



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 پایان‌نامه می‌تواند مراتب امتنان خود را نسبت به استاد راهنما و استاد مشاور و یا دیگر افرادی که طی انجام پایان‌نامه به نحوی او را یاری و یا با او همکاری نموده‌اند 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	۳
۱-۲	مقدمه	۴
۱-۱-۲	جایگاه یادگیری تقویتی در یادگیری ماشین	۴
۲-۱-۲	وجه تمایز یادگیری تقویتی از دیگر الگوهای یادگیری ماشین	۵
۳-۱-۲	عامل و محیط	۶
۴-۱-۲	حالت	۷
۵-۱-۲	مشاهده پذیری ^۱	۸
۳	پیشنیازهای نصب و معرفی قسمت های مختلف	۱۰
۱-۳	نرم افزارهای کلی	۱۱
۲-۳	پیشنیازهای پایتون	۱۲
۳-۳	معرفی دقیق تر اجزای کلی	۱۳
۱-۳-۳	معرفی نرم افزار پری اسکن ^۲	۱۳
۲-۳-۳	فرمت های فایل های خروجی	۱۴
۳-۳-۳	نصب موتور متلب ^۳	۱۵
۴-۳	معرفی دقیق تر پیشنیازهای پایتون	۱۶
۱-۴-۳	بسته های کمکی	۱۶
۲-۴-۳	بسته gym	۱۶

^۱Observability

^۲PreScan

^۳Matlab Engine

۴	توضیح مختصری بر الگوریتم	۱۹
۴-۱	معرفی محیط شبیه سازی	۲۰
۴-۲	معرفی رابط برنامه نویسی برنامه و الگوریتم	۲۲
۵	فنی	۲۶
۶	شبیه سازی و نتایج	۲۸
۶-۱	راه اندازی	۲۹
	منابع و مراجع	۳۱
	نمایه	۳۲
	فهرست اختصارات	۳۳
	واژه نامه انگلیسی به فارسی	۳۴
	واژه نامه فارسی به انگلیسی	۳۶

شکل	صفحه
۱-۲	۴
۲-۲	۶
۳-۲	۷
۱-۳	۱۲
۲-۳	۱۳
۳-۳	۱۳
۴-۳	۱۴
۱-۴	۲۰
۲-۴	۲۱
۳-۴	۲۱

فهرست جداول

صفحه

جدول

۱۵ توضیحات فرمت فایل خروجی	۱-۳
۱۷	۲-۳
۲۴ بررسی پارامترهای موجود در <code>env_dict</code>	۱-۴

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>

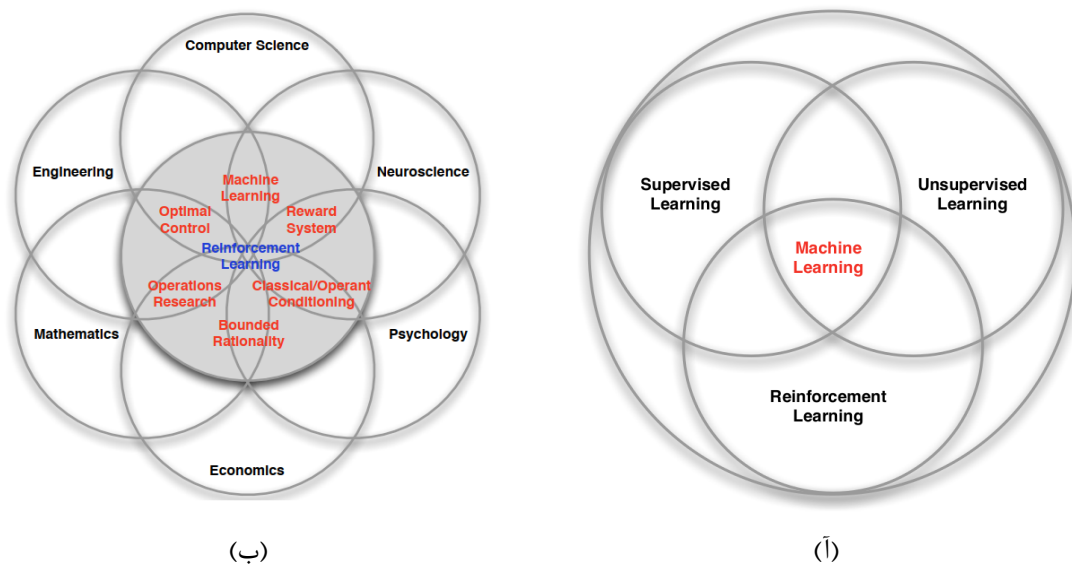
فصل دوم

معرفی یادگیری تقویتی

۱-۲ مقدمه

۱-۱-۲ جایگاه یادگیری تقویتی در یادگیری ماشین

بسیاری از صاحب نظران یادگیری ماشین^۱ را به سه دسته تقسیم می‌کنند: (۱) یادگیری با ناظر^۲ (۲) یادگیری بدون ناظر^۳ یا خوشه بندی^۴ (۳) یادگیری شبه ناظر^۵ در این میان، یادگیری تقویتی^۶ را بعضی ها دسته چهارم می‌دانند و بعضی دیگر آن را در دسته سوم قرار می‌دهند. بر اساس دسته‌بندی گروه دوم شکل ۱-۲(آ) رسم شده است. همچنین شکل ۱-۲(ب) کاربرد یادگیری تقویتی را در علوم مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲:

¹Machine Learning²Supervised Learning³Unsupervised Learning⁴Clustering⁵Semi-Supervised Learning⁶Reinforcement Learning

۲-۱-۲ چه چیزی یادگیری تقویتی را با دیگر الگوهای یادگیری ماشین متمایز می‌کند؟

این سوال از آن جهت حایز اهمیت است که بیان می‌کند چرا ما به سراغ الگوی یادگیری تقویتی رفته‌ایم. پاسخ ملاحظات زیر است.

