



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
دانشکده مهندسی برق

پروژه کارشناسی
گرایش مخابرات

ماشین های خودران -
با استفاده از یادگیری تقویتی

نگارش
محمد رضیئی فیجانی

استادان راهنما
دکتر وحید پوراحمدی و دکتر حمیدرضا امین داور

شهریور ۱۳۹۸

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

صفحه فرم ارزیابی و تصویب پایان نامه - فرم تأیید اعضاء کمیته دفاع

در این صفحه فرم دفاع یا تأیید و تصویب پایان نامه موسوم به فرم کمیته دفاع - موجود در پرونده آموزشی - را قرار دهید.

نکات مهم:

- نگارش پایان نامه/رساله باید به **زبان فارسی** و بر اساس آخرین نسخه دستورالعمل و راهنمای تدوین پایان نامه های دانشگاه صنعتی امیرکبیر باشد.(دستورالعمل و راهنمای حاضر)
- رنگ جلد پایان نامه/رساله چاپی کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترا باید به ترتیب مشکی، طوسی و سفید رنگ باشد.
- چاپ و صحافی پایان نامه/رساله بصورت **پشت و رو(دورو)** بلامانع است و انجام آن توصیه می شود.

به نام خدا

تاریخ: شهریور ۱۳۹۸

تعهدنامه اصالت اثر



اینجانب **محمد رضیئی فیجانی** متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب تحت نظارت و راهنمایی اساتید دانشگاه صنعتی امیرکبیر بوده و به دستاوردهای دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است مطابق مقررات و روال متعارف ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است. این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح یا بالاتر ارائه نگردیده است.

در صورت اثبات تخلف در هر زمان، مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از درجه اعتبار ساقط بوده و دانشگاه حق پیگیری قانونی خواهد داشت.

کلیه نتایج و حقوق حاصل از این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی امیرکبیر می‌باشد. هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی، واگذاری اطلاعات به دیگران یا چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان‌نامه بدون موافقت کتبی دانشگاه صنعتی امیرکبیر ممنوع است. نقل مطالب با ذکر مآخذ بلامانع است.

محمد رضیئی فیجانی

امضا

نویسنده پایان نامه، در صورت تمایل میتواند برای پاسخگویی پایان نامه خود را به شخص
یا اشخاص و یا ارگان خاصی تقدیم نماید.

سپاسگزاری

نویسنده پایان نامه می تواند مراتب امتنان خود را نسبت به استاد راهنما و استاد مشاور و یا دیگر افرادی که طی انجام پایان نامه به نحوی او را یاری و یا با او همکاری نموده اند ابراز دارد.

محمدرضیٰ فغانی
شهریور ۱۳۹۸

چکیده

در این قسمت چکیده پایان نامه نوشته می‌شود. چکیده باید جامع و بیان‌کننده خلاصه‌ای از اقدامات انجام‌شده باشد. در چکیده باید از ارجاع به مرجع و ذکر روابط ریاضی، بیان تاریخچه و تعریف مسئله خودداری شود.

واژه‌های کلیدی:

کلیدواژه اول، ...، کلیدواژه پنجم (نوشتن سه تا پنج واژه کلیدی ضروری است)

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

۱	یادگیری تقویتی با استفاده از gym	۱
۱-۱	معرفی مفاهیم یادگیری تقویتی	۲
۲-۱	معرفی OpenAI gym	۲
۱-۲-۱	مقدمه	۲
۲-۲-۱	نصب	۲
۲	معرفی یادگیری تقویتی ^۱	۳
۱-۲	مقدمه	۴
۱-۱-۲	جایگاه یادگیری تقویتی در یادگیری ماشین ^۲	۴
۳	پیشنیازهای نصب و معرفی قسمت های مختلف	۶
۱-۳	نرم افزارهای کلی	۷
۲-۳	پیشنیازهای پایتون	۸
۳-۳	معرفی دقیق تر اجزای کلی	۹
۱-۳-۳	معرفی نرم افزار پری اسکن ^۳	۹
۲-۳-۳	فرمت های فایل های خروجی	۱۰
۳-۳-۳	نصب موتور متلب ^۴	۱۱
۴-۳	معرفی دقیق تر پیشنیازهای پایتون	۱۲
۱-۴-۳	بسته های کمکی	۱۲
۲-۴-۳	بسته gym	۱۲
۴	راه اندازی و توضیح مختصری بر الگوریتم	۱۵
۵	فنی	۱۷

