



کاربرد فناوری کوانتوم در هوش مصنوعی (هوش مصنوعی کوانتومی)

رحیم اصغری^{۱*}، رؤیا کاظمی^۲

۱- استادیار دانشگاه فنی و حرفه‌ای ایران، تهران

rasghari@tvu.ac.ir

۲- کارشناسی ارشد مهندسی برق گرایش مخابرات امن و رمزنگاری، دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران

Royakazemigorji@gmail.com

چکیده

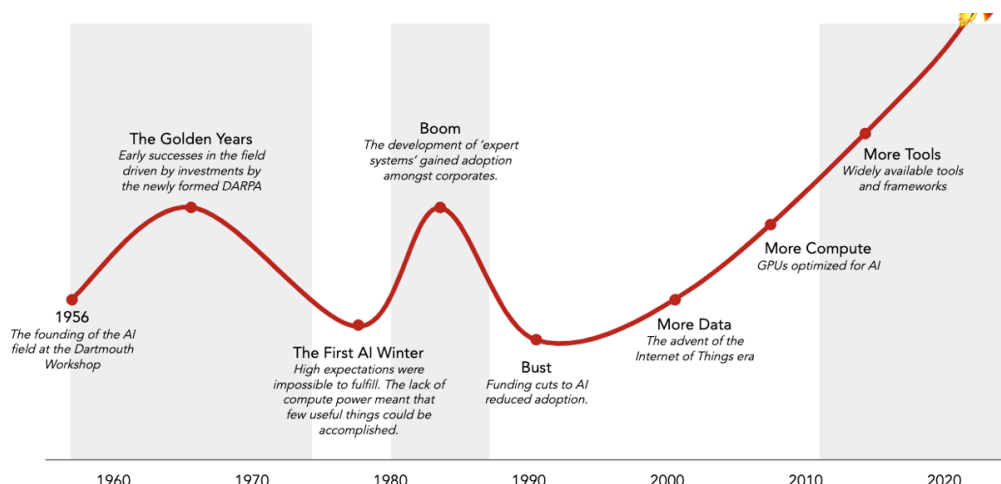
زمینه‌های فناوری هوش مصنوعی و فناوری کوانتومی به‌طور موازی تکامل یافته‌اند و پتانسیل قابل توجهی را برای تکمیل یکدیگر نشان داده‌اند. ادغام آن‌ها به استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی برای توسعه الگوریتم‌هایی برای محاسبات کوانتومی و فیزیک کوانتومی همچنین استفاده از محاسبات کوانتومی برای تقویت برنامه‌های کاربردی هوش مصنوعی اشاره دارد. محاسبات کوانتومی پتانسیل ایجاد انقلاب در زمینه‌های مختلف را دارد. کنترل سیستم‌های کوانتومی بسیار دشوار است که یکی از موانع اصلی در راه استفاده گسترده از محاسبات کوانتومی است. هوش مصنوعی راه‌های جدیدی را برای کنترل خودکار سیستم‌های کوانتومی باز کرده است. به‌طور خاص، استفاده از هوش مصنوعی می‌تواند بینش ارزشمندی را در مورد حوزه پیچیده و چندوجهی فیزیک کوانتومی برای تسریع در کشف قوانین فیزیک کوانتومی ارائه دهد؛ و به‌طور بالقوه می‌تواند چالش‌هایی را که از لحاظ تاریخی با محاسبات کوانتومی و ارتباطات کوانتومی مرتبط بوده‌اند، کاهش دهد. از سوی دیگر محاسبات کوانتومی می‌تواند برای بهبود برنامه‌های کاربردی هوش مصنوعی نیز مورد استفاده قرار گیرد. به‌عنوان مثال محاسبات کوانتومی را می‌توان برای تسریع در آموزش شبکه‌های عصبی که در یادگیری ماشین استفاده می‌شود، استفاده کرد. هم‌زمان، یک سری پیشرفت‌ها در فناوری کوانتومی می‌تواند با ایجاد امکان توسعه الگوریتم‌ها، چارچوب‌ها و سخت‌افزار جدید، نوآوری در حوزه یادگیری ماشینی را هدایت کند. این مقاله یک نمای کلی از هم‌افزایی بالقوه و رابطه‌ی بین هوش مصنوعی و فناوری کوانتومی، تاریخچه آن‌ها، فرصت‌های رشد متقابل بین حوزه‌های هوش مصنوعی و فناوری کوانتومی، مزایا و چالش‌ها، پیامدهای اخلاقی و چشم‌اندازی از آینده ادغام آن‌ها ارائه می‌دهد.

