

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)

ФАКУЛЬТЕТ	Информатика и системы управления и искусственный интеллект
КАФЕДРА	Системы обработки информации и управления

Лабораторная работа №4

По курсу

«Методы машинного обучения»

«Алгоритм Policy Iteration»

Студент	Костарев А. П.	
•	подпись, дата	фамилия, и .о.
Преподаватель		Гапанюк Ю. Е.
•	подпись, дата	-

Цель работы: ознакомление с базовыми методами обучения с подкреплением.

Задание

На основе рассмотренного на лекции примера реализуйте алгоритм Policy Iteration для любой среды обучения с подкреплением (кроме рассмотренной на лекции среды Toy Text / Frozen Lake) из библиотеки Gym (или аналогичной библиотеки).

Выполнение задания

Описание среды

Возьмём из библиотеки Gym среду Taxi-v3: https://www.gymlibrary.dev/environments/toy_text/taxi/

Задача представляет собой задачу о такси из книги Тома Диттериха "Обучение с иерархическим подкреплением с помощью декомпозиции функции MAXQ Value".

На карте есть 4 определенных места, обозначенных R(ed), G(reen), Y(ellow) и B(lue). Когда начинается поездка, такси выезжает из случайного квадрата, а пассажир оказывается в случайном месте. Такси подъезжает к месту нахождения пассажира, забирает его, отвозит в пункт назначения (другое из 4 указанных мест), а затем высаживает пассажира. Как только пассажир высажен, поездка заканчивается.

Есть 500 состояний:

- карта размером 5х5;
- 4 локации;
- 5 состояний пассажира (4 выхода и в такси).

Есть 6 действий:

- 0: двигаться на юг;
- 1: двигаться на север;
- 2: двигаться на запад;
- 3: двигаться на восток;
- 4: посадить пассажира;
- 5: высадить пассажира.

Существует 400 состояний, до которых можно добраться во время поездки. Пропущенные состояния соответствуют ситуациям, в которых пассажир находится в том же месте, что и пункт назначения, поскольку это

обычно сигнализирует об окончании поездки. 4 дополнительных состояния можно наблюдать сразу после успешного завершения поездки, когда и пассажир, и такси находятся в пункте назначения. Всего получается 404 доступных дискретных состояния.

Каждое пространство состояний представлено кортежем: (taxi_row, taxi_col, passenger_location, destination).

Точки посадки пассажира:

- 0: R(ed);
- 1: G(reen);
- 2: Y(ellow);
- 3: B(lue);
- 4: в такси.

Пункты назначения (пункты высадки):

- 0: R(ed);
- 1: G(reen);
- 2: Y(ellow);
- 3: B(lue).

Награды:

- -1 за каждый шаг, если не предусмотрено иное вознаграждение;
- +20 за доставку пассажира;
- -10 за некорректное выполнение действий "погрузка" и "высадка".

Код программы

```
[18] import gym
   import numpy as np
   import matplotlib.pyplot as plt
   from pprint import pprint
   import pandas as pd
   from gym.envs.toy_text.taxi import TaxiEnv
```

```
class PolicyIterationAgent:
 Класс, эмулирующий работу агента
 def __init__(self, env):
   self.env = env
   # Пространство состояний
   self.observation_dim = 500
   # Массив действий в соответствии с документацией
   self.actions_variants = np.array([0,1,2,3,4,5])
   # Задание стратегии (политики)
   self.policy_probs = np.full((self.observation_dim, len(self.actions_variants)), 0.16666666)
   # Начальные значения для v(s)
   self.state_values = np.zeros(shape=(self.observation_dim))
   # Начальные значения параметров
   self.maxNumberOfIterations = 1000
   self.theta=1e-6
   self.gamma=0.99
 def print_policy(self):
    Вывод матриц стратегии
   if self.policy_probs[0][0] != 0.16666666:
     #np.set_printoptions(threshold=np.inf)
     x = TaxiEnv()
     pos = {0:'R', 1:'G',2:'Y', 3:'B', 4:'T'}
     print('''
      |R: | : :G|
      |\cdot| \cdot |\cdot| \cdot |\cdot|
      |::::|
      1 + 1 + 1 + 1
      |Y| : |B: |
      print('состояние: x,y,пассажир,назначение')
     print('Стратегия:')
      for i in range(len(self.policy_probs)):
       t_x, t_y, passeng, dest = x.decode(i)
        print((t_x,t_y,pos[passeng],pos[dest]), self.policy_probs[i])
     #np.set_printoptions(threshold=False)
    else:
     print('Стратегия:')
    pprint(self.policy_probs)
```

```
def policy_evaluation(self):
 Оценивание стратегии
 # Предыдущее значение функции ценности
 valueFunctionVector = self.state_values
  for iterations in range(self.maxNumberOfIterations):
   # Новое значение функции ценности
   valueFunctionVectorNextIteration=np.zeros(shape=(self.observation_dim))
   # Цикл по состояниям
    for state in range(self.observation_dim):
     # Вероятности действий
     action_probabilities = self.policy_probs[state]
     # Цикл по действиям
     outerSum=0
      for action, prob in enumerate(action_probabilities):
        innerSum=0
        # Цикл по вероятностям действий
        for probability, next_state, reward, isTerminalState in self.env.P[state][action]:
         innerSum=innerSum+probability*(reward+self.gamma*self.state_values[next_state])
        outerSum=outerSum+self.policy_probs[state][action]*innerSum
     valueFunctionVectorNextIteration[state]=outerSum
    if(np.max(np.abs(valueFunctionVectorNextIteration-valueFunctionVector))<self.theta):</pre>
     # Проверка сходимости алгоритма
      valueFunctionVector=valueFunctionVectorNextIteration
     break
    valueFunctionVector=valueFunctionVectorNextIteration
  return valueFunctionVector
def policy_improvement(self):
 Улучшение стратегии
 qvaluesMatrix=np.zeros((self.observation_dim, len(self.actions_variants)))
 improvedPolicy=np.zeros((self.observation_dim, len(self.actions_variants)))
 # Цикл по состояниям
 for state in range(self.observation_dim):
    for action in range(len(self.actions_variants)):
      for probability, next_state, reward, isTerminalState in self.env.P[state][action]:
        qvaluesMatrix[state,action]=qvaluesMatrix[state,action]+probability*(
            reward+self.gamma*self.state_values[next_state])
   # Находим лучшие индексы
   bestActionIndex=np.where(qvaluesMatrix[state,:]==np.max(qvaluesMatrix[state,:]))
   # Обновление стратегии
    improvedPolicy[state,bestActionIndex]=1/np.size(bestActionIndex)
  return improvedPolicy
def policy_iteration(self, cnt):
 Основная реализация алгоритма
 policy_stable = False
 for i in range(1, cnt+1):
   self.state_values = self.policy_evaluation()
   self.policy_probs = self.policy_improvement()
 print(f'Алгоритм выполнился за {i} шагов.')
```

```
def play_agent(agent):
    env2 = gym.make('Taxi-v3', render_mode='human')
    state = env2.reset()[0]
    done = False
    while not done:
        p = agent.policy_probs[state]
        if isinstance(p, np.ndarray):
            action = np.random.choice(len(agent.actions_variants), p=p)
    else:
        action = p
    next_state, reward, terminated, truncated, _ = env2.step(action)
    env2.render()
    state = next_state
    if terminated or truncated:
        done = True
```

