

گزارش مقاله: Generative Agents: Interactive Simulacra of Human Behavior

مقدمه: در این گزارش، به بررسی مقاله "Generative Agents: Interactive Simulacra of Human Behavior" می‌پردازم. این مقاله به مسئله شبیه‌سازی رفتارهای انسانی باورپذیر در محیط‌های مجازی پرداخته است و راهکاری جدید را در این زمینه ارائه داده است. همچنین این مقاله عوامل مولد را معرفی می‌کند، عوامل محاسباتی تعاملی‌ای که رفتار انسانی را شبیه‌سازی می‌کنند. هدف این مقاله ایجاد عوامل مولد (Generative Agents) است که می‌توانند رفتارهایی مشابه انسان از خود نشان دهند و می‌توانند با محیط و سایر عوامل تعامل داشته باشند. این عوامل کارهای روزمره مانند بیدار شدن، کار کردن، تعاملات اجتماعی، یادآوری خاطرات، برنامه‌ریزی و ... را می‌توانند انجام بدهند. این مقاله در راستای توسعه مدل‌های هوش مصنوعی‌ای است که بتوانند تعاملات طبیعی‌تر و پویاتری را شبیه‌سازی کنند، به‌طوری که نه تنها قادر به انجام وظایف مشخص باشند، بلکه بتوانند در موقعیت‌های مختلف از تجربیات گذشته خود استفاده کنند و تصمیم‌گیری‌هایی هوشمندانه انجام دهند. برای این منظور، معماری‌ای را ارائه کردند که یک مدل زبانی بزرگ را برای ذخیره، ترکیب و بازیابی تجربیات عوامل به زبان طبیعی به کار می‌گیرد. این موضوع در جاهایی مانند بازی‌های ویدئویی، شبیه‌سازی‌های اجتماعی و آموزش مجازی اهمیت زیادی دارد.

شرح مقاله: این مقاله به دنبال ارائه مدلی برای شبیه‌سازی رفتار انسانی در محیط‌های دیجیتال و مصنوعی است. مسئله اصلی که نویسندگان با آن دست و پنجه نرم می‌کردند، این بود که چگونه می‌توان عواملی را طراحی کرد که نه تنها به طور مستقل رفتار کنند، بلکه قابلیت یادگیری، تعامل و واکنش به تغییرات محیط را نیز داشته باشند، دقیقاً مانند یک انسان. به دلیل پیچیدگی رفتارهای انسانی، ایجاد عوامل باورپذیر از رفتارهای انسانی چالش برانگیز بوده و هست و پیشنهاد می‌کنند که مدل‌های زبانی بزرگ، هرچند به‌تنهایی کافی نیستند، اما هنگامی که در معماری مناسب از آنها استفاده شود، می‌توانند برای ایجاد عوامل باورپذیر مناسب باشند.

عوامل مولد می‌توانند رفتارهای متفاوتی را از خود نشان بدهند. رفتارهایی که با پیشرفت مدل‌های زبانی و معماری‌های با ایده‌های جدید، می‌توانند هرچه بیشتر به رفتارهای انسانی شبیه‌تر بشوند. در مدل این مقاله، عوامل می‌توانند تعاملات اجتماعی ایجاد کرده و بدون برنامه‌ریزی مستقیم، روابط، همکاری‌ها و هماهنگی‌های جدیدی را شکل می‌دهند. عوامل نه تنها به‌طور فردی عمل می‌کنند، بلکه به‌مرور زمان روابط اجتماعی برقرار کرده و در فعالیت‌های جمعی مشارکت می‌کنند. این رفتارها با استفاده از روش‌هایی مانند حافظه بلند مدت، اهداف شخصی و توانایی درک محیط و برنامه‌ریزی ایجاد می‌شوند. عوامل برای خود برنامه‌های روزانه مشخصی دارند که با توجه به اهداف و اتفاقات اجتماعی تغییر می‌کنند. آن‌ها مانند انسان‌های واقعی فعالیت‌هایی مثل کار، استراحت، خرید و تعاملات اجتماعی در طول روز دارند و آنها را برنامه‌ریزی و انجام می‌دهند. برنامه‌ریزی آن‌ها ترکیبی از تصمیمات فردی و تطبیق با شرایط محیط و همچنین استفاده از تجربیات گذشته است. عوامل نه تنها براساس حافظه و اهداف خود عمل می‌کنند، بلکه می‌توانند براساس تجربیات گذشته و شرایط فعلی، رفتارهای جدیدی را یاد بگیرند و آنها را به عادت خود تبدیل کنند.