¹Reinforcement Learning

²Machine Learning

³PreScan

⁴Matlab Engine

۱۹	.....	۶ شبیه سازی و نتایج
۲۰	.....	۱-۶ راه اندازی
۲۱	.....	منابع و مراجع
۲۲	.....	واژه نامه انگلیسی به فارسی
۲۳	.....	واژه نامه فارسی به انگلیسی

فهرست اشکال

صفحه	شکل
۴	۱-۲
۵	۲-۲
۵	۳-۲
۵	۴-۲
۸	۱-۳ تقسیم بندی وظایف اصلی کد پایتون
۹	۲-۳ آیکون های اضافه شده بر روی محیط دسکتاپ پس از نصب پریاسکن
۹	۳-۳ پنل مدیریت نرم افزار پریاسکن
۱۰	۴-۳ صفحه گرافیکی محیط پریاسکن

فهرست جداول

صفحه

جدول

۱-۳	توضیحات فرمت فایل خروجی	۱۱
۲-۳		۱۳

فهرست نمادها

نماد	مفهوم
\mathbb{R}^n	فضای اقلیدسی با بعد n
\mathbb{S}^n	کره n یکه بعدی
M^m	خمینه m -بعدی M
$\mathfrak{X}(M)$	جبر میدان‌های برداری هموار روی M
$\mathfrak{X}^1(M)$	مجموعه میدان‌های برداری هموار یکه روی (M, g)
$\Omega^p(M)$	مجموعه p -فرمی‌های روی خمینه M
\mathcal{Q}	اپراتور ریچی
\mathcal{R}	تانسور انحنای ریمان
ric	تانسور ریچی
L	مشتق لی
Φ	۲-فرم اساسی خمینه تماسی
∇	التصاق لوی-چویتای
Δ	لاپلاسین ناهموار
∇^*	عملگر خودالحاق صوری القا شده از التصاق لوی-چویتای
g_s	متر ساساکی
∇	التصاق لوی-چویتای وابسته به متر ساساکی
Δ	عملگر لاپلاس-بلترامی روی p -فرم‌ها

فصل اول

یادگیری تقویتی با استفاده از gym

۱-۱ معرفی مفاهیم یادگیری تقویتی

۲-۱ معرفی OpenAI gym

۱-۲-۱ مقدمه

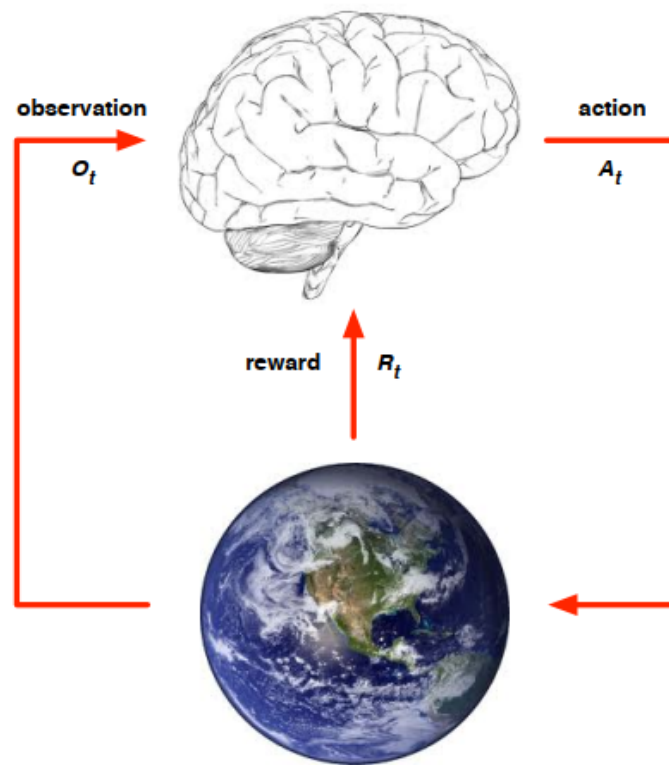
پروژه gym از قوی ترین پروژه های Open AI^۱ می باشد.