کلمات کلیدی: هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، محاسبات کوانتومی، شبکه عصبی، فناوری کوانتومی

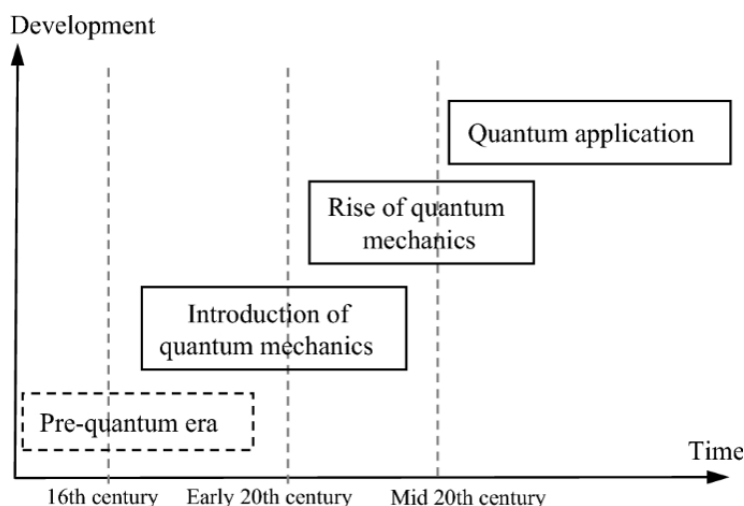
۱. مقدمه

ظهور هوش مصنوعی و فناوری کوانتومی در طول چندین دهه گذشته با یک مسیر توسعه پرفرازونشیب مشخص شده است که در نهایت با ظهور پیشرفت‌های فناورانه که پتانسیل تغییر اساسی ساختار نوآوری، تولید و زندگی روزمره بشر را دارند، به اوج خود رسید [1].

* Corresponding author: Rahim Asghari
Email: rsghari@tvu.ac.ir



شکل ۱. تاریخچه توسعه هوش مصنوعی

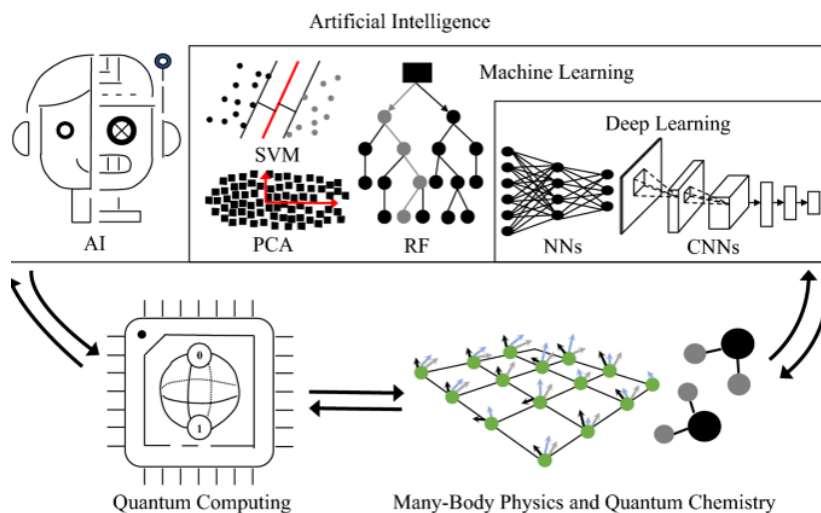


شکل ۲. تاریخچه توسعه فناوری کوانتومی

با این وجود، قابلیت اطمینان قانون مور در سال‌های اخیر کاهش یافته است و ظرفیت رایانه‌های کلاسیک در حال حاضر به‌طور فزاینده‌ای تحت فشار قرار گرفته است، زیرا روش‌های سنتی انباشتن سخت‌افزار برای پاسخگویی به تقاضای فزاینده برای توان محاسباتی مورد نیاز مدل‌های پیچیده هوش مصنوعی کافی نیست. در نتیجه، توسعه آینده هوش مصنوعی ممکن است به‌طور بالقوه وارد یک دوره زمستانی شود. علاوه بر این، پتانسیل نهایی فناوری کوانتومی تا حد زیادی ناشناخته باقی مانده است، با بسیاری از موانع که در حال حاضر مانع پذیرش گسترده آن شده است که ممکن است برخی از آن‌ها نیاز به کمک هوش مصنوعی برای غلبه بر آن داشته باشد. [2, 3]