- **انتشار اطلاعات (Information Diffusion):** اطلاعات از طریق مکالمات میان عوامل منتشر می‌شود. برای مثال، خبر نامزدی یک فرد در انتخابات محلی از طریق تعاملات بین عوامل به تدریج به اطلاع کل شهر می‌رسد.
- **حافظه روابط (Relationship Memory):** عوامل افراد جدید را ملاقات کرده و تعاملات گذشته را به خاطر می‌سپارند. آن‌ها از این حافظه بعدی استفاده می‌کنند و روابطشان را گسترش می‌دهند.
- **هماهنگی (Coordination):** عوامل برای انجام رویدادهای اجتماعی با یکدیگر هماهنگ می‌شوند. مثلاً برنامه‌ریزی یک جشن روز ولنتاین تنها با تعیین یک هدف اولیه توسط یک عامل آغاز می‌شود، اما سایر رفتارها مانند دعوت از افراد، تزئین کافه و تعاملات در مهمانی به‌طور خودکار شکل می‌گیرد و این مدل هماهنگی‌ها ایجاد می‌شود.

نویسندگان از یک رویکرد ترکیبی شامل مدل‌های زبان بزرگ (LLMs) و حافظه‌های بلندمدت برای مدل خود استفاده کرده‌اند. در این روش، عوامل مولد از طریق ترکیب حافظه کوتاه‌مدت و بلندمدت قادر به ذخیره و پردازش اطلاعات می‌شوند و بر اساس آن تصمیم‌گیری می‌کنند. همچنین، آن‌ها با تحلیل تعاملات گذشته، رفتارهایی شبیه به انسان از خود نشان می‌دهند. این روش به آن‌ها امکان می‌دهد که به شیوه‌ای طبیعی‌تر با محیط تعامل کنند و به مرور زمان، رفتارهای خود را بر اساس تجربیاتشان تطبیق دهند. عوامل مولد با دریافت اطلاعات از محیط و تجربیات گذشته، قابلیت تولید رفتارهای جدید نیز دارند. این عوامل از مدل‌های زبانی بزرگ در کنار روش‌های بازیابی و ترکیب اطلاعات استفاده می‌کنند تا خروجی‌های آن‌ها منسجم و مرتبط با تجربیات گذشته باشد.

یکی از چالش‌ها این است که بدون مکانیزم‌های حافظه، مدل‌های زبانی ممکن است رفتارهای غیرمرتبط، بدون استنتاج مهم، و فاقد انسجام بلندمدت ایجاد کنند. هسته اصلی این معماری که در مقاله گفته شده است، جریان حافظه (Memory Stream) است، که پایگاه داده‌ای از تجربیات کامل عامل محسوب می‌شود. اطلاعات از این جریان بازیابی شده و به مرور به بازتاب‌های شناختی عمیق‌تر (reflection) تبدیل می‌شوند که در واقع رفتار آنها را شکل می‌دهد. تمام داده‌ها به زبان طبیعی ذخیره می‌شوند تا با مدل‌های زبانی هماهنگی داشته باشند.

- **حافظه و بازیابی (Memory and Retrieval):** برای شبیه‌سازی رفتار انسانی در مدل‌های زبانی، نیاز به استدلال بر اساس تجربیات گسترده‌ای است که در یک پرامپت قابل توصیف نیستند. مدل‌های زبانی context window محدودی دارند و خلاصه‌سازی ساده تمام تجربیات و خاطرات گذشته، پاسخ‌های غیرمفید تولید می‌کند. به جای این کار، جریان حافظه، خاطرات مرتبط را برای ارائه پاسخ‌های دقیق‌تر انتخاب می‌کند. روش پیشنهادی این است که از آنجایی که جریان حافظه شامل مجموعه‌ای از مشاهدات است که هر یک دارای توضیحی متنی، زمان ایجاد و آخرین دسترسی هستند، تابع بازیابی حافظه را ارائه کردند که زیرمجموعه‌ای از تجربیات و خاطرات را برای مدل زبانی انتخاب می‌کند. این تابع بر سه مؤلفه کلیدی تمرکز دارد:
 - **تازگی (Recency):** خاطرات اخیر دارای اولویت بیشتری هستند و با یک تابع کاهش نمایی مدل‌سازی می‌شوند.
 - **اهمیت (Importance):** به خاطرات مهم (مثلاً جدایی از شریک عاطفی) امتیاز بیشتری داده می‌شود. مدل زبانی با یک پرامپت مشخص، امتیاز اهمیت هر خاطره را تعیین می‌کند.
 - **ارتباط (Relevance):** امتیاز ارتباط بر اساس شباهت کسینوسی بردارهای حافظه‌ها محاسبه می‌شود.