آ) هیچ ناظر^۷ وجود ندارد و صرفاً امتیاز^۸ها وجود دارند.

ب) فیدبک^۹ همراه با تاخیر است و به صورت همزمان رخ نمی‌دهد.^{۱۰}

ج) مفهوم زمان واقعا مطرح است و یک ترتیب خاص از داده‌ها داریم. شکل ۲-۳ این توالی زمانی را نشان می‌دهد.

یادگیری تقویتی (RL^{۱۱}) بر اساس فرضیه امتیازها^{۱۲} پایه‌گذاری می‌شود.

تعریف ۲-۱-۱ (فرضیه امتیازها). همه اهداف می‌توانند براساس بیشینه کردن مقدار میانگین تجمعی امتیازها توصیف کرد.

ممکن است این عبارت کمی عجیب بنظر برسد اما در بسیاری از مسایل که به صورت برد و باخت و به نوعی دو حالت مطلوب و نامطلوب دارند، می‌توان در ساده‌ترین حالت مقدار $+1$ را برای برد و -1 را برای باخت در نظر گرفت.

نکته ۲-۱-۲. در برخی منابع بجای امتیاز از مفهوم هزینه^{۱۳} استفاده می‌کنند و هدف الگوریتم آن می‌شود که به سمتی حرکت کند که کمترین هزینه را داشته باشد. برای یک پارچه‌سازی این مفاهیم معمولاً یک علامت منفی برای این دو در نظر می‌گیرند یعنی :

$$r = -c \quad : \quad \text{هزینه} = -\text{امتیاز}$$

⁷Supervisor

⁸Reward

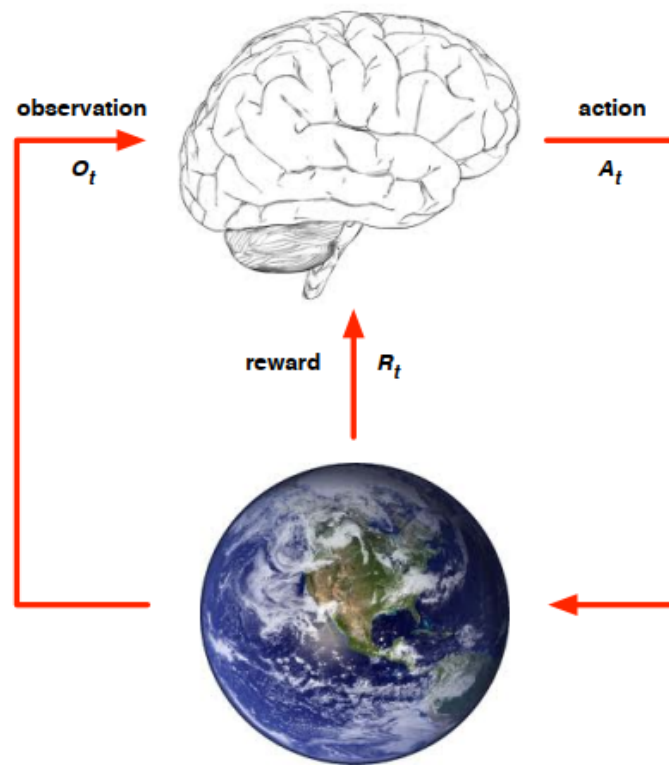
⁹Feedback

^{۱۰}در مورد علت تاخیر در ادامه توضیح داده خواهد شد.

¹¹Reinforcement Learning

¹²Reward Hypothesis

¹³Cost



شکل ۲-۲:

۳-۱-۲ عامل و محیط

این مفهوم بسیار مفهوم مهمی می‌باشد و بارها از آن در این پروژه یاد شده است. در مسایل یادگیری تقویتی یک **عامل**^{۱۴} وجود دارد که در یک **محیط**^{۱۵} در حال تعامل است. محیط می‌تواند محیط اطراف عامل باشد و یا هر چیزی که عامل با آن در تعامل است. [۱] این تعامل به این صورت است که عامل که در ابتدا یک حالت^{۱۶} اولیه دارد، یک حرکت^{۱۷} بر روی محیط در زمان t انجام می‌دهد. محیط مقدار حرکت در زمان t را دریافت می‌کند و سپس محیط در زمان $t + 1$ دو اطلاعات مهم را بر می‌گرداند. (آ) مشاهده^{۱۸} (ب) امتیاز

شکل ۲-۲ و ۳-۲ این تعامل را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در پایان هر مرحله^{۱۹} مقدار t

¹⁴ Agent

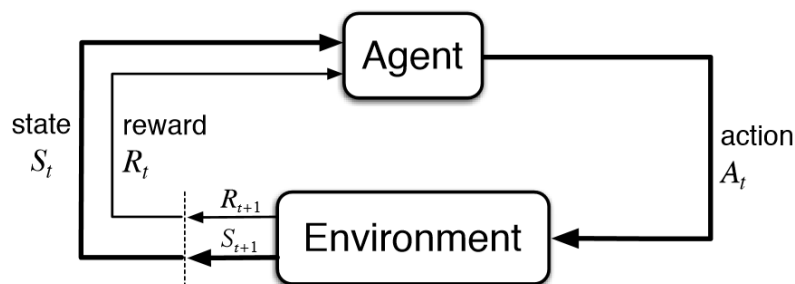
¹⁵ Environment

¹⁶ State

¹⁷ Action

¹⁸ Observation

¹⁹ Step



شکل ۲-۳:

یک واحد افزایش می‌یابد.

