

جزوه درس هوش مصنوعی - جلسه دوم

مقدمه و ماهیت چندرشته‌ای هوش مصنوعی

❓ جایگاه هوش مصنوعی در علوم

هوش مصنوعی (Artificial Intelligence) از ابتدا تنها متعلق به علوم کامپیوتر (Computer Science) یا مهندسی کامپیوتر نبوده است. این علم ریشه در سال‌ها تفکر بشر درباره ماهیت خود و نحوه تفکرش دارد و از تلفیق علوم مختلف شکل گرفته است:

- فلسفه (Philosophy): استدلال (Reasoning)، برنامه‌ریزی (Planning)، یادگیری (Learning)
- ریاضیات (Mathematics): منطق (که هسته هوش مصنوعی است)، احتمالات، بهینه‌سازی
- علوم اعصاب (Neuroscience): مطالعه نوروها و شکل‌گیری شبکه‌های عصبی مصنوعی
- اقتصاد (Economics): مفهوم خردمندی (Rationality) و نظریه بازی‌ها (Game Theory)
- نظریه کنترل (Control Theory): بررسی بازخوردها (Feedbacks) در سیستم‌ها
- روانشناسی و علوم شناختی (Psychology & Cognitive Science): مدل‌های شناختی، رویه‌های یادگیری و بررسی رفتار (Behavior) و ذهن (Mind)
- زبان‌شناسی (Linguistics): گرامر، زبان نوشتاری و گفتاری

🎯 هدف آرمانی

از زمان چارلز بابیج (Babbage)، بشر به دنبال ساخت یک ماشین جامع و همه‌کاره (Universal Machine) بوده است که بتواند فکر کند. با این حال، هنوز به نقطه‌ای نرسیده‌ایم که با قاطعیت بگوییم ماشین‌ها واقعاً "فکر" می‌کنند.

تاریخچه و پیدایش هوش مصنوعی

- دهه ۱۹۴۰ تا ۱۹۵۰ (دوران آغازین): ایجاد مدل‌های مداری برای مغز که پایه‌گذار شبکه‌های عصبی مصنوعی بودند.
- سال ۱۹۵۰: مطرح شدن ایده‌های آلن تورینگ (Alan Turing)، یکی از پیامبران علوم کامپیوتر!
- تابستان ۱۹۵۶ (نقطه عطف): برگزاری نشست تاریخی در دارتموث (Dartmouth) با حضور بزرگانی چون جان مک‌کارتی و کلود شانون. در این نشست واژه «هوش مصنوعی» خلق شد و شاخه علوم شناختی نیز شکل گرفت. هدف این بود که بررسی کنند چگونه ماشین‌ها می‌توانند از زبان استفاده کنند، مسئله حل کنند و خود را بهبود بخشند.
- دهه ۱۹۵۰: پیدایش اولین برنامه‌های هوش مصنوعی (مثل برنامه‌های شطرنج و اثبات قضیه).
- سال ۱۹۶۵: تمرکز بر استدلال منطقی (Logical Reasoning).
- دهه ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۰: ظهور سیستم‌های خبره یا مبتنی بر دانش (Expert Systems) که در صنعت بسیار سر و صدا کردند.
- دهه ۲۰۰۰ به بعد: ورود رویکردهای آماری، یادگیری ماشین (Machine Learning)، یادگیری عمیق (Deep Learning) و کلان‌داده‌ها (Big Data).

؟ فراز و فرودهای هوش مصنوعی

تاریخ هوش مصنوعی همواره پر از نوسان بوده است؛ دوره‌های شکوفایی (بهار و تابستان) و دوره‌های رکود (زمستان هوش مصنوعی).

🌀 دغدغه و ترس از هوش مصنوعی

ترس بشر از هوش مصنوعی ریشه در مسئله شناخت و خودآگاهی دارد. تا زمانی که ما ماشین‌ها را برنامه‌ریزی می‌کنیم، جای نگرانی کمتری است. اما ترس از زمانی آغاز می‌شود که ماشین خودش به شناخت برسد و ما ندانیم چه هویتی دارد و چه تصمیمی خواهد گرفت. آلن تورینگ در سال ۱۹۵۰ هشدار داد که اگر ماشین‌هایی بسازیم که فکر کنند، دیری نمی‌پاید که کنترل امور را به دست می‌گیرند.