با توجه به این شرایط، یک‌جهت تحقیقاتی حیاتی شامل ادغام استراتژیک این دو حوزه فناوری نوپا به‌منظور استفاده کامل از هم‌افزایی بالقوه آن‌ها و ترویج رشد متقابل است، همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است. این امر پتانسیل قابل توجهی را برای تعامل مداوم بین فناوری کوانتومی و هوش مصنوعی به‌عنوان یک‌روند تعیین‌کننده در این زمینه برجسته می‌کند.

تحقیقات قابل توجهی در همکاری بین‌رشته‌ای و بهبود متقابل بین هوش مصنوعی و فناوری کوانتومی انجام شده است. از یک طرف، هوش مصنوعی کاربرد قابل توجهی را در پرداختن به مسائل پیچیده کوانتومی نشان داده است [4,5].



شکل ۳. تعامل بین هوش مصنوعی و فناوری کوانتومی

پتانسیل محاسبات کوانتومی و هوش مصنوعی قبلاً در زمینه‌های کشف دارو، تجزیه و تحلیل مالی و امنیت سایبری نشان داده شده است. در کشف دارو، محاسبات کوانتومی می‌تواند برای شناسایی سریع مولکول‌های جدیدی که می‌توانند برای ایجاد درمان‌های مؤثر مورد استفاده قرار گیرند، استفاده شود، در حالی که از هوش مصنوعی می‌توان برای تجزیه و تحلیل مجموعه داده‌های بزرگی از اطلاعات بیمار برای شناسایی درمان‌های بالقوه استفاده کرد. در تحلیل مالی، محاسبات کوانتومی می‌تواند برای پیش‌بینی قیمت سهام و روند بازار استفاده شود، در حالی که از هوش مصنوعی می‌توان برای نظارت بر تقلب و ریسک مالی استفاده کرد. در امنیت سایبری، محاسبات کوانتومی می‌تواند برای رمزگذاری داده‌ها استفاده شود، در حالی که هوش مصنوعی می‌تواند برای شناسایی و پاسخ به تهدیدات استفاده شود.

ترکیب محاسبات کوانتومی و هوش مصنوعی پتانسیل بسیار زیادی برای حل مسئله دارد و این قدرت را دارد که بسیاری از صنایع را متحول کند. همان‌طور که فناوری همچنان در حال توسعه است، می‌توان انتظار داشت که کاربردهای نوآورانه‌تری از این فناوری‌ها ببینیم که شیوه برخورد ما با مشکلات پیچیده را متحول خواهد کرد.

۲. هوش مصنوعی کوانتومی

هوش مصنوعی کوانتومی ترکیبی از محاسبات کوانتومی و هوش مصنوعی است. از قدرت محاسبات کوانتومی برای اجرای الگوریتم‌های پیچیده یادگیری ماشینی استفاده می‌کند که می‌توانند حجم زیادی از داده را پردازش کنند. هوش مصنوعی کوانتومی پتانسیل حل مشکلاتی را دارد که برای کامپیوترهای کلاسیک غیرممکن است، مانند بهینه‌سازی سامانه‌های پیچیده و پیش‌بینی نتایج در محیط‌های پیچیده.

هوش مصنوعی کوانتومی قدرت محاسبات کوانتومی را با انعطاف‌پذیری الگوریتم‌های یادگیری ماشینی ترکیب می‌کند. این ترکیب امکان ایجاد انواع جدیدی از الگوریتم‌ها را فراهم می‌کند که می‌توانند از ویژگی‌های منحصر به فرد محاسبات کوانتومی

استفاده کنند. هوش مصنوعی کوانتومی همچنین پتانسیل ایجاد انواع جدیدی از تکنیک‌های پردازش داده را دارد که می‌توانند در طیف گسترده‌ای از برنامه‌ها مورد استفاده قرار گیرند. [6, 7]

