



**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)**

Курс «Методы машинного обучения»

Отчет по лабораторной работе №6:
«Обучение на основе глубоких Q-сетей»

Выполнила:
студентка группы ИУ5-24М
Мащенко Е. И.

Проверил:
Балашов А.М.

Цель работы

Ознакомление с базовыми методами обучения с подкреплением на основе глубоких Q-сетей.

Задание

На основе рассмотренных на лекции примеров реализуйте алгоритм DQN.

В качестве среды можно использовать классические среды (в этом случае используется полносвязная архитектура нейронной сети).

В качестве среды можно использовать игры Atari (в этом случае используется сверточная архитектура нейронной сети).

В случае реализации среды на основе сверточной архитектуры нейронной сети +1 балл за экзамен.

Выполнение работы

Для реализации алгоритма DQN была выбрана среда обучения с подкреплением Acrobot из библиотеки Gym.

Среда Acrobot состоит из двух звеньев, соединенных в цепь, один конец которой закреплен. Соединение между двумя звеньями приводится в действие. Цель состоит в том, чтобы приложить крутящий момент к приводимому в действие шарниру, чтобы поднять свободный конец цепи выше заданной высоты, начиная с исходного состояния:



Пространство действий представляет собой крутящий момент, приложенный к приводимому в действие соединению между двумя звеньями:

Num	Action	Unit
0	apply -1 torque to the actuated joint	torque (N m)
1	apply 0 torque to the actuated joint	torque (N m)
2	apply 1 torque to the actuated joint	torque (N m)

Пространство состояний представляет собой матрицу ndarray (6,), которая предоставляет информацию о двух углах соединения при вращении, а также об их угловых скоростях:

Num	Observation	Min	Max
0	Cosine of <code>theta1</code>	-1	1
1	Sine of <code>theta1</code>	-1	1
2	Cosine of <code>theta2</code>	-1	1
3	Sine of <code>theta2</code>	-1	1
4	Angular velocity of <code>theta1</code>	$\sim -12.567 (-4 * \pi)$	$\sim 12.567 (4 * \pi)$
5	Angular velocity of <code>theta2</code>	$\sim -28.274 (-9 * \pi)$	$\sim 28.274 (9 * \pi)$