۲-۲-۱ نصب

^۱<https://github.com/openai>

فصل دوم

معرفی یادگیری تقویتی

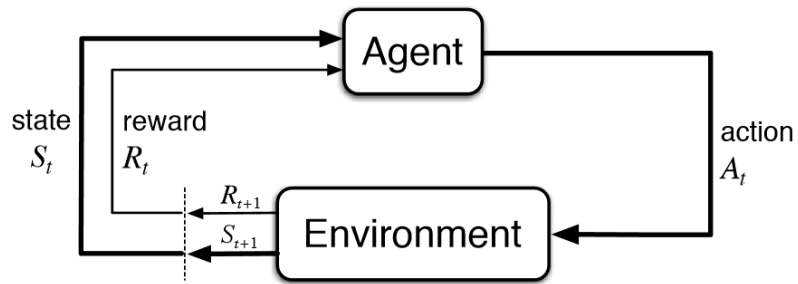


شکل ۱-۲:

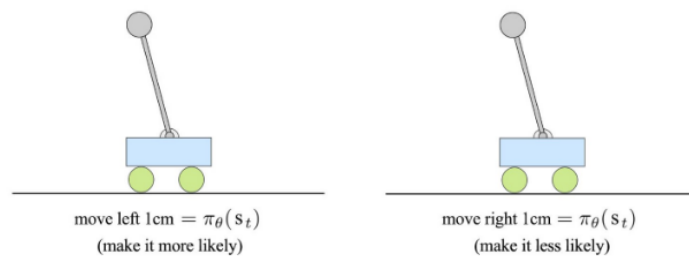
۱-۲ مقدمه

۱-۱-۲ جایگاه یادگیری تقویتی در یادگیری ماشین

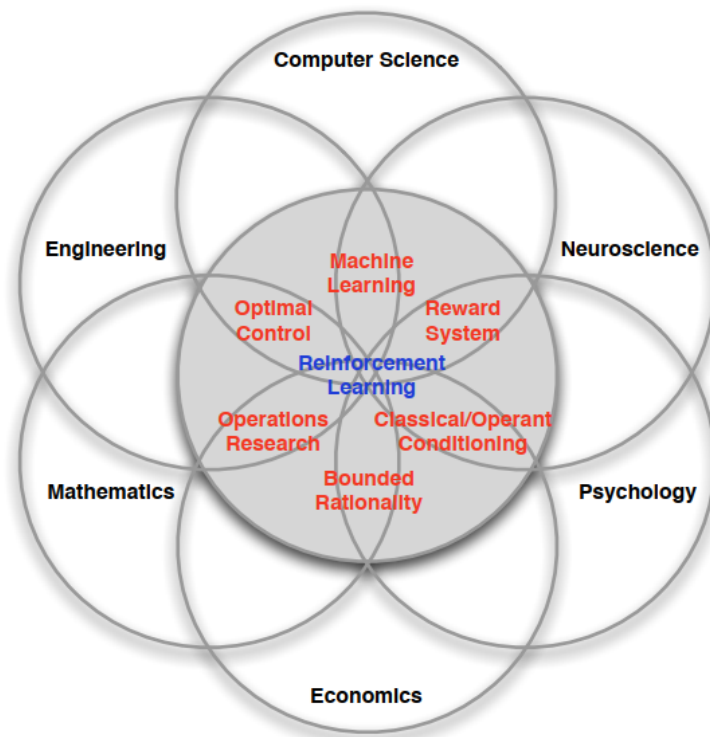
بسیاری از صاحب نظران یادگیری ماشین را



شکل ۲-۲:



شکل ۳-۲:



شکل ۴-۲:

فصل سوم

پیشنهاد های نصب و معرفی قسمت های مختلف

۳-۱ نرم افزارهای کلی

در این پروژه از جهت آنکه نسخه قبلی و پیشینی برای آن نبوده است، به ناچار می‌بایست که کد آن از صفر تا صد آن به صورت دستی نوشته شود. از این‌رو، پیچیدگی های بسیار فراوان را به طور خاص در پی داشت. ابزار های زیادی نیز بنابه شرایط در آن استفاده شد که ارتباط بین آن ابزار ها و اجزا، بر این پیچیدگی پیاده سازی طرح افزوده بود.

ابزار های اصلی و کلی که در این پروژه استفاده شده بود، عبارتند از:

- نرم افزار پری اسکن ، نسخه 8.5.0

- نرم افزار متلب^۱ ، نسخه R2017b

- زبان برنامه نویسی پایتون ، نسخه 3.6.9

بنابراین برای راه اندازی مجدد کد این پروژه لازم است که موارد بالا روی کامپیوتر شخص به صورت کامل نصب باشد.

همچنین لازم به ذکر است که برخی ابزارات دیگر نیز در این پروژه استفاده شده است که احتمالاً با نصب موارد بالا دیگر نیازی به نصب آن ها به صورت جداگانه نیست. هدف این ابزار ها ایجاد اتصال بین اجزای اصلی گفته شده است. این گروه شامل موارد زیر هستند:

- سیمولینک^۲ ، جهت اتصال بین متلب و پری اسکن

- شبکه UDP^۳ ، جهت اتصال داده های پویا^۴ بین پایتون و سیمولینک

- موتور متلب ، جهت اتصال داده های ساکن^۵ بین پایتون و سیمولینک

در این فصل جزئیات بیشتری در مورد لزوم و دلیل استفاده از این ابزار ها بررسی می‌شود.

¹ Matlab

² Simulink

³ برای این منظور از ماژول socket در پایتون استفاده شده است.

⁴ Dynamic Data

⁵ Static Data



شکل ۳-۱: تقسیم‌بندی وظایف اصلی کد پایتون

۳-۲ پیشنیازهای پایتون

یادداشت ۳-۲-۱. کد پایتون در این پروژه شامل دو قسمت کلی زیر می‌شود. این دو دسته در شکل ۳-۱ مشخص هستند.

۱. دسته اول مربوط به آن بخش از پروژه است که وظیفه اصلی آن ارتباط پیدا کردن با محیط متلب و پری اسکن و ایجاد یک نوع واسط کاربری است. گرفتن و فرستادن اطلاعات مخصوص این قسمت است.

۲. دسته دوم با محیط و نحوه ارتباط آن کاری ندارد و تمرکز خود را بر روی الگوریتم خود که در این جا از الگوریتم‌های یادگیری تقویتی استفاده شده است، قرار داده است.

دسته اول (سمت چپ تصویر ۳-۱) به پکیج‌های زیر احتیاج دارد:

- matlab.engine
- os و time
- numpy
- gym
- pandas
- socket

اگر از آن‌اکنون^۶ برای پایتون استفاده می‌کنید غیراز دو بسته gym و matlab.engine به صورت پیش‌فرض نصب شده اند در صورت عدم نصب آن‌ها را با استفاده از ^۷pip می‌توان نصب کرد. بسته gym که در این فصل به تفصیل در مورد آن بحث شده است، به راحتی با همان دستور pip نصب می‌شود. اما نصب matlab.engine یا همان موتور متلب متفاوت است و نمی‌توان آن را نیز به همان روش نصب کرد.