ادغام فناوری کوانتومی و هوش مصنوعی به‌عنوان یک منطقه حیاتی برای تحقیقات با پتانسیل گسترده ظاهر شده است. کاربرد هوش مصنوعی در فناوری کوانتومی ابزاری کارآمد برای رسیدگی به مسائل پیچیده کوانتومی، به‌ویژه با نزدیک شدن قانون مور به محدودیت‌های فیزیکی خود، ارائه می‌دهد. در آینده، فناوری کوانتومی ممکن است برای سرعت بخشیدن به پیشرفت هوش مصنوعی در پایان کاربرد صنعت مفید باشد. تعامل فناوری کوانتومی و هوش مصنوعی در آستانه تبدیل شدن به یک محرک هیجان‌انگیز برای توسعه اقتصادی و اجتماعی است که نشان‌دهنده فرصتی قابل توجه برای رشد و نوآوری در آینده است.

۲.۱. هوش مصنوعی برای کوانتوم و کوانتوم برای هوش مصنوعی

اثر بخشی هوش مصنوعی در حل چالش‌های متعدد مربوط به فیزیک کوانتومی به‌خوبی مستند شده است و دامنه کاربردهای آن همچنان در حال گسترش است. این‌ها عبارت‌اند از نمایش حالت کوانتومی، طبقه‌بندی فاز کوانتومی، کنترل کوانتومی، ارتباطات کوانتومی و تصحیح خطا.

شبکه‌های عصبی، یک الگوریتم محبوب یادگیری ماشین، به‌طور فزاینده‌ای در برنامه‌های محاسباتی پیچیده استفاده می‌شوند. باین‌حال، ساختار و پیچیدگی در حال گسترش آن‌ها باعث ایجاد گلوگاه در سرعت و عملکرد محاسبات شده است. برای پرداختن به این مسائل، ساب‌هاش و ران کریسلی در سال 1995 مفهوم محاسبات عصبی کوانتومی را معرفی کردند که از خواص مکانیک کوانتومی برای تقویت عملکرد شناختی استفاده می‌کند. به‌طور خاص، با توسعه فناوری شبکه عصبی کوانتومی، برای کار بر روی مدارهای کوانتومی با استفاده از برهم‌نهی حالت، درهم تنیدگی، درهم تنیدگی، تداخل و گیت‌های منطق کوانتومی به‌عنوان واحدهای محاسباتی پایه طراحی شده است. شبکه عصبی کوانتومی برای حل مسائل پیچیده استفاده می‌کند.

۳. کاربردهای هوش مصنوعی کوانتومی

در این بخش به بررسی کاربردهای مختلف هوش مصنوعی می‌پردازیم.

۱. دارایی، مالیه، سرمایه‌گذاری

در امور مالی، هوش مصنوعی کوانتومی می‌تواند برای تجارت، مدیریت ریسک و کشف تقلب استفاده شود. هوش مصنوعی کوانتومی می‌تواند حجم عظیمی از داده‌های مالی را در زمان واقعی تجزیه و تحلیل کند و در مورد روندها و حرکات بازار پیش‌بینی کند.

۲. مراقبت‌های بهداشتی

در مراقبت‌های بهداشتی، هوش مصنوعی کوانتومی می‌تواند برای کشف دارو و پزشکی شخصی استفاده شود. هوش مصنوعی کوانتومی می‌تواند مقادیر زیادی از داده‌های ژنومی را تجزیه و تحلیل کند و الگوهایی را شناسایی کند که برای رایانه‌های کلاسیک قابل مشاهده نیستند.

۳. حمل و نقل

در حمل و نقل، هوش مصنوعی کوانتومی می‌تواند برای بهینه‌سازی زنجیره تأمین و شبکه‌های حمل و نقل استفاده شود. هوش مصنوعی کوانتومی می‌تواند حجم وسیعی از داده‌ها را تجزیه و تحلیل کند و کارآمدترین مسیرها و روش‌های حمل و نقل را شناسایی کند.

۴. انرژی

در انرژی، هوش مصنوعی کوانتومی را می‌توان برای بهینه‌سازی شبکه‌های برق و پیش‌بینی تقاضای انرژی استفاده کرد. هوش مصنوعی کوانتومی می‌تواند حجم وسیعی از داده‌ها را تجزیه و تحلیل کند و کارآمدترین راه‌ها برای تولید و توزیع انرژی را شناسایی کند.