Лабораторная работа №6

```
B [1]: ! pip install gymnasium
! pip install torch

Requirement already satisfied: gymnasium in c:\users\user\anaconda3\lib\site-packages (0.28.1)
Requirement already satisfied: typing-extensions>=4.3.0 in c:\users\user\anaconda3\lib\site-packages (from gymnasium) (4.6.3)
Requirement already satisfied: farama-notifications>=0.0.1 in c:\users\user\anaconda3\lib\site-packages (from gymnasium) (0.0.4)
Requirement already satisfied: cloudpickle>=1.2.0 in c:\users\user\anaconda3\lib\site-packages (from gymnasium) (1.6.0)
Requirement already satisfied: numpy>=1.21.0 in c:\users\user\anaconda3\lib\site-packages (from gymnasium) (1.24.3)
Requirement already satisfied: jax-jumpy>=1.0.0 in c:\users\user\anaconda3\lib\site-packages (from gymnasium) (1.0.0)
Requirement already satisfied: importlib-metadata>=4.8.0; python_version < "3.10" in c:\users\user\anaconda3\lib\site-packages (from gymnasium) (6.6.0)
Requirement already satisfied: zipp>=0.5 in c:\users\user\anaconda3\lib\site-packages (from importlib-metadata>=4.8.0; python_version < "3.10"->gymnasium) (3.4.0)
Collecting torch
  Using cached torch-2.0.1-cp38-cp38-win_amd64.whl (172.4 MB)
Requirement already satisfied: typing-extensions in c:\users\user\anaconda3\lib\site-packages (from torch) (4.6.3)
Requirement already satisfied: Jinja2 in c:\users\user\anaconda3\lib\site-packages (from torch) (2.11.2)
Requirement already satisfied: sympy in c:\users\user\anaconda3\lib\site-packages (from torch) (1.6.2)
Requirement already satisfied: filelock in c:\users\user\anaconda3\lib\site-packages (from torch) (3.0.12)
Requirement already satisfied: networkx in c:\users\user\anaconda3\lib\site-packages (from torch) (2.5)
Requirement already satisfied: MarkupSafe>=0.23 in c:\users\user\anaconda3\lib\site-packages (from Jinja2->torch) (1.1.1)
Requirement already satisfied: mpmath>=0.19 in c:\users\user\anaconda3\lib\site-packages (from sympy->torch) (1.1.0)
Requirement already satisfied: decorator>=4.3.0 in c:\users\user\anaconda3\lib\site-packages (from networkx->torch) (4.4.2)
Installing collected packages: torch
Successfully installed torch-2.0.1

B [2]: import gymnasium as gym
import math
import random
import matplotlib
import matplotlib.pyplot as plt
from collections import namedtuple, deque
from itertools import count

import torch
import torch.nn as nn
import torch.optim as optim
import torch.nn.functional as F

B [3]: # Название среды
CONST_ENV_NAME = 'Acrobot-v1'
# Использование GPU
CONST_DEVICE = torch.device("cuda" if torch.cuda.is_available() else "cpu")

# Элемент ReplayMemory в форме именованного кортежа
Transition = namedtuple('Transition',
                        ('state', 'action', 'next_state', 'reward'))

B [4]: Реализация техники Replay Memory
class ReplayMemory(object):

    def __init__(self, capacity):
        self.memory = deque([], maxlen=capacity)

    def push(self, *args):
        """
        Сохранение данных в ReplayMemory
        """
        self.memory.append(Transition(*args))

    def sample(self, batch_size):
        """
        Выборка случайных элементов размера batch_size
        """
        return random.sample(self.memory, batch_size)

    def __len__(self):
        return len(self.memory)

class DQN_Model(nn.Module):

    def __init__(self, n_observations, n_actions):
        """
        Инициализация топологии нейронной сети
        """
        super(DQN_Model, self).__init__()
        self.layer1 = nn.Linear(n_observations, 128)
        self.layer2 = nn.Linear(128, 128)
        self.layer3 = nn.Linear(128, n_actions)
```

```

def forward(self, x):
    """
    Прямой проход
    Вызывается для одного элемента, чтобы определить следующее действие
    Или для batch'a во время процедуры оптимизации
    """
    x = F.relu(self.layer1(x))
    x = F.relu(self.layer2(x))
    return self.layer3(x)

class DQN_Agent:

    def __init__(self, env,
                  BATCH_SIZE = 128,
                  GAMMA = 0.99,
                  EPS_START = 0.9,
                  EPS_END = 0.05,
                  EPS_DECAY = 1000,
                  TAU = 0.005,
                  LR = 1e-4
                  ):
        # Среда
        self.env = env
        # Размерности Q-модели
        self.n_actions = env.action_space.n
        state, _ = self.env.reset()
        self.n_observations = len(state)
        # Коэффициенты
        self.BATCH_SIZE = BATCH_SIZE
        self.GAMMA = GAMMA
        self.EPS_START = EPS_START
        self.EPS_END = EPS_END
        self.EPS_DECAY = EPS_DECAY
        self.TAU = TAU
        self.LR = LR
        # Модели
        # Основная модель
        self.policy_net = DQN_Model(self.n_observations, self.n_actions).to(CONST_DEVICE)
        # Вспомогательная модель, используется для стабилизации алгоритма
        # Обновление контролируется гиперпараметром TAU
        # Используется подход Double DQN
        self.target_net = DQN_Model(self.n_observations, self.n_actions).to(CONST_DEVICE)
        self.target_net.load_state_dict(self.policy_net.state_dict())
        # Оптимизатор
        self.optimizer = optim.AdamW(self.policy_net.parameters(), lr=self.LR, amsgrad=True)
        # Replay Memory
        self.memory = ReplayMemory(10000)
        # Количество шагов
        self.steps_done = 0
        # Длительность эпизодов
        self.episode_durations = []

