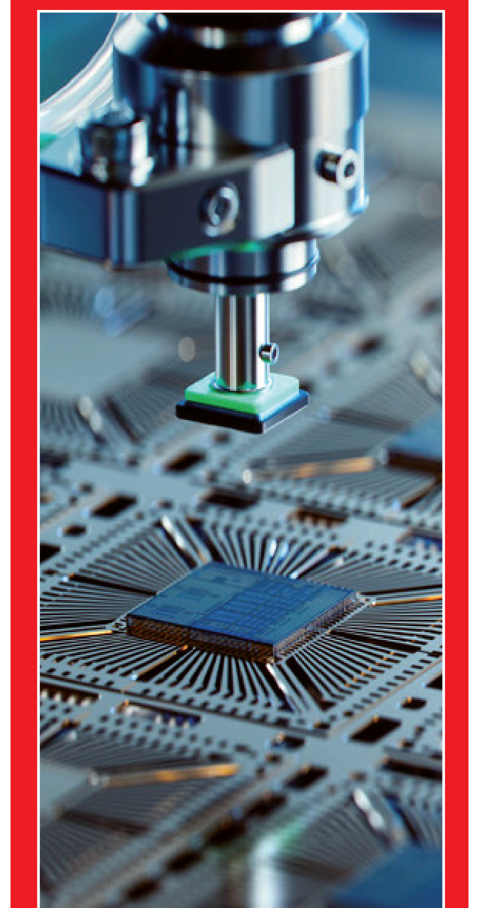
سازمان ملل از مهم‌ترین روندهای فناوری و کاربردهای نظامی و غیرنظامی آن‌ها در ۲۰۲۵ می‌گوید

فناوری‌های نوظهور شمشیر دولبه‌ای بر آینده بشر

علی محمولی
مترجم

جهان امروز در میانه انقلابی فنـــاوری قرار دارد که مرزهای دانش و توانایی‌های بشری را به چالش می‌کشد. از مواد پیشرفته‌ای که پایه‌های صنعت و فناوری را بازتعریف می‌کنند تا ریزتراشه‌ها و حسگرهایی که هوش مصنوعی و سامانه‌های خودمختار را به واقعیت تبدیل کرده‌اند، این فناوری‌های توانمندساز در حال شکل‌دهی دوباره به آینده‌اند. اما این پیشـــرفت‌ها همان قدر که فرصت‌سازند، چالش‌های پیچیده‌ای را نیز به همراه دارند کـــه امنیت بین‌المللی و اخلاقیات جهانی را در آزمونی دشـــوار قرار داده‌اند. مؤسسه تحقیقات خلع سلاح سازمان ملـــل (UNIDIR) در تازه‌ترین گزارش خـــود، نگاهی جامع به این فناوری‌ها انداخته و نقش آن‌ها را در تحول امنیت بین‌المللی بررسی کرده اســـت. این گزارش با تمرکز بر سال ۲۰۲۴، به تحلیل روندهای کلیدی در حوزه‌هایی همچون رایانش کوانتومی، اینترنت اشیا، نسل ششم ارتباطات (۶G) و هوش مصنوعی پرداخته است. درعین حال چالش‌هایی مانند آســیب‌پذیری زنجیـــره تأمین، تهدیدهای امنیت سایبری و رقابت‌های بین‌المللی به شـــکلی ویژه موردتوجه آن قرار گرفته‌اند. این مقاله که بازگردان گزارش ۲۰۲۴ از مؤسسه فوق است، بر آن است که اهمیت این فناوری‌ها تنها به نوآوری‌های علمی محدود نمی‌شود، بلکه تأثیرات عمیقی بر سیاست، اقتصاد و حتی اخلاقیات جهانی دارند. ازیک‌سو هوش مصنوعی و رایانش پیشرفته، ظرفیت‌هایی بی‌ســـابقه برای توسعه و بهره‌وری فراهم کرده‌اند. از سوی دیگر نقش روزافزون بخـــش خصوصی، نابرابری در دسترســـی و ملاحظات اخلاقـــی، نگرانی‌هایی جدی ایجاد کرده‌اند که نیازمند توجه فوری و مسئولانه‌اند. این مقاله با تحلیل وضعیت فعلی، نگاهی آینده‌پژوهانه به تحولات عرصه فناوری و پیچش آن با پیشرفت‌های بشری در حوزه‌های گوناگون به‌ویژه نظامی دارد. گزارش مهم زیر، زاویه دید سازمانی مهم و بین‌المللی به‌سوی آینده‌ای است که امروز در آزمایشگاه‌ها، مراکز داده و مناطق آزمایشی جنگی در حال شکل‌گیری است؛ آینده‌ای که یا ما در آن در مقصدی مافوق تصور و رویایی هستیم یا تمام کابوس‌هایمان به واقعیت تبدیل شده.