دسته دوم شامل بسته‌های زیر است:

^۶Anaconda

^۷مثلاً بسته numpy را با استفاده از دستور pip install numpy نصب می‌توان کرد.

• gym[atari] یا gym[all]

• tensorflow

• stable-baseline

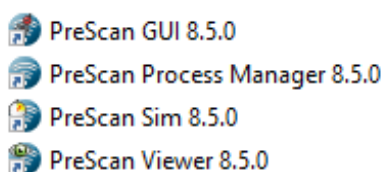
این بسته ها در لایه الگوریتم استفاده شده است. (در مورد این لایه در فصل ۴؟ بیشتر صحبت خواهد شد). هر سه تایی این بسته ها با همان دستور pip به راحتی نصب می شوند.

۳-۳ معرفی دقیق تر اجزای کلی

در این قسمت میخواهیم سه نرم افزار کلی این پروژه را از نگاهی نزدیک تر بشناسیم که عبارتند از :
(۱) نرم افزار پری اسکن (۲) متلب (۳) پایتون

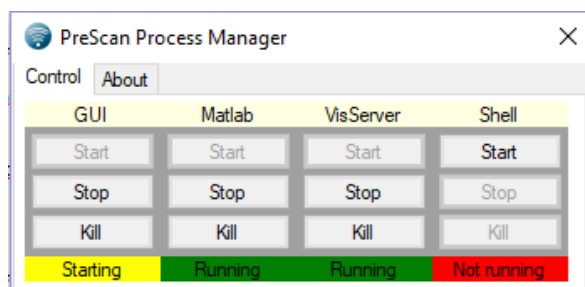
۱-۳-۳ معرفی نرم افزار پری اسکن

پس از دانلود و نصب نسخه 8.5.0 این نرم افزار چهار آیکون مانند شکل ۲-۳ به محیط دسکتاپ اضافه می کند. اصلی ترین آن ها PreScan Proccess Manager 8.5.0 نام دارد.



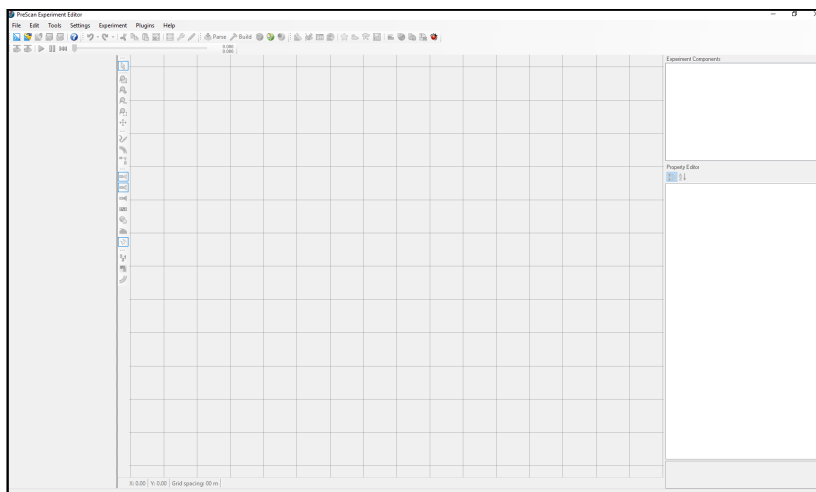
شکل ۲-۳: آیکون های اضافه شده بر روی محیط دسکتاپ پس از نصب پری اسکن

با انتخاب آن صفحه ای مانند زیر باز می شود.



