

Domain-Specific Fine-Tuning of Large Language Models for Interactive Robot Programming

مقاله حاضر به یکی از مهم‌ترین چالش‌های کنونی در صنعت رباتیک می‌پردازد: اینکه چگونه می‌توان ربات‌های صنعتی را بدون نیاز به متخصصان ماهر برنامه‌نویسی کرد، و اینکه آیا می‌توان از مدل‌های بزرگ زبانی برای ساده‌سازی این فرآیند استفاده کرد یا خیر. در بسیاری از کارخانه‌ها و شرکت‌های صنعتی، ربات‌ها نقش مهمی در اتوماسیون دارند، اما برنامه‌نویسی آن‌ها هنوز یک کار بسیار تخصصی و پرهزینه است. برای مثال، تنظیم نیروی تماس، درک رفتار مناسب در برخورد با محیط، کار با سنسورها، استفاده از الگوی مسیر و صدها جزئیات دیگر نیاز به دانش تکنیکی زیادی دارد. با وجود اینکه ابزارهای جدید مانند سیستم‌های Skill-Based تا حدودی برنامه‌نویسی را ساده‌تر کرده‌اند، باز هم لازم است فرد دانش عمیقی از رفتار فیزیکی ربات‌ها داشته باشد.

همزمان با رشد مدل‌های بزرگ زبانی مثل Alpaca و LLaMA، ایده استفاده از این مدل‌ها برای برنامه‌نویسی ربات‌ها با زبان طبیعی مطرح شده است. این مدل‌ها توانایی بسیار بالایی در درک متن، توضیح مفاهیم و ارائه جواب‌های زبانی دارند. بنابراین نویسنده‌گان مقاله بررسی می‌کنند که آیا می‌توان این مدل‌ها را برای یک حوزه خاص یعنی برنامه‌نویسی ربات‌ها به صورت Domain-Specific فاین‌تیون کرد تا به عنوان یک راهنمای عمل کنند و در پاسخ به پرسش‌های کاربران، رفتار ربات و کاربردهای Skills مختلف را توضیح دهند.

در بخش مقدمه مقاله به این نکته اشاره می‌شود که ربات‌ها در کارهای پیچیده مانند مونتاژ، جاگذاری دقیق، عملیات مبتنی بر نیرو، برداشتن و قرار دادن اجسام و دستگاه‌های چندمرحله‌ای نیاز به Skills های پیشرفته دارند. هر Skill یک واحد مستقل است که می‌تواند مانند یک بلوک ساخته شود: برای مثال Skill گرفتن شیء، Skill وارد کردن پین در سوراخ، Skill حرکت در امتداد یک مسیر، و یا Skill کنترل نیرو. این Skills ها در کنار هم حلقه‌هایی از عملکرد ربات را تشکیل می‌دهند. اما اینکه چه زمانی باید از هر Skill استفاده شود یا چگونه می‌توان آن را به صورت صحیح پارامترگذاری کرد، همچنان برای کاربران غیرمتخصص دشوار است.

در این مقاله محققان یک دستیار برنامه‌نویسی مبتنی بر زبان طبیعی پیشنهاد می‌کنند که با کاربر گفتگوی تعاملی برقرار می‌کند و پرسش‌های او درباره Skills ها، نحوه استفاده آن‌ها و رفتار مورد انتظار ربات را پاسخ می‌دهد. هدف آن است که کاربر بتواند به طور طبیعی پرسید یک Skill چه می‌کند، چگونه باید از آن استفاده کند، چه موقعی مناسب است و ربات هنگام اجرای آن چه رفتارهایی خواهد داشت.

مقاله سه نوع پرسش را به طور خاص شناسایی می‌کند که کاربر معمولاً مطرح می‌کند. نخست پرسش‌هایی درباره توضیح یک Skill مانند اینکه «Skill Move to State» چه کاری انجام می‌دهد؟ پاسخ مناسب باید یک توضیح روشن از رفتار Skill ارائه دهد. نوع دوم پرسش درباره کاربردها است؛ برای مثال «چه زمان باید از Skill Insert استفاده کنم؟» این پرسش‌ها باید با مثال‌های واقعی پاسخ داده شوند، مانند مونتاژ، وارد کردن قطعات، جوشکاری یا رنگ‌آمیزی. نوع سوم پرسش‌هایی درباره رفتار مرحله‌به‌مرحله ربات است، مانند اینکه «ربات هنگام اجرای Skill Grasp چه کارهایی انجام می‌دهد؟» پاسخ این پرسش‌ها باید مسیر حرکتی ربات را از ابتدا تا انتهای توضیح دهد، شامل نزدیک شدن، باز کردن گریپر، گرفتن شیء، بستن گریپر و عقب‌نشینی.

در بخش روش‌ها مقاله بیان می‌شود که محققان برای بررسی این موضوع از ArtiMinds RPS استفاده کردند. این یک محیط توسعه یکپارچه برای برنامه‌نویسی ربات‌های صنعتی است که از Skill‌های پارامترپذیر استفاده می‌کند. مجموعه‌های از داده‌ها برای آموزش مدل‌ها تهیه شده است. در اولین قدم، یک مجموعه داده Streaming ساخته می‌شود که از طریق استخراج محتوای دستنامه‌های RPS تهیه شده است. صفحات غیرضروری حذف شده‌اند تا فقط بخش‌های آموزشی باقی بمانند. این مجموعه داده حجم زیادی از دانش فنی خام را شامل می‌شود که برای فاین‌تیون مدل‌ها مناسب است.