دسته ۱



مواد پیشرفته

نیمه‌رساناها

نیمه‌رساناها به دســـته‌ای از مواد تعلق دارند که با ویژگی‌های هدایت الکتریکی خود بین رساناها (مانند فلزات) و عایق‌ها (مانند شیشه) قرار می‌گیرند. هدایت الکتریکی نیمه‌رسانا می‌تواند کنترل و تغییر یابد که این امر امکان استفاده از آن به‌عنوان یک بلوک ساختمانی برای دستگاه‌ها و اجزای الکترونیکی ازجمله دیودها، ترانزیستورها و مدارهای مجتمع را فراهم می‌کند. برای دهه‌ها، صنعت نیمه‌رسانا در خط مقدم نوآوری‌های فناوری بوده و به‌طور مداوم پیشـــرفت‌هایی در کوچک‌سازی و بهبود عملکرد دستگاه‌ها ایجاد کرده. فناوری نیمه‌رسانا نقش مرکزی در پذیرش گســـترده هوش مصنوعی ایفا و توانایی‌های محاسباتی موردنیاز برای مدل‌ها و سیستم‌های هوش مصنوعی را تأمین می‌کند. تا سال ۲۰۲۳، صنعت بر پیشبرد کوچک‌سازی مواد نیمه‌رسانا متمرکز بوده، به‌ویژه از طریق توســـعه فناوری ۲ نانومتری نسل بعدی. این فناوری جدید وعده ارائه سرعت‌های پردازشی بسیار بالاتر از تراشه‌های موجود ۳ نانومتری را می‌دهد. محققان همچنین با هدف افزایش بیشتر عملکرد ریزتراشه‌ها، به بررسی مواد جایگزین برای سیلیکون پرداخته‌اند، مانند آرسنید بورون مکعبی و مواد دوبعدی. چنین مواد جایگزینی می‌توانند زنجیره تأمین نیمه‌رسانا را متنوع و تقویت کنند.

هم‌زمان و با نزدیک‌شـــدن قانون مور به محدودیت‌های فیزیکی خود، تحقیقات در ســـال ۲۰۲۴ همچنان بر غلبه بر محدودیت‌های فناوری سنتی سیلیکون متمرکز است. یک حوزه کلیدی اکتشاف، توسعه مواد نوآورانه‌ای است که می‌توانند عملکرد دستگاه‌های مبتنی بر سیلیکون را پشـــت ســـر بگذارند. یکی از این مواد، دی‌کالکجنایدهای انتقالی فلزی دوبعدی (TMDs) است که به‌عنوان جایگزینی برای سیلیکون شناسایی شده‌اند. باضخامت تنها ۰.۷ نانومتر- در مقایسه باضخامت معمول سیلیکون که ۵ تا ۱۰ نانومتر است- مصرف انرژی پایین‌تر، انتقال الکترون بیشتر و توان محاســـباتی بهتری را ارائه می‌دهند. درحالی‌که تولید انبوه این مواد چالش‌برانگیز بوده، روشی جدید برای ساخت سریع این کریستال‌های دوبعدی در چندین فرمولاسیون توسعه‌یافته است.

گرافن، یک ماده دوبعدی ساخته‌شـــده از یـــک لایه از اتم‌های کربن که در یک شبکه شـــش‌ضلعی چیده شده‌اند، چندین مزیت نسبت به ســـیلیکون دارد. این مزایا شامل تحرک الکترونی استثنایی، انتشار بهتر حرارت و ساختار فوق‌العاده نازک و سبک‌وزن است. بااین‌حال، ادغام گرافن در لوازم الکترونیک به دلیل نداشتن یک شکاف انرژی الکترونی ذاتی (electron bandgap) که برای امکان‌پذیر ساختن سوئیچ‌کردن ترانزیســـتورها لازم است، دشوار اســـت. تلاش برای معرفی شکاف انرژی، معمولاً خواص الکترونیکی برتر ماده را به خطر انداخته است. در اوایل سال ۲۰۲۴، محققان این چالش را با توسعه یک نیمه‌رسانای مبتنی بر گرافن که با روش‌های پردازش ریزالکترونیک ســـنتی سازگار است، پشت سر گذاشتند. این دستاورد نوید سرعت‌های محاسباتی تا ۱۰ برابر ســـریع‌تر از فناوری سنتی سیلیکون را می‌دهد و می‌تواند نقش حیاتی در توسعه محاسبات کوانتومی ایفا کند.

باتوجه‌به پتانســـیل تحول‌آفرین مواد دوبعدی، تولیدکنندگان نیمه‌رسانا سرمایه‌گذاری‌های قابل‌توجهی در تحقیق و ادغام این مواد انجام می‌دهند که نشان‌دهنده تغییری مهم از توسعه آزمایشگاهی به کاربردهای صنعتی در مقیاس بزرگ است. برای راهبری این انتقال، پژوهشگران برجسته نقشه راه اســـتراتژیکی برای پیشبرد مواد دوبعدی پیشنهاد داده‌اند که نیازمند تلاش مشترک بین دانشگاه‌ها و صنعت است. این نقشه راه، استفاده از ابزارهای هوش مصنوعی را برای رعایت استانداردهای صنعتی برای مواد دوبعدی مورد تأکید قرار می‌دهد تا دقت و کارایی در توســـعه تضمین شود. مواد نیمه‌رسانای نوآورانه دیگری مانند نیترید گالیم (GaN) نیز در حال جلب‌توجه‌اند. توسعه یک منبع نور کوانتومی با استفاده از GaN به‌عنوان یک گام مهم به‌سوی تراشه‌های کوانتومی کاربردی دیده می‌شود. علاوه بر این، دانشمندان یک تراشه ریزموج مبتنی بر GaN با بستر الماس ایجاد کرده‌اند که با ۳۰ درصد افزایش، چگالی توان بیشـــتری نسبت به محصولات فعلی ارائه می‌دهد. اگر این ماده به‌طور گسترده پذیرفته شود، می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی عملکرد نه‌تنها سیستم‌های غیرنظامی T بلکه همچنین کاربردهای نظامی، ازجمله توسعه سلاح‌های پرتوان ریزموج، رادارها و دستگاه‌های ارتباطی در جنگ الکترونیک را بهبود بخشد.