۴-۱-۲ حالت

در بخش قبل تعریف مناسبی از حالت ارایه نشد. برای این تعریف ابتدا مفهوم تاریخچه^{۲۰} ارایه می‌شود و از روی آن حالت تعریف خواهد شد.

تعریف ۳-۱-۲ (تاریخچه). به سری شامل مشاهده، حرکت و امتیاز می‌باشد:

$$H_t = O_1, R_1, A_1, \dots, A_{t-1}, O_{t-1}, R_t$$

با این تعریف حالت را می‌توان به شکل زیر تعریف کرد.

تعریف ۴-۱-۲. حالت اطلاعاتی است که در محاسبات برای آن که در بعد چه اتفاقی بیافتد، استفاده می‌شود. به عبارت دیگر حالت تابعی از تاریخچه می‌باشد.

$$S_t = f(H_t)$$

دو نوع حالت وجود دارد.

آ) **حالت محیط**^{۲۱} که با علامت S_t^e نشان داده می‌شود. اطلاعات نهان محیط را نشان می‌دهد و معمولاً برای عامل به‌طور کامل دیده نمی‌شود. حتی اگر برای عامل مشاهده‌پذیر نیز باشد، ممکن است اطلاعات کاملاً بی‌ربطی را همراه داشته باشد.

²⁰History

²¹Environment State

ب) **حالت عامل**^{۲۲} که با علامت S_t^a نشان داده می‌شود. که برابر است با هر اطلاعاتی که عامل برای رسیدن به حرکت بعدی با استفاده از الگوریتم های RL استفاده می‌کند.

بنابراین در تعریف ۲-۱-۴ مناسب‌تر است بجای واژه حالت از حالت عامل استفاده شود. بنابراین:

$$S_t^a = f(H_t)$$

یادداشت ۲-۱-۵. از این پس در سراسر این پایان‌نامه هر جا صحبت از حالت شد منظور همان حالت عامل است.

تعریف ۲-۱-۶. یک حالت S_t مارکوف^{۲۳} است اگر و تنها اگر:

$$\mathbb{P}[S_{t+1}|S_t] = \mathbb{P}[S_{t+1}|S_1, \dots, S_t]$$

در یک حالت مارکوف^{۲۴}، آینده از گذشته مستقل است و فقط به زمان حال وابسته است. و این به این معناست که حالت از لحاظ آماری برای توصیف آینده کافی است.

نکته ۲-۱-۷. حالت محیط S_t^e مارکوف است. همچنین تاریخچه نیز مارکوف است.

۲-۱-۵ مشاهده پذیری

مشاهده پذیری کامل

عامل به‌طور مستقیم حالت محیط را مشاهده می‌کند. بنابراین در این حالت داریم:

$$O_t = S_t^a = S_t^e$$

بنابراین در این حالت عبارت های زیر با یکدیگر برابر هستند.

$$\text{حالت اطلاعاتی} = \text{حالت محیط} = \text{حالت عامل}$$

²² Agent State

²³ Markov

²⁴ Markov State

^{۲۵} به صورت رسمی، این فرایند یک روند تصمیم‌گیری مارکوف^{۲۷} (MDP) می‌باشد. [۴]

مشاهده پذیری جزئی

عامل به‌طور غیر مستقیم محیط را مشاهده می‌کند.

نمونه ۸-۱-۲. یک ربات با دید دوربین نمی‌تواند موقعیت مطلق را اعلام کند.

نمونه ۹-۱-۲. یک اتومبیل با سنسور تشخیص فاصله نمی‌تواند اطلاعاتی مانند نوع ماشین و قیمت آن را تشخیص دهد.

^{۲۵} حالت اطلاعاتی^{۲۶} مفهومی مانند حالت مارکوف دارد.

^{۲۷} Markov Decision Process

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

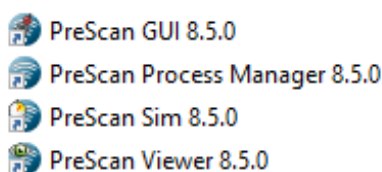
این بسته ها در لایه الگوریتم استفاده شده است. (در مورد این لایه در فصل ۴؟ بیشتر صحبت خواهد شد). هر سه تایی این بسته ها با همان دستور pip به راحتی نصب می شوند.

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

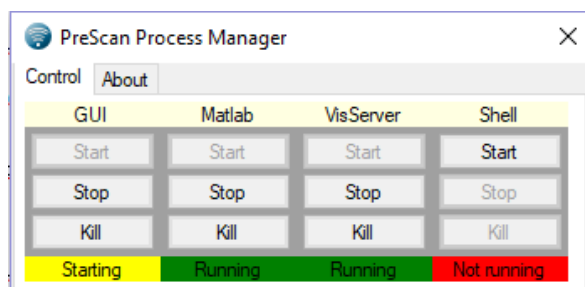
۱-۳-۳ معرفی نرم افزار پری اسکن

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.



