

یادگیری و انواع آن

یادگیری عمیق

گردآورنده: سینا جعفری

۱ تعریف یادگیری

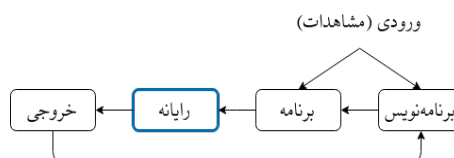
یک عامل در حال یادگیری است، اگر پس از مشاهده‌هایی درباره جهان، عملکرد خود را بهبود بخشد. یادگیری می‌تواند از موارد ساده مثل نوشتن یک لیست خرید گرفته تا موارد عمیق مثل زمانی که آلبرت اینشتین یک تئوری جدید درباره جهان را استنتاج می‌کند، متغیر باشد. زمانی که عامل یک رایانه است، آن را یادگیری ماشین می‌نامیم: یک رایانه داده‌هایی را مشاهده می‌کند، بر اساس داده‌ها یک مدل ایجاد می‌کند و از مدل به عنوان فرضیه‌ای درباره جهان و یک قطعه نرم‌افزاری برای حل مسائل استفاده می‌کند [۱].

۲ یادگیری ماشین

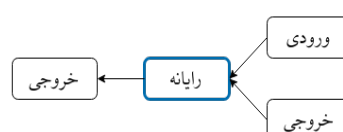
یکی از انگیزه‌های اصلی توسعه برنامه‌های (رایانه‌ای)، اتوماتیک کردن انواع مختلف فرایندها (که اغلب زمان‌بر هستند) است. درحقیقت، یادگیری ماشین به عنوان یک زیرحوزه در حوزه هوش مصنوعی توسعه یافت و یکی از اهداف پشت یادگیری ماشین، جایگزین کردن نیاز به توسعه برنامه‌های رایانه‌ای "دستی" بود. با توجه به این که برنامه‌ها جهت اتوماتیک کردن فرایندها توسعه می‌یابند، می‌توانیم یادگیری ماشین را به عنوان فرایند "اتوماتیک کردن اتوماتیک" در نظر بگیریم. به عبارت دیگر، یادگیری ماشین به رایانه‌ها اجازه می‌دهد برنامه‌ها را "ایجاد" کنند (که اغلب هدف از توسعه این برنامه‌ها پیش‌بینی است). می‌توانیم بگوییم که یادگیری ماشین فرایند تبدیل داده به برنامه است (شکل ۱). در جامعه یادگیری ماشین، به طور گسترده اعلام شده که اصطلاح یادگیری ماشین برای نخستین بار توسط آرتور لی ساموئل، یک پیشوای حوزه هوش مصنوعی، در سال ۱۹۵۹ ارائه شده است [۲]. یکی از نقل قول‌هایی که تقریباً هر منبع معرفی اولیه یادگیری ماشین اشاره می‌کند، نقل قول زیر است که به خوبی و مختصر مفهوم پشت یادگیری ماشین را خلاصه می‌کند^۱:

"یادگیری ماشین زمینه‌ای از مطالعه است که به رایانه‌ها این قابلیت را می‌دهد که بتوانند بدون برنامه‌نویسی صریح یاد بگیرند. — آرتور ال. ساموئل، پیشوای هوش مصنوعی، ۱۹۵۹"

روال برنامه‌نویسی سنتی



یادگیری ماشین



شکل ۱: مقایسه یادگیری ماشین با روش سنتی برنامه‌نویسی.

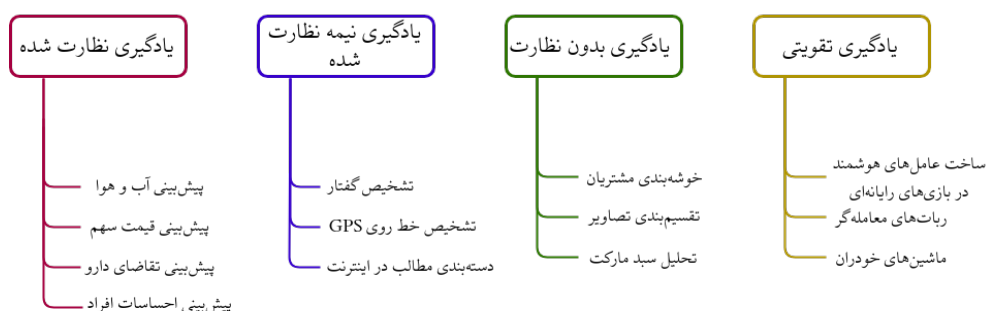
¹<https://pages.stat.wisc.edu/~sraschka/teaching/stat451-fs2020/>