شکل ۳-۳: پنل مدیریت نرم افزار پری اسکن

این پنجره شامل گزینه های زیر است:



شکل ۳-۴: صفحه گرافیکی محیط پری اسکن

• Matlab

• GUI

• Shell

• VisServer

برای ایجاد یک محیط جدید باید GUI را استارت کرد. پس از مدتی صفحه ای مانند شکل ۳-۴ باز می شود.

پس از ایجاد مدل ها و ذخیره آن، فایل های **.pex و **.pb و **_cs.slx ساخته می شود.^۸ جهت استفاده از فایل سیمولینک باید در شکل ۳-۳ متلب را استارت کنید.

نکته ۳-۳-۱. برای اجرای فایل های سیمولینک خروجی، لازم است که متلب را فقط و فقط با استفاده از نرم افزار پری اسکن و با استفاده از پنل مدیریت نرم افزار معرفی شده در شکل ۳-۳ باز شود. در صورتی که به صورت مستقیم این کار انجام شود، به مشکل منتهی می شود.

دو قسمت دیگر نیز در شکل ۳-۳ وجود دارد که نیازی به استارت کردن آن ها نیست و خودشان در صورت لزوم به صورت خودکار فراخوانی می شوند.

۳-۳-۲ فرمت های فایل های خروجی

نرم افزار پری اسکن پس از ایجاد یک محیط جدید، فایل ها و پوشه های بسیار زیادی را ایجاد می کند. اما در خارج آن پوشه ها ۳ فایل وجود دارد که پسوند آن ها **.pex و **.pb و **_cs.slx می باشد.

^۸علامت * به معنای یک اسم مشترک در این سه فایل استفاده شده است.

علامت ** همان اسم پروژه ای است که ایجاد کرده ایم. هر یک از این فایل ها به یک بلوک از شکل ۳-۳ مربوط می شود.

فرمت فایل	توضیحات
** .pex	این فایل مربوط به اولین بلوک شکل ۳-۳ است و ارتباط مستقیم با GUI دارد. برای تغییر محیط گرافیکی باید این فایل را باز کرد.
** .pb	این فایل برخی از اطلاعات فایل ** .pex را در اختیار دارد و با تغییر آن فایل این فایل نیز عوض می شود. این فایل حاوی اطلاعات استاتیک محیط ایجاد شده است و مهم ترین کاربرد آن در بلوک موتور متلب که در شکل ۳-۳ نشان داده شده است می باشد. پایتون از طریق این فایل این اطلاعات را دریافت می کند.
**_cs.slx	این فایل سیمولینک است که برای کار کردن با آن باید از پنل مدیریت شکل ۳-۳ استفاده کرد. این فایل پس از ایجاد از فایل ** .pex مستقل می شود. این فایل خود قابلیت تغییر دارد و می توان بلوک های آن را در محیط سیمولینک تغییر داد و بلوک های دیگری به آن افزود. در صورتی که فایل ** .pex تغییر کند، این امکان را نیز دارد که از داخل خود سیمولینک با فشردن دکمه ای این تغییرات جدید اعمال شود بدون آن که به تغییرات خود کاربر لطمه ای وارد شود. در این پروژه این فایل، تغییرات بسیاری را تجربه کرد.

جدول ۳-۱: توضیحات فرمت فایل خروجی

جدول ۳-۱ توضیحات لازم را جهت آشنایی با این خروجی ها آورده است. همچنین در بخش ۳-۳ در مورد فایل *_cs.slx توضیحات دقیق تری در مورد جزئیات آن گفته خواهد شد.

۳-۳-۳ نصب موتور متلب

برای نصب موتور متلب ابتدا نیاز است که به متلب به طور کامل در سیستم نصب باشد. پس از نصب متلب، محیط Command prompt (admin) را باز کنید و با توجه به نسخه و محل نصب متلب خود به آدرس زیر بروید.

```
<matlabroot>\extern\engines\python
```

مثلا برای Matlab R2017b که در محل پیش فرض خود نصب شده باشد این کار با استفاده از دستور زیر انجام می شود.

```
cd C:\Program Files\MATLAB\R2017a\extern\engines\python
```

در این پوشه یک فایل به نام setup.py موجود می باشد. این فایل را با استفاده از دستور

```
python setup.py install
```

در همان محیط cmd اجرا کنید.