Вывод стратегии

```
env = gym.make('Taxi-v3')
env.reset()
# Обучение агента
agent = PolicyIterationAgent(env)
agent.print_policy()
agent.policy_iteration(1000)
agent.print_policy()
```

7

```
Алгоритм выполнился за 1000 шагов.
                                                         (0, 2, 'G', 'Y') [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
                                                         (0, 2, 'G', 'B') [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
                                                                 'Υ',
                                                                       'R') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                         (0, 2,
       |R: | : :G|
                                                         (0, 2, 'Y'
                                                                       'G') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
       |:|::i
                                                         (0, 2, 'Y',
                                                                       'Y') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
       |::::
                                                                     , 'B') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                         (0, 2, 'Y'
       | \ | \ | \ | \ | \ | \ |
                                                                       'R') [0.5 0. 0.5 0. 0.
                                                         (0, 2, 'B',
                                                                                                      0.1
       |Y| : |B: |
                                                         (0, 2, 'B',
                                                                       'G') [0.5 0. 0.5 0.
                                                                                                      0.]
                                                         (0, 2, 'B', 'Y') [0.5 0. 0.5 0. 0.
(0, 2, 'B', 'B') [0.5 0. 0.5 0. 0.
                                                                                                      0.]
                                                                                                      0. 1
состояние: х,у,пассажир,назначение
                                                         (0, 2, 'T'
                                                                       'R') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
Стратегия:
                                                         (0, 2, 'T',
                                                                       'G') [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
(0, 0, 'R', 'R') [0. 0. 0. 0. 1. 0.]
                                                        (0, 2, 'T'
(0, 2, 'T'
                                                                       'Y')
                                                                             [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
(0, 0, 'R', 'G') [0. 0. 0. 0. 1. 0.]
                                                                       'B') [0.5 0. 0.5 0. 0.
(0, 0, 'R', 'Y') [0. 0. 0. 0. 1. 0.]
(0, 0, 'R', 'B') [0. 0. 0. 0. 1. 0.]
                                                                                                      0. 1
                                                         (0, 3, 'R',
                                                                       'R') [0.5 0. 0. 0.5 0.
                                                                                                      0.]
                                                        (0, 3, 'R', 'G') [0.5 0. 0. 0.5 0. (0, 3, 'R', 'Y') [0.5 0. 0. 0.5 0.
                                                                                                      0.]
(0, 0, 'G', 'R') [0.5 0. 0.5 0. 0.
                                             0.]
                                                                                                      0.
(0, 0, 'G', 'G') [0.5 0. 0.5 0. 0.
                                             0.]
                                                         (0, 3, 'R', 'B') [0.5 0. 0. 0.5 0.
                                                                                                      0.]
        'G', 'Y') [0.5 0. 0.5 0. 0. 'G', 'B') [0.5 0. 0.5 0. 0.
(0, 0,
                                             0.]
                                                         (0, 3, 'G', 'R') [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
(0, 0,
                                             0.]
                                                         (0, 3, 'G', 'G') [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
(0, 3, 'G', 'Y') [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
(0, 0, 'Y', 'R') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
(0, 0, 'Y',
              'G') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                         (0, 3, 'G',
                                                                       'B') [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
        ۱Y۱
              'Y') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
(0, 0,
                                                                    (, 'R') [0.5 0. 0. 0.5 0. (, 'G') [0.5 0. 0. 0.5 0. (, 'Y') [0.5 0. 0. 0.5 0. (, 'Y') [0.5 0. 0. 0.5 0.
                                                        (0, 3, 'Y'
(0, 3, 'Y'
                                                                                                      0.]
        'Y'
              'B') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
(0, 0,
                                                                                                      0.]
(0, 0, 'B', 'R') [0.5 0. 0.5 0. 0.
                                             0.]
                                                        (0, 3, 'Y'
(0, 0, 'B', 'G') [0.5 0. 0.5 0. 0. (0, 0, 'B', 'Y') [0.5 0. 0.5 0. 0. (0, 0, 'B', 'Y') [0.5 0. 0.5 0. 0. (0, 0, 'B', 'B') [0.5 0. 0.5 0. 0.
                                                                                                      0.]
                                             0.]
                                                         (0, 3, 'Y',
                                                                       'B') [0.5 0. 0. 0.5 0.
                                                                                                      0.1
                                             0.]
                                                        (0, 3, 'B', 'R') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
(0, 3, 'B', 'G') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                             0.]
(0, 0, 'T', 'R') [0. 0. 0. 0. 0. 1.]
                                                         (0, 3, 'B', 'Y') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
        'T',
              'G') [0.5 0. 0.5 0. 0.
(0, 0,
                                             0.]
                                                         (0, 3, 'B', 'B') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
(0, 3, 'T', 'R') [0.5 0. 0. 0.5 0.
(0, 0, 'T'
              'Y') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
(0, 0, 'T', 'B') [0.5 0. 0.5 0. 0.
                                             0.]
                                                        (0, 3, 'T'
                                                                     , 'G') [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
        'R',
              'R') [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
(0, 1,
                                                         (0, 3, 'T',
                                                                       'Y') [0.5 0. 0. 0.5 0.
                                                                                                      0. 1
        'R',
(0, 1,
              'G') [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
                                                        (0, 3, 'T', 'B') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
(0, 4, 'R', 'R') [0.5 0. 0. 0.5 0.
(0, 1, 'R',
              'Y') [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
(0, 1, 'R', 'B') [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
                                                         (0, 4, 'R', 'G') [0.5 0. 0. 0.5 0.
        'G', 'R') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
(0, 1,
                                                        (0, 4, 'R', 'Y') [0.5 0. 0. 0.5 0. (0, 4, 'R', 'B') [0.5 0. 0. 0.5 0.
                                                                                                      0.]
(0, 1,
        'G', 'G') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                                                                      0. 1
(0, 1, 'G', 'Y') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                         (0, 4, 'G', 'R') [0. 0. 0. 0. 1. 0.]
(0, 1, 'G', 'B') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                         (0, 4, 'G', 'G') [0. 0. 0. 0. 1. 0.]
        'Υ',
              'R') [0.5 0. 0. 0.5 0. 'G') [0.5 0. 0. 0.5 0.
(0, 1,
                                             0.]
                                                        (0, 4, 'G', 'Y') [0. 0. 0. 0. 1. 0.]
(0, 4, 'G', 'B') [0. 0. 0. 0. 1. 0.]
        'Y'
(0, 1,
                                             0.]
(0, 1, 'Y',
              'Y') [0.5 0. 0. 0.5 0.
                                             0.]
                                                         (0, 4, 'Y'
                                                                       'R') [0.5 0. 0. 0.5 0.
        Ύ,
              'B') [0.5 0. 0. 0.5 0.
(0, 1,
                                             0.]
                                                         (0, 4, 'Y'
                                                                       'G') [0.5 0. 0.
                                                                                                      0.]
                                                                                            0.5 0.
        'B',
              'R') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
(0, 1,
                                                                     , 'Y')
                                                         (0, 4, 'Y'
                                                                             [0.5 0. 0.
                                                                                             0.5 0.
                                                                                                      0.]
(0, 1, 'B',
              'G') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                        (0, 4, 'Y'
                                                                       'B') [0.5 0. 0.
                                                                                            0.5 0.
                                                                                                      0. 1
(0, 1, 'B', 'Y') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                         (0, 4, 'B',
                                                                       'R') [0.5 0. 0.
                                                                                             0.5 0.
                                                                                                      0. 1
        'B',
(0, 1,
              'B') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                        (0, 4, 'B', 'G') [0.5 0. 0. (0, 4, 'B', 'Y') [0.5 0. 0.
                                                                                            0.5 0.
                                                                                                      0. 1
(0, 1, 'T'
              'R') [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
                                                                                            0.5 0.
                                                                                                      0.
(0, 1, 'T', 'G') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                         (0, 4, 'B', 'B') [0.5 0. 0.
                                                                                            0.5 0.
        'T', 'Y') [0.5 0. 0. 0.5 0.
(0, 1,
                                             0.]
                                                         (0, 4, 'T',
                                                                       'R') [0.5 0. 0.
                                                                                            0.5 0.
                                                                                                      0. 1
            , 'B') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
        'T'
(0, 1,
                                                         (0, 4, 'T', 'G')
                                                                             [0. 0. 0. 0. 0. 1.]
(0, 2, 'R',
              'R') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                        (0, 4, 'T'
                                                                     , 'Y') [0.5 0. 0. 0.5 0.