اما تعریف دقیق‌تری نیز برای یادگیری ماشین توسط تام میچل در کتاب یادگیری ماشین [۳] ارائه شده است که به صورت زیر است: “یک برنامه رایانه گفته می‌شود از تجربه‌ی E نسبت به یک دسته از وظایف T و معیار اجرای P یاد می‌گیرد، اگر عملکرد آن در وظایف مربوط به T به عنوان اندازه‌گیری شده توسط P با پیشرفت تجربه E بهبود یابد — تام میچل، استاد یادگیری ماشین در دانشگاه کارنگی ملون.”

۳ انواع یادگیری ماشین

به‌طور کلی می‌توان حوزه یادگیری ماشین را از دیدگاه‌های مختلفی دسته‌بندی کرد. یکی از مهم‌ترین دسته‌بندی‌های این حوزه که براساس نوع مسئله و مقدار هدف تعریف می‌شود، دارای چهار دسته اصلی است که در شکل ۲ نیز آورده شده است.

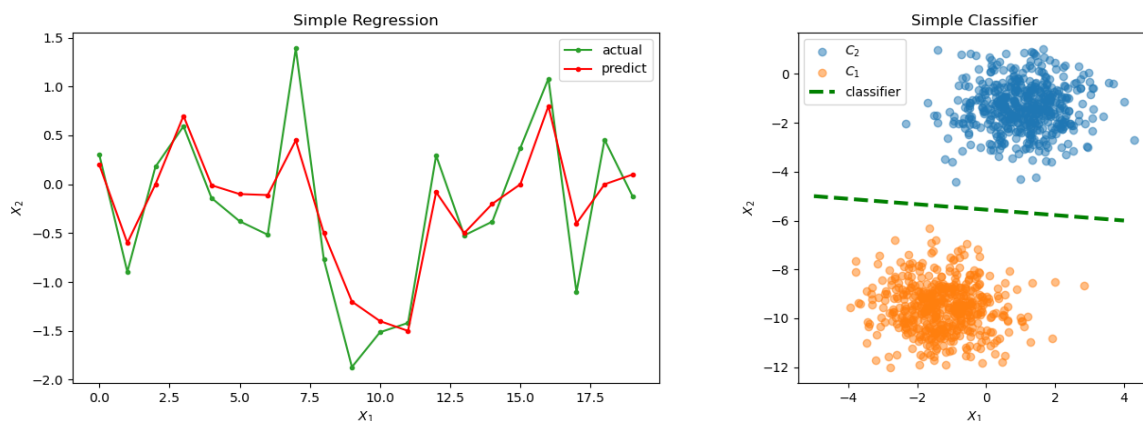
انواع یادگیری ماشین



شکل ۲: انواع یادگیری ماشین.

۱.۳ یادگیری نظارت شده

یادگیری نظارتی^۲ زیرشاخه‌ای از یادگیری ماشین است که بر روی یادگیری یک مدل طبقه‌بندی یا رگرسیون (شکل ۳) تمرکز دارد. به عبارت دیگر، از داده‌های آموزشی با برچسب (یعنی ورودی‌هایی که حاوی خروجی‌های مورد نظر نیز هستند؛ به عبارت ساده‌تر، “نمونه‌ها” در کنار آنچه می‌خواهیم پیش‌بینی کنیم) یاد می‌گیرد.



شکل ۳: نمونه‌ای از یک مدل دسته‌بند و رگرسیون.

