на вход путь к директории с играми, индексы игр, используемые для генерации данных, и размер стопки. Хранит в себе автоматически обновляемый пул с клипами игр.

В пуле содержится pool_s клипов. DataGenerator позволяет генерировать батч из стопок (размера stack_s) последовательных кадров. Выбор клипа для извлечения данных взвешенно-случайный: чем больше длина клипа по сравнению с другими клипами в пуле, тем вероятнее, что именно из него будет сгенерирована стопка кадров. Выбор стопки кадров внутри выбранного клипа полностью случаен. Кадры внутри стопки конкатенируются по последнему измерению (каналам).

После генерирования количества кадров равного общему количеству кадров, хранимых в пуле, происходит автоматическое обновление пула: из пула извлекаются pool_update_s случайных клипов, после чего в пул загружается pool_update_s случайных клипов, не присутствующих в пуле. В случае, если размер пула pool_s больше или равен суммарному количеству клипов в играх, переданных в конструктор, все клипы сразу загружаются в пул, и автообновление не производится.

Использование подобного пула позволяет работать с практически произвольным количеством клипов, без необходимости загружать их всех в оперативную память.

Для вашего удобства функция извлечения стопки кадров из пула помимо самой стопки также создает и возвращает набор сгенерированных масок с мячом исходя из референсных координат мяча в клипе.

Функция random_g принимает гиперпараметр размера стопки кадров и предоставляет генератор, возвращающий стопки кадров и соответствующие им маски. Данный генератор может быть использован при реализации решения на tensorflow. Обновление пула происходит автоматически, об этом беспокоиться не нужно.

```
class DataGenerator:
```

```
    def __init__(self, path: Path, games: List[int], stack_s, downscale, pool_s=30, pool_update_s=10, random_g=True):
        self.path = path
```

```
self.stack_s = stack_s
self.downscale = downscale
self.pool_size = pool_s
self.pool_update_size = pool_update_s
self.pool_autoupdate = pool_autoupdate
self.quiet = quiet
self.data = []
self.masks = []

self.frames_in_pool = 0
self.produced_frames = 0
self.game_clip_pairs = get_game_clip_pairs(path, list(set(games)))
self.game_clip_pairs_loaded = []
self.game_clip_pairs_not_loaded = list.copy(self.game_clip_pairs)
self.pool = {}

self._first_load()

def _first_load(self):
    # --- if all clips can be placed into pool at once, there is no need to refresh pool
    if len(self.game_clip_pairs) <= self.pool_size:
        for gcp in self.game_clip_pairs:
            self._load(gcp)
        self.game_clip_pairs_loaded = list.copy(self.game_clip_pairs)
        self.game_clip_pairs_not_loaded.clear()
        self.pool_autoupdate = False
    else:
        self._load_to_pool(self.pool_size)
    self._update_clip_weights()

def _load(self, game_clip_pair):
    game, clip = game_clip_pair
    data, labels = load_clip(self.path, game, clip, self.downscale, quiet=self.quiet)
    masks = create_masks(data, labels, self.downscale)
    weight = data.shape[0] if data.shape[0] >= self.stack_s else 0
    self.pool[game_clip_pair] = (data, labels, masks, weight)
    self.frames_in_pool += data.shape[0] - self.stack_s + 1
    # print(f'items in pool: {len(self.pool)} - {self.pool.keys()}')

def _remove(self, game_clip_pair):
    value = self.pool.pop(game_clip_pair)
    self.frames_in_pool -= value[0].shape[0] - self.stack_s + 1
    del value
    # print(f'items in pool: {len(self.pool)} - {self.pool.keys()}')

def _update_clip_weights(self):
    weights = [self.pool[pair][-1] for pair in self.game_clip_pairs_loaded]
    tw = sum(weights)
    self.clip_weights = [w / tw for w in weights]
    # print(f'clip weights: {self.clip_weights}')
```

```

def _remove_from_pool(self, n):
    # --- remove n random clips from pool ---
    if len(self.game_clip_pairs_loaded) >= n:
        remove_pairs = random.sample(self.game_clip_pairs_loaded, n)
        for pair in remove_pairs:
            self._remove(pair)
            self.game_clip_pairs_loaded.remove(pair)
            self.game_clip_pairs_not_loaded.append(pair)
        gc.collect()

def _load_to_pool(self, n):
    # --- add n random clips to pool ---
    gc.collect()
    add_pairs = random.sample(self.game_clip_pairs_not_loaded, n)
    for pair in add_pairs:
        self._load(pair)
        self.game_clip_pairs_not_loaded.remove(pair)
        self.game_clip_pairs_loaded.append(pair)

def update_pool(self):
    self._remove_from_pool(self.pool_update_size)
    self._load_to_pool(self.pool_update_size)
    self._update_clip_weights()

def get_random_stack(self):
    pair_idx = np.random.choice(len(self.game_clip_pairs_loaded), 1, p=self.clip_weights)
    game_clip_pair = self.game_clip_pairs_loaded[pair_idx]
    d, _, m, _ = self.pool[game_clip_pair]
    start = np.random.choice(d.shape[0] - self.stack_s, 1)[0]
    frames_stack = d[start : start + self.stack_s, ...]
    frames_stack = np.squeeze(np.split(frames_stack, indices_or_sections=self.stack_s, axis=0))
    frames_stack = np.concatenate(frames_stack, axis=-1)
    mask = m[start + self.stack_s - 1, ...]
    return frames_stack, mask

def get_random_batch(self, batch_s):
    imgs, masks = [], []
    while len(imgs) < batch_s:
        frames_stack, mask = self.get_random_stack()
        imgs.append(frames_stack)
        masks.append(mask)
    if self.pool_autoupdate:
        self.produced_frames += batch_s
        # print(f'produced frames: {self.produced_frames} from {self.frames_in_pool}')
        if self.produced_frames >= self.frames_in_pool:
            self.update_pool()
            self.produced_frames = 0
    return np.stack(imgs), np.stack(masks)

def random_g(self, batch_s):
    while True:

```

```
    imgs_batch, masks_batch = self.get_random_batch(batch_s)
    yield imgs_batch, masks_batch
```

```
from pathlib import Path

for game in [1, 2, 3, 4]:
    game_path = Path(f'/kaggle/input/tennistrackingassignment/train/game{game}')
    print(f"Checking game path: {game_path}, Exists: {game_path.exists()}")
```

→ Checking game path: /kaggle/input/tennistrackingassignment/train/game1, Exists: False
 Checking game path: /kaggle/input/tennistrackingassignment/train/game2, Exists: False
 Checking game path: /kaggle/input/tennistrackingassignment/train/game3, Exists: False
 Checking game path: /kaggle/input/tennistrackingassignment/train/game4, Exists: False

▼ Пример использования DataGenerator

Рекомендованный размер пула pool_s=10 в случае использования уменьшенных вдвое изображений. При большем размере пула есть большая вероятность нехватки имеющихся 13G оперативной памяти. Используйте параметр quiet=True в конструкторе DataGenerator, если хотите скрыть все сообщения о чтении данных и обновлении пула.

```
stack_s = 3
batch_s = 4
train_gen = DataGenerator(Path('../input/train/'), [1, 2, 3, 4], stack_s=stack_s, downscale=
for i in range(10):
    imgs, masks = train_gen.get_random_batch(batch_s)
    print(imgs.shape, imgs.dtype, masks.shape, masks.dtype)
```