پیشرفت در مواد نیمه‌رسانا همچنان محرک نوآوری‌های خواهد بود که امکان ساخت دســـتگاه‌های کوچک‌تر و کارآمدتر را فراهم می‌کنند و فناوری‌های تحول‌آفرین هوش مصنوعی و کوانتومی را پیش می‌برند. این دستاوردها همچنین قابلیت‌های نظامی، به‌ویژه در جنگ الکترونیکی را تقویت خواهند کرد. بااین‌حال بیشتر مواد نیمه‌رسانای جایگزین همچنان در مرحله آزمایشگاهی قرار دارند و افزایش تولید آن‌ها برای به‌کارگیری در مقیاس بزرگ، همچنان مانند توسعه مواد دوبعدی، همچنان روندی در حال انجام است. علاوه بر این، زنجیره تأمین نیمه‌رساناهای مبتنی‌بر ســـیلیکون فعلی به دلیل ماهیت جهانی و تخصصی خود همچنان در معرض اختلال قـــرار دارد. درحالی‌که مواد نوآورانه، توانی بالقوه برای انقلاب در فرایندهای تولیدی فعلی را دارند، اما پذیرش گســـترده آن‌ها نیازمند سرمایه‌گذاری گسترده در روش‌های و زیرساخت‌های تولیدی جدید است.

ابررساناها

ابررســـاناها موادی‌اند که می‌توانند الکتریسیته را بدون هیچ مقاومتی یـــا اتلاف انرژی هدایت کنند و هنگامـــی که تا دمای بحرانی خاصی سرد شـــوند، می‌توانند میدان‌های مغناطیسی را دفع کنند. این ویژگی منحصربه‌فرد امکان می‌دهد جریان الکتریکی به طور نامحدود درون یک ابررسانا جریان یابد. ابررساناها برای ساخت کیوبیت‌ها (واحدهای بنیادی پردازنده‌های کوانتومی) ضروری‌اند و به همین دلیل نقش حیاتی در توسعه رایانه‌های کوانتومی ایفا می‌کنند. بااین‌حال همان‌طور که در کتابچه سال ۲۰۲۳ اشاره شده است، استفاده عملی از آن‌ها به دلیل نیاز به دماهای بسیار پایین یا در برخی موارد، فشارهای بالا در محیط‌های کمـــی گرم‌تر، همچنان محدود باقی‌مانده اســـت. این چالش محرک تلاش‌های علمی مداوم برای شناسایی موادی با دماهای بحرانی بسیار بالاتر، به‌ویژه با هدف دســـتیابی به ابررسانایی در دمای محیط است. دستیابی به چنین پیشرفتی می‌تواند انقلابی در حوزه الکترونیک ایجاد کند، اما تحقیقات به پتانسیل بروز اختلافات بین‌المللی بر سر حق ثبت اختراع، انتقال فناوری و دسترسی به بازار اشاره دارد. این موضوع مشابه چالش‌هایی است که دیگر فناوری‌های پیشرفته با آن مواجه هستند.

تا سال ۲۰۲۴ تحقیقات همچنان بر یافتن مواد ابررسانا با دماهای بحرانی بسیار بالا متمرکز است. یکی از رویکردهای امیدوارکننده، ترکیب مواد مختلف با ویژگی‌های الکتریکی منحصربه‌فرد اســـت تا ابررسانایی را بهینه کند. به‌عنوان‌مثال پژوهشگران دریافته‌اند ترکیب جدیدی از مواد، تمام ویژگی‌های لازم برای نوع جدیدی از ابررســـانایی را داراست. این کشف می‌تواند راه را برای رایانش کوانتومی قوی‌تر هموار کند. فراتر از رایانش کوانتومی، انتظار می‌رود ابررساناها به‌طور چشمگیری انرژی موردنیـــاز برای آموزش مدل‌های هوش مصنوعی را کاهش دهند، زیرا آن‌ها امکان جریان‌یافتن الکتریســـیته بدون مقاومت را فراهم می‌کنند. اگرچه ابررساناها در حال حاضر به دماهای بسیار پایین (کرایوژنیک) برای عملکرد نیاز دارند، بااین‌حال با میزان صرفه‌جویی پیش‌بینی‌شده در انـــرژی، انتظار می‌رود هزینه‌های به‌خصوص با افزایش تقاضاهای محاسباتی، کاهش یابد. علاوه بر این، هوش مصنوعی نقش فزاینده‌ای در تحقیق‌وتوسعه ابررساناها ایفا می‌کند. با استفاده از هوش مصنوعی در کنار شبیه‌سازی‌های مکانیک کوانتومی، پژوهشگران اکنون می‌توانند پیش‌بینی و غربالگری مواد ابررســـانای جدید را تسریع کرده و نوآوری در این حوزه را سرعت بخشند.