(0, 2, 'R', 'G') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                         (0, 4, 'T', 'B') [0.5 0. 0. 0.5 0.
(0, 2, 'R', 'Y') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                        (1, 0, 'R', 'R') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
(1, 0, 'R', 'G') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
(1, 0, 'R', 'Y') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
(1, 0, 'R', 'B') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
        'R', 'B') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
(0, 2,
(0, 2, 'G', 'R') [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
(0, 2, 'G', 'G') [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
```

```
(1, 3, 'R', 'G') [0.5 0. 0. 0.5 0.
(1, 0, 'G', 'R') [0.5 0. 0.5 0. 0.
                                                                                    0.1
                                      0.]
                                                    'R', 'Y') [0.5 0. 0. 'R', 'B') [0.5 0. 0.
      'G',
                                             (1, 3,
                                                                            0.5 0.
                                                                                     0.
            'G') [0.5 0. 0.5 0. 0.
(1, 0,
                                      0.]
       'G',
(1, 0,
                                             (1, 3,
                                                                        0.
                                                                            0.5 0.
                                                                                     0.
            'Y')
                 [0.5 0.
                         0.5 0. 0.
                                      0.]
                                             (1, 3, 'G', 'R') [0. 0.5 0.5 0.
            'B')
       'G'
                [0.5 0.
                         0.5 0. 0.
                                       0.]
(1, 0,
                                                    'G',
                                                         'G') [0.
                                             (1, 3,
                                                                    0.5 0.5 0.
                                                                                     0.]
(1, 0,
       ΙΥΙ
            'R') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                    'G',
                                             (1, 3,
                                                         'Y') [0.
                                                                    0.5 0.5 0.
                                                                                0.
                                                                                     0.
       'Y',
                                                                                        ]
            'G') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
(1, 0,
                                                    'G', 'B') [0.
       'Y',
            'Y') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                             (1, 3,
                                                                    0.5 0.5 0.
                                                                                     0.
(1, 0,
                                                                                0.
                                                    'Y',
                                                         'R') [0.5 0. 0. 0.5 0.
       'Y'
            'B')
                                             (1, 3,
                                                                                     0.
                                                                                        1
(1, 0,
                 [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                    'Y',
       'B'
                                             (1, 3,
                                                         'G') [0.5 0.
            'R') [0.5 0. 0.5 0.
                                                                        0.
                                                                            0.5 0.
                                                                                     0.]
                                      0.]
(1, 0,
                                 0.
                                                    Ύ,
                                                         'Y') [0.5 0. 0. 0.5 0.
       'B',
                                             (1, 3,
            'G') [0.5 0. 0.5 0. 0.
                                                                                     0. 1
(1, 0,
                                       0.]
       'B',
                                                    ۱Y۱
                                                         'B') [0.5 0. 0.
            'Y')
                                             (1, 3,
                                                                            0.5 0.
(1, 0,
                [0.5 0. 0.5 0. 0.
                                      0.]
                                                    'B',
                                                          'R') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
(1, 0,
                                             (1, 3,
       'B'
            'B')
                 [0.5 0. 0.5 0. 0.
                                       0.]
                                                    'B',
                                                         'G') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
       'T'
                                             (1, 3,
(1, 0,
            'R')
                [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                         'Y') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                    'Β',
       'T'
            'G') [0.5 0. 0.5 0. 0.
                                             (1, 3,
(1, 0,
                                       0.1
                                                    'B',
       'T',
                                                         'B') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
            'Y') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                             (1, 3,
(1, 0,
                                                    'T',
       'T'
            'B') [0.5 0. 0.5 0. 0.
                                             (1, 3,
                                                          'R') [0.5 0. 0.
                                                                            0.5 0.
                                                                                     0.]
(1, 0,
                                      0.]
                                                         'G') [0. 0.5 0.5 0. 0.
(1, 1,
       'R',
            'R')
                [0.
                      0.5 0.
                              0.5 0.
                                      0.]
                                             (1, 3,
                                                                                     0.
                                             (1, 3, 'T',
                                                         'Y') [0.5 0. 0. 0.5 0.
      'R',
            'G') [0.
                      0.5 0. 0.5 0.
                                      0.]
(1, 1,
                                                    'T',
                                                         'B') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
(1, 1,
      'R',
            'Y') [0.
                      0.5 0. 0.5 0.
                                       0.]
                                             (1, 3,
                                                    'R',
       'R',
            'B') [0.
                                             (1, 4,
                                                         'R') [0.5 0. 0. 0.5 0.
                                                                                     0. 1
(1, 1,
                     0.5 0. 0.5 0.
                                      0. ]
                                                          'G') [0.5 0.
       'G',
                                                    'R',
                                             (1, 4,
                                                                        0.
                                                                            0.5 0.
                                                                                     0.
(1, 1,
            'R')
                [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
      'G',
                                                    'R',
                                                         'Y') [0.5 0. 0.
            'G') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                                                    0.
                                             (1, 4,
                                                                            0.5 0.
                                                                                       1
(1, 1,
                                                    'R',
                                                         'B') [0.5 0. 0.
(1, 1, 'G',
                                             (1, 4,
            'Y') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                                            0.5 0.
      'G',
                                                    'G',
                                                         'R') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
            'B') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                             (1, 4,
(1, 1,
                                                    'G',
(1, 1,
       'Y'
            'R') [0.5 0. 0.
                             0.5 0.
                                      0.1
                                             (1, 4,
                                                         'G') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       ١Υ١
                                                    'G',
                                                         'Y') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
            'G') [0.5 0.
(1, 1,
                         0.
                              0.5 0.
                                      0.]
                                             (1, 4,
(1, 1, 'Y'
                                                    'G', 'B') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
            'Y') [0.5 0. 0. 0.5 0.
                                      0.]
                                             (1, 4,
(1, 1, 'Y',
            'B') [0.5 0. 0. 0.5 0.
                                                    'Y',
                                                         'R') [0.5 0. 0.
                                             (1, 4,
                                                                            0.5 0.
                                                                                     0.]
                                       0. ]
       'B',
                                                    'Y',
            'R') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                         'G') [0.5 0. 0.
                                             (1, 4,
                                                                            0.5 0.
                                                                                    0.]
(1, 1,
                                                    'Y',
                                                          'Y') [0.5 0.
(1, 1,
       'B'.
            'G')
                 [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                             (1, 4,
                                                                        0.
                                                                            0.5 0.
                                                                                     0.
(1, 1, 'B',
                                                    'Y'
            'Y') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                         'B') [0.5 0.
                                             (1, 4,
                                                                        0.
                                                                            0.5 0.
                                                                                     0.
                                                    'B',
(1, 1, 'B',
            'B') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                         'R') [0.5 0.
                                             (1, 4,
                                                                        0.
                                                                            0.5 0.
                                                                                     0.]
      'Τ',
                                                    'B',
                                                         'G') [0.5 0.
            'R') [0. 0.5 0. 0.5 0.
                                      0.]
(1, 1,
                                             (1, 4,