یادداشت ۳-۳-۲. توجه داشته باشید که باید نسخه متلب و پایتون شما باید با یکدیگر سازگار باشند. برای بررسی این موضوع اگر فایل setup.py را با اسنفاده از یک ادیتور باز کنید، یک آرایه به نام supported_versions در آن خواهید دید. مقادیر این آرایه، نسخه هایی از پایتون را نشان می دهد که توسط نسخه متل شما پشتیبانی میشود مثلاً در این مورد، با توجه به خط زیر نسخه های ۲/۷، ۳/۴، ۳/۵ و ۳/۶ پایتون پشتیبانی می شود. در غیر این صورت باید نسخه سازگار متلب و یا پایتون را نصب کنید.

```
_supported_versions = ['2.7', '3.4', '3.5', '3.6']
```

۴-۳ معرفی دقیق تر پیشنهاد های پایتون

۱-۴-۳ بسته های کمکی

این بسته ها نقش حیاتی ندارند و برای برخی از موارد استفاده شده اند. این موارد در جدول ۲-۳ آمده است.

۲-۴-۳ بسته gym

معرفی

بسته gym که توسط OpenAI توسعه یافته است. این ابزار فوق العاده این امکان را برای محققین علوم کامپیوتر حرفه ای و یا آماتور فراهم می کند که انواع الگوریتم های یادگیری تقویتی (RL) را بر روی کار خود تست کنند. همچنین پتانسیل این را دارد که محققین محیط خود را بر روی این بسته توسعه دهند. هدف از ایجاد این بسته، استاندارد سازی محیط^{۱۵} و نوعی بنچ مارک^{۱۶} برای پژوهش های RL محسوب می شود. [۲]

¹⁵Environment

¹⁶Bechmark

نام بسته	دلیل استفاده	روش نصب
numpy	ایجاد ماتریس برای فضای حرکت ^۹ و فضای مشاهده ^{۱۰}	pip install numpy
time	جهت ایجاد تاخیر و سقف زمانی ^{۱۱}	pip install time
os	برای بستن پنجره های باز شده پس از اجرا	pip install os
pandas	برای چاپ اطلاعات آماری امتیاز ^{۱۲} های بدست آمده در پایان هر اپیزود ^{۱۳}	pip install pandas
socket	برقراری ارتباط با متلب و فرستان و دریافت کردن داده های پویا	pip install socket
tensorflow	برای لایه الگوریتم و استفاده از الگوریتم های یادگیری تقویتی عمیق ^{۱۴}	pip install tensorflow

جدول ۳-۲:

در حقیقت می توان این بسته را در وسط شکل ۳-۱ جای داد. جایی که لایه محیط و لایه الگوریتم^{۱۷} به یکدیگر می رسند.

این بسته محیط هایی از پیش ساخته شده دارد. نام این بسته ها در لیست زیر آمده است. ^{۱۸} اکثر این محیط ها نوعی بازی هستند که عامل^{۱۹} سعی در یادگیری آن محیط ها دارد.

- Pong-v0
- MsPacman-v0
- SpaceInvaders-v0
- Seaquest-v0
- LunarLanderV2
- Reacher-v2
- FrozenLake-v0
- CartPole-v0
- Pendulum-v0
- MountainCar-v0
- MountainCarContinuous-v0
- BipedalWalker-v2
- Humanoid-V1
- Riverraid-v0
- Breakout-v0

¹⁷Algorithm

¹⁸جدول کامل در سایت <https://github.com/openai/gym/wiki/Table-of-environments> قرار دارد.