^۲Supervised Learning

این نوع از یادگیری، در بسیاری از مسائل مرسوم حوزه یادگیری کاربرد دارد و می‌توان گفت مهم‌تر از انواع دیگر یادگیری است. به عنوان مثال بیشتر مسائلی که در حوزه پردازش متن و تصاویر تعریف می‌شود، از نوع یادگیری نظارت شده هستند. البته که به دلیل نیاز داشتن به مقدار برجسب‌گذاری دقیق نمونه‌ها، تهیه کردن مجموعه داده‌های چنین مسائلی، هزینه‌بر خواهد بود، گرچه با اختیار داشتن مقدار برجسب هر نمونه، می‌توانیم تخمین دقیق‌تر از خواسته مسئله برآورده کنیم.

۲.۳ یادگیری بدون نظارت

برخلاف یادگیری نظارت شده، یادگیری بدون نظارت یک بخش از یادگیری ماشین است که با داده‌های بدون برجسب سر و کار دارد. وظایف متداول در یادگیری بدون نظارت شامل تجزیه و تحلیل خوشه‌بندی (تخصیص اعضای گروه؛ شکل ۴) و کاهش ابعاد (فشرده‌سازی داده به یک زیرفضای با بعد کمتر) می‌شوند.



شکل ۴: نمونه‌ای از یک مدل خوشه‌بندی.

از خوشه‌بندی همچنین در تقسیم‌بندی تصاویر^۳ نیز می‌توان استفاده کرد، که معروف‌ترین الگوریتم خوشه‌بندی برای این مورد خوشه‌بندی طیفی^۴ نام دارد. در ادامه چند مورد از الگوریتم‌های خوشه‌بندی را نام برده و چند مورد از آن‌ها را در فصل خوشه‌بندی به طور کامل توضیح خواهیم داد.

- k-means
- k-means++
- Spectral
- DBSCAN^۵
- Meanshift
- Centroid

^۳Images Segmentation

^۴Spectral Clustering

^۵Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise

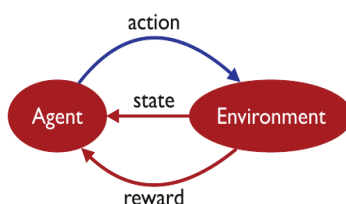
۳.۳ یادگیری تقویتی

یادگیری تقویتی یک حوزه پربار از یادگیری ماشین است که ارتباطاتی با نظریه کنترل^۶، بهینه‌سازی، و علوم شناختی^۷ دارد. یادگیری تقویتی مطالعه برنامه‌ریزی^۸ و یادگیری در یک سناریو است که یک فراگیر^۹ به‌طور فعال با محیط تعامل دارد تا یک هدف مشخص را دستیابی کند. این تعامل فعال باعث مشروح کردن واژه عامل^{۱۰} برای اشاره به فراگیر می‌شود. معمولاً دستیابی به هدف عامل از طریق پاداشی^{۱۱} اندازه‌گیری می‌شود که از محیط دریافت می‌کند و به دنبال بیشینه کردن آن است [۴].

از یادگیری تقویتی در برنامه‌های مختلفی همچون ساخت بازی‌های رایانه‌ای هوشمند، ربات‌های هوشمند معامله‌گر، کسب و کارهای تجاری و اغلب برنامه‌هایی که نیاز به یک عامل فعال دارد که قرار است در محیط اکتشاف انجام دهد تا بتواند به هدفی که برای آن تعیین شده است، استفاده می‌شود. در یادگیری تقویتی، پنج مفهوم اساسی وجود دارد که سناریوی کلی آن را می‌سازد. این مفاهیم عبارتند از:

- ۱ عامل
- ۲ محیط
- ۳ عمل
- ۴ پاداش
- ۵ حالت

در یک سناریو یادگیری تقویتی، ابتدا عامل در یک محیط قرار داده می‌شود که جنس این محیط می‌تواند از نوع پیوسته یا گسسته باشد، سپس عامل در این محیط شروع به انجام عمل‌هایی می‌کند که برایش تعریف شده است و نسبت به این اعمال، پاداش یا جریمه‌ای را از طرف محیط دریافت می‌کند. با انجام هر عمل، عامل از حالت فعلی به حالت بعدی حرکت می‌کند (شکل ۵). البته باید این نکته هم در نظر داشت که محیط علاوه بر پیوسته یا گسسته بودن، می‌تواند دو حالت شناخته شده و شناخته نشده داشته باشد. اگر محیط شناخته شده باشد برای عامل، مسئله ما تبدیل به یک مسئله بهینه‌سازی خواهد شد هدف آن بیشینه یا کمینه کردن یک تابع هدف است. اما اگر محیط شناخته نشده باشد برای عامل، عامل باید از روش‌های یادگیری استفاده کند تا بهترین سیاست را برای هدفی که دارد اتخاذ کند.



شکل ۵: شمای کلی فرآیند یادگیری تقویتی

۴.۳ یادگیری نیمه نظارت شده

در یادگیری نیمه نظارت شده^{۱۲}، ترکیبی از دو حالت نظارت شده و بدون نظارت را شاهد خواهیم بود. بطوریکه بخشی از نمونه‌های مجموعه داده‌ها مورد نظر ما، دارای برچسب هستند و بخش دیگری از آن‌ها برچسبی ندارند. در سناریوهای واقعی‌تر که داده‌ها به سختی تهیه می‌شوند، چنین حالتی از یادگیری را ممکن است زیاد مشاهده کنیم. به عنوان مثال فرض کنید داده‌ای از حرکت یک عامل بر روی نقشه داریم که همان خط حرکت عامل در نقشه است، حال ممکن است در بعضی نقاط خط کامل نباشد و باید بتوان امتداد خط حرکت

⁶Control Theory

⁷Cognitive Sciences

⁸Planning

⁹Learner

¹⁰Agent

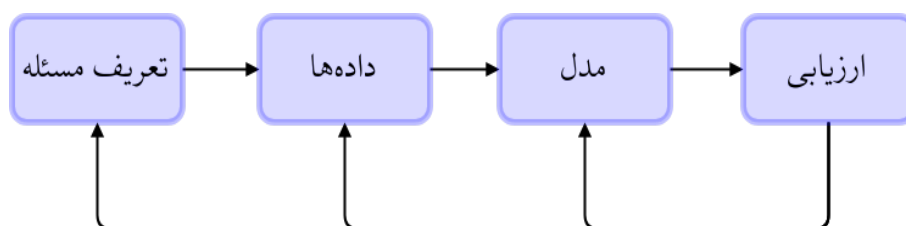
¹¹Reward

¹²Semi-Supervised Learning

را پیش‌بینی کرد تا خط را کامل و با بیشترین دقت تخمین بزنیم. ساده‌ترین راه مقابله با چنین شرایطی، این است که مدل را بر روی داده‌های آموزشی، آموزش داده و سپس برچسب داده‌های بدون برچسب را پیش‌بینی کنیم گرچه که انجام چنین کاری ممکن است دقت کافی را نداشته باشد. اغلب برای مقابله با چنین سناریوهایی، از الگوریتم‌ها و روش‌های ترکیبی از دو حالت نظارت شده و بدون نظارت استفاده می‌کند.

۴ چرخه زندگی یادگیری ماشین

فرآیند کلی و چرخه زندگی یک مسئله در حوزه یادگیری ماشین در شکل ۶ نشان داده شده است. در این چرخه، ابتدا باید بتوان مسئله موردنظر را مدل‌سازی کرد. این قسمت را می‌توان مهم‌ترین بخش از این فرآیند نام برد، چراکه بخشی از مسائل مطرح شده ممکن است اصلاً نیازی به فرآیند یادگیری نداشته باشند و بتوان با مدل‌سازی مسئله در فرم‌های گرافی، آماری و ... برای آن یک راه‌حل بهتر ارائه کرد. بنابراین خیلی مهم است که در ابتدا بتوانیم مسئله موردنظر را به خوبی مدل‌سازی کنیم. در گام بعدی، باید به دنبال مجموعه دادگان موردنیاز برای مسئله تعریف شده باشیم. این بخش همچنین ممکن است شامل پیش‌پردازش‌هایی نیز بر روی داده‌ها باشد که در صورت نیاز انجام خواهد شد. سپس بعد از تعریف مسئله و تهیه داده‌ها، باید بتوان مناسب‌ترین مدل یادگیری را انتخاب کرد. این مدل‌ها می‌توانند از نوع شبکه‌های عصبی، درخت‌های تصمیم‌گیری، مدل‌های خطی و غیرخطی و ... باشند. در آخر نیز باید تمام نتایجی که پیش‌بینی شده‌اند را ارزیابی کرد. گاهی در مسائل پیش‌رو می‌توانیم از معیارهای ارزیابی مرسوم مانند دقت، precision ، f-score و AUC ... استفاده کنیم و گاهی نیز مجبور به تعریف معیارهای ارزیابی دقیق‌تر مختص به مسئله هستیم.