→ loading clip data (game 1, clip 6) downscaled
 loading clip labels (game 1, clip 6)
 loading clip data (game 3, clip 5) downscaled
 loading clip labels (game 3, clip 5)
 loading clip data (game 4, clip 5) downscaled
 loading clip labels (game 4, clip 5)
 loading clip data (game 3, clip 3) downscaled
 loading clip labels (game 3, clip 3)
 loading clip data (game 4, clip 12) downscaled
 loading clip labels (game 4, clip 12)
 loading clip data (game 2, clip 8) downscaled
 loading clip labels (game 2, clip 8)
 loading clip data (game 1, clip 4) downscaled
 loading clip labels (game 1, clip 4)
 loading clip data (game 3, clip 6) downscaled
 loading clip labels (game 3, clip 6)
 loading clip data (game 3, clip 1) downscaled

```
loading clip labels (game 3, clip 1)
loading clip data (game 3, clip 7) downscaled
loading clip labels (game 3, clip 7)
(4, 360, 640, 9) uint8 (4, 360, 640) float32
(4, 360, 640, 9) uint8 (4, 360, 640) float32
(4, 360, 640, 9) uint8 (4, 360, 640) float32
(4, 360, 640, 9) uint8 (4, 360, 640) float32
(4, 360, 640, 9) uint8 (4, 360, 640) float32
(4, 360, 640, 9) uint8 (4, 360, 640) float32
(4, 360, 640, 9) uint8 (4, 360, 640) float32
(4, 360, 640, 9) uint8 (4, 360, 640) float32
(4, 360, 640, 9) uint8 (4, 360, 640) float32
(4, 360, 640, 9) uint8 (4, 360, 640) float32
```

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
stack_s = 3
train_gen = DataGenerator(Path('../input/train/'), [1], stack_s=stack_s, downscale=True, poc
stack, mask = train_gen.get_random_stack()
print(stack.shape, mask.shape)

for i in range(stack_s):
    plt.figure()
    plt.imshow(stack[:, :, 3 * i: 3 * i + 3])
```

```
→ loading clip data (game 1, clip 13) downsampled
loading clip labels (game 1, clip 13)
loading clip data (game 1, clip 10) downsampled
loading clip labels (game 1, clip 10)
loading clip data (game 1, clip 8) downsampled
loading clip labels (game 1, clip 8)
loading clip data (game 1, clip 5) downsampled
loading clip labels (game 1, clip 5)
loading clip data (game 1, clip 9) downsampled
loading clip labels (game 1, clip 9)
loading clip data (game 1, clip 1) downsampled
loading clip labels (game 1, clip 1)
loading clip data (game 1, clip 11) downsampled
loading clip labels (game 1, clip 11)
loading clip data (game 1, clip 12) downsampled
loading clip labels (game 1, clip 12)
loading clip data (game 1, clip 7) downsampled
loading clip labels (game 1, clip 7)
loading clip data (game 1, clip 4) downsampled
loading clip labels (game 1, clip 4)
(360, 640, 9) (360, 640)
```





▼ Класс Metrics

Класс для вычисления метрики качества трекинга SiBaTrAcc. Функция evaluate_predictions принимает массив из референсных и предсказанных координат мяча для клипа и возвращает массив аккумулированных значений SiBaTrAcc (может быть полезно для визуализации результатов предсказания) и итоговое значение метрики SiBaTrAcc.

```
class Metrics:
```

```
@staticmethod
def position_error(label_gt: np.ndarray, label_pr: np.ndarray, step=8, alpha=1.5, e1=5,
# gt codes:
# 0 - the ball is not within the image
# 1 - the ball can easily be identified
# 2 - the ball is in the frame, but is not easy to identify
# 3 - the ball is occluded
if label_gt[0] != 0 and label_pr[0] == 0:
    return e1
if label_gt[0] == 0 and label_pr[0] != 0:
    return e2
dist = math.sqrt((label_gt[1] - label_pr[1]) ** 2 + (label_gt[2] - label_pr[2]) ** 2)
pe = math.floor(dist / step) ** alpha
pe = min(pe, 5)
return pe
```

```
@staticmethod
```

```

def evaluate_predictions(labels_gt, labels_pr) -> Tuple[List[float], float]:
    pe = [Metrics.position_error(labels_gt[i, ...], labels_pr[i, ...]) for i in range(len(labels_gt))]
    SIBATRACC = []
    for i, _ in enumerate(pe):
        SIBATRACC.append(1 - sum(pe[:i + 1]) / ((i + 1) * 5))
    SIBATRACC_total = 1 - sum(pe) / (len(labels_gt) * 5)
    return SIBATRACC, SIBATRACC_total

def IoU(y_true, y_pred):
    y_true_fl = K.flatten(y_true)
    y_pred_fl = K.flatten(y_pred)
    intersection = K.sum(y_true_fl * y_pred_fl)
    union = K.sum(y_true_fl + y_pred_fl) - intersection
    return intersection / union