نانوفناوری

نانوفناوری بـــه طراحی، تولید و کاربرد مواد در مقیاس نانو که معمولاً بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر اســـت (برابر با یک میلیـــاردم متر) می‌پردازد. اســـتفاده از نانومواد فرصت‌های گسترده‌ای را برای پیشرفت در فناوری حسگرها، رایانش و ارتباطات فراهم می‌کند. تا سال ۲۰۲۳، موادی مانند نانولوله‌های کربنی و نقاط کوانتومی، توانایی امیدوارکننده‌ای برای رایانش نســـل بعدی ازجمله در حوزه نوظهور رایانش کوانتومی نشان داده‌اند. بااین‌حال چالش‌هایی در مقیاس‌بندی تولید این مواد برای استفاده عملی وجود دارد. علاوه بر این، تحقیقات نگرانی‌هایی را در مورد ســـمیت و خطرات زیســـت‌محیطی مرتبط با نانوذرات مطرح کرده که به تأثیرات بالقوه بر سلامت و محیط‌زیست اشاره دارند.

در ســـال ۲۰۲۴، نانوفنـــاوری همچنان یکـــی از عوامل کلیدی در کوچک‌ســـازی و بهینه‌سازی دستگاه‌ها به شـــمار می‌رود. تحقیقات مداوم، توســـعه نانوموادی با ویژگی‌ها و کاربردهای پیشـــرفته را نشان می‌دهد، به‌عنوان مثال یک روش کارآمدتر برای ســـنتز نقاط کوانتومی کشف شده که این پیشرفت ازآن‌جهت اهمیت دارد که نقاط کوانتومی، می‌توانند به‌عنوان اجزای اساسی برای بهبود سامانه‌های رایانش کوانتومی و کلاسیک عمل کنند. همچنین استفاده از نانومواد پیشرفته امکان توسعه فناوری رمزنگاری جدیدی را برای ارتباطات نوری فراهم کرده اســـت که ســـطوح بالایی از امنیت را ارائه می‌دهد و مزایای قابل‌توجهی برای سیســـتم‌های ارتباطی نقطه‌به‌نقطه دارد، مانند آن‌هایی که در عملیات نظامی با استفاده از سامانه‌های بدون سرنشین به کار می‌روند. قابلیت‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی، افق‌های جدیدی را برای توســـعه نانومواد نوین گشوده است. الگوریتم‌های محاسباتی پیشرفته امکان تحلیل ســـریع و مقرون‌به‌صرفه رفتار و ویژگی‌های نانوذرات را فراهم کرده‌اند و جایگزین ارزشـــمندی برای روش‌های تجربی سنتی در علم نانو ارائه می‌دهند، مثلاً دانشمندان یک الگوریتم ژنتیکی برای طراحی نانوساختارهای کریستالی فونونیک توسعه داده‌اند که می‌تواند ویژگی‌های خاص مواد را بادقت کنترل کند. این نوآوری پتانسیل زیادی برای ارتقای فناوری‌های رایانش و ارتباطات کوانتومی دارد.

دسته ۲

قطعات و اجزای سازنده

ریزتراشه‌ها

ریزتراشه‌ها یا چیپ‌ها که با نام مدارهای مجتمع نیز شناخته می‌شوند، مجموعه‌های فشـــرده‌ای از اجزای الکترونیکی کوچک‌شده از جمله ترانزیســـتورها، دیودها و مقاومت‌ها هســـتند که بر روی یک قطعه کوچک و تخت از ماده نیمه‌رسانا، معمولاً ویفر سیلیکونی قرار دارند. ریزتراشـــه‌ها زیربنای الکترونیک و سیستم‌های رایانشی مدرن هستند و وظایـــف حیاتی مانند پردازش اطلاعـــات، ذخیره داده‌ها و اجرای دستورات را انجام می‌دهند. کتابچه سال ۲۰۲۳ نشان داد که پیشرفت در صنعت ریزتراشـــه‌ها با توسعه فناوری نیمه‌رساناها، طراحی تراشه و فنون تولید، شـــتاب گرفته اســـت. نوآوری‌هایی مانند سیستم‌های چند-دای، معماری‌های بسیار یکپارچه ریزتراشه‌ها را برای پشتیبانی از مدل‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی در مقیاس بزرگ ممکن ساخته‌اند، درحالی‌که پیشرفت‌ها در فناوری لیتوگرافی نوین، تولید انبوه ریزتراشه‌های نسل بعدی را به واقعیت نزدیک‌تر کرده است. باوجود این جهش‌های فناورانه، چالش‌هایی مانند آسیب‌پذیری‌های زنجیره تأمین، سوءاستفاده‌های بالقوه و خطرات امنیت سایبری همچنان باقی است.

پیشرفت‌های سال ۲۰۲۴ بر بهبود عملکرد ریزتراشه‌ها و طراحی‌های متناســـب با کاربردهای تخصصی متمرکز است. نوآوری‌ها در مواد نیمه‌رسانا، از جمله یک نیمه‌رسانای بسیار نازک باضخامت تنها ۰/۷ نانومتر، نویدبخش انقلابی در بهره‌وری ریزتراشه‌ها با بهینه‌سازی جریان الکترون و کاهش مصرف انرژی هســـتند. به‌موازات این پیشرفت‌ها، فناوری فوتونیک نیز در حال پیشـــرفت است. برخلاف ریزتراشه‌های سنتی، ریزتراشـــه‌های فوتونیکی از فوتون‌ها (ذرات نور) برای انتقال داده‌ها با ســـرعت‌های بالاتر استفاده می‌کنند. پژوهشگران از فناوری فوتونیـــک برای افزایش قدرت پردازش و کاهش نیازهای انرژی مراکز داده و بار کاری هوش مصنوعی (AI workload) بهره گرفته‌اند.