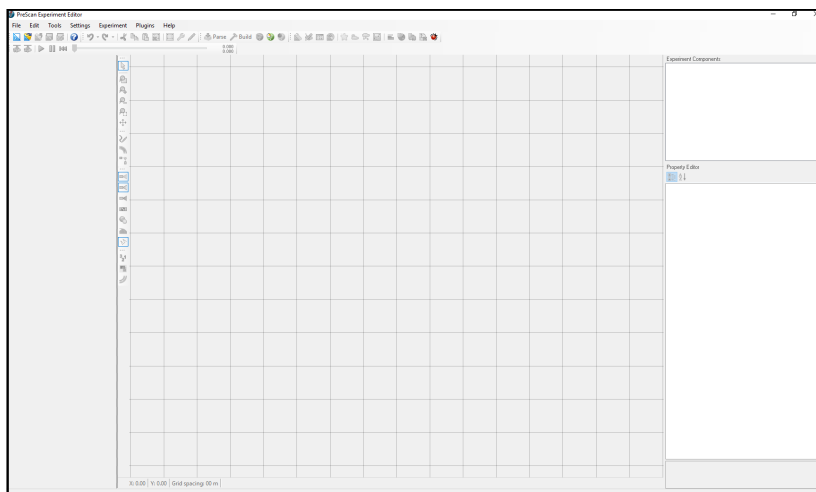
شکل ۲-۳: آیکون های اضافه شده بر روی محیط دسکتاپ پس از نصب پری اسکن

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؟؟ مربوط می شود.

فرمت فایل	توضیحات
** .pex	این فایل مربوط به اولین بلوک شکل؟؟ 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؟؟ 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؟؟ 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 ۳-۲-۲. 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 متلب 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 و نوعی نقطه تراز^{۱۴} برای پژوهش های RL محسوب می شود. [۲]

در حقیقت می توان این بسته را در وسط شکل ۱-۳ جای داد. جایی که لایه محیط و لایه الگوریتم^{۱۵}

¹⁴Bechmark

¹⁵Algorithm

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 های بدست آمده در پایان هر اپیزود ^{۱۲}	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 ^{۱۳}	pip install tensorflow

جدول ۳-۲:

به یک دیگر می رسند.

این بسته محیط هایی از پیش ساخته شده دارد. نام این بسته ها در لیست زیر آمده است. ^{۱۶} اکثر این محیط ها نوعی بازی هستند که عامل 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 •

نصب

برای نصب نسخه کمینه این نرم افزار با همان روش pip به راحتی می توان نرم افزار مورد نظر را نصب کرد. [۳] 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.

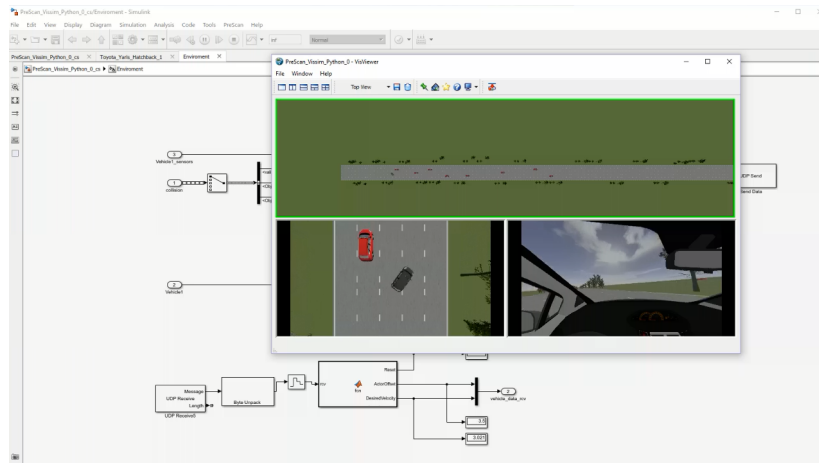
^{۱۶} جدول کامل در سایت <https://github.com/openai/gym/wiki/Table-of-environments> قرار دارد.

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]` 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

توضیح مختصری بر الگوریتم



شکل ۴-۱: محیط شبیه سازی

در فصل ۲ در مورد مفاهیم یادگیری تقویتی بحث شد. مهمترین مفاهیم عبارتند از:

۱. محیط
۲. عامل
۳. حالت محیط
۴. حالت عامل
۵. امتیاز
۶. مشاهده پذیری

هدف در این پروژه این بود که یک ماشین خودران^۱ با استفاده از الگوریتم های یادگیری تقویتی ساخته شود. جزییات تئوری الگوریتم و جزییات فنی پروژه به ترتیب در بخش های ۲ و ۳ آورده شده‌اند. در این بخش به شبیه سازی و جزییات کار و تعریف پارامتر های این پروژه پرداخته می‌شود.