```

```

def select_action(self, state):
    """
    Выбор действия
    """
    sample = random.random()
    eps = self.EPS_END + (self.EPS_START - self.EPS_END) * \
        math.exp(-1. * self.steps_done / self.EPS_DECAY)
    self.steps_done += 1
    if sample > eps:
        with torch.no_grad():
            # Если вероятность больше eps
            # то выбирается действие, соответствующее максимальному Q-значению
            # t.max(1) возвращает максимальное значение колонки для каждой строки
            # [1] возвращает индекс максимального элемента
            return self.policy_net(state).max(1)[1].view(1, 1)
    else:
        # Если вероятность меньше eps
        # то выбирается случайное действие
        return torch.tensor([self.env.action_space.sample()], device=CONST_DEVICE, dtype=torch.long)

def plot_durations(self, show_result=False):
    plt.figure(1)
    durations_t = torch.tensor(self.episode_durations, dtype=torch.float)
    if show_result:
        plt.title('Результат')
    else:
        plt.clf()
        plt.title('Обучение...')
    plt.xlabel('Эпизод')
    plt.ylabel('Количество шагов в эпизоде')
    plt.plot(durations_t.numpy())
    plt.pause(0.001) # пауза

```

```

def optimize_model(self):
    """
    Оптимизация модели
    """
    if len(self.memory) < self.BATCH_SIZE:
        return
    transitions = self.memory.sample(self.BATCH_SIZE)
    # Транспонирование batch'a
    # (https://stackoverflow.com/a/19343/3343043)
    # Конвертация batch-массива из Transition
    # в Transition batch-массивов.
    batch = Transition(*zip(*transitions))

    # Вычисление маски нефинальных состояний и конкатенация элементов batch'a
    non_final_mask = torch.tensor(tuple(map(lambda s: s is not None,
                                             batch.next_state)), device=CONST_DEVICE, dtype=torch.bool)
    non_final_next_states = torch.cat([s for s in batch.next_state
                                       if s is not None])

    state_batch = torch.cat(batch.state)
    action_batch = torch.cat(batch.action)
    reward_batch = torch.cat(batch.reward)

    # Вычисление Q(s_t, a)
    state_action_values = self.policy_net(state_batch).gather(1, action_batch)

    # Вычисление V(s_{t+1}) для всех следующих состояний
    next_state_values = torch.zeros(self.BATCH_SIZE, device=CONST_DEVICE)
    with torch.no_grad():
        next_state_values[non_final_mask] = self.target_net(non_final_next_states).max(1)[0]
    # Вычисление ожидаемых значений Q
    expected_state_action_values = (next_state_values * self.GAMMA) + reward_batch

    # Вычисление Huber Loss
    criterion = nn.SmoothL1Loss()
    loss = criterion(state_action_values, expected_state_action_values.unsqueeze(1))

    # Оптимизация модели
    self.optimizer.zero_grad()
    loss.backward()
    # gradient clipping
    torch.nn.utils.clip_grad_value_(self.policy_net.parameters(), 100)
    self.optimizer.step()

def play_agent(self):
    """
    Проигрывание сессии для обученного агента
    """
    env2 = gym.make(CONST_ENV_NAME, render_mode='human')
    state = env2.reset()[0]
    state = torch.tensor(state, dtype=torch.float32, device=CONST_DEVICE).unsqueeze(0)
    done = False
    res = []
    while not done:
        action = self.select_action(state)
        action = action.item()
        observation, reward, terminated, truncated, _ = env2.step(action)
        env2.render()

        res.append((action, reward))

        if terminated:
            next_state = None
        else:
            next_state = torch.tensor(observation, dtype=torch.float32, device=CONST_DEVICE).unsqueeze(0)

        state = next_state
        if terminated or truncated:
            done = True

    print('Данные об эпизоде: ', res)