۴. مزایا و چالش‌های هوش مصنوعی کوانتومی

قطعا بکارگیری فناوری کوانتومی در هوش مصنوعی و بالعکس می‌تواند مزایای زیادی داشته باشد و هم چنین چه از منظر بکارگیری و چه امنیت چالش‌هایی را ایجاد نماید که در این بخش به بررسی و تحلیل آن‌ها خواهیم پرداخت. ابتدا به بررسی مزایای بالقوه هوش مصنوعی کوانتومی خواهیم پرداخت.

۱. افزایش قدرت محاسباتی

هوش مصنوعی کوانتومی می‌تواند محاسباتی را انجام دهد که برای کامپیوترهای کلاسیک غیرممکن است. این بدان معنی است که می‌تواند مسائل پیچیده را در زمان کمتر و با دقت بالاتر نسبت به کامپیوترهای کلاسیک حل کند.

۲. یادگیری ماشینی سریع‌تر

هوش مصنوعی کوانتومی می‌تواند الگوریتم‌های یادگیری ماشینی را سریع‌تر از رایانه‌های کلاسیک انجام دهد و امکان پردازش حجم وسیعی از داده‌ها را در زمان واقعی فراهم می‌کند.

۳. پیش‌بینی‌های بهبود یافته

هوش مصنوعی کوانتومی می‌تواند نتایج را در محیط‌های پیچیده با دقت بالاتری نسبت به کامپیوترهای کلاسیک پیش‌بینی کند. این می‌تواند به‌ویژه در صنایعی مانند امور مالی مفید باشد، جایی که پیش‌بینی‌های دقیق می‌تواند به سود قابل توجهی منجر شود.

۴. بهینه‌سازی بهبود یافته

هوش مصنوعی کوانتومی می‌تواند سیستم‌های پیچیده، مانند زنجیره‌های تأمین یا شبکه‌های حمل و نقل را بهینه‌تر از کامپیوترهای کلاسیک بهینه کند. این می‌تواند منجر به صرفه جویی قابل توجهی در هزینه و بهبود کارایی شود.

۵. تجارت کوانتومی هوش مصنوعی (تغییردهنده بازی)

یکی از حوزه‌هایی که هوش مصنوعی کوانتومی در حال حاضر تأثیر خود را گذاشته است، تجارت است. الگوریتم‌های معاملاتی هوش مصنوعی کوانتومی می‌توانند مقادیر زیادی از داده‌های مالی را در زمان واقعی تجزیه و تحلیل کنند و در مورد روندها و حرکات بازار پیش‌بینی کنند. این می‌تواند منجر به سود قابل توجهی برای سرمایه‌گذاران و معامله‌گران شود.



۶. الگوریتم‌های معاملاتی هوش مصنوعی کوانتومی همچنین می‌توانند الگوهایی را در داده‌های مالی شناسایی کنند که برای رایانه‌های کلاسیک قابل مشاهده نیستند. این می‌تواند به پیش بینی‌های دقیق‌تر و تصمیم‌گیری‌های سرمایه‌گذاری بهتر منجر شود.

چندین چالش و محدودیت در ارتباط با همگرایی هوش مصنوعی و فناوری کوانتومی وجود دارد که در زیر به آن‌ها اشاره کرده‌ایم:

۱. الگوریتم‌های هوش مصنوعی اغلب به پردازنده‌های تخصصی مانند واحدهای پردازش گرافیکی نیاز دارند در حالی که رایانه‌های کوانتومی به کیوبیت‌ها متکی هستند که در حال حاضر مقیاس‌پذیری و کارکرد آن‌ها در دماهای بسیار پایین دشوار است. ادغام این دو فناوری نیاز به سازگاری سخت‌افزاری دارد که در حال حاضر یک چالش بزرگ است.
۲. سازگاری نرم‌افزار زبان‌های برنامه‌نویسی مورداستفاده برای هوش مصنوعی و محاسبات کوانتومی نیز متفاوت هستند. الگوریتم‌های هوش مصنوعی اغلب از زبان‌های برنامه‌نویسی سطح بالا مانند پایتون استفاده می‌کنند، در حالی که الگوریتم‌های کوانتومی به زبان‌های برنامه‌نویسی سطح پایین مانند QASM نیاز دارند. ادغام این دو فناوری نیاز به سازگاری نرم‌افزاری دارد که این نیز یک چالش است.
۳. تصحیح نویز و خطا محاسبات کوانتومی به دلیل ماهیت شکننده کیوبیت‌ها مستعد نویز و خطا هستند. این بدان معنی است که الگوریتم‌های کوانتومی به تکنیک‌های تصحیح خطا نیاز دارند که می‌تواند از نظر محاسباتی گران باشد. ادغام هوش مصنوعی و فناوری کوانتومی به تکنیک‌های تصحیح خطای کارآمد نیاز دارد که می‌تواند اثرات نویز و خطاها را کاهش دهد.
۴. منابع محدود کامپیوترهای کوانتومی فعلی دارای کیوبیت‌های محدودی هستند و قادر به انجام محاسبات پیچیده موردنیاز برای بسیاری از وظایف هوش مصنوعی نیستند. این بدان معناست که ادغام هوش مصنوعی و فناوری کوانتومی مستلزم توسعه رایانه‌های کوانتومی قدرتمندتر است.
۵. کمبود استعداد در نهایت، کمبود قابل توجهی از کارشناسانی که هم در فناوری هوش مصنوعی و هم در فناوری کوانتومی مهارت دارند، وجود دارد. ادغام این دو زمینه نیازمند متخصصانی است که درک عمیقی از هر دو فناوری داشته باشند که در حال حاضر نادر است.

۵. مفاهیم اخلاقی برای هوش مصنوعی و محاسبات کوانتومی

از آنجایی که هوش مصنوعی و محاسبات کوانتومی به پیشرفت خود ادامه می‌دهند و بیشتر در زندگی روزمره ما ادغام می‌شوند، توجه به پیامدهای اخلاقی ناشی از استفاده از آن‌ها ضروری است. یکی از مهم‌ترین مسائل حفظ حریم خصوصی و امنیت داده‌ها است. با افزایش حجم داده‌هایی که تولید و جمع‌آوری می‌شوند، دسترسی بازیگران بد به اطلاعات حساس و استفاده از آن‌ها برای اهداف مخرب آسان‌تر می‌شود. اینجاست که محاسبات کوانتومی وارد عمل می‌شود، زیرا این پتانسیل را دارد که روش‌های رمزگذاری فعلی را شکسته و دسترسی هکرها به داده‌هایی را که قبلاً امن تلقی می‌شد، آسان‌تر کند. علاوه بر این، سیستم‌های هوش مصنوعی همچنین می‌توانند نگرانی‌های اخلاقی، به ویژه در زمینه‌های تعصب و تبعیض ایجاد کنند. اگر داده‌های مورداستفاده برای آموزش این سیستم‌ها مغرضانه باشد، الگوریتم‌های هوش مصنوعی حاصل نیز سوگیری خواهند

داشت که منجر به رفتار ناعادلانه و تبعیض علیه گروه‌های خاص می‌شود. مسئله دیگری که با استفاده از هوش مصنوعی و محاسبات کوانتومی به وجود می‌آید، پتانسیل جابجایی شغل است. همان‌طور که این فناوری‌ها پیشرفته‌تر می‌شوند، احتمالاً جایگزین برخی مشاغل انسانی خواهند شد که منجر به اختلالات اقتصادی و نابرابری اجتماعی می‌شود؛ بنابراین، برای محققان، سیاست‌گذاران و ذینفعان بسیار مهم است که باهم همکاری کنند تا به این نگرانی‌های اخلاقی رسیدگی کنند و اطمینان حاصل کنند که توسعه و استفاده از هوش مصنوعی و محاسبات کوانتومی با ارزش‌های اجتماعی مطابقت دارد و منافع بیشتر را ارتقا می‌دهد. این شامل توسعه اقدامات امنیتی و حفظ حریم خصوصی قوی، پرداختن به تعصب و تبعیض در سیستم‌های هوش مصنوعی و ایجاد سیاست‌هایی است که از انتقال آرام برای کارگران تحت تأثیر اتوماسیون پشتیبانی می‌کند.