۴-۱ معرفی محیط شبیه سازی

در ابتدا محیط شبیه سازی را معرفی می‌کنیم. جزییات فنی این محیط در ۳ و ۴ و همچنین نحوه راه‌اندازی آن در بخش ۶-۱ به صورت کامل مورد بحث قرار گرفته است. اگر آن محیط را باز کنید محیط مانند شکل ۴-۱ باز خواهد شد. این محیط دو آبجکت مهم دارد؛ (آ) ماشین (اتومبیل) (ب) جاده (شکل ۴-۲) چیزی که اهمیت دارد اندازه ها و نحوه تعریف محدوده هاست. شکل ۴-۳ اندازه‌ها و محدوده ها را مشخص کرده است. شکل ۴-۳(ب) نشان می‌دهد که این محدوده ها کاملاً بر روی یک دیگر منطبق نیستند. دلیل اصلی این موضوع عدم اهمیت تطبیق دقیق این دو می‌باشد. در بخشی که پشت ماشین قرار دارد این محدوده از ۴- (کمی بیشتر از اندازه عرض لاین ها) شروع می‌شود. زیرا نیازی نیست بیشتر از این مقدار ماشین مورد بررسی به عقب برود تا متوجه شویم اشتباه در حال رفتن است. درحقیقت این

¹Autonomous Vehicle



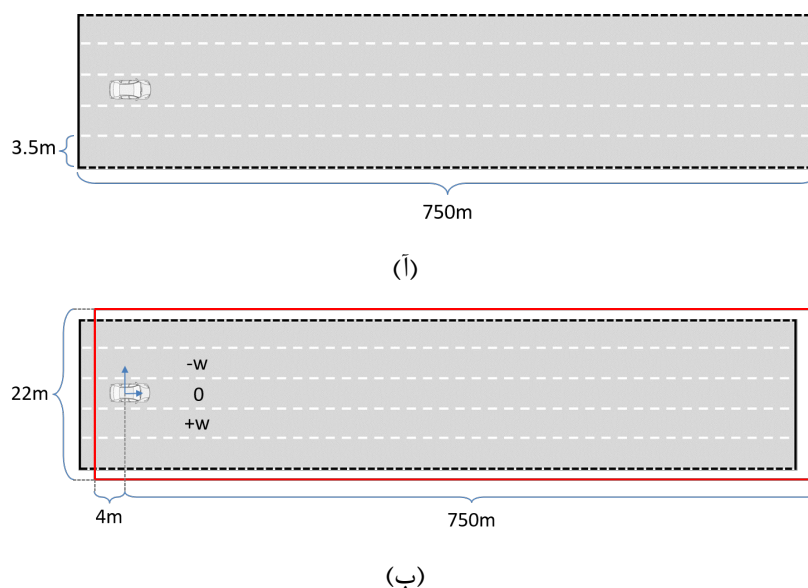
شکل ۲-۴:

مورد کمک می‌کند تا تعداد مرحله‌ها را در هر اپیزود اشتباه کاهش یابد. بخش‌های کناری نیز از ۱۱- تا ۱۱+ محدود شده‌اند (بیشتر از عرض خود جاده) تا اگر نوسانی یافت به ماشین این اجازه داده شود تا به مسیر اصلی برگردد.

یادداشت ۱-۱-۴. ماشین در مبدا صفحه قرار دارد. از این رو اعداد منفی نسبت به همین ماشین نیز سنجیده می‌شوند.

۳ مقدار $+w$ ، $-w$ و 0 که در شکل ۳-۴ (ب) بر روی جاده نوشته شده است در حقیقت مرتبط با بحث فنی ماجرا می‌باشد اما مفهوم آن این است که عامل مورد بررسی می‌تواند این سه لاین را به عنوان حرکت اختیار کند. در حقیقت می‌توان آن‌ها را به عنوان اسم برای هر لاین در نظر گرفت. در مورد حرکت بیشتر صحبت خواهد شد.

یادداشت ۲-۱-۴. راه‌اندازی این محیط کمی دردسر خواهد داشت از این‌رو نیاز است پیش از راه‌اندازی بخش ۱-۶ به‌طور دقیق مطالعه شود.



شکل ۳-۴:

۲-۴ معرفی رابط برنامه‌نویسی برنامه و الگوریتم

در این پروژه دو الگوریتم DQN^۲ و A2C^۳ بهتر از سایر الگوریتم‌ها عمل کردند اما در نهایت با توجه به آزمایش‌ها و ملاحظات که انجام شد، الگوریتم DQN از لحاظ سرعت همگرایی بهتر از الگوریتم A2C پاسخ داد. بنابراین صرفاً بر روی این الگوریتم بحث خواهد شد.

```

1 import gym, gym_prescan
2
3 from stable_baselines.common.vec_env import DummyVecEnv
4 from stable_baselines.deepq.policies import MlpPolicy
5 from stable_baselines import DQN
6
7 save_load = "deepq_prescan"
8 env_dict = {
9     'id': 'prescan-without-matlabengine-v0',
10    'verbose': True,
11    'host': '172.21.217.140',
12    # 'delay': 1,
13    'nget': 150
14 }
15
16 env = gym.make(**env_dict)
17 env = DummyVecEnv([lambda: env])
18 model = DQN(MlpPolicy, env, verbose=1, gamma=0.8,
19             prioritized_replay=True)
19 print('Model created!')
20 try:
21     model.learn(total_timesteps=50000)
22 except:
23     print('Error!')
24 model.save(save_load)

```

این کد بخش آموزش^۴ را نشان می‌دهد. بخش تست^۵ در تمامی الگوریتم‌ها مشابه یک دیگر است و از جایی که مدل تعریف می‌شود (در اینجا خط ۱۸) شروع خواهد شد.