شکل ۶: چرخه زندگی یادگیری ماشین.

پس از طی شدن یک دور از این ترتیب، با توجه به مقدار بدست آمده در مرحله ارزیابی، باید تصمیم بگیریم که به کدام یک از مراحل قبل بازگردیم و اصلاحاتی را انجام دهیم. به عنوان مثال ممکن است در دور اول، مدل خوب و مناسبی را انتخاب نکرده باشیم، بنابراین باید در دور بعدی، در انتخاب مدل دقت بیشتری به خرج داد. این چرخه آنقدری ادامه پیدا خواهد کرد تا مقدار ارزیابی بدست آمده، عدد مناسب و قابل قبولی باشد.

۵ آشنایی با برخی از اصلاحات یادگیری ماشین

در ادامه به چندین اصطلاح رایج در یادگیری ماشین خواهیم پرداخت و هرکدام را مختصر توضیح خواهیم داد.

۱ مجموعه دادگان^{۱۳}. به مجموعه کلی از داده‌های آموزشی، آزمایشی و ارزیابی، مجموعه دادگان گوئیم. داده‌هایی که اغلب در مسائل ساده با آن روبه‌رو خواهیم شد، از نوع جدولی^{۱۴} هستند و در ادامه خواهیم دید که داده‌ها می‌توانند در فرم‌های مختلفی همچون تصاویر، سیگنال، داده‌های زمانی و ... قرار بگیرند.

۲ داده‌های آموزشی^{۱۵}. به بخش زیادی از مجموعه داده‌های اصلی که قرار است از آن‌ها در فرآیند آموزش استفاده کنیم، داده‌های آموزشی گفته می‌شود.

¹³Datasets

¹⁴Tabular Data

¹⁵Training Data

۳ داده‌های آزمایشی^{۱۶}. بعد از آن که یک مدل آموزش داده شد، برای ارزیابی کیفیت آن، می‌بایست بخشی از داده‌های اصلی که مدل آن‌ها را مشاهده نکرده را به عنوان داده‌های آزمایشی به مدل بدهیم و کیفیت خروجی آن را ارزیابی کنیم. به این داده‌ها، داده‌های آزمایشی گوییم.

۴ پارامتر. اصطلاح پارامتر در حوزه یادگیری ماشین، به مجموعه پارامترهایی القاب می‌شود که مدل یادگیرنده، می‌بایست در طول فرآیند آموزش و با استفاده از داده‌های آموزشی آن را بدست آورد. به عنوان مثال وزن‌ها و بایاس هر لایه از یک شبکه عصبی، پارامترهایی هستند که مدل در طول فرآیند یادگیری متناسب با داده‌های آموزشی، بدست می‌آورد.

۵ ابرپارامتر^{۱۷}. به طور کلی ابرپارامترها، شامل پارامترهایی از یک مدل یادگیرنده خواهند شد که مقدار آن‌ها تا حد زیادی بر روی فرآیند یادگیری و کیفیت خروجی تأثیر خواهد گذاشت. مقدار مناسب این ابرپارامترها را نمی‌توان به سادگی تشخیص داد و باید از تکنیک‌های مختلفی همچون k -fold-cross-validation استفاده کرد. به مجموعه تمام حالت‌های ممکن برای یک ابرپارامتر، فضای ابرپارامتر^{۱۸} گوییم.