¹⁹Agent

نصب

برای نصب نسخه کمینه این نرم افزار با همان روش pip به راحتی می توان نرم افزار مورد نظر را نصب کرد. [۱] این نسخه کمینه برای لایه محیط کافی می باشد. اما اگر بخواهیم بخش الگوریتم را با استفاده از کتابخانه های دیگری مانند stable-baseline نوشت. نیازمند نسخه جامع تری از gym می باشد.

یادداشت ۳-۴-۱. پیشنهاد می شود برای نصب نسخه کامل gym و stable-baseline از لینوکس بجای ویندوز استفاده کنید. زیرا در نصب برخی بسته ها ممکن است با مشکل روبرو شوید.

برای نصب کامل این بسته از دستور `pip install gym[all]` را استفاده کنید. ممکن است در نصب mujoco به مشکل برخوردید در این صورت دستور `pip install gym[atari]` استفاده کنید. اگر موفق به نصب این بسته نشدید می توانید مراجل نصب آن را با استفاده از [۲] مراجعه کنید.

فصل چهارم

راه اندازی و توضیح مختصری بر الگوریتم

فصل پنجم

فنی

سلام

فصل ششم

شبیه سازی و نتایج

در فصل‌های گذشته در خصوص ابزار هایی که در این پروژه استفاده شده‌اند، صحبت شد و توضیح مفصلی بر چستی آن ابزار ها و ضرورت استفاده از آن‌ها داده شد. اما سوالات بی جوابی نیز ماند که در این فصل به آن ها خواهیم پرداخت.

یکی از آن سوالات نحوه راه اندازی کد پروژه می باشد و سوال دیگر نتیجه حاصل از شبیه سازی نهایی چگونه است می باشد.

۱-۶ راه اندازی

این کد در گیت هاب در دو مخزن^۱ موجود می باشد. پس از نصب پیش نیاز ها که در ۳ توضیح داده شدند.

¹Repository

منابع و مراجع

- [1] G. Brockman, V. Cheung, L. Pettersson, J. Schneider, J. Schulman, J. Tang, and W. Zaremba, “Openai gym,” 2016.
- [2] G. Hayes, “How to install openai gym in a windows environment.” <https://medium.com/p/338969e24d30>, 2018.
- [3] D. Silver, “UCL course on RL.” <http://www0.cs.ucl.ac.uk/staff/d.silver/web/Teaching.html>, 2015.
- [4] R. S. Sutton and A. G. Barto, *Reinforcement Learning: An Introduction*. The MIT Press, second ed., 2018.

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

M

Matlab نرم‌افزار متلب
Matlab Engine موتور متلب

O

Observation Space فضای مشاهده

P

PreScan نرم‌افزار پری‌اسکن

R

Reinforcement Learning یادگیری تقویتی
Reward امتیاز

S

Simulink سیمولینک

T

Timeout سقف زمانی

A

Action Space فضای حرکت
Agent عامل
Algorithm الگوریتم
Anaconda نرم‌افزار آناکوندا

B

Bechmark بنچ‌مارک

D

Deep یادگیری تقویتی عمیق
Reinforcement Learning
Dynamic Data داده‌های پویا

E

Environment محیط
Episode اپیزود

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

ا	ف
اپیزود Episode	فضای حرکت Action Space
الگوریتم Algorithm	فضای مشاهده Observation Space
امتیاز Reward	
ب	م
بنچ‌مارک Bechmark	محیط Environment
	موتور متلب Matlab Engine
د	ن
داده‌های پویا Dynamic Data	نرم‌افزار آناکوندا Anaconda
	نرم‌افزار پری‌اسکن PreScan
	نرم‌افزار متلب Matlab
س	ی
سقف زمانی Timeout	یادگیری تقویتی Reinforcement Learning
سیمولینک Simulink	یادگیری تقویتی عمیق Deep
ع	Reinforcement Learning
عامل Agent	