۶. نتیجه‌گیری و چشم‌انداز

هوش مصنوعی برای کوانتوم به کاربرد فن‌های هوش مصنوعی در توسعه الگوریتم‌های کوانتومی و استفاده از محاسبات کوانتومی برای پیشبرد برنامه‌های هوش مصنوعی اشاره دارد. ادغام هوش مصنوعی و محاسبات کوانتومی پتانسیل بسیار زیادی برای دستیابی به پیشرفت‌های مهم در زمینه‌های مختلف از جمله هوش مصنوعی دارد. همگرایی هوش مصنوعی و محاسبات کوانتومی امکانات گسترده‌ای را برای کاربردهای عملی ارائه می‌دهد. محاسبات کوانتومی نیز برای بهبود کاربردهای هوش مصنوعی به کار گرفته شده است. به‌عنوان مثال، محاسبات کوانتومی می‌تواند آموزش شبکه عصبی را تسریع بخشد که جزء مهم یادگیری ماشین است. علاوه بر این، محاسبات کوانتومی می‌تواند به افزایش کارایی الگوریتم‌های بهینه‌سازی که معمولاً در برنامه‌های کاربردی هوش مصنوعی استفاده می‌شوند، کمک کند. در حال حاضر، توسعه فناوری مکانیک کوانتومی محدود است و هیچ محصول کوانتومی قابل‌دوام تجاری در دسترس نیست؛ مانند محاسبات کوانتومی و ارتباطات کوانتومی. چندین مشکل اساسی فیزیکی حل نشده باقی می‌مانند و در حالی که روش‌های مرسوم ممکن است از نظر تئوری امکان‌پذیر به نظر برسند، اجرای آن‌ها اغلب ناکافی است. برای آغاز دوره تجاری فناوری کوانتومی، پرداختن به چالش‌های متعدد در مکانیک کوانتومی ضروری است. ممکن است هوش مصنوعی ابزار قدرتمندی برای غلبه بر این موانع باشد و ممکن است فرمول‌بندی آزمایش‌های فیزیکی جدید را تسهیل کند. با حرکت روبه‌جلو، انتظار افزایش دقت و انعطاف‌پذیری الگوریتم‌های یادگیری ماشین در کاربردهای فیزیکی و کوانتومی و همچنین توسعه الگوریتم‌های جدیدی که برای استفاده در آزمایش‌های فیزیکی کوانتومی واقعی هستند، وجود دارد. علاوه بر این محاسبات کوانتومی می‌تواند برای حل مشکلاتی که برای کامپیوترهای کلاسیک دشوار است، استفاده شود. این مشکلات شامل بهینه‌سازی، تشخیص الگو و پردازش زبان طبیعی است؛ بنابراین، ترکیب هوش مصنوعی و محاسبات کوانتومی می‌تواند به پیشرفت‌های قابل‌توجهی در زمینه‌های مختلف از جمله کشف دارو، امور مالی و امنیت سایبری منجر شود.

۱۲. مراجع

- [1] D. P. García, J. Cruz-Benito, F. J. García-Peñalvo, Systematic literature review: Quantum machine learning and its applications, arXiv preprint arXiv:2201.04093 (2022).
- [2] M. T. Baldassarre, V. S. Barletta, D. Caivano, A. Piccinno, M. Scalera, Privacy knowledge base for supporting decision-making in software development, in: C. Ardito, R. Lanzilotti, A. Malizia, M. Larusdottir, L. D. Spano, J. Campos, M. Hertzum, T. Mentler, J. Abdelnour Nocera, L. Piccolo, S. Sauer, G. van der Veer (Eds.), Sense, Feel, Design, Springer International Publishing, Cham, 2022, pp. 147–157.



- [3] A. Malizia, M. Larusdottir, L. D. Spano, J. Campos, M. Hertzum, T. Mentler, J. Abdelnour Nocera, L. Piccolo, S. Sauer, G. van der Veer (Eds.), Sense, Feel, Design, Springer International Publishing, Cham, 2022, pp. 147–157.
- [4] A. Sequeira, L. P. Santos, L. S. Barbosa, Policy gradients using variational quantum circuits, Quantum Mach. Intell. 5 (2023) 1–15.
- [5] B. Fathi. Vajargah, R. Asghari. "Application of chaotic maps in designing cryptographic pseudo random number generators." Journal of Optoelectronics and Advanced Materials 19.January-February 2017 (2017): 109-116.
- [6] R. Asghari, R. Semyari, "A Mutual Lightweight Authentication Protocol for Internet of Things Environment Using smart card". Computational Sciences and Engineering, 2022, 2.1: 41-52.
- [7] R. Asghari, "A modified continuous lightweight authentication to increase the information security on internet of Things." Computational Sciences and Engineering, 2021, 1.2: 109-121.