

## A Review of Natural-Language-Instructed Robot Execution Systems

مقاله پنجم یک مرور جامع درباره روش‌های یادگیری رفتار ربات بر اساس دستورهای زبان طبیعی است و به مسئله مهمی می‌پردازد که امروزه در مرکز توجه هوش مصنوعی و رباتیک قرار گرفته است: چطور می‌توان ربات‌ها را طوری آموزش داد که تنها با استفاده از زبان انسانی بتوانند رفتارهای جدید یاد بگیرند و وظایف پیچیده انجام دهند. این مقاله به جای ارائه یک روش خاص، تلاش می‌کند تصویری کامل از کل میدان تحقیق ارائه دهد و نشان دهد که این حوزه چگونه از دستورهای ساده زبانی به سمت یادگیری تعاملی، یادگیری چندمرحله‌ای و یادگیری از دانش قبلی حرکت کرده است.

در ابتدای مقاله نویسندگان اشاره می‌کنند که زبان طبیعی برای انسان ساده و قدرتمندترین ابزار ارتباطی است، اما برای ربات‌ها زبان بسیار پیچیده و مبهمی محسوب می‌شود. ربات باید بتواند از بین هزاران تفسیر ممکن، تنها یک تفسیر را انتخاب کند و آن را با محیط واقعی هماهنگ کند. این مسئله باعث می‌شود ترکیب زبان و رباتیک یکی از سخت‌ترین مشکلات هوش مصنوعی باشد. با این حال پیشرفت‌های اخیر در مدل‌های یادگیری عمیق و پردازش زبان طبیعی باعث شده است که ربات‌ها بتوانند از زبان نه فقط برای دریافت فرمان، بلکه برای یادگیری رفتار جدید استفاده کنند.

بخش اول مقاله به تاریخچه این حوزه و دسته‌بندی روش‌های موجود می‌پردازد. روش‌های قدیمی معمولاً مبتنی بر دستورهای محدود بودند؛ یعنی کاربر باید از یک دستور زبان مشخص استفاده می‌کرد تا ربات بتواند فرمان را بفهمد. این روش‌ها انعطاف‌پذیری بسیار کمی داشتند و در برخورد با جمله‌های آزاد انسان دچار مشکل می‌شدند. پیشرفت بعدی مربوط به روش‌هایی بود که جمله را تجزیه می‌کردند و نقش‌های دستوری مثل فعل و مفعول را استخراج می‌کردند. این روش‌ها اجازه می‌دادند ربات با مجموعه بزرگ‌تری از جمله‌ها کار کند اما هنوز نمی‌توانستند نیت کاربر و جزئیات پنهان در جمله را بفهمند.

سپس نویسندگان توضیح می‌دهند که روش‌های جدیدتر مبتنی بر یادگیری عمیق و مدل‌های زبانی بزرگ هستند. این روش‌ها به جای تکیه بر قواعد مشخص، سعی می‌کنند از داده‌های واقعی و گسترده یاد بگیرند که آدم‌ها چگونه صحبت می‌کنند و جمله‌ها چگونه با عمل‌های رباتی ارتباط پیدا می‌کنند. این مدل‌ها می‌توانند جمله را مانند انسان تحلیل کنند و حتی جمله‌های پیچیده یا مبهم را نیز تفسیر کنند. این یکی از بزرگ‌ترین نقاط قوت روش‌های مدرن است.

بخش بعدی مقاله به سازوکارهای اتصال زبان به رفتار ربات می‌پردازد. نویسندگان توضیح می‌دهند که یادگیری رفتار معمولاً شامل سه مرحله اصلی است: درک جمله، تبدیل آن به معنای رباتی، و یادگیری اجرای رفتار. در مرحله اول مدل باید بفهمد کاربر چه می‌خواهد. این شامل استخراج نیت اصلی، تشخیص اجسام، تشخیص هدف مکانی و تحلیل روابط بین اجسام می‌شود. مرحله دوم شامل تبدیل این فهم زبانی به یک نمایش ساختاریافته است که برای ربات قابل فهم باشد. برای مثال می‌توان زبان را به یک ساختار منطقی، یک نمودار گام‌به‌گام یا یک برنامه کنترلی تبدیل کرد. مرحله سوم یادگیری است؛ یعنی ربات باید بتواند رفتار تولیدشده را اجرا کند و در صورت نیاز آن را اصلاح کند.