طراحی چیپ همچنان در حال تحول اســـت تا دستاوردهای بیشتری در عملکرد به دســـت آید. برای مثال، ریزتراشه‌های ۲ نانومتری نسل بعدی، دارای یک سامانه مسیریابی مستقیم انرژی هستند که پیچیدگی سیم‌کشـــی را کاهش داده و منجر به بهبود بهره‌وری انرژی می‌شـــود. دانشمندان همچنین ریزخازن‌هایی با چگالی انرژی و توان فوق‌العاده بالا توســـعه داده‌اند که امکان ذخیره انرژی را به طور مستقیم بر روی ریزتراشـــه‌ها فراهم می‌کند. این امر، تلفات انتقال انرژی بین اجزا را به حداقل رســـانده و بهره‌وری انرژی در لوازم الکترونیک پیشرفته را افزایش می‌دهد. این پیشـــرفت به طور قابل‌توجهی بهره‌وری انرژی در لوازم الکترونیکی نســـل بعدی را ارتقا خواهد داد. علاوه‌برآن، با رشد کاربردهای هوش مصنوعی، تمرکز زیادی بر طراحی ریزتراشـــه‌های تخصصـــی برای بار کاری هوش مصنوعی وجود دارد. شـــرکت‌های پیشرو مانند انویدیا، AMD و اینتل در حال نوآوری در معماری‌های ریزتراشه‌ها برای بهینه‌سازی عملکرد، مصرف انرژی و مقیاس‌پذیری سامانه‌های هوش مصنوعی هستند.

باوجود این پیشـــرفت‌ها، چالش‌های مرتبط با ریزتراشه‌ها همچنان پابرجاست. امنیت زنجیره تأمین همچنان یک نگرانی عمده است، زیرا این صنعت به شبکه‌ای بسیار جهانی، تخصصی و پیچیده وابسته است. برای مثال، بسیاری از مواد خام حیاتی برای تولید ریزتراشه‌ها از تعداد محدودی از تأمین‌کنندگان تهیه می‌شوند که این امر، آسیب‌پذیری‌هایی را بـــه دلیل ظرفیت تولید محـــدود و محدودیت‌های احتمالی کنترل صادرات، ایجاد می‌کند. رقابت جهانی برای توســـعه ریزتراشه‌های پیشـــرفته همچنان شـــدید بوده و با کنترل‌های صادراتی مداوم بر این فناوری‌های پیشرفته همراه است. در پاسخ، کشورها به طور فزاینده‌ای تولید را بومی‌ســـازی می‌کنند تا امنیت و تـــاب‌آوری زنجیره تأمین را افزایش دهند. این تغییر منجر به جدایی تدریجی و منطقه‌ای شـــدن زنجیره تأمین جهانی ریزتراشـــه‌ها شـــده است، زیرا کشورها به دنبال کاهش وابستگی به منابع خارجی هستند. از سوی دیگر، ماهیت دوگانه ریزتراشه‌ها همچنان نگرانی‌هایی در مورد اشاعه فناوری ایجاد می‌کند. ریزتراشـــه‌ها می‌توانند برای کاربردهای نظامی غیرمجاز مورداستفاده مجدد قرار گیرند که خطرات دورزدن کنترل‌های صادراتی و سوءاستفاده را به همـــراه دارد. مقابله با این چالش‌ها نیازمند تلاش‌های هماهنگ برای ایمن کردن زنجیره تأمین، اجرای تحریم‌ها و کنترل‌های صادراتی و کاهش خطرات مرتبط با فناوری‌های دوگانه است.

حسگرها

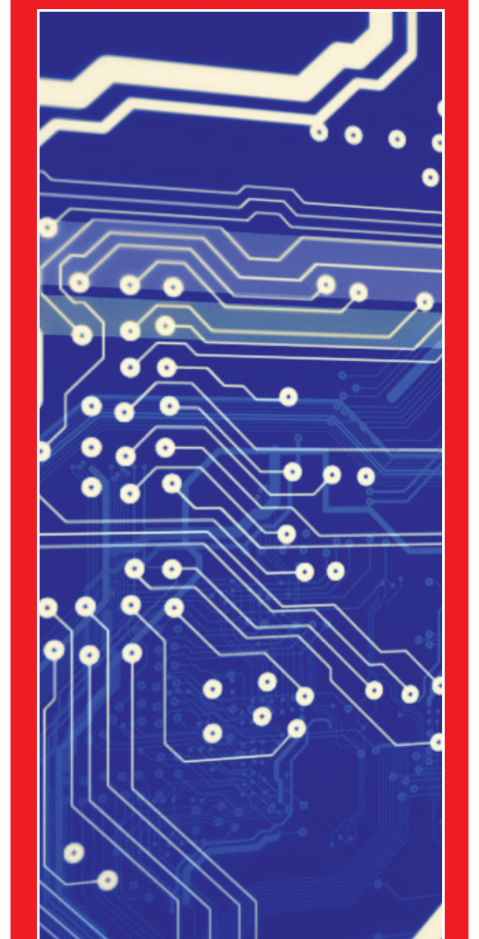
حسگرها دستگاه‌هایی هستند که برای شناسایی ویژگی‌های فیزیکی و شـــرایط محیطی طراحی شده‌اند و این اطلاعات را به سیگنال‌های خروجی تبدیل می‌کنند. نوآوری‌ها در فناوری حســـگر نقش اساسی در مدرن‌ســـازی قابلیت‌های دفاعی ایفا می‌کننـــد. همان‌طور که در کتابچه ســـال ۲۰۲۳ اشاره شده اســـت، نیروهای مسلح شروع به استفاده از ترکیب حســـگرها (Sensor Fusion) برای افزایش آگاهـــی از میدان نبـــرد کرده‌اند. این فناوری، داده‌هـــا را از منابع مختلف شـــامل حســـگرهای صوتی، راداری و مادون‌قرمز، جمع کرده و یکپارچه می‌کند. حســـگرهای کوانتومی نیز به‌عنوان ابزاری نویدبخش برای کاربردهای نظامی ظهور کرده‌اند و توانایی شناسایی اشـــیا و ناوبری در محیط‌های فاقد سامانه‌های موقعیت‌یابی جهانی (GNSS) را بهبود بخشیده‌اند. علاوه بر این، ادغام هوش مصنوعی در سامانه‌های حسگری، به‌خصوص در لبه، پتانسیل تسریع پردازش داده‌ها و تصمیم‌گیری را نشان داده است. فراتر از کاربردهای نظامی، حسگرهای پیشـــرفته می‌توانند به تلاش برای حفظ امنیت بین‌الملل کمـــک کنند، مصداق آن در نظارت بر درگیری‌ها و شناســـایی مواد خطرناک اســـت. بااین‌حال، خطرات امنیت سایبری و چالش‌های شبکه از نگرانی‌های کلیدی محسوب می‌شوند.