                                                                        0.
                                                                            0.5 0.
                                                                                     0.]
                                                    'B',
(1, 1,
       'T'
            'G') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                             (1, 4,
                                                         'Y') [0.5 0.
                                                                        0.
                                                                            0.5 0.
                                                                                     0.
                                                                                        ]
(1, 1, 'T'
                                                          'B') [0.5 0.
            'Y') [0.5 0. 0. 0.5 0.
                                                    'B',
                                       0.]
                                             (1, 4,
                                                                        0.
                                                                            0.5 0.
                                                                                     0.
(1, 1, 'T'
                                                    'T',
                                                         'R') [0.5 0. 0.
            'B') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                             (1, 4,
                                                                            0.5 0.
                                                                                     0. 1
      'R',
                                                    'T',
(1, 2,
            'R') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                             (1, 4,
                                                         'G') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                    'T',
       'R',
            'G') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                         'Y') [0.5 0. 0. 0.5 0.
(1, 2,
                                             (1, 4,
                                                                                    0. 1
            'Y') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
(1, 2,
       'R',
                                                    'T',
                                                         'B') [0.5 0. 0.
                                             (1, 4,
                                                                            0.5 0.
(1, 2, 'R',
            'B') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                    'R',
                                                         'R') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                             (2, 0,
                                                    'R',
      'G',
                                                         'G') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
(1, 2,
            'R') [0. 0.5 0.5 0. 0.
                                       0.1
                                             (2, 0,
      'G',
            'G') [0.
                                                    'R',
                                                         'Y') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
(1, 2,
                                      0.]
                      0.5 0.5 0. 0.
                                             (2, 0,
       'G',
                                                    'R',
(1, 2,
            'Y')
                 [0.
                      0.5 0.5 0. 0.
                                      0.]
                                             (2, 0,
                                                         'B') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
   2, 'G',
                      0.5 0.5 0. 0.
            'B') [0.
                                                    'G',
                                                         'R') [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
(1,
                                      0. 1
                                             (2, 0,
(1, 2,
      ۱Y۱
            'R') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                    'G',
                                                         'G') [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
                                             (2, 0,
       'Y',
            'G') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
(1, 2,
                                                    'G',
                                                         'Y') [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
                                             (2, 0,
(1, 2,
       'Y'
            'Y') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                    'G',
                                                         'B') [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
                                             (2, 0,
       ١Y١
                                                    'Y',
            'B')
(1, 2,
                [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                             (2, 0,
                                                         'R') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
(1, 2,
      'B',
            'R') [0.5 0. 0.5 0. 0.
                                      0.]
                                                    'Υ',
                                                          'G') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                             (2, 0,
       'B',
            'G') [0.5 0. 0.5 0. 0.
(1, 2,
                                      0.]
                                                    ١Y١
                                                         'Y') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                             (2, 0,
       'B',
            'Y') [0.5 0.
                         0.5 0. 0.
                                                         'B') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
(1, 2,
                                      0.]
                                                    'Y',
                                             (2, 0,
                                                    'B',
(1, 2,
       'B',
            'B')
                 [0.5 0.
                         0.5 0.
                                  0.
                                       0.]
                                                         'R') [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
                                             (2, 0,
       'T'
            'R') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
(1, 2,
                                                          'G') [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
                                             (2, 0,
                                                     'B',
      'T',
            'G') [0. 0.5 0.5 0. 0.
                                                    'B',
                                                         'Y') [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
(1, 2,
                                             (2, 0,
      'T',
            'Y')
                [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                             (2, 0, 'B', 'B') [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
(2, 0, 'T', 'R') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
(1, 2,
       'T',
(1, 2,
                                      0.]
            'B') [0.5 0. 0.5 0. 0.
       'R',
(1, 3,
            'R') [0.5 0. 0. 0.5 0.
                                      0.]
                                             (2, 0, 'T', 'G') [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
```

```
(2, 3, 'B', 'B') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
(2, 3, 'T', 'R') [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
             'Y') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
(2, 0, 'T',
             'B')
                  [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
                                                      'T'
       'R',
                                               (2, 3,
                                                             'G')
                                                                  [0.
                                                                       0.5 0.5 0. 0.
                                         0.]
(2, 1,
             'R')
                  [0.
                       0.5 0.
                                0.5 0.
                                                       'T',
                                                             'Y')
                                               (2, 3,
                                                                  [0.
                                                                      0. 0. 1. 0. 0.]
       'R',
             'G')
                                            ]
                       0.5 0. 0.5 0.
                                         0.
(2, 1,
                  [0.
                                               (2, 3,
                                                       'T'
                                                             'B')
                                                                  [1.
                                                                      0.
                                                                         0. 0. 0. 0.]
             'Y')
                                         0.]
                  [0.
                       0.5 0. 0.5 0.
                                                       'R'
                                                             'R')
       'R',
                       0.5 0. 0.5 0.
                                               (2, 4,
                                                                  [0.
                                                                      0. 0. 1. 0. 0.]
             'B')
                                         0.]
(2, 1,
                  [0.
                                                      'R',
                                               (2, 4,
                                                            'G')
                                                                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
(2, 1,
       'G'
             'R')
                  [0.
                       0. 1. 0. 0. 0.]
                                                       'R',
                                               (2, 4,
                                                            'Y')
       'G'
                                                                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
(2, 1,
             'G')
                  [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
                                                      'R',
                                               (2, 4,
                                                             'B')
       'G'
             'Y')
                                                                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
(2, 1,
                  [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
                                                      'G'
                                                             'R')
                                               (2, 4,
                                                                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       'G'
(2, 1,
             'B')
                  [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
                                                      'G',
       'Y'
                                               (2, 4,
                                                             'G')
                                                                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
             'R')
(2, 1,
                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
                                               (2, 4,
                                                       'G'
                                                             'Y')
                                                                      1. 0. 0. 0. 0.]
                                                                  [0.
       'Y'
(2, 1,
             'G')
                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
(2, 1,
       'Y'
             'Y')
                                               (2, 4,
                                                       'G'
                                                             'B')
                                                                  [0.
                                                                      1. 0. 0. 0. 0.]
                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
                                                      ١Υ١
                                               (2, 4,