```

```

def learn(self):
    """
    Обучение агента
    """
    if torch.cuda.is_available():
        num_episodes = 600
    else:
        num_episodes = 50

    for i_episode in range(num_episodes):
        # Инициализация среды
        state, info = self.env.reset()
        state = torch.tensor(state, dtype=torch.float32, device=CONST_DEVICE).unsqueeze(0)
        for t in count():
            action = self.select_action(state)
            observation, reward, terminated, truncated, _ = self.env.step(action.item())
            reward = torch.tensor([reward], device=CONST_DEVICE)

            done = terminated or truncated
            if terminated:
                next_state = None
            else:
                next_state = torch.tensor(observation, dtype=torch.float32, device=CONST_DEVICE).unsqueeze(0)

            # Сохранение данных в Replay Memory
            self.memory.push(state, action, next_state, reward)

            # Переход к следующему состоянию
            state = next_state

            # Выполнение одного шага оптимизации модели
            self.optimize_model()

            # Обновление весов target-сети
            #  $\theta' \leftarrow \tau \theta + (1 - \tau) \theta'$ 
            target_net_state_dict = self.target_net.state_dict()
            policy_net_state_dict = self.policy_net.state_dict()
            for key in policy_net_state_dict:
                target_net_state_dict[key] = policy_net_state_dict[key]*self.TAU + target_net_state_dict[key]*(1-self.TAU)
            self.target_net.load_state_dict(target_net_state_dict)

            if done:
                self.episode_durations.append(t + 1)
                self.plot_durations()
                break

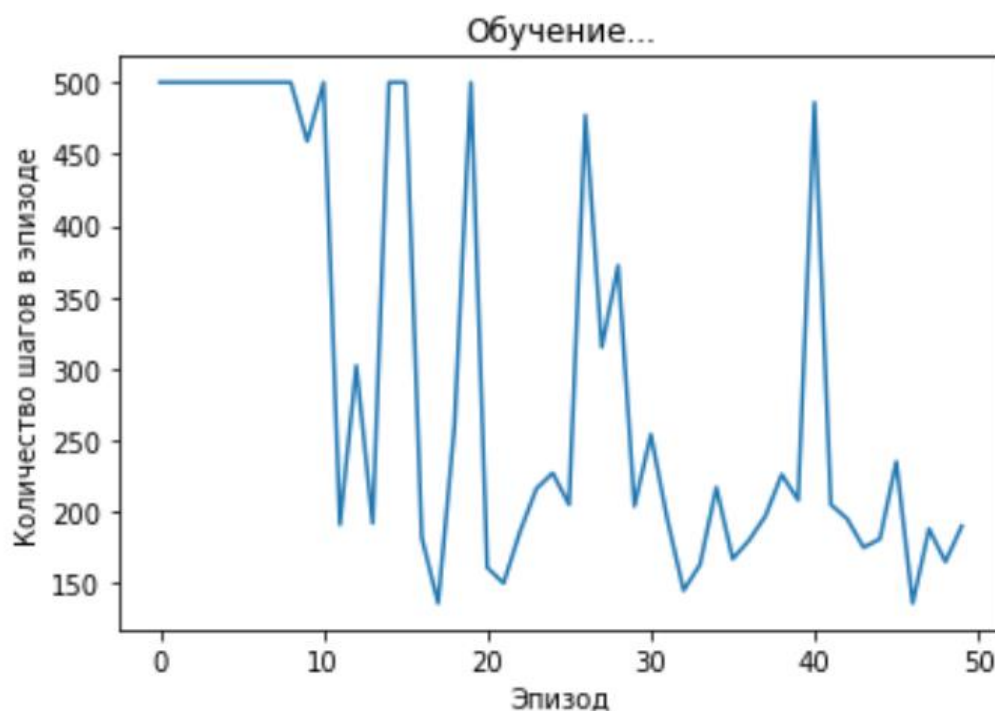
```

B [5]: `pip install pygame`

Requirement already satisfied: pygame in c:\users\user\anaconda3\lib\site-packages (2.4.0)

B [6]: `env = gym.make(CONST_ENV_NAME)`
`agent = DQN_Agent(env)`
`agent.learn()`
`agent.play_agent()`

Шаги по эпизодам:



Данные об эпизоде в формате (действие, награда):

[illegible]

Пример движения агента:

 pygame window