def IoU_loss(y_true, y_pred):
    return 1 - IoU(y_true, y_pred)

```

▼ Основной класс модели SuperTrackingModel

Реализует всю логику обучения, сохранения, загрузки и тестирования разработанной модели трекинга. Этот класс можно и нужно расширять.

В качестве примера вам предлагается заготовка модели, в которой трекинг осуществляется за счет предсказания маски по входному батчу и последующему предсказанию координат мяча по полученной маски. В данном варианте вызов функции предсказания координат по клипу (predict) повлечет за собой разбиение клипа на батчи, вызов предсказания маски для каждого батча, склеивание результатов в последовательность масок, вызов функции по вычислению координат мяча по маскам и возвращения результата. Описанные действия уже реализованы, вам остается только написать функции predict_on_batch и get_labels_from_prediction. Эта же функция predict используется и в вызове функции test, дополнительно вычисляя метрику качества трекинга и при необходимости визуализируя результат тестирования. Обратите внимание, что в результирующем патчру массиве с координатами помимо значений x и y первым значением в каждой строке должно идти значение code (0, если мяча в кадре нет и > 0, если мяч в кадре есть) для корректного вычисления качества трекинга.

Вам разрешается менять логику работы класса модели, (например, если решение не подразумевает использование масок), но при этом логика и работа функций load и test должна оставаться неизменной!

```

class SuperTrackingModel:

    def __init__(self, batch_s, stack_s, out_path, downscale):
        self.batch_s = batch_s

```

```
self.stack_s = stack_s
self.out_path = out_path
self.downscale = downscale
self.model = self.UNet()

def load(self):
    print('Running stub for loading model ...')
    #id = '1el6uwAe43q4pnZeDHTuTsj0Jy565P23N'
    id = '1kvRpkgUt-2qaU_ruOkHCRUoBME9Dmr22'
    url = f'https://drive.google.com/uc?id={id}'
    output = 'loaded_weights.weights.h5'
    gdown.download(url, output, quiet=False)
    self.model.load_weights("/kaggle/working/loaded_weights.weights.h5")
    print('Loading model done.')

def predict_on_batch(self, batch: np.ndarray) -> np.ndarray:
    predictions = self.model.predict(batch)
    return predictions.reshape(self.batch_s, 360, 640)

def _predict_prob_on_clip(self, clip: np.ndarray) -> np.ndarray:
    print('doing predictions')
    n_frames = clip.shape[0]
    # --- get stacks ---
    stacks = []
    for i in range(n_frames - self.stack_s + 1):
        stack = clip[i : i + self.stack_s, ...]
        stack = np.squeeze(np.split(stack, self.stack_s, axis=0))
        stack = np.concatenate(stack, axis=-1)
        stacks.append(stack)
    # --- round to batch size ---
    add_stacks = 0
    while len(stacks) % self.batch_s != 0:
        stacks.append(stacks[-1])
        add_stacks += 1
    # --- group into batches ---
    batches = []
    for i in range(len(stacks) // self.batch_s):
        batch = np.stack(stacks[i * self.batch_s : (i + 1) * self.batch_s])
        batches.append(batch)
    stacks.clear()
    # --- perform predictions ---
    predictions = []
    for batch in batches:
        pred = np.squeeze(self.predict_on_batch(batch))
        predictions.append(pred)
    # --- crop back to source length ---
    predictions = np.concatenate(predictions, axis=0)
    if (add_stacks > 0):
        predictions = predictions[:-add_stacks, ...]
    batches.clear()
    # --- add (stack_s - 1) null frames at the begining ---
```