تا سال ۲۰۲۴، حسگرهای پیشرفته همچنان در مرکز سامانه‌های نظامی قرار دارند و نحوه درک، تحلیل و واکنش نیروهای مسلح به تهدیدات را متحول کرده‌اند. به‌عنوان مثال، بهبود در حسگرهای مادون‌قرمز پیشرفته (FLIR) دقت هدف‌گیری و نظارت برای خودروهای رزمی زرهی را افزایش داده اســـت. توسعه مداوم فناوری ترکیب حسگرها، اطلاعات در میدان نبرد را با یکپارچه‌سازی داده‌ها از سیستم‌های مختلف بهبود بخشـــیده و بینش‌های عملیاتی و بلادرنگ ارائه می‌دهد. حسگرهای کوانتومی نیز همچنان در کانون نوآوری قرار دارند و اکنون به ســـطحی از بلوغ رســـیده‌اند که برای استقرار در کاربردهای نظامی مناسب‌اند. نیروهای مســـلح با موفقیت فناوری حسگرهای کوانتومی را در دریا آزمایـــش کرده‌اند و جایگزینی قابل‌اعتماد برای موقعیت‌یابی، ناوبری و زمان‌بندی (PNT) در محیط‌های فاقد GNSS یا مکان‌هایی که این فناوری در آنجا مختل شده، هستند.

با افزایش حجم داده‌های تولیدشـــده توسط حسگرها، نیاز به پردازش بلادرنگ باعث حرکت به ســـمت سامانه‌های هوش مصنوعی در لبه (AI-at-the-edge) برای تحلیل سیگنال شده است. این سامانه‌ها، وابستگی به زیرساخت‌های ابری را کاهش داده و امکان تصمیم‌گیری ســـریع‌تر و ایمن‌تر را فراهم می‌کنند. برای بهینه‌سازی بیشتر پردازش، مراکز داده هوایی درحال‌توســـعه هســـتند که اطلاعات را مستقیماً از منابع حســـگر متنوع جمع‌آوری و تحلیل می‌کنند. این مراکز متحرک، محدودیت‌های ایســـتگاه‌های زمینی ثابت را برطرف کرده و تحویل به‌موقع و کارآمد اطلاعات عملیاتی را تضمین می‌کنند.

ادامه در صفحه ۵

دسته ۳



پردازش و رایانش

رایانش ابری

رایانش ابری دسترســـی کاربران به منابع محاســـباتی را بدون نیاز به نگهداری زیرساخت‌های داخلی فراهم می‌کند و انعطاف‌پذیری لازم برای مقیاس‌پذیری منابع بر اساس تغییر نیازها را ارائه می‌دهد. رایانش ابری به‌عنوان یک کاتالیزور برای نوآوری در کاربردهای متنوع فناوری عمل کرده و منابع محاســـباتی لازم برای پیشرفت‌های تحول‌آفرین را فراهم کرده اســـت. کتابچه سال ۲۰۲۳ نقش محوری این فناوری را در امکان‌پذیر ساختن تحلیل کلان‌داده‌ها، یادگیری ماشینی، رایانش بدون ســـرور و فناوری‌های فراگیر؛ ماننـــد واقعیت افزوده (AR) و واقعیت مجازی (VR) برجســـته کرد. به طـــور خاص، ارائه هوش مصنوعی به‌عنوان یک ســـرویس (AIaaS) از طریق سکوهای ابری می‌تواند دسترسی به قابلیت‌های پیشرفته هوش مصنوعی را گسترش دهد. نیروهای نظامی به طور فزاینده‌ای محیط‌های امن ابری را برای افزایش کارایی عملیاتی، ساده‌ســـازی مدیریت داده‌ها و دستیابی به مقیاس‌پذیری به کار گرفته‌اند. به‌عنوان مثال، رایانش ابری محیط‌های آموزشی واقعیت مجازی واقع‌گرایانه را تسهیل و از پردازش داده‌های گسترده که برای فعالیت‌های آینده ضروری است، پشتیبانی کرده است. کتابچه سال ۲۰۲۳ همچنین چالش‌هایی مانند تأخیر بالا در مناطق دورافتاده را که می‌تواند قابلیت اطمینان راه‌حل‌های مبتنی بر ابر را در شرایط حساس محدود کند، موردتوجه قرار داد. اگرچه اقدامات امنیتی قوی اجرا شـــده، ادغام رایانش ابری در زمینه‌های نظامی همچنان در معرض تهدیدات ســـایبری قرار دارد. علاوه بر این، مشارکت فزاینده غیرنظامیان در عملیات سایبری در طول درگیری‌های مسلحانه، احتمال استفاده از زیرساخت‌های غیرنظامی مانند خدمات ابری، برای اهداف نظامی را افزایش می‌دهد. این امر نگرانی‌هایی را در مورد خطر هدف قرارگرفتن غیرنظامیان و زیرساخت‌های غیرنظامی در طول درگیری‌ها ایجاد می‌کند و اصل جهانی مورد حمایت «تمایز میان اهداف نظامی و غیرنظامی» را تضعیف می‌کند.