امتیاز نهایی هر خاطره بر اساس یک فرمول وزن‌دار از این سه عامل تعیین شده و خاطرات با امتیاز بالاتر برای مدل زبانی ارسال می‌شوند. این روش، اطلاعات مرتبط را در محدوده context window مدل حفظ کرده و به پاسخ‌های بهتر کمک می‌کند.

- **بازتاب (Reflection):** عوامل مولد در تعمیم و استنتاج از تجربیات خود ضعیف هستند. بدون قابلیت بازتاب، آن‌ها تنها بر اساس مشاهدات خام عمل می‌کنند و تصمیم می‌گیرند، بدون آنکه درک عمیق‌تری از رفتارهای خود یا دیگران به دست آورند. برای حل این مشکل، نوع جدیدی از حافظه به نام بازتاب معرفی شد. بازتاب‌ها، افکار سطح بالاتری هستند که عوامل از تجربیات خود استخراج می‌کنند و در تصمیم‌گیری‌ها از آن‌ها استفاده می‌کنند. فرآیند تولید بازتاب شامل مراحل زیر می‌شود:
 - وقتی مجموع امتیازات اهمیت خاطرات جدید از یک حد آستانه (۱۵۰) فراتر رود، بازتاب ایجاد می‌شود (تقریباً ۲-۳ بار در روز). مدل زبانی از میان ۱۰۰ مشاهده اخیر سوالاتی را استخراج می‌کند. مدل زبانی خاطرات مرتبط را بازیابی کرده و از آن‌ها برای تولید جملاتی سطح بالاتر استفاده می‌کند. این مراحل استخراج جملات سطح بالاتر از مشاهدات و خاطرات قبلی توسط یک ساختار درختی کار می‌کند. برگ‌های درخت مشاهدات خام هستند. گره‌های بالاتر، بازتاب‌های سطح بالاتر و انتزاعی‌تر را نشان می‌دهند.

به کمک این روش، عوامل می‌توانند از تجربیات گذشته خود مفاهیم عمیق‌تری استخراج کنند و تصمیمات بهتر آگاهانه‌تری بگیرند.

- **برنامه‌ریزی و واکنش (Planning and Reacting):**
- مدل‌های زبانی می‌توانند به صورت لحظه‌ای تصمیمات معقولی بگیرند، اما بدون برنامه‌ریزی، ممکن است رفتارهای غیرمنسجم و عجیب نشان دهند (مثلاً چندین بار در روز ناهار بخورند). برای ایجاد رفتارهای باورپذیر در طول زمان، برنامه‌ریزی ضروری است. عوامل برنامه‌هایی شامل موقعیت مکانی، زمان شروع، و مدت فعالیت خود ایجاد می‌کنند. این برنامه‌ها در حافظه ذخیره شده و در تصمیم‌گیری‌های آینده لحاظ می‌شوند. مراحل برنامه‌ریزی:
 - مدل زبانی بر اساس ویژگی‌های شخصیتی و تجربیات اخیر عامل، برنامه‌ی روزانه‌ی او را در ۵ تا ۸ بخش کلی تنظیم می‌کند. این برنامه کلی به فعالیت‌های کوچکتر یک ساعته و سپس به وظایف ۵ تا ۱۵ دقیقه‌ای تقسیم می‌شود. عوامل در هر لحظه، بر اساس مشاهدات جدید، تصمیم می‌گیرند که برنامه‌ی خود را ادامه دهند یا تغییر دهند.

عوامل هنگام تعامل با یکدیگر، می‌توانند با یکدیگر مکالمه نیز بر حسب حافظه خود داشته باشند. مدل زبانی گفت و گوهایی آن‌ها را با در نظر گرفتن روابط، تاریخچه‌ی مکالمات، و هدف مکالمه تولید می‌کند.