عامل‌ها (Agents) و محیط‌های کاری

؟ آزمایشگاه‌های هوش مصنوعی (Toy Examples)

در علمی مانند هوش مصنوعی که با زندگی و شناخت بشر سر و کار دارد، نمی‌توان الگوریتم‌ها را مستقیماً در دنیای واقعی و روی انسان‌ها تست کرد. به همین دلیل از محیط‌های ایزوله و آزمایشگاهی به نام Toy Examples استفاده می‌شود.

- مثال: محیط بازی Pacman (شامل عامل پک‌من، ارواح، نقطه‌های غذا و محیط هزارتو). این محیط‌ها بستر مناسبی برای پیاده‌سازی و تست الگوریتم‌ها قبل از ورود به دنیای واقعی هستند.

🔗 یادآوری ساختار عامل (Agent)

بر اساس کتاب مرجع (رویکرد مدرن)، عامل موجودیتی است که محیط خود را از طریق **سنسورها** (Sensors) درک می‌کند (دریافت ادراکات یا Percepts) و از طریق **اکچویتورها** (Actuators/کنشگرها) بر محیط تأثیر می‌گذارد.

❓ خردمندی (Rationality) در عامل‌ها

عامل خردمند عاملی است که اقداماتی را انتخاب کند که **سودمندی مورد انتظار** ($ExpectedUtility$) او را بیشینه (Maximize) کند.

- مثال: اگر سنسورها نشان دهند هوا سرد است، یک اقدام خردمندانه پوشیدن کاپشن است. بیرون رفتن با تیشرت اقدامی غیرخردمندانه است.

🎯 ارزیابی عامل‌ها

خصوصیات هر عامل به سنسورها و اکچویتورهای آن بستگی دارد. ما عامل‌ها را برای نیازهای خاصی خلق می‌کنیم. مثلاً عاملی که برای پاسخگویی به تلفن طراحی شده، نیازی به سنسور بینایی ندارد، اما حتماً به سنسور شنوایی و کنشگر گفتاری نیاز دارد. اگر عاملی نتواند هدف مشخص شده را برآورده کند، عامل باهوش و کارآمدی نیست.

توانمندی‌های فعلی هوش مصنوعی

🧠 هوش مصنوعی چه کارهایی می‌تواند انجام دهد؟

- بازی کردن: پینگ‌پنگ، شطرنج و بازی‌های پیچیده.
- رانندگی خودکار: رانندگی در جاده‌های کوهستانی (اما هنوز در محیط‌های شلوغ انسانی مثل بازارهای تو در تو با دستفروش‌ها چالش دارد).
- اثبات قضیه ریاضی: در حال پیشرفت (هرچند هنوز جایگزین کامل ریاضیدانان نشده‌اند زیرا فرآیند شناختی ریاضیدانان بسیار پیچیده است).
- ترجمه زبان: پیشرفت‌های چشمگیر.
- پزشکی: کمک به عمل‌های جراحی از راه دور.
- چالش‌ها: کارهایی مثل تا کردن لباس (نیاز به رباتیک پیشرفته)، خرید جواهرات (نیاز به خردمندی و درک سلیقه بالا)، یا تعریف کردن یک جوک واقعاً خنده‌دار (ماشین‌ها هنوز متون را یکنواخت تولید می‌کنند و درک طنز برایشان دشوار است).

ترجیحات (Preferences) و مدل‌سازی

❓ تعریف جدید هوش مصنوعی بر اساس ترجیحات

در گذشته تعریف این بود: "ماشین‌ها تا جایی هوشمند هستند که اقداماتشان برای برآورده کردن اهداف ما مفید باشد." ما مالک آن‌ها بودیم. اما امروزه نیازمند مدل جدیدی هستیم. ماشین‌ها باید بتوانند ترجیحات بشر را پیشینه کنند.