در ســـال ۲۰۲۴، رایانش ابـــری همچنان به‌عنوان ســـتون فقرات بوم‌ســـازگان دیجیتال باقی‌مانده و پیشرفت‌های جدیدی در این حوزه به وجود آورده اســـت. تمرکز فزاینده‌ای بر پیکربندی‌های چند ابری (Multi-Cloud) و ابر ترکیبی (Hybrid Cloud) به‌ویژه در حوزه نظامی وجود دارد. این رویکردها، نقاط قوت راه‌حل‌های ابری عمومی را با امنیت زیرســـاخت‌های خصوصی یـــا داخلی ترکیب می‌کنند و درعین‌حال، از خدمات چنديـــن ارائه‌دهنده برای افزایش تاب‌آوری در برابر قطعی‌ها یا حملات ســـایبری، بهـــره می‌برند. برای مقابله با پیچیدگی روزافزون محیط‌های ابـــری، پارادایم‌های جدیدی مانند رویکرد ابر تطبیقی (Adaptive Cloud) پدید آمده‌اند که مدیریت متمرکز ســـامانه‌ها و منابع متنوع را امکان‌پذیر کرده و نظارت عملیاتی و کارایی را بهبود می‌بخشند.

هم‌افزایـــی میان هـــوش مصنوعی و رایانش ابری نیز به‌ســـرعت در حال پیشرفت است. ســـکوهای ابری مجهز به هوش مصنوعی برای خودکارسازی تخصیص منابع، بهینه‌سازی ذخیره‌سازی و پهنای باند و تقویت امنیت در برابر تهدیدات سایبری استفاده می‌شوند. از سوی دیگر، تقاضای روبه‌رشد برای قابلیت‌های پیشرفته هوش مصنوعی نیاز به زیرســـاخت‌های ابری تخصصی را که برای کاربردهای با عملکرد بالا و بهره‌وری انرژی طراحی شده‌اند، افزایش داده است. راه‌حل‌های مبتنی بر هـــوش مصنوعی، مانند ابرهای واحـــد پردازش گرافیکی (GPU Clouds)، سرعت پردازش بالاتر، تأخیر کمتر و صرفه‌جویی در هزینه را در مقایســـه با محیط‌های ابری مقیاس‌پذیر ســـنتی ارائه می‌دهند. همچنین ابرهـــای تخصصی و خصوصی برای برنامه‌های هـــوش مصنوعی در حال ظهورند که زیرســـاخت‌های اختصاصی مجهز به بوم‌سازگان‌های پیش‌ساخته هوش مصنوعی را فراهم می‌کنند. رایانش ابری به طور فزاینده‌ای به‌جای سرمایه‌گذاری در سخت‌افزار، اولویت یافته تا دسترســـی به فناوری‌های تحول‌آفرین مانند رایانش کوانتومی را دموکراتیک کند. این تغییر، پتانســـیل پرکردن شـــکاف دیجیتال، ترویج رشـــد فراگیر و حمایت از توســـعه پایدار را دارد. ســـامانه‌های ابری قوی می‌توانند دسترســـی به فناوری‌های پیشرفته مانـــند هوش مصنوعی و تحلیل داده‌هـــای بلادرنگ را بدون نیاز به ســـرمایه‌گذاری اولیه قابل‌توجه در زیرساخت‌ها، فراهم کنند. علاوه بـــر این، ادغام رایانش ابری با رایانش لبه‌ای (Edge Computing) کارایی عملکردی جدیدی را باز کرده است. درحالی‌که رایانش ابری در مقیاس‌پذیری و انجام وظایف پیچیده برتری دارد، راه‌حل‌های لبه می‌توانند قابلیت‌های پردازش بلادرنگ و با تأخیر کم را ارائه دهند. این معماری ترکیبی، نقاط قوت هر دو رویکرد را ترکیب کرده و کاربردهای جدیدی را که هم پرسرعت و هم بسیار هوشمندند، امکان‌پذیر می‌کند. نیروهای نظامی همچنان از محیط‌های امن ابری برای افزایش اثربخشی عملیاتی اســـتفاده می‌کنند. رایانش ابری این پتانسیل را دارد که در هر دو ســـطح راهبردی و تاکتیکی پشـــتیبانی حیاتی ارائه داده، به برتری اطلاعاتی بر دشمنان کمک کند و همچنین به‌اشتراک‌گذاری اطلاعات با متحدان و شرکای نظامی یا سازمان‌های غیرنظامی، سهولت بخشد. ارائه‌دهندگان خدمات ابری (CSP)، نقش فزاینده‌ای در ارائه خدمات به نیروهای نظامی ایفا می‌کنند. فراتر از ذخیره‌ســـازی ایمن داده‌ها، فناوری بخش خصوصی، دسترســـی به قابلیت‌های پیشـــرفته هوش مصنوعـــی، ازجمله هوش مصنوعی مولد (Generative AI) را نیز فراهم می‌کند. اگرچه برون‌سپاری قابلیت‌های ابری نظامی به CSPها مزایایی مانند بهبود کارایی و کاهش هزینه‌های نگهداری زیرساخت‌ها را ارائه می‌دهد، اما نگرانی‌هایی در مورد امنیت و وابســـتگی بیش از حـــد به این ارائه‌دهندگان ایجاد می‌کنـــد. تمرکز منابع ابری بر تعداد کمی از ارائه‌دهندگان بزرگ این خطرات را تشـــدید می‌کند. علاوه بر این، مشـــارکت شرکت‌های خصوصی در ارائه خدمات ابری در طول درگیری‌های مسلحانه می‌تواند ملاحظات حقوقی پیچیده‌ای را برای CSPها ایجاد کند. مانند اینکه آیا ممکن اســـت به‌عنوان یک هدف نظامی مشروع تلقی شوند که این امر می‌تواند خطراتی را برای کارکنان، دارایی‌ها و مشتریان غیرنظامی آن‌ها به همراه داشته باشد.