حال کمی راجب محیط شبیه‌سازی صحبت می‌کنم. در این محیط که شبیه به بازی The Sims است، کاربران می‌توانند عوامل جدیدی را با توضیحات متنی کوتاه تعریف کنند، که این توضیحات به عنوان خاطرات اولیه عوامل در نظر گرفته می‌شوند. برای ارتباط زبانی عوامل مولد با محیط شبیه‌سازی، محیط بازی به صورت یک درخت نمایش داده شده و به زبان طبیعی تبدیل می‌شود. عوامل هنگام حرکت، درختی از محیط اطراف خود ایجاد کرده و آن را به‌روزرسانی می‌کنند. برای تعیین مکان مناسب برای یک کار، بخشی از درخت مربوط به عامل پردازش شده و به مدل زبانی داده می‌شود تا محل مناسب مشخص شود. همچنین، هنگام انجام یک اقدام روی اشیاء، مدل زبانی تعیین می‌کند که وضعیت عامل چگونه تغییر کند.

حال برای اینکه مدل و عوامل مولد را ارزیابی کنیم، ظرفیت‌ها و محدودیت‌های عوامل مولد را مورد بررسی قرار می‌دهیم. همانطور که قبل‌تر گفتیم، عوامل مولد، هم به‌عنوان عوامل فردی و هم به‌عنوان گروه، هدفشان تولید رفتار باورپذیر بر اساس محیط و تجربیاتشان است. عوامل مولد را در دو مرحله مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. یک ارزیابی کنترل‌شده‌تر است که پاسخ‌های عوامل را به‌صورت فردی بررسی می‌کند تا متوجه شوند آیا آن‌ها در زمینه‌های مشخص و محدود، رفتار باورپذیری تولید می‌کنند یا خیر. سپس، در تحلیل جامع رفتار جامعه عوامل طی دو روز کامل از بازی (منظور زندگی و تعامل در محیط شبیه‌سازی)، رفتار آن‌ها را بررسی می‌کنند.

در روش اول، برای ارزیابی عوامل مولد، از مصاحبه با آن‌ها استفاده شد. سوالات در پنج حوزه کلیدی شامل شناخت خود، حافظه، برنامه‌ریزی، واکنش، و بازتاب طراحی شدند. برای بررسی باورپذیری پاسخ‌ها، ۱۰۰ ارزیاب انسانی رتبه‌بندی پاسخ‌های عوامل را در مقایسه با چهار معماری مختلف و پاسخ‌های انسانی انجام دادند. همچنین معماری عامل مولد با سه نسخه‌ی مختلف که برخی یا تمام حافظه‌های آن (مشاهده، تفکر، برنامه‌ریزی) غیرفعال شده بودند، مقایسه شد. همچنین، یک شرایط با پاسخ‌های نوشته‌شده توسط انسان اضافه شد تا مبنایی برای ارزیابی حداقل سطح خوب بودن عوامل ایجاد شود. برای این کار، ۲۵ نیروی انسانی ویدیوی زندگی عوامل را تماشا کرده و پاسخ‌هایی متناسب با شخصیت آن‌ها نوشتند. سپس این پاسخ‌ها بررسی شدند تا از کیفیت و انسجام آن‌ها اطمینان حاصل شود. همچنین روش‌های تحلیل داده‌های رتبه‌بندی‌شده مطرح شد و آزمون‌های مختلف آماری برای بررسی اهمیت آماری نیز ارائه شدند. در نهایت، یک تحلیل کیفی در دو مرحله انجام شد تا تفاوت‌های معنایی بین پاسخ‌های تولید شده در شرایط مختلف شناسایی شوند. نتایج به این صورت شد که معماری کامل عامل مولد بهترین عملکرد را در تولید رفتار باورپذیر داشت. به این نتیجه نیز رسیدند که با حذف قابلیت‌های مختلف، عملکرد کاهش می‌یابد. همچنین عوامل مولد دارای حافظه گاهی دچار فراموشی، بازیابی ناقص یا تحریف خاطرات می‌شوند. همچنین به این نتیجه مهم رسیدند که بازتاب (Reflection) برای ترکیب اطلاعات و تصمیم‌گیری‌های دقیق‌تر ضروری است.