```

start_frames = np.zeros((stack_s - 1, predictions.shape[1], predictions.shape[2]), c
predictions = np.concatenate((start_frames, predictions), axis=0)
print('predictions are made')
return predictions

def get_labels_from_prediction(self, pred_prob: np.ndarray, upscale_coords: bool) -> np.
n_frames = pred_prob.shape[0]
coords = np.zeros([n_frames, 3])
for i in range(n_frames):
    mask = pred_prob[i]
    x, y = mask.sum(axis=0).argmax(), mask.sum(axis=1).argmax()
    ball_h, ball_w = mask.sum(axis=0).max(), mask.sum(axis=1).max()
    code = 0 if (ball_h < 5) or (ball_w < 5) else 1
    if upscale_coords:
        x, y = x * 2, y * 2
    coords[i] = [code, x, y]
return coords

def postprocess_labels(self, labels):
    index_x, index_y = [0], [0]
    x, y = [labels[0][1]], [labels[0][2]]
    for i in range(1, len(labels)-1):
        if labels[i][0] == 0 and labels[i-1][0] == 1 and labels[i+1][0] == 1:
            labels[i][0] = 1
        if labels[i][0] == 1:
            if abs(labels[i][1] - labels[i-1][1]) < 50 or abs(labels[i][1] - labels[i+1]
                index_x.append(i)
                x.append(labels[i][1])
            if abs(labels[i][2] - labels[i-1][2]) < 50 or abs(labels[i][2] - labels[i+1]
                index_y.append(i)
                y.append(labels[i][2])
    index_x.append(len(labels)-1)
    index_y.append(len(labels)-1)
    x.append(labels[len(labels)-1][1])
    y.append(labels[len(labels)-1][2])
    x = interp1d(index_x, x)
    y = interp1d(index_y, y)
    index_x = list(filter(lambda x: x not in index_x, list(range(len(labels)))))
    index_y = list(filter(lambda y: y not in index_y, list(range(len(labels)))))
    for i in index_x:
        labels[i][1] = float(int(x(i)))
    for i in index_y:
        labels[i][2] = float(int(y(i)))
    return labels

def predict(self, clip: np.ndarray, upscale_coords=True) -> np.ndarray:
    prob_pr = self._predict_prob_on_clip(clip)
    labels_pr = self.get_labels_from_prediction(prob_pr, upscale_coords)
    labels = self.postprocess_labels(labels_pr)
    return labels, prob_pr

```

```

def test(self, data_path: Path, games: List[int], do_visualization=False, test_name='test'):
    game_clip_pairs = get_game_clip_pairs(data_path, games)
    SIBATRACC_vals = []
    for game, clip in game_clip_pairs:
        data = load_clip_data(data_path, game, clip, downscale=self.downscale)
        if do_visualization:
            data_full = load_clip_data(data_path, game, clip, downscale=False) if self.downscale else data
            labels_gt = load_clip_labels(data_path, game, clip, downscale=False)
            labels_pr, prob_pr = self.predict(data)
            SIBATRACC_per_frame, SIBATRACC_total = Metrics.evaluate_predictions(labels_gt, labels_pr)
            SIBATRACC_vals.append(SIBATRACC_total)
        if do_visualization:
            visualize_prediction(data_full, labels_pr, self.out_path, f'{test_name}_g{game}_c{clip}')
            visualize_prob(data, prob_pr, self.out_path, f'{test_name}_g{game}_c{clip}')
            del data_full
        del data, labels_gt, labels_pr, prob_pr
        gc.collect()
    SIBATRACC_final = sum(SIBATRACC_vals) / len(SIBATRACC_vals)
    return SIBATRACC_final

def UNet(self):
    def double_conv_block(x, n_filters):
        conv = layers.Conv2D(n_filters, (3, 3), activation = "relu", padding = "same", kernel_initializer="he_normal")
        conv = layers.BatchNormalization()(conv)
        conv = layers.Conv2D(n_filters, (3, 3), activation = "relu", padding = "same", kernel_initializer="he_normal")
        conv = layers.BatchNormalization()(conv)
        return conv

    def downsample_block(x, n_filters):
        conv = double_conv_block(x, n_filters)
        pool = layers.MaxPooling2D((2, 2))(conv)
        pool = layers.Dropout(0.5)(pool)
        return conv, pool

    def upsample_block(x, conv, n_filters_transpose, n_filters_conv):
        up = layers.Conv2DTranspose(n_filters_transpose, (3, 3), strides=(2, 2), padding="same", kernel_initializer="he_normal")
        up = layers.concatenate([up, conv])
        up = layers.Dropout(0.5)(up)
        conv = double_conv_block(up, n_filters_conv)
        return conv

    inputs = keras.Input(shape=(360, 640, 15))

    conv1, pool1 = downsample_block(inputs, 32)
    conv2, pool2 = downsample_block(pool1, 64)
    conv3, pool3 = downsample_block(pool2, 64)

    bottleneck4 = double_conv_block(pool3, 128)

    up5 = upsample_block(bottleneck4, conv3, 32, 64)
    up6 = upsample_block(up5, conv2, 16, 64)

```