نویسندگان مقاله تأکید می‌کنند که یادگیری رفتار تنها به این معنا نیست که ربات باید حرکت صحیح را انجام دهد، بلکه باید بتواند علت اشتباه‌های خود را بفهمد، در مورد آن‌ها استدلال کند و راه حل جدید پیدا کند. برای این منظور بسیاری از روش‌ها از یادگیری

تعاملی استفاده می‌کنند. در این روش‌ها ربات از زبان کاربر بازخورد می‌گیرد. مثلاً اگر ربات اشتباه می‌کند و جسم اشتباهی را برمی‌دارد، کاربر می‌تواند بگوید: «نه، منظورم آن جسم آبی بود.» این بازخورد زبان طبیعی باعث می‌شود ربات نه تنها وظیفه فعلی، بلکه قاعده عمومی را نیز یاد بگیرد. مقاله تأکید دارد که استفاده از زبان در بازخورد یکی از مهم‌ترین ابزارهای یادگیری تعاملی است.

در قسمت دیگری از مقاله به نقش دانش پیشین و حافظه زبانی پرداخته می‌شود. بسیاری از ربات‌ها نیازی ندارند برای هر وظیفه جدید از صفر یاد بگیرند. مدل‌های زبانی بزرگ که بر روی متون وسیع آموزش دیده‌اند، مقدار زیادی دانش عمومی درباره دنیا و نحوه انجام کارها را در خود ذخیره دارند. مثلاً می‌دانند که «لیوان ظرف مایعات است» یا «میز یک سطح صاف است که معمولاً اشیاء روی آن قرار می‌گیرند». این دانش می‌تواند به شکل قابل توجهی تفسیر جمله‌های جدید را ساده‌تر کند. مقاله توضیح می‌دهد که چگونه روش‌های جدید از این دانش قبلی برای کاهش نیاز به داده آموزشی استفاده می‌کنند.

یک بخش بسیار مهم مقاله مربوط به یادگیری وظایف چندمرحله‌ای است. در بسیاری از موقعیت‌ها رفتار ربات شامل چندین بخش است و زبان طبیعی معمولاً این بخش‌ها را به صورت زنجیره‌ای بیان می‌کند. برای مثال جمله‌ای مثل «کتاب را بردار، برو به سمت قفسه و آن را در طبقه بالایی قرار بده» شامل سه مرحله مختلف است. سیستم باید بتواند این مراحل را تفکیک کند، ترتیب آن‌ها را حفظ کند و برای هر مرحله رفتار مناسب بسازد. بسیاری از پیچیدگی‌های یادگیری رفتار از همین چندمرحله‌ای بودن وظایف ناشی می‌شود. مقاله روش‌هایی را بررسی می‌کند که از نمودارهای وظیفه، برنامه‌ریزی نمادین، زنجیره استدلالی و ساختارهای سلسله‌مراتبی برای حل این مشکل استفاده می‌کنند.

در بخش بعدی مقاله نویسندگان به نقش مدل‌های چندرسانه‌ای اشاره می‌کنند. این مدل‌ها علاوه بر متن می‌توانند تصویر، صدا، ویدیو یا داده‌های حسگری را نیز پردازش کنند. زبان طبیعی به تنهایی نمی‌تواند تمام اطلاعات لازم برای یادگیری رفتار را فراهم کند، بنابراین ترکیب زبان با دید کامپیوتری یا داده‌های سه‌بعدی ضروری است. برای مثال هنگامی که جمله می‌گوید «شیء کنار گلدان را بردار»، ربات باید بتواند گلدان را ببیند، جسم کناری را تشخیص دهد و مطمئن شود که تفسیر زبانی با واقعیت سازگار است. مقاله توضیح می‌دهد که چگونه مدل‌های چندرسانه‌ای می‌توانند شکاف میان زبان و دنیای واقعی را پر کنند و یادگیری رفتار را دقیق‌تر نمایند.