در کنار این مجموعه داده، یک دیتابست دیگر برای Instruction-Following ساخته شده است. این مجموعه شامل سوالات درباره Skill‌ها و پاسخ‌های تفصیلی آن‌ها است. برای جلوگیری از حساسیت مدل به نوع جمله‌بندی، برای هر پرسش ده نسخه مختلف نوشته شده است. این کار باعث افزایش تنوع و پایداری مدل می‌شود. در نهایت حدود ۲۵۰ جفت پرسش و پاسخ برای آموزش وجود دارد. محققان نسخه‌ای دیگر از این مجموعه را نیز PrefixX های خاص ساختند تا بینند آیا اضافه کردن Prefix می‌تواند مدل را بهتر وارد حوزه تخصصی کند.

مقاله به سه خانواده مدل اشاره می‌کند که همه آن‌ها مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. نخست مدل‌های Alpaca در اندازه‌های ۷، ۱۳ و ۳۰ میلیارد پارامتر. این مدل‌ها به صورت کامل یا با روش QLoRA آموزش داده شدند. مدل‌های LLaMA نیز در سه اندازه تست شدند و بر روی Task های Instruction-Following و Instruction فاین‌تیون شدند. در روش سوم، مدل‌های LLaMA ابتدا بر روی داده Streamig و سپس بر روی Alpaca فاین‌تیون شدند. این روش دو مرحله‌ای با هدف بررسی تاثیر آشنایی اولیه مدل با حوزه انجام شد.

مقاله توضیح می‌دهد که چرا QLoRA برای آموزش مدل‌ها انتخاب شده است. از آنجا که فاین‌تیون کامل مدل‌های ۳۰ یا ۶۵ میلیارد پارامتری نیاز به حافظه بسیار زیاد دارد، استفاده از QLoRA با کوانت‌سازی ۴ بیت و Double Quantization باعث کاهش چشمگیر مصرف حافظه می‌شود و امکان آموزش با یک GPU A100 فراهم می‌شود.

در بخش آزمایش‌ها، نخستین ارزیابی با استفاده از BERTScore انجام می‌شود. برای این کار ۹ پرسش و پاسخ مرجع توسط متخصصان نوشته شده است. سپس خروجی مدل‌ها با پاسخ مرجع مقایسه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که مدل‌های Alpaca بدون Prefix بهترین عملکرد را دارند و می‌توانند شباهت معنایی بالایی با پاسخ مرجع داشته باشند. نکته جالب آن است که افزایش اندازه مدل لزوماً باعث افزایش کیفیت نشده است. برای مثال مدل Alpaca 7B عملکردی مشابه یا بهتر از مدل‌های ۳۰ میلیارد پارامتری داشته است.

در بخش بعدی مقاله از یک نظرسنجی با حضور ۳۳ متخصص رباتیک استفاده شده است. این متخصصان ۴۰ پرسش مختلف را ارزیابی کردند. معیارهای ارزیابی شامل صحت محتوا، پایبندی به حوزه تخصصی و کمک‌کننده بودن پاسخ بود. نتیجه نشان داد که باز هم مدل‌های Alpaca بهترین عملکرد را دارند. اما نکته مهم‌تر این است که تمام مدل‌ها دچار مشکلاتی مانند تکرار کلمات، ارائه پاسخ‌های ناقص، خروج از حوزه تخصصی و گاهی تولید کلمات نامفهوم هستند. مدل‌های LLaMA بیش از بقیه دچار تکرار و ساختار غیرعادی جمله بودند.

محققان نتیجه می‌گیرند که فاین‌تیون به تنها برای اینکه یک مدل کاملاً قابل اعتماد و آماده کاربرد صنعتی شود کافی نیست. مدل همچنان گاهی دچار خطاهای معنایی یا زبانی می‌شود. بنابراین پیشنهاد می‌کنند که به جای اتکا به فاین‌تیون، باید از روش‌های قوی و مهندسی شده استفاده کرد. این روش‌ها در نسل جدید مدل‌های بزرگ کارایی بسیار بیشتری دارند و بدون نیاز **Prompting** به آموزش اضافی، مدل را به سمت جواب صحیح هدایت می‌کنند.

در بخش نتیجه‌گیری مقاله تأکید می‌شود که استفاده از مدل‌های زبانی برای کمک به برنامه‌نویسی ربات‌ها چشم‌انداز روشن و مهمی دارد. این مدل‌ها می‌توانند کسانی را که تجربه زیادی در رباتیک ندارند قادر کنند با زبان طبیعی ربات‌ها را برنامه‌نویسی کنند. اما در حالت کنونی هنوز مشکلات زیادی وجود دارد. مدل‌ها نیاز به داده بیشتر، روش‌های یادگیری بهتر، روش‌های ارزیابی دقیق‌تر و ساختارهای کنترلی قابل اعتمادتر دارند. همچنانی لازم است مجموعه‌داده‌های بزرگ‌تر و بررسی‌های میدانی گسترش‌های انجام شود تا ثابت شود این مدل‌ها قابلیت استفاده در صنعت را دارند.

نویسنده‌گان در پایان تأکید می‌کنند که با وجود این محدودیت‌ها، این پژوهش نشان می‌دهد که روش‌های فاین‌تیون می‌توانند مدل‌های عمومی را تا حد مناسبی وارد یک حوزه تخصصی کنند. مدل‌های Alpaca ثابت کردنده که استدلال عمومی پیش‌یادگرفته شده آن‌ها برای این نوع فاین‌تیون بسیار مفید است. اما همچنان باید مدل‌های بزرگ‌تر، روش‌های آموزش بیشتر، **Prompt**‌های قوی‌تر و کاربران گسترش‌های در این حوزه استفاده شود تا دستیار زبانی برای برنامه‌نویسی ربات‌ها به یک ابزار روزمره تبدیل شود.