در روش دوم، به بررسی رفتارهای نوظهور که از تعامل ۲۵ عامل مولد در یک شبیه‌سازی طولانی‌مدت به وجود آمده است، می‌پردازد و نقاط ضعف آن‌ها را تحلیل می‌کند. سه ویژگی رفتارهای نوظهور در جامعه‌ی عوامل شامل انتشار اطلاعات، ایجاد روابط و هماهنگی بین عوامل است. برای سنجش انتشار اطلاعات، میزان آگاهی عوامل از اخبار مهم درون محیط تحلیل شد. برای ارزیابی روابط، میزان شناخت متقابل بین عوامل در ابتدا و انتهای شبیه‌سازی بررسی شد. در نهایت، برای ارزیابی هماهنگی، تعداد شرکت‌کنندگان در یک مهمانی پس از اطلاع از آن محاسبه شد. در این ارزیابی نیز سه محدودیت و خطای رایج در رفتار عوامل شبیه‌سازی‌شده بررسی شد.

- افزایش دانش یعنی بزرگتر شدن حافظه باعث شد که عوامل تصمیمات غیر واقعی بگیرند.
- عوامل گاهی قوانین ضمنی مکان‌ها را متوجه نمی‌شدند.
- عوامل بیش از حد مودب و همکاری‌کننده شدند، به طوری که در قبل کردن پیشنهادات دیگران بدون توجه به علایق خودشان دچار مشکل بودند.

در مقایسه با روش‌های دیگر که احتمالاً براساس یادگیری تقویتی و یا یک سری قانون مشخص هستند، این مدل ارائه شده در مقاله ترکیبی از پردازش زبان طبیعی و LLM و حافظه‌های مختلف است که بنظر علاوه بر پوشش روش‌های دیگر که باعث می‌شود بر اساس قانون‌های مشخص و تعریف شده عمل کنند، باعث می‌شود که با در نظر گرفتن تعاملات و اطلاعات گذشته، رفتارهای خود را بروز کنند. من فکر می‌کردم احتمالاً باید از یادگیری تقویتی و شبکه‌های عصبی بازگشتی (RNN) برای پیاده‌سازی عوامل مولد استفاده کنند تا بتوانند رفتارهای باورپذیر انسانی را این عوامل در طول زمان از خود نشان بدهند، اما مزیت روش ارائه‌شده در این مقاله در استفاده از LLM است که قابلیت پردازش عمیق‌تر اطلاعات متنی و تعاملات انسانی را فراهم می‌کند. همچنین به کمک انواع حافظه ایجاد شده در مقاله و به کمک LLM، عوامل می‌توانند در شرایط مختلف، بسته به تعاملات قبلی و محیط اطرافشان، رفتارهایی مناسب و باورپذیر از خود نشان دهند.

مطالعه این مقاله برای من بسیار جالب بود، زیرا نشان می‌دهد که چگونه می‌توان از مدل‌های زبان بزرگ برای ایجاد رفتارهای تعاملی و شبیه‌سازی‌شده انسانی بهره برد. نکته‌ای که برام جالب بود، استفاده از حافظه‌های مختلف برای ایجاد تصمیم‌گیری‌های بهتر و واقعی‌تر بود و همچنین ساختارهای درختی استفاده شده در قسمت‌های مختلف پیاده‌سازی عوامل و محیط شبیه‌سازی و اشیاء مختلف بود. همچنین، از آنجایی که از ساختارهای درختی در این مدل استفاده شده است، می‌توان این مدل را با روش‌های دیگر مانند شبکه‌های عصبی گرافی (GNNS) ترکیب کرد تا تعاملات اجتماعی پیچیده‌تری را مدل‌سازی کند. شاید هم با ارائه یک مدل زبانی ویژه‌تر مطابق خواسته‌های خود بتوان مدل قوی‌تری برای بهبود عملکرد عوامل مولد ارائه کرد.

یکی از سوالاتی که برای من ایجاد شد این است که آیا این مدل‌ها می‌توانند در محیط‌های پیچیده‌تر و غیرقابل پیش‌بینی نیز به خوبی عمل کنند یا خیر؟ همچنین، آیا ترکیب این روش با مدل‌های یادگیری تقویتی می‌تواند باعث بهبود عملکرد عوامل مولد شود؟ یا اینکه جایگزینی برای LLM که در این مدل استفاده شده وجود دارد؟

در آخر، این مقاله نشان‌دهنده یک گام مهم در مسیر ایجاد تعاملات طبیعی‌تر میان انسان و ماشین است و همچنین به عوامل مولد این امکان را می‌دهد که مانند انسان رفتارهای باورپذیر از خود نشان بدهند و مانند یک انسان تصمیم‌گیری کنند و می‌تواند به پیشرفت‌های بیشتری در زمینه هوش مصنوعی و تولید عوامل مولد بهتر و شبیه‌تر به انسان منجر شود.