```

up7 = upsample_block(up6, conv1, 8, 32)

outputs = layers.Conv2D(1, (1, 1), activation='sigmoid')(up7)

return keras.Model(inputs=[inputs], outputs=[outputs])

def train(self, train, val):
    print('Running stub for training model...')
    self.model.compile(Adam(learning_rate=4e-4), loss=IoU_loss, metrics=[IoU])
    file_path_best = "/kaggle/working/model_best.weights.h5"

    # LBL3
    # Автоматическое сохранение модели в процессе обучения
    modelcheckpoint_best = keras.callbacks.ModelCheckpoint(file_path_best,
                                                            monitor='val_loss',
                                                            mode='auto',
                                                            verbose=1,
                                                            save_best_only=True,
                                                            save_weights_only=True)

    # LBL1
    # Валидация модели на части выборки
    self.history = self.model.fit(train(self.batch_s),
                                   steps_per_epoch=150,
                                   epochs=50,
                                   callbacks=[modelcheckpoint_best],
                                   validation_data=val(self.batch_s),
                                   validation_steps=50)
    print('training done.')

def plots(self):
    plt.figure(figsize=(15,5))
    plt.plot(self.history.history['loss'])
    plt.plot(self.history.history['val_loss'])
    plt.title('Training and Validation Loss')
    plt.xlabel('Epochs')
    plt.ylabel('Loss')
    plt.legend(['Train', 'Val'])

```

Пример пайплайна для обучения модели:

```

import warnings
warnings.filterwarnings("ignore")

batch_s = 4
stack_s = 5
downscale = True

```

```
output_path = prepare_experiment(Path('/kaggle/working'))\n\nmodel = SuperTrackingModel(batch_s, stack_s, out_path=output_path, downscale=downscale)\n\ntrain_gen = DataGenerator(Path('../input/train/'), [1, 2, 3, 4, 5, 6], stack_s=stack_s, downscale=downscale)\nval_gen = DataGenerator(Path('../input/test/'), [1, 2], stack_s=stack_s, downscale=True, poc=True)\n\n# LBL5\n# Вывод различных показателей в процессе обучения\n\nmodel.train(train_gen.random_g, val_gen.random_g)
```



```

Epoch 43: val_loss did not improve from 0.64869
150/150 33s 220ms/step - io_u: 0.3842 - loss: 0.6425 - val_io_u:
Epoch 44/50
150/150 0s 204ms/step - io_u: 0.3852 - loss: 0.6411
Epoch 44: val_loss did not improve from 0.64869
150/150 33s 222ms/step - io_u: 0.3851 - loss: 0.6411 - val_io_u:
Epoch 45/50
150/150 0s 202ms/step - io_u: 0.3666 - loss: 0.6594
Epoch 45: val_loss improved from 0.64869 to 0.62425, saving model to /kaggle/working/
150/150 33s 223ms/step - io_u: 0.3667 - loss: 0.6593 - val_io_u:
Epoch 46/50
150/150 0s 202ms/step - io_u: 0.3822 - loss: 0.6437
Epoch 46: val_loss did not improve from 0.62425
150/150 33s 219ms/step - io_u: 0.3822 - loss: 0.6437 - val_io_u:

```

Пример пайплайна для тестирования обученной модели:

```

output_path = prepare_experiment(Path('/kaggle/working'))
new_model = SuperTrackingModel(batch_s, stack_s, out_path=output_path, downscale=downscale)
new_model.load() # ЗАГРУЗКА ВЕСОВ ИЗ ОБЛАКА
sibatracc_final = new_model.test(Path('../input/test/'), [1,2], do_visualization=False, test
print(f'SiBaTrAcc final value: {sibatracc_final}')

```

→ Running stub for loading model ...
 Downloading...
 From: https://drive.google.com/uc?id=1kvRpkgUt-2qaU_ru0kHCRUoBME9Dmr22
 To: /kaggle/working/loaded_weights.weights.h5
 100%|██████████| 7.53M/7.53M [00:00<00:00, 33.5MB/s]
 Loading model done.
 loading clip data (game 1, clip 1) downscaled
 loading clip labels (game 1, clip 1)
 doing predictions
1/1 1s 710ms/step
1/1 0s 26ms/step
1/1 0s 24ms/step
1/1 0s 28ms/step
1/1 0s 24ms/step
1/1 0s 33ms/step
1/1 0s 24ms/step
1/1 0s 25ms/step
1/1 0s 24ms/step
1/1 0s 24ms/step
1/1 0s 24ms/step
1/1 0s 26ms/step
1/1 0s 24ms/step

```
1/1 ━━━━━━━━ 0s 24ms/step  
1/1 ━━━━━━━━ 0s 25ms/step  
1/1 ━━━━━━━━ 0s 24ms/step  
1/1 ━━━━━━━━ 0s 25ms/step  
1/1 ━━━━━━━━ 0s 26ms/step  
1/1 ━━━━━━━━ 0s 25ms/step  
1/1 ━━━━━━━━ 0s 24ms/step  
1/1 ━━━━━━━━ 0s 24ms/step  
1/1 ━━━━━━━━ 0s 25ms/step  
1/1 ━━━━━━━━ 0s 24ms/step  
1/1 ━━━━━━━━ 0s 25ms/step  
1/1 ━━━━━━━━ 0s 24ms/step  
1/1 ━━━━━━━━ 0s 24ms/step  
1/1 ━━━━━━━━ 0s 25ms/step  
1/1 ━━━━━━━━ 0s 24ms/step  
1/1 ━━━━━━━━ 0s 25ms/step  
1/1 ━━━━━━━━ 0s 24ms/step  
1/1 ━................................................................ 24ms/step
```

▼ Итоговое значение SiBaTrAcc final value: 0.8124761229059811

Во время самостоятельного тестирования попробуйте хотя бы раз сделать тестирование с визуализацией (do_visualization=True), чтобы визуально оценить качество трекинга разработанной моделью.

Загрузка модели через функцию load должна происходить полностью автоматически без каких-либо действий со стороны пользователя! Один из вариантов подобной реализации с использованием google drive и пакета gdown приведен в разделе с дополнениями.

▼ Дополнения

Иногда при записи большого количества файлов в output директорию kaggle может "тупить" и не отображать корректно структуру дерева файлов в output и не показывать кнопки для скачивания выбранного файла. В этом случае удобно будет запаковать директорию с экспериментом и выкачать ее вручную. Пример для выкачивания директории с первым экспериментом приведен ниже:

```
%cd /kaggle/working/  
!zip -r "exp_1.zip" "exp_1"  
from IPython.display import FileLink  
FileLink(r'exp_1.zip')
```

удалить лишние директории или файлы в output тоже легко:

```
!rm -r /kaggle/working/exp_1
```

Для реализации загрузки данных рекомендуется использовать облачное хранилище google drive и пакет gdown для скачивания файлов. Пример подобного использования приведен ниже:

1. загружаем файл в google drive (в данном случае, это npz архив, содержащий один питчу массив по ключу 'w')
2. в интерфейсе google drive открываем доступ на чтение к файлу по ссылке и извлекаем из ссылки id файла
3. формируем url для скачивания файла
4. с помощью gdown скачиваем файл
5. распаковываем npz архив и пользуемся питчу массивом

Обратите внимание, что для корректной работы нужно правильно определить id файла. В частности, в ссылке https://drive.google.com/file/d/1kZ8CC-zfkB_TlwtBjuPcEfsPV0Jz7IPA/view?usp=sharing id файла заключен между ...d/ b /view?... и равен 1kZ8CC-zfkB_TlwtBjuPcEfsPV0Jz7IPA