۶ ویژگی^{۱۹}. به هر ستون از جدول داده‌ها، ویژگی گوییم. مجموعه ویژگی‌ها، به طور کلی ورودی‌های مدل یادگیرنده خواهند بود. اما در فرم‌های مختلف نمایش داده، همچون تصویر و سیگنال که از نوع جدولی نیستند، مفهوم ویژگی کمی دچار تغییر می‌شود و دیگر به هر ستون از مجموعه داده‌ها نمی‌توان ویژگی گفت. اما در مفهوم انتزاعی از تعریف ویژگی، آن را یک خصیصه از داده‌ها گوییم که بیانگر بخشی از رفتار و توصیف یک نمونه از داده است.

۷ برچسب^{۲۰}. مقدار برچسب واقعی هر نمونه از مجموعه داده‌ها که قرار است پیش‌بینی شود را برچسب گوییم. در داده‌های جدولی، مقدار برچسب در غالب یک ستون نمایش داده خواهد شد که معمولاً آخرین ستون در آن جدول است.

۸ فرضیه^{۲۱}. مفهوم فرضیه در یادگیری ماشین، یک تابع مشخص است که معتقدیم مشابه تابع واقعی باشد، یعنی تابع هدفی که می‌خواهیم مدل کنیم. در زمینه دسته‌بندی اسپم، این ممکن است یک قاعده دسته‌بندی باشد که برای ما ایجاد شده و اجازه می‌دهد ایمیل‌های اسپم را از ایمیل‌های غیر اسپم جدا کنیم.

۹ تابع زیان یا هزینه^{۲۲}. این تابع بیانگر اختلاف مقدار پیش‌بینی شده و مقدار اصلی برچسب‌گذاری شده است. در مسائل مختلف یادگیری ماشین، توابع هزینه مختلفی تعریف شده است که هرکدام کاربردهای خاص خودش را دارد. هدف نهایی، کمینه کردن این تابع است، چراکه به دنبال آن هستیم که اختلاف مقدار پیش‌بینی شده با مقدار واقعی به کمترین حد خودش برسد. از معروف‌ترین توابع زیان یا هزینه می‌توان به $Cross-Entropy$ ، MAE ، MSE و ... اشاره کرد که پیاده‌سازی و نحوه کارکرد هرکدام را در فصل‌های آتی خواهیم دید.

۱۰ دسته^{۲۳}. تقریباً در تمام مسائلی که می‌خواهیم از یادگیری ماشین استفاده کنیم، ناچار هستیم که داده‌ها را به صورت دسته‌ای به مدل ارسال کنیم. اندازه دسته^{۲۴} یک ابرپارامتر در این مسائل است و اغلب اعدادی مانند ۱۶، ۳۲، ۶۴ یا ۱۲۸ برای آن انتخاب می‌شود.

۱۱ دوره^{۲۵}. در بیشتر الگوریتم‌های یادگیری، فرآیند یادگیری چندین بار تکرار خواهد شد تا مدل موردنظر بتواند بهترین مقدار پیش‌بینی را حاصل کند. به هر بار تکرار این فرآیند، یک دوره گوییم. از این اصطلاح بیشتر در مدل‌های شبکه عصبی استفاده خواهیم کرد.

¹⁶Test Data

¹⁷Hyperparameter

¹⁸Hyperparameter's Space

¹⁹Feature

²⁰Target

²¹Hypothesis

²²Loss Function

²³Batch

²⁴Batch Size

²⁵Epoch

- [1] S. J. Russell and P. Norvig, *Artificial intelligence a modern approach*. London, 2010.
- [2] A. L. Samuel, “Some studies in machine learning using the game of checkers,” *IBM Journal of research and development*, vol. 3, no. 3, pp. 210–229, 1959.
- [3] T. M. Mitchell, “Machine learning,” 1997.
- [4] L.-P. Chen, “Mehryar Mohri, Afshin Rostamizadeh, and Ameet Talwalkar: Foundations of machine learning: The MIT Press, Cambridge, MA, 2018, 504 pp., CDN 96.53 (hardback), ISBN 9780262039406,” 2019.