^۲Deep Q-Learning

^۳Synchronous Actor Critics

^۴Train

^۵Test

بخش تست در تمامی الگوریتم ها کد زیر است.

```

1 model = DQN.load(save_load)
2 obs = env.reset()
3 while True:
4     print('-----TEST-----')
5     action, _states = model.predict(obs)
6     obs, rewards, dones, info = env.step(action)
7     env.render()

```

از روی چند خط آغازین کد DQN می‌توان دریافت که این کد با استفاده از gym [۳] و stable-baseline [۵] نوشته شده است.

بخش مهم بعدی متغیری از جنس دیکشنری به نام env_dict است. این متغیر برای ساختن متغیر env در دستور env = gym.make(**env_dict) به کار می‌رود. ^۶ توضیح این متغیر و اجزای آن در جدول ۱-۴ آمده است.

همان‌طور که در جدول ۱-۴ توضیح داده شده است؛ دو متغیر nget و delay هر دو از جنس تاخیر می‌باشند. محل تاخیر در تابع step می‌باشد. کد زیر محل تاخیر را نشان می‌دهد.

```

1 def step(self, action):
2     self.send(action)
3     # ----- BEGIN -----
4     if self.delay > 0 :
5         sleep(self.delay)
6     for _ in range(self.nget):
7         self.render_()
8         if self.done:
9             break
10    # ----- END -----
11    observation = self._next_observation()
12    reward = self.calc_reward()
13    done = self.done
14    info = {'Collision':self.collision
           , 'Position':self.agent['data']['Position']}

```

این کد که در حقیقت هسته اصلی ^۷ تابع step می‌باشد. در بین محدوده مشخص شده، تاخیر صورت

^۶ متغیر env در حقیقت نقش محیط را در الگوریتم دارد.

^۷ این کد از آن جهت که کاملاً با تابع اصلی برابر نمی‌باشد، واژه "هسته اصلی" برای آن در نظر گرفته شده است. تفاوت

متغیر	توضیحات
id	در این پروژه این متغیر دو حالت بیشتر ندارد که هردو از جنس رشته هستند. اگر این کد با استفاده از موتور متلب استفاده شود، 'prescan-v0' خواهد بود و اگر از موتور متلب استفاده نشده باشد مقدار آن 'prescan-without-matlabengine-v0' خواهد بود. این متغیر مقدار پیش فرض ندارد.
verbose	این متغیر که از جنس بولین می باشد، در صورتی که یک باشد اطلاعات جامعی را در هر مرحله را چاپ می کند. علاوه بر آن اطلاعات آماری امتیازهای بدست آمده در پایان هر اپیزود را نیز چاپ می کند. به طور کلی اجازه گزارش دادن و ندادن اطلاعات درونی الگوریتم توسط این متغیر کنترل می شود.
host	این متغیر برای اتصال شبکه بین دو کامپیوتر به کار می رود و در حقیقت IP کامپیوتری است که ویندوز بر روی آن نصب است. مقدار پیش فرض این متغیر 'localhost' می باشد.
delay	همان طور که مشخص است این متغیر مقدار تاخیر را مشخص می کنم و مورد کاربرد آن لحظه ای است که action در تابع step فرستاده شده است و پس از گذشت مقداری تاخیر برحسب ثانیه سعی در دریافت اطلاعاتی مانند مشاهده بعدی و محاسبه امتیاز و ... داریم. مقدار پیش فرض این متغیر نیز صفر است.
nget	این متغیر نیز به نوعی متفاوت تاخیر را شکل می دهد. این متغیر از نوع عدد صحیح می باشد و هنگامی که مقدار آن ۱۵۰ است یعنی محل تاخیر، ۱۵۰ بار داده ها را دریافت می کند و مقدار آن ها را می خواند. در حالت عادی تا پایان ۱۵۰ امین دریافت هیچ کاری نمی کند مگر این که مقدار done برابر یک شود؛ در این صورت حلقه را متوقف کرده و باقی عملیات را انجام می دهد. مقدار پیش فرض این متغیر یک می باشد.
experimant_name	این متغیر مربوط به تنظیمات موتور متلب می باشد و به صورت عادی نیازی به تغییر مقدار پیش فرض آن نیست.
close_window	این پارامتر در صورتی قابل اجراست که کد پایتون و نرم افزار پری اسکن هردو بر روی یک کامپیوتر باشند و وظیفه آن این است که محیط گرافیکی را پس از اجرا شدن کد می بندد و مقدار پیش فرض آن صفر می باشد.

جدول ۴-۱: بررسی پارامترهای موجود در env_dict

می‌گیرد. همان طور که مشخص است این تاخیر بین فرستادن حرکت و محاسبه پارامترهایی مانند امتیاز و مشاهده (حالت) می‌باشد.

یادداشت ۴-۲-۱. علت اصلی وجود تاخیر، مهلت دادن به عامل برای انجام حرکت است.

دو متغیر `nget` و `delay` هر دو وظیفه ایجاد تاخیر دارند که نحوه ایجاد این تاخیر با یکدیگر کاملاً متفاوت است. همچنین این امکان نیز وجود دارد به صورت ترکیبی نیز این تاخیر را ایجاد کرد. هر کدام از این روش‌ها مزایا و معایب خاص خود را دارند.

مزیت مهم استفاده از `nget` این است که به صورت مداوم در حال دریافت اطلاعات از محیط شبیه‌سازی است. بنابراین در صورت رخ دادن اتفاق خاصی مانند تصادف کردن و یا از مسیر خارج شدن می‌تواند آن را به موقع تشخیص دهد و تصمیمات لازم را انجام دهد. در صورتی که در زمانی که تاخیر ناشی از `delay` است، عملاً در آن مدت ارتباط با محیط شبیه سازی قطع شده است و ممکن است رخ دادن موارد گفته شده یا بسیار دیر متوجه شود و یا اصلاً متوجه نشود.

به طور مثال در صورتی که دو ماشین با یکدیگر تصادف داشته باشند؛ اگر این رخداد سریعاً تشخیص داده نشود، در این صورت احتمال دارد این دو ماشین از روی یک دیگر عبور کنند! و پس از عبور کردن این اطلاعات دریافت شود و برخوردی تشخیص داده نشود. از آن جا که برخورد بیشترین میزان تاثیر در امتیاز دارد؛ بنابراین، این اتفاق تاثیرات خیلی مخربی می‌تواند بر الگوریتم بگذارد.

هیپ

آن با کد اصلی برخی عملیات است که مرتبط با چاپ شدن اطلاعات در حال اجرا می‌باشد که به مقدار `verbose` مرتبط می‌شود.

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 چیسستی آن ابزار ها و ضرورت استفاده از آن‌ها داده شد. اما سوالات بی جوابی نیز ماند که در این فصل به آن‌ها خواهیم پرداخت.

یکی از آن سوالات نحوه راه‌اندازی کد پروژه می‌باشد و سوال دیگر نتیجه حاصل از شبیه سازی نهایی چگونه است می‌باشد.

۱-۶ راه‌اندازی

این کد در گیت هاب در دو مخزن^۱ موجود می‌باشد. ابتدا پیش‌نیاز های لازم را که در بخش ۳ توضیح داده شدند، را نصب کنید. پیشنهاد می‌شود که تمامی نسخه‌های لازم توضیح داده شده در بخش ۳ را در سیستم‌عامل لینوکس استفاده کنید.

اگر به توصیه استفاده از لینوکس عمل نکرده باشید، می‌توانید با استفاده شبکه که کد در اختیارتان قرار می‌دهد کد را روی دو کامپیوتر ران کنید به طوری که در یک کامپیوتر ویندوز و نرم افزار های گفته شده نصب باشد و روی دیگری لینوکس و پایتون و پیش‌نیاز های پایتون که در بخش ۳-۴ بررسی شدند نصب باشد.

یادداشت ۱-۱-۶. بهتر است این دو کامپیوتر در یک شبکه داخلی به یک دیگر متصل شده باشند.

حال وارد کامپیوتری شوید که ویندوز بر روی آن نصب است. این کامپیوتر قرار است نقش محیط را برای ما ایجاد کند.

یادداشت ۲-۱-۶. کد های پایتون صرفاً بر روی کامپیوتری که لینوکس دارد اجرا کنید.

که دستور زیر را در ترمینال^۲ خود وارد کنید.

```
1 git clone https://github.com/MohammadRaziei/gym-Prescan.git
2 pip install -e gym-Prescan
```

خط دوم این کد، اختیاری می‌باشد و صرفاً کار را ساده می‌کند. همچنین می‌توان آن را به صورت زیر نیز نوشت:


```
1 pip install git+https://github.com/MohammadRaziei/gym-Prescan
```

¹Repository

²Terminal

سپس وارد مسیر زیر شوید.

`gym-Prescan/gym_prescan/envs/PreScan`

سپس با استفاده از آیکون ^۳ کلیک کنید. در این صورت بر روی نوار Toolbar این آیکون نیز ظاهر می شود. با فشردن آن، پنجره شکل ۳-۳ باز می شود. بر روی Matlab کلیک کنید تا محیط متلب باز شود. اجرای فایل `startup.m` برای هنگامی که از کد پایتون بر روی همان سیستم استفاده نمی کنید، اختیاری است.

فایل سیمولینک را باز کرده و

پس حال در سیستم لینکوس خود میتوانید بسته زیر را دانلود کنید.

```
1 git clone https://github.com/MohammadRaziei/gym-Prescan-minimal.git
2 cd gym-Prescan-minimal
```

در این پوشه تعدادی از الگوریتم های معروفی که در حوزه یادگیری تقویتی عمیق نوشته شده است، قرار دارد. در بین این الگوریتم ها دو الگوریتم DQN و A2C نسبت به بقیه بهتر جواب داده اند. این الگوریتم ها در بخش؟؟ و در [۵] توضیح کامل داده شده اند.

^۳ این آیکون پس از نصب نرم افزار پری اسکن بر روی دستکتاپ تشکیل می شود.

منابع و مراجع

- [1] D. Silver, “UCL course on RL.” <http://www0.cs.ucl.ac.uk/staff/d.silver/web/Teaching.html>, 2015.
- [2] G. Hayes, “How to install openai gym in a windows environment.” <https://medium.com/p/338969e24d30>, 2018.
- [3] G. Brockman, V. Cheung, L. Pettersson, J. Schneider, J. Schulman, J. Tang, and W. Zaremba, “Openai gym,” 2016.
- [4] R. S. Sutton and A. G. Barto, *Reinforcement Learning: An Introduction*. The MIT Press, second ed., 2018.
- [5] A. Hill, A. Raffin, M. Ernestus, A. Gleave, A. Kanervisto, R. Traore, P. Dhariwal, C. Hesse, O. Klimov, A. Nichol, M. Plappert, A. Radford, J. Schulman, S. Sidor, and Y. Wu, “Stable baselines.” <https://github.com/hill-a/stable-baselines>, 2018.

نمایه

مخزن، ۲۷	حرکت، ۸۶، ۲۱
امتیاز، ۷۵، ۲۰، ۲۲	عامل، ۹۶، ۱۷، ۲۰، ۲۱
فرضیه امتیازها، ۵	حالت عامل، ۸، ۲۰
یادگیری تقویتی، ۶۴، ۱۶، ۲۰، ۲۲	الگوریتم، ۱۶، ۱۷
یادگیری شبه ناظر، ۴	ماشین خودران، ۲۰
حالت، ۸۶، ۲۲	نقطه تراز، ۱۶
مرحله، ۶، ۲۱	خوشه بندی، ۴
ناظر، ۵	هزینه، ۵
یادگیری با ناظر، ۴	یادگیری تقویتی عمیق، ۱۷، ۲۸
ترمینال، ۲۷	محیط، ۶، ۷، ۹، ۱۶، ۱۷، ۲۰، ۲۷
تست، ۲۲، ۲۳	حالت محیط، ۷، ۸، ۲۰
آموزش، ۲۲	اپیزود، ۲۱
یادگیری بدون ناظر، ۴	فیدبک، ۵
	تاریخچه، ۷، ۸
	حالت اطلاعاتی، ۹
	مارکوف، ۸
	حالت مارکوف، ۸، ۹
	متلب، ۱۷
	یادگیری ماشین، ۴
	مشاهده، ۶، ۷
	مشاهده پذیری، ۸، ۲۰
	پری اسکن، ۲۸

فهرست اختصارات

A

A2C Synchronous Actor Critics

D

DQN Deep Q-Learning

R

RL Reinforcement Learning

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

E

Environment محیط
Environmnet State حالت محیط
Episode اپیزود

F

Feedback بازخورد
Full observability ... مشاهده‌پذیری کامل

H

History تاریخچه

I

Information State حالت اطلاعاتی

M

Machine Learning یادگیری ماشین
Markov مارکوف
Markov Decision Process روند تصمیم‌گیری مارکوف
Markov State حالت مارکوف

A

Action حرکت
Action Space فضای حرکت
Agent عامل
Agent State حالت عامل
Algorithm الگوریتم
Anaconda نرم‌افزار آناکوندا
Autonomous Vehicle ماشین خودران

B

Bechmark نقطه تراز

C

Clustering خوشه بندی
Cost هزینه

D

Deep یادگیری تقویتی عمیق
Reinforcement Learning
Dynamic Data داده‌های پویا

T

Terminal ترمینال
 Timeout سقف زمانی

U

Unsupervised Learning یادگیری بدون ناظر

Matlab نرم‌افزار متلب

Matlab Engine موتور متلب

O

Observability مشاهده‌پذیری

Observation مشاهده

Observation Space فضای مشاهده

P

Partial observability مشاهده‌پذیری جزئی

PreScan نرم‌افزار پری‌اسکن

R

Reinforcement Learning یادگیری تقویتی

Repository مخزن (گیت‌هاب)

Reward امتیاز

Reward Hypothesis فرضیه امتیازها

S

Semi-Supervised یادگیری شبه ناظر
 Learning

Simulink سیمولینک

State حالت

Step مرحله

Supervised Learning یادگیری با ناظر

Supervisor ناظر

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

خ	ا
Clustering خوشه بندی	Episode اپیزود
	Algorithm الگوریتم
	Reward امتیاز
د	
Dynamic Data داده‌های پویا	
	ب
	Feedback بازخورد
س	
Timeout سقف زمانی	
Simulink سیمولینک	ت
	History تاریخچه
	Terminal ترمینال
ع	
Agent عامل	
	ح
	State حالت
ف	Information State حالت اطلاعاتی
Reward Hypothesis فرضیه امتیازها	Agent State حالت عامل
Action Space فضای حرکت	Markov State حالت مارکوف
Observation Space فضای مشاهده	Environmnet State حالت محیط
	Action حرکت
م	
Markov مارکوف	

یادگیری ماشین Machine Learning

ماشین خودران Autonomous Vehicle

محیط Environment

مخزن (گیت‌هاب) Repository

مرحله Step

مشاهده Observation

مشاهده‌پذیری Observability

مشاهده‌پذیری جزئی Partial observability

مشاهده‌پذیری کامل Full observability

موتور متلب Matlab Engine

ن

ناظر Supervisor

نرم‌افزار آناکوندا Anaconda

نرم‌افزار پری‌اسکن PreScan

نرم‌افزار متلب Matlab

نقطه تراز Bechmark

ه

هزینه Cost

ی

یادگیری با ناظر Supervised Learning

یادگیری بدون ناظر Unsupervised Learning

یادگیری تقویتی Reinforcement Learning

یادگیری تقویتی عمیق Deep

Reinforcement Learning

یادگیری شبه ناظر Semi-Supervised

Learning