📌 انواع مدل‌سازی ترجیحات

- زمانی که با یک عامل منفرد (*Single Agent*) روبرو هستیم و (استخراج ترجیحات) **Preference Elicitation** عامل باید ترجیحات، خواسته‌ها و رفتار ما را تخمین بزند تا به ما خدمت‌رسانی کند. (نکته: در این مسیر گاهی مجبوریم حریم خصوصی خود را به اشتراک بگذاریم).
- در محیط‌های چندعاملی (*Multi – Agent*)، ما در تعامل با (مدل‌سازی ترجیحات) **Preference Modeling** دیگران هستیم و باید خواسته‌ها، افکار و مقاصد طرف مقابل را مدل‌سازی کنیم تا بتوانیم با او تعامل درستی داشته باشیم.

چهار رویکرد اصلی در هوش مصنوعی

❓ ماتریس رویکردهای هوش مصنوعی

تعاریف هوش مصنوعی را می‌توان در چهار دسته کلی تقسیم‌بندی کرد (بر اساس تفکر/عمل و انسانی/خردمندانه):

۱. **Thinking Humanly** (تفکر انسانی): تلاش برای فهم اینکه انسان و حیوانات چگونه فکر می‌کنند (ارتباط با روانشناسی و علوم اعصاب).
۲. **Thinking Rationally** (تفکر خردمندانه): استفاده از منطق و احتمالات برای رسیدن به تفکر ایده‌آل (فارغ از اینکه انسان همیشه منطقی فکر نمی‌کند و احساسات دارد).
۳. **Acting Humanly** (عملکرد انسانی): سیستمی که رفتارش مشابه انسان باشد (تست تورینگ *(Turing Test)*).
۴. **Acting Rationally** (عملکرد خردمندانه): غایت هوش مصنوعی مدرن است. (عملکرد خردمندانه *(Rational Agent)*). فارغ از اینکه عامل چگونه فکر می‌کند، (Doing the right thing) یعنی انجام کار درست.

تست تورینگ (Turing Test)

📌 آزمون تورینگ

پیشنهادی توسط آلن تورینگ: اگر یک ماشین هوشمند را پشت دیواری قرار دهیم و انسانی با آن تعامل (گفتگو/رفتار) داشته باشد، در صورتی که آن انسان متوجه نشود طرف مقابلش یک ماشین است، آن سیستم تست تورینگ را پاس کرده است.

⚠ توصیه بسیار مهم استاد به دانشجویان

همان‌طور که با آمدن ماشین‌حساب، توانایی محاسبات ذهنی ما کاهش یافت، استفاده بی‌رویه از هوش مصنوعی برای کارهای فکری (مثل نوشتن پروپوزال، خلاصه کردن مقالات و طرح سوال) باعث افت توانمندی‌های مغزی ما می‌شود.

"شما رئیس سیستم هستید؛ لطفاً آخرین پایگاه‌ها (فکر کردن) را به هوش مصنوعی واگذار نکنید! اجازه دهید فکر کردن مال مغز ما بماند."

تعامل در محیط‌های چندعاملی (Multi-Agent Environments)

؟ اهمیت مدل‌سازی دیگران و سودمندی اجتماعی

در محیط‌های چندعاملی (Multi-Agent)، فقط این مهم نیست که یک عامل چقدر به تنهایی خوب عمل می‌کند، بلکه عملکرد او در تعامل با دیگران اهمیت دارد.

- سودمندی فردی (Individual Utility): میزان موفقیت عامل در رسیدن به اهداف شخصی خودش.
- سودمندی اجتماعی (Social Utility): ارتقای رفاه جمعی (Welfare). عامل هنگام تعامل با دیگران باید بتواند سودمندی اجتماعی را نیز بیشینه کند.

⚠ چالش در پیش‌بینی رفتار رقیب (Opponent Modeling)

در مذاکرات خودکار (Automated Negotiation) اگر یک عامل بتواند طرف مقابل را به دقت مدل‌سازی کند، لزوماً به این معنا نیست که بالاترین سودمندی فردی را به دست می‌آورد. دلیل: اگر طرف مقابل شما هوشمندانه رفتار نکند (خردمند نباشد) و اقداماتی متفاوت از پیش‌بینی شما انجام دهد، تمام مدل‌سازی‌های شما با خطا مواجه می‌شود. در نتیجه، عملکرد ما به شدت وابسته به اعمال دیگران است.

🧠 سؤالات بنیادین پیش رو

- زبان چگونه با تفکر در ارتباط است؟ (How does language relate to thought?)
- چه چیزهایی قابل محاسبه هستند؟ (What can be computed?)
- ما چگونه با اطلاعات دارای عدم قطعیت، استدلال می‌کنیم؟ (How do we reason with uncertain information?)

مقایسه توان محاسباتی انسان و کامپیوتر

ما انسان‌ها موجودات بسیار توانمندی هستیم. در کسری از ثانیه هزاران ایده از ذهن ما عبور می‌کند، اطلاعات را پردازش می‌کنیم، تصمیم می‌گیریم و خلاقیت به خرج می‌دهیم.

مقایسه تقریبی مغز انسان با کامپیوترها:

- مغز انسان: دارای حدود 10^{11} نورون (Neuron) و 10^{14} سیناپس (Synapse) برای حافظه. ظرفیتی معادل 10^{17} بایت.
- ابرکامپیوترها (Supercomputers): دارای حدود 10^6 پردازنده (GPU/CPU).
- عملیات در ثانیه (Operations per second): مغز انسان حدود 10^7 عملیات در ثانیه انجام می‌دهد که ابرکامپیوترها در این زمینه در حال نزدیک شدن به توان انسان هستند.

🔗 سایبرنتیکس (Cybernetics)

پیش از آنکه علوم شناختی و علوم کامپیوتر به شکل امروزی از هم جدا شوند، به مطالعه نحوه پردازش اطلاعات، محاسبات و کنترل (به صورت ماشینی و اطلاعاتی) در موجودات و ماشین‌ها «سایبرنتیکس» گفته می‌شد.

لبه دانش (State of the Art) در هوش مصنوعی

🌟 حوزه‌های پیشرو در هوش مصنوعی کاربردی

هوش مصنوعی در حال حاضر در علوم و صنایع مختلف در لبه دانش (لبه علم) قرار دارد:

- وسایل نقلیه و رباتیک (Robotic Vehicles): مثل ربات‌های شبیه سگ یا پلنگ (احتمالاً ربات‌های Boston Dynamics) که حتی با ضربه لگد نیز تعادل خود را حفظ می‌کنند.
- برنامه‌ریزی و زمان‌بندی خودکار (Autonomous planning and scheduling)
- تصمیم‌گیری (Decision Making)
- ترجمه ماشینی (Machine Translation)
- تشخیص گفتار (Speech Recognition)
- سیستم‌های پیشنهادگر (Recommendation Systems)
- انجام بازی‌ها (Game Playing)
- درک تصویر (Image Understanding)
- پزشکی و علوم اقلیمی (Medicine & Climate Science)

توصیف محیط کاری عامل: چارچوب PEAS

📌 اهمیت فرمول‌سازی مسئله

نیمی از حل مسئله، درک صحیح آن است. در دنیای واقعی کسی صورت مسئله را فرمول‌بندی شده به ما نمی‌دهد؛ ما خودمان باید مسئله را بشناسیم و تدوین کنیم. برای سازماندهی ذهن هنگام طراحی یک عامل هوشمند، از چارچوب PEAS استفاده می‌کنیم.

📌 اجزای PEAS

برای طراحی هر عامل، باید چهار مؤلفه زیر را مشخص کنیم:

1. Performance Measure (معیار عملکرد): چگونه موفقیت عامل را می‌سنجیم؟
2. Environment (محیط): عامل در چه محیطی فعالیت می‌کند؟
3. Actuators (کنشگرها / عملگرها): عامل چه ابزارهایی برای اثرگذاری روی محیط دارد؟
4. Sensors (سنسورها / حسگرها): عامل از چه طریقی محیط را درک می‌کند؟

🧐 آیا انسان‌ها هم عامل (Agent) هستند؟

بله. ما انسان‌ها را نیز می‌توان به صورت انتزاعی مدل کرد:

- **سنسورها:** چشم، گوش، لامسه، بویایی، چشایی و درک عمق (Depth Perception).
- نکته در مورد درک عمق: نوزادان در ابتدا درک عمق ندارند و به مرور آن را یاد می‌گیرند. اگر رباتی قرار است از پله پایین برود، باید سنسورهایی مشابه درک عمق انسان داشته باشد تا گام‌هایش را تنظیم کند.
- **اکچویتورها:** عضلات، حالات ذهنی، گفتار و حرکت.

تابع عامل و برنامه عامل (Agent Function vs Agent Program)

📌 تابع عامل (Agent Function)

تابع عامل، یک نگاشت از دنباله ادراکات (Percept Sequence) به اقدامات (Actions) است. عامل از طریق این تابع تشخیص می‌دهد که در برابر ورودی‌های فعلی و گذشته، چه اقدامی انجام دهد.

📌 برنامه عامل (Agent Program)

پیاده‌سازی عملی تابع عامل بر روی یک معماری یا سخت‌افزار (Machine) خاص است. تغییر ماشین (سخت‌افزار، سیستم‌عامل، میزان حافظه)، نیازمند تغییر برنامه عامل است.

❓ محدودیت‌های محاسباتی (Bounded Rationality)

آیا هر تابعی توسط برنامه‌ای قابل پیاده‌سازی است؟
لزوماً خیر. مسائلی وجود دارند که از نظر محاسباتی بسیار پیچیده‌اند (مثل مسائل $NP - Hard$). همچنین ماشین‌ها محدودیت سرعت، پردازش و حافظه دارند.

مثال اولویت‌بندی در شرایط بحرانی:

فرض کنید در یک کارخانه، عامل هوشمند همزمان با سه چالش مواجه شود:

۱. نیاز به پردازش اطلاعات سنگین برای آینده

۲. نیاز به تامین انرژی (شارژ شدن)

۳. وقوع آتش‌سوزی در محیط

یک عامل خردمند باید دارای لایه‌های اولویت‌بندی تصمیم‌گیری باشد تا در لحظه کارهای حیاتی (مثل خاموش کردن آتش) را به کارهای دیگر ترجیح دهد. پیاده‌سازی این سطح از خردمندی و پردازش همزمان تمام مخاطرات محیطی، هنوز حتی برای ابرکامپیوترها چالش‌برانگیز است.

مثال کاربردی: جاروبرقی خودکار (Roomba - رومبا)

🧹 محیط جاروبرقی خودکار

فرض کنید یک محیط ساده شامل دو اتاق (A و B) داریم.

• سنسورها (ادراکات):

1. مکان فعلی کجاست؟ (A یا B)

2. وضعیت اتاق چگونه است؟ (Clean یا Dirty)

• اکچویتورها (اقدامات): حرکت به راست (Right)، حرکت به چپ (Left)، مکش (Suck)، عدم انجام کار (NoOp).

❓ منطق کاری عامل واکنشی (Reflex Agent)

عامل واکنشی ساده مستقیماً بر اساس ادراک فعلی خود تصمیم می‌گیرد (از طریق جدول جستجو یا قوانین If-Then):

- اگر در A هستی و کثیف است -> Suck
- اگر در A هستی و تمیز است -> Right (برو اتاق B را چک کن)
- اگر در B هستی و کثیف است -> Suck
- اگر در B هستی و تمیز است -> Left (برو اتاق A را چک کن)

چرا وقتی عامل می‌بیند هر دو اتاق A و B تمیز هستند، باز هم به جایگاه اول برمی‌گردد و مدام محیط را چک می‌کند؟ (چرا *NoOp* نمی‌کند؟)

پاسخ: زیرا محیط‌ها پویا هستند. در یک رستوران گران‌قیمت یا در خانه‌ای که کودک خردسال وجود دارد، محیط مدام تغییر می‌کند. اتاقی که یک ساعت پیش تمیز شده، ممکن است دوباره کثیف شده باشد. اگر عامل محیط را دائماً پایش نکند و کارفرما محیط را کثیف ببیند، نتیجه‌گیری می‌کند که عامل عملکرد (*Performance*) پایینی دارد.

(البته اگر معیار عملکرد، صرفه‌جویی در مصرف برق باشد، شاید توقف و *NoOp* گزینه بهتری باشد، که این بستگی به تعریف مسئله دارد).