یکی از مهم‌ترین بخش‌های مقاله مربوط به حل ابهام‌های زبانی است. زبان طبیعی پر از ابهام است و انسان‌ها معمولاً این ابهام‌ها را با توجه به بافت و دانش عمومی حل می‌کنند. اما ربات چنین قابلیت‌هایی را به صورت ذاتی ندارد. نویسندگان روش‌هایی را بررسی می‌کنند که درباره ابهام‌ها به شکل فعال پرسش می‌پرسند یا سعی می‌کنند از محیط سرنخ‌هایی برای رفع ابهام پیدا کنند. مثلاً اگر جمله می‌گوید «آن را بگذار آنجا»، سیستم باید تشخیص دهد منظور از «آن» کدام جسم است و «آنجا» کدام موقعیت. بسیاری از روش‌های جدید یاد گرفته‌اند که در چنین موقعیت‌هایی پرسش تکمیلی تولید کنند، مانند «منظورت جسم قرمز است یا آبی؟» این نوع تعامل باعث می‌شود ربات بتواند در محیط‌های واقعی بهتر کار کند.

بخش دیگری از مقاله مربوط به یادگیری از مثال‌های اندک است. در بسیاری از مواقع کاربر فقط می‌تواند چند مثال ساده به ربات نشان دهد. زبان طبیعی در اینجا نقش کمکی ایفا می‌کند. کاربر می‌تواند رفتار را برای ربات توضیح دهد و چند نمونه اجرا را نشان

بدهد. مدل یادگیری عمیق این داده‌ها را با زبان ترکیب می‌کند و رفتار عمومی را استخراج می‌کند. نتیجه این است که ربات با حداقل داده می‌تواند رفتار قابل تعمیم یاد بگیرد.

نویسندگان مقاله سپس چالش‌های اصلی این حوزه را به تفصیل توضیح می‌دهند. یکی از چالش‌ها این است که زبان طبیعی همیشه دقیق، روشن یا قابل اعتماد نیست. انسان‌ها معمولاً جمله‌ها را با فرض دانسته‌های مشترک بیان می‌کنند و بخشی از معنا به صورت ضمنی منتقل می‌شود. اما ربات باید همه چیز را دقیق بداند. مسئله دیگر مربوط به عدم قطعیت محیط است. محیط واقعی ممکن است با جمله تطابق کامل نداشته باشد. جسم مورد اشاره کاربر ممکن است جابه‌جا شده باشد، رنگ آن تغییر کرده باشد یا اصلاً وجود نداشته باشد. چالش دیگر محدودیت مدل‌های زبانی در درک فضا و قوانین فیزیکی است. مدل زبانی ممکن است جمله‌ای منطقی تولید کند اما از نظر فیزیکی غیرقابل اجرا باشد. همچنین یادگیری رفتار به داده و پردازش زیاد نیاز دارد و ربات‌ها معمولاً سخت‌افزار محدودی دارند.

در نهایت مقاله تصویری از آینده این حوزه ارائه می‌دهد. نویسندگان معتقدند که ربات‌های آینده باید از زبان به عنوان یک رابط اصلی یادگیری استفاده کنند. آن‌ها باید بتوانند با کمک زبان رفتارهای جدید یاد بگیرند، دانش قبلی را با واقعیت ترکیب کنند و وظایف چندمرحله‌ای را با دقت اجرا کنند. پیشرفت‌های اخیر در مدل‌های زبانی بزرگ و مدل‌های چندرسانه‌ای نشان می‌دهد که این چشم‌انداز قابل دستیابی است. ترکیب یادگیری زبان، یادگیری حرکتی و سیستم‌های بازخورد می‌تواند ربات‌ها را به همکاران واقعی انسان تبدیل کند، نه فقط ابزارهایی که باید برای هر رفتار جدید برنامه‌نویسی شوند.