رایانش لبه‌ای

رایانش لبه‌ای (Edge Computing) از یک پارادایم محاســـباتی توزیع‌شـــده استفاده می‌کند که ذخیره‌ســـازی داده‌ها و پردازش را به منبع داده یا «لبه» شـــبکه نزدیک‌تر می‌کند. این نوع رایانش با کاهش تأخیر و کوتاه‌کردن زمان پاســـخ‌دهی، برای پشتیبانی از بارهای کاری حســـاس به زمان، مانند برنامه‌های اینترنت اشـــیا (IoT)، ضروری اســـت. همان‌طور که در کتابچه سال ۲۰۲۳ توضیح داده شده، این فنـــاوری مزایای نظامی قابل‌توجهی را بـــا بهبود ارتباطات، پردازش داده‌ها و قابلیت‌های تصمیم‌گیری، به‌ویژه در محیط‌های دورافتاده یا سخت، ارائه می‌دهد. ســـکوهای لبه‌ای می‌توانند امکان تحلیل‌های هوش مصنوعی را به‌صورت غیربرخط فراهم کنند و از مأموریت‌های حیاتی مانند عملیات جست‌وجو و نجات پشتیبانی کنند. بااین‌حال، محدودیت‌هایی در سرعت پردازش، حافظه و توان، کارایی دستگاه‌های لبـــه نظامی را محدود می‌کند. همچنین با افزایش ســـطح حملات و آسیب‌پذیری در برابر خسارات فیزیکی که با سامانه‌های لبه‌ای همراه اســـت، نیاز به ایمن‌سازی بیشـــتر، ازجمله پروتکل‌های رمزنگاری پیشرفته را برجسته می‌کند.

در ســـال ۲۰۲۴، رایانش لبه‌ای با ســـرعت زیادی گسترش می‌یابد که ناشـــی از ادغام آن با ســـایر فناوری‌های نوظهور و افزایش تقاضا برای پردازش بلادرنگ داده‌هاســـت. تمرکز چشمگیری بر پیشرفت قابلیت‌هـــای هوش مصنوعی در لبه وجـــود دارد. مثلاً، به‌جای اتکا بـــه مراکز داده متمرکـــز، پردازش هوش مصنوعـــی اکنون می‌تواند مستقیماً روی دستگاه‌های غیرســـاکن مانند گوشی‌های هوشمند و لپ‌تاپ‌ها انجام شود. این تغییر، حریم خصوصی را بهبود بخشیده، سبب کاهش تأخیر شده و وابســـتگی به اتصال اینترنت را به حداقل می‌رساند. این مزایا، سرمایه‌گذاری در ایجاد ریزتراشه‌های سریع‌تر و کارآمدتر که برای اســـتفاده در سامانه‌های لبه‌ای مناسبند را افزایش داده و کاربردهـــای امیدوارکننده‌ای را در حوزه‌هـــای غیرنظامی و نظامـــی به همراه دارد. افزون بر آن، توســـعه مدل‌های زبان کوچک (SLM) با تمرکز بر بهینه‌ســـازی عملکـــرد در محیط‌هایی با منابع محدود برای دســـتگاه‌های لبه نیز در حال پیشرفت است. درحالی‌که چالش‌های کلیدی همچنان پابرجاســـت، فنونی مانند فشرده‌سازی مدل، تقطیر دانش (Knowledge Distillation) و یادگیری فدرال (Federated Learning) راه‌حل‌های امیدوارکننده‌ای برای غلبه بر محدودیت‌های سیستم‌های لبه و بهبود کارایی ارائه می‌دهند.

اســـتقرار هوش مصنوعی در لبه همچنان در حوزه نظامی موردتوجه قرار دارد. نوآوری‌های بخش خصوصی قابلیت‌های هوش مصنوعی لبه را با ادغام اقدامات امنیتی مؤثر شـــامل رمزنگاری، فایروال‌ها و جداســـازی داده‌ها، ارتقا داده