       'Y'
                                                             'R')
                                                                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
             'B')
(2, 1,
                  [0. 0. 0.
                             1. 0. 0.]
       'B',
                                               (2, 4,
                                                       'Y'
                                                             'G')
(2, 1,
                                                                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
             'R')
                  [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
                                               (2, 4,
                                                                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
       'B',
             'G')
                                                       'Υ'
                                                             'Y')
(2, 1,
                  [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
                                                       ΙΥΙ
                                                             'B')
(2, 1,
       'B'
             'Y')
                                               (2, 4,
                                                                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
                  [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
                                               (2, 4, 'B'
       'B'
                                                             'R')
                                                                  [0.5 0. 0. 0.5 0.
(2, 1,
             'B')
                  [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
                                                      'B',
       'T',
                                               (2, 4,
                                                             'G')
                                                                  [0.5 0.
(2, 1,
             'R')
                      0.5 0. 0.5 0.
                                         0.]
                                                                           0. 0.5 0.
                                                                                         0.]
                  [0.
                                                      'B',
(2, 1,
       'T'
             'G')
                                               (2, 4,
                                                             'Y')
                                                                  [0.5 0.
                                                                            0.
                                                                               0.5 0.
                  [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
                                                      'B',
       'T'
                                               (2, 4,
                                                             'B')
                                                                                         0.]
             'Y')
                                                                  [0.5 0.
                                                                           0. 0.5 0.
(2, 1,
                  [0.
                      0.
                         0. 1. 0. 0.]
                                                      'T',
       'T',
(2, 1,
             'B')
                  [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
                                               (2, 4,
                                                            'R')
                                                                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
(2, 2,
                                               (2, 4, 'T'
       'R',
             'R')
                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
                                                             'G')
                                                                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       'R',
                                                      'T'
(2, 2,
             'G')
                                               (2, 4,
                                                             'Y')
                                                                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
       'R'
                                                       'T'
(2, 2,
             'Y')
                                               (2, 4,
                                                            'B')
                                                                  [0.5 0. 0. 0.5 0.
                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
                                                      'R',
       'R',
             'B')
                                                                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                             'R')
(2, 2,
                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
                                               (3, 0,
                                                       'R',
(2, 2, (2, 2,
       'G',
             'R')
                                         0.]
0.]
                                               (3, 0,
                                                             'G')
                                                                  [0.
                                                                      1. 0. 0. 0. 0.]
                       0.5 0.5 0.
                                    0.
                  [0.
                                                             'Y')
       'G'
             'G')
                                                       'R',
                  [0.
                       0.5 0.5 0.
                                     0.
                                               (3, 0,
                                                                  [0.
                                                                      1. 0. 0. 0. 0.]
                                                      'R',
(2, 2,
       'G',
             'Y')
                       0.5 0.5 0.
                                    0. 0.]
                                                            'B')
                  [0.
                                               (3, 0,
                                                                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                      'G',
(2, 2,
       'G',
             'B')
                                                            'R')
                  [0.
                       0.5 0.5 0. 0.
                                        0.]
                                               (3, 0,
                                                                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                       'G',
(2, 2,
       'Y'
             'R')
                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
                                               (3, 0,
                                                             'G')
                                                                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       'Y'
             'G')
                                                      'G',
(2, 2,
                                                             'Y')
                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
                                                                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                               (3, 0,
       'Y'
                                                      'G',
             'Y')
(2, 2,
                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
                                               (3, 0,
                                                            'B')
                                                                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
(2, 2, (2, 2,
       'Y'
             'B')
                                                       ١Y١
                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
                                               (3, 0,
                                                             'R')
                                                                  [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
       'B'
             'R')
                  [0. 0.
                         1.
                             0. 0. 0.]
                                               (3, 0,
                                                       'Y'
                                                             'G')
                                                                  [1.
                                                                      0. 0. 0. 0. 0.]
(2, 2,
       'B',
             'G')
                                                       'Y'
                  [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
                                                            'Y')
                                                                  [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                               (3, 0,
       'B',
(2, 2,
             'Y')
                                                       ١Y١
                  [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
                                               (3, 0,
                                                            'B')
                                                                  [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
(2, 2,
       'B',
             'B')
                  [0. 0. 1. 0. 0. 0.]
                                               (3, 0,
                                                       'B'
                                                             'R')
                                                                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       'T',
(2, 2,
             'R')
                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
                                                       'B'
                                               (3, 0,
                                                             'G')
                                                                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       'T',
                                                      'B',
                                              (3, 0,
(2, 2,
             'G')
                  [0.
                       0.5 0.5 0. 0.
                                         0.]
                                                            'Y')
                                                                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
(2, 2, (2, 2,
       'T'
             'Y')
                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
                                                       'B',
                                                             'B')
                                               (3, 0,
                                                                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       'T'
             'B')
                  [0.
                      0.
                          1.
                             0. 0. 0.]
                                               (3, 0,
                                                       'T'
                                                             'R')
                                                                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       'R',
(2, 3,
             'R')
                                                       'T'
                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
                                                             'G')
                                                                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                               (3, 0,
       'R',
             'G')
                                                      'T'
(2, 3,
                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
                                               (3, 0,
                                                             'Y')
                                                                  [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
   3,
       'R',
             'Y')
                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
(2,
                                               (3, 0,
                                                       'T'
                                                             'B')
                                                                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
             'B')
(2, 3,
       'R',
                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
                                               (3, 1,
                                                       'R'
                                                             'R')
                                                                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       'G',
(2, 3,
             'R')
                  [0.
                       0.5 0.5 0. 0.
                                         0.]
                                                       'R'
                                                             'G')
                                               (3, 1,
                                                                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       'G'
                       0.5 0.5 0.
(2, 3,
             'G')
                                                       'R',
                  [0.
                                    0.
                                         0.]
                                               (3, 1,
                                                            'Y')
                                                                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       'G'
             'Y')
                                            ]
(2,
   3,
                  [0.
                       0.5 0.5 0.
                                     0.
                                         0.
                                               (3, 1,
                                                       'R'
                                                            'B')
                                                                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
(2, 3, 'G',
             'B')
                       0.5 0.5 0. 0.
                  [0.
                                         0.]
                                                             'R')
                                               (3,
                                                   1,
                                                       'G'
                                                                  [0.
                                                                       0.5 0.5 0.
       ١Υ١
             'R')
(2, 3,
                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
                                                       'G'
                                               (3, 1,
                                                             'G')
                                                                       0.5 0.5 0.
                                                                  [0.
                                                                                    0.
                                                      'G',
(2,
   3,
       'Y'
             'G')
                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
                                                            'Y')
                                               (3, 1,
                                                                  [0.
                                                                       0.5 0.5 0.
                                                                                    0.
   3,
       ١Y١
             'Y')
                                                      'G',
(2,
                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
                                                            'B')
                                               (3, 1,
                                                                  [0.
                                                                       0.5 0.5 0. 0.
       'Y',
                                                      'Y',
             'B')
(2, 3,
                  [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
                                                             'R')
                                               (3, 1,
                                                                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       'B',
(2, 3,
             'R')
                  [1. 0.
                          0.
                             0. 0. 0.]
                                               (3, 1, 'Y',
                                                            'G')
                                                                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       'B',
             'G')
(2,
    3,
                  [1. 0.
                          0.
                             0. 0. 0.]
                                               (3, 1, 'Y',
                                                            'Y')
                                                                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       'B',
             'Y')
                  [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
(2, 3,
                                               (3, 1, 'Y',
                                                            'B') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
```

```
(3, 4, 'Y', 'Y') [0. 0.5 0.
(3, 1, 'B', 'R') [0. 0.5 0.5 0.
                                                                                 0.5 0.
                                        0.]
                                                                                          0.]
                                    0.
       'B',
                                                        'Y',
                                                              'B')
   1,
             'G')
                                                 (3, 4,
                                                                    [0.
                                                                        0.5 0.
                                                                                 0.5 0.
                                                                                          0.
(3,
                  [0.
                       0.5 0.5 0.
                                    0.
                                         0.]
                                                        'B',
       'B',
             'Y')
                                         0.1
                                                 (3, 4,
                                                              'R')
                                                                   [0.5 0.
                                                                             0.
                                                                                 0.5 0.
                                                                                          0.]
   1,
                  [0.
                       0.5 0.5 0.
(3,
                                    0.
                                                        'B',
                                                              'G')
       'B',
             'B')
                                                                    [0.5 0.
                  [0.
                       0.5 0.5 0.
                                         0.]
                                                 (3, 4,
                                                                             0.
                                                                                 0.5 0.
                                                                                             ]
       'T',
                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                         'B'
                                                              'Y')
                                                                    [0.5 0.
(3,
             'R')
                                                 (3, 4,
                                                                             0.
                                                                                 0.5 0.
   1,
       'T'
                                                        'B'
                                                              'B')
                                                                                             ]
(3,
   1,
             'G')
                  [0.
                       0.5 0.5 0.
                                    0.
                                         0.]
                                                 (3, 4,
                                                                    [0.5 0.
                                                                             0.
                                                                                 0.5 0.
                                                                                          0.
       'T',
                                                        'T'
(3, 1,
             'Y')
                                                 (3, 4,
                                                              'R')
                                                                    [0. 0.5 0.
                                                                                 0.5 0.
                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       'T',
                                                 (3, 4,
                                                                    [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
             'B')
                                                         'T'
                                                              'G')
(3, 1,
                  [0.
                       0.5 0.5 0.
                                    0.
                                         0.]
                                                        'T'
                                                              'Y')
    2,
       'R',
             'R')
                  [0.
                       0.5 0. 0.5
                                         0.]
                                                 (3, 4,
                                                                    [0.
                                                                        0.5 0.
                                                                                 0.5 0.
(3,
                                    0.
       'R',
                                                        'T'
    2,
             'G')
                                                              'B')
                                                                   [0.5 0. 0.
(3,
                  [0.
                       0.5 0.
                               0.5
                                    0.
                                         0.]
                                                 (3, 4,
                                                                                 0.5 0.
                                                                                          0.]
       'R',
             'Y')
                                                        'R'
    2,
                                                 (4, 0,
                                                              'R')
                              0.5 0.
                                                                    [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
(3,
                  [0.
                       0.5 0.
                                         0.]
   2,
       'R',
                                                 (4,
(3,
             'B')
                  [0.
                       0.5 0.
                                0.5 0.
                                         0.]
                                                     0,
                                                         'R'
                                                              'G')
                                                                    [0.
                                                                       1. 0. 0.
                                                                                 0. 0.]
                                                        'R',
       'G',
             'R')
                                                              'Y')
                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                 (4, 0,
                                                                   [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
(3,
       'G',
             'G')
                                                              'B')
                                                        'R',
(3, 2,
                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                 (4, 0,
                                                                   [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       'G',
(3,
    2,
             'Y')
                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                 (4, 0,
                                                         'G'
                                                              'R')
                                                                   [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       'G',
'Y',
                                                        'G'
             'B')
                                                              'G')
    2,
(3,
                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                 (4,
                                                     0,
                                                                   [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
    2,
             'R')
                  [0. 0.5 0. 0.5 0.
                                         0.]
                                                 (4, 0,
                                                        'G'
                                                              'Y')
                                                                   [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
(3,
   2,
       ١Y١
             'G')
                                        0.]
                                                              'B')
                  [0.
                       0.5 0.
                               0.5 0.
                                                 (4, 0,
                                                         'G'
                                                                   [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
(3,
   2,
       ١Y١
             'Y')
(3,
                  [0.
                       0.5 0.
                               0.5
                                    0.
                                         0.
                                           ]
                                                 (4,
                                                     0,
                                                         'Y'
                                                              'R')
                                                                   [0.
                                                                       0. 0. 0. 1. 0.]
       'Y',
(3,
             'B')
                  [0.
                       0.5 0. 0.5 0.
                                         0.]
                                                 (4, 0,
                                                         ۱Y۱
                                                              'G')
                                                                   [0. 0. 0. 0. 1. 0.]
       'B',
                                                        ١Y١
                                                              'Y')
             'R')
(3, 2,
                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                 (4, 0,
                                                                   [0. 0. 0. 0. 1. 0.]
       'B',
                                                 (4, 0,
   2,
             'G')
                                                         ١Y١
                                                              'B')
(3,
                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                                    [0. 0. 0. 0. 1. 0.]
                                                        'B'
    2,
       'B',
             'Y')
                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                              'R')
(3,
                                                 (4,
                                                     0,
                                                                   [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       'B',
             'B')
(3,
    2,
                                                        'B',
                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                 (4, 0,
                                                              'G')
                                                                   [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       'T',
                                                 Ì4,
(3,
    2,
             'R')
                  [0. 0.5 0. 0.5 0.
                                         0. ]
                                                     0,
                                                         'B'
                                                              'Y')
                                                                   [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       'T'
             'G')
                                                              'B')
   2,
                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                         'B'
(3,
                                                 (4,
                                                     0,
                                                                   [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       'T',
(3, 2,
             'Y')
                 [0. 0.5 0. 0.5 0.
                                                        'T'
                                                              'R')
                                                 (4, 0,
                                                                   [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       'Τ',
                                                        'T'
(3, 2,
                                                              'G')
             'B')
                 [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                 (4, 0,
                                                                   [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
(3,
   3,
       'R',
             'R')
                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                 (4, 0,
                                                         'T'
                                                              'Y')
                                                                    [0. 0. 0. 0. 0. 1.]
       'R',
             'G')
                                                        'T'
(3,
   3,
                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                 (4, 0,
                                                              'B')
                                                                   [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       'R',
    3,
             'Y')
                                                        'R',
(3,
                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                 (4, 1,
                                                              'R')
                                                                   [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                 (4,
       'R',
(3,
    3,
             'B')
                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                     1,
                                                         'R'
                                                              'G')
                                                                   [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
   3,
       'G',
             'R')
                                        0.]
                                                              'Y')
                      0.5 0.5 0.
                                                         'R'
(3,
                  [0.
                                    0.
                                                                   [0.
                                                 (4,
                                                     1,
                                                                       1. 0. 0. 0. 0.1
(3, 3,
       'G',
             'G')
                  [0.
                       0.5 0.5 0.
                                        0.]
                                                 (4, 1,
                                                        'R'
                                                              'B')
                                                                   [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       'G',
(3,
   3,
             'Y')
                  [0.
                       0.5 0.5 0.
                                    0.
                                        0.]
                                                        'G'
                                                              'R')
                                                 (4, 1,
                                                                                          0.]
                                                                   [0.
                                                                        0.5 0.5 0. 0.
       'G',
             'B')
(3,
   3,
                  [0. 0.5 0.5 0.
                                    0.
                                         0. ]
                                                 (4, 1,
                                                         'G
                                                              'G')
                                                                   [0.
                                                                        0.5 0.5 0.
                                                                                          0.
                                                                                      0.
       'Y',
                                                 (4, 1,
                                                        'G'
   3,
             'R') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                              'Y')
(3,
                                                                   [0.
                                                                        0.5 0.5 0. 0.
                                                                                          0.]
       'Y',
    3,
             'G') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                        'G'
                                                              'B')
(3,
                                                 (4, 1,
                                                                   [0.
                                                                        0.5 0.5 0. 0.
                                                                                          0. 1
       'Y',
             'Y')
(3,
    3,
                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                 (4, 1,
                                                         ١Y١
                                                              'R')
                                                                    [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
(3,
   3,
       ١Y١
             'B') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                        ΙΥΙ
                                                              'G')
                                                 (4, 1,
                                                                   [0.
                                                                       1. 0. 0. 0. 0.]
       'B',
                                                        ١Y١
             'R') [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
(3, 3,
                                                 (4, 1,
                                                              'Y')
                                                                   [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
   3,
       'B',
             'G')
                  [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
(3,
                                                 (4, 1,
                                                         'Y'
                                                              'B')
                                                                   [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       'B',
             'Y')
(3,
   3,
                 [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                         'B'
                                                 (4, 1,
                                                              'R')
                                                                   [0.
                                                                        0.5 0.5 0.
                                                                                     0.
                                                                                          0.]
       'B',
             'B')
                  [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
                                                        'B'
(3, 3,
                                                 (4, 1,
                                                              'G')
                                                                   [0.
                                                                        0.5 0.5 0.
                                                                                          0.]
       'T',
(3,
    3,
             'R')
                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                        'B'
                                                              'Y')
                                                                                    0.
                                                 (4, 1,
                                                                   [0.
                                                                        0.5 0.5 0.
                                                                                          0.]
       'T'
   3,
             'G')
                  [0. 0.5 0.5 0. 0.
                                         0.]
(3,
                                                 (4,
                                                     1,
                                                         'B'
                                                              'B')
                                                                    [0.
                                                                         0.5 0.5 0.
                                                                                     0.
                                                                                             ]
       'T',
(3, 3,
             'Y')
                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                         'T'
                                                              'R')
                                                                   [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                 (4, 1,
       'T',
                                                        'T'
             'B')
   3,
                  [1. 0. 0. 0. 0. 0.]
(3,
                                                 (4, 1,
                                                              'G')
                                                                   [0.
                                                                         0.5 0.5 0.
                                                                                      0.
       'R',
             'R')
(3,
    4,
                  [0.
                      0.5 0. 0.5 0.
                                         0.]
                                                 (4, 1,
                                                         'T'
                                                              'Y')
                                                                    [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       'R',
             'G')
                                                        'T'
(3, 4,
                  [0.
                       0.5 0. 0.5 0.
                                        0.]
                                                              'B')
                                                 (4,
                                                     1,
                                                                   [0.
                                                                         0.5 0.5 0.
                                                                                     0.
       'R',
             'Y')
   4,
                              0.5 0.
                                                        'R'
(3,
                  [0.
                       0.5 0.
                                         0.]
                                                 (4, 2,
                                                              'R')
                                                                   [0.
                                                                         0.5 0.
                                                                                 0.5 0.
                                                 (4,
(3,
   4,
       'R',
             'B')
                  [0.
                       0.5 0.
                                0.5 0.
                                         0.
                                                     2,
                                                         'R'
                                                              'G')
                                                                   [0.
                                                                         0.5 0.
                                                                                 0.5 0.
                                                                                          0.]
       'G',
                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
(3, 4,
             'R')
                                                 (4,
                                                     2,
                                                         'R'
                                                              'Y')
                                                                    [0.
                                                                         0.5 0.
                                                                                 0.5 0.
       'G',
             'G')
                                                 (4,
(3, 4,
                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                              'B')
                                                     2,
                                                        'R'
                                                                   [0.
                                                                        0.5 0.
                                                                                 0.5 0.
                                                                                          0.]
       'G',
   4,
                                                              'R')
(3,
             'Y')
                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                                                        'G',
                                                 (4, 2,
                                                                   [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
       'G',
'Y',
                                                        'G',
             'B')
                  [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
(3,
    4,
                                                 (4, 2,
                                                              'G')
                                                                   [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
(3, 4,
             'R') [0. 0.5 0. 0.5 0.
                                         0.]
                                                        'G',
                                                              'Y')
                                                 (4, 2,
                                                                   [0.
                                                                       1. 0. 0. 0. 0.1
       'Y',
   4,
             'G') [0.
                       0.5 0.
                                0.5 0.
                                         0.]
                                                        'G',
                                                              'B') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
(3,
                                                 (4, 2,
```

```
(4, 2, 'Y', 'R') [0. 0.5 0. 0.5 0. (4, 2, 'Y', 'G') [0. 0.5 0. 0.5 0. (4, 2, 'Y', 'Y') [0. 0.5 0. 0.5 0.
                                                 0.]
                                                 0.]
               'Y', 'Y', [0.
        (4, 2,
                                                 0.]
                               0.5 0.
        (4, 2,
                                        0.5 0.
                'B',
                    'R')
        (4, 2,
                          [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                'B', 'G') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
        (4, 2, (4, 2,
                    'Y') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                'B',
                     'B') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                'B',
        (4, 2,
        (4, 2,
                'T',
                     'R') [0.
                               0.5 0.
                                                 0.]
                                        0.5 0.
                'T'
                     'G') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
        (4, 2,
                'T',
                     'Y') [0. 0.5 0.
        (4, 2,
                                        0.5 0.
                                                 0.]
                'T',
                     'B') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
        (4, 2,
                'R',
                     'R') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
        (4, 3,
                'R',
                     'G') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
        (4, 3,
                'R',
                     'Y') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
        (4, 3,
                'R',
                     'B') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
        (4, 3,
                'G',
                     'R') [0. 0.5 0.5 0. 0.
        (4, 3,
                                                 0.]
                'G',
                     'G') [0. 0.5 0.5 0. 0.
        (4, 3,
                                                 0.]
                'G',
        (4, 3,
                     'Y') [0. 0.5 0.5 0. 0.
                                                 0.]
                'G',
        (4, 3,
                     'B') [0. 0.5 0.5 0. 0.
        'Y',
                     'R') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                'Y',
                     'G') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                'Y',
                     'Y') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                'Y',
                     'B') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                'B',
                     'R') [0. 0. 0. 0. 1. 0.]
                     'G') [0. 0. 0. 0. 1. 0.]
        (4, 3,
                'B',
                     'Y') [0. 0. 0. 0. 1. 0.]
                'B',
        (4, 3,
                'B', 'B') [0. 0. 0. 0. 1. 0.]
        (4, 3,
                'T', 'R') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
        (4, 3,
                'T', 'G') [0. 0.5 0.5 0. 0.
        (4, 3,
                                                 0. 1
                'T', 'Y') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
        (4, 3,
                'T', 'B') [0. 0. 0. 0. 0. 1.]
        (4, 3,
                'R', 'R') [0.
        (4, 4,
                               0.5 0. 0.5 0.
                                                 0.]
                'R', 'G') [0.
        (4, 4,
                               0.5 0. 0.5 0.
                                                 0.]
                'R', 'Y') [0.
        (4, 4,
                              0.5 0. 0.5 0.
                                                 0.]
                'R', 'B') [0. 0.5 0. 0.5 0.
        (4, 4,
                                                 0. 1
                'G', 'R') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
        (4, 4,
                'G', 'G') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
'G', 'Y') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
        (4, 4,
                'G',
        (4, 4,
                          [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                    'B') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
                'G',
        (4, 4,
                'Y',
                    'R') [0.
        (4, 4,
                               0.5 0.
                                        0.5 0.
                                                 0.]
                ١Υ١
                    'G') [0.
        (4, 4,
                               0.5 0.
                                        0.5 0.
                                                 0.
                'Υ',
                    'Y') [0.
        (4, 4,
                               0.5 0.
                                        0.5 0.
                                                 0.
                'Υ',
                    'B') [0.
        (4, 4,
                               0.5 0.
                                        0.5 0.
                                                 0.]
                'B', 'R') [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
        (4, 4,
                'B', 'G') [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
        (4, 4,
                'B', 'Y') [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
        (4, 4,
                'B', 'B') [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
        (4, 4,
                'T', 'R') [0. 0.5 0. 0.5 0.
        (4, 4,
                                                 0.]
               'T', 'G') [0. 1. 0. 0. 0. 0.]
'T', 'Y') [0. 0.5 0. 0.5 0.
        (4, 4,
        (4, 4,
        (4, 4, 'T', 'B') [0. 0. 0. 1. 0. 0.]
array([[0.,0.,0.,0.,1.,0.
          [0., 0., 0., 0.]
                                   , 1.
                                                  ],
          [0., 0., 0., 0., 0.,
                                       1.
          . . . ,
          [0., 1., 0., 0., 0., 0.]
                                                  ],
          [0., 0.5, 0., 0.5, 0., 0.
          [0., 0., 0., 1., 0., 0.
```

Проигрывание сцены для обученного агента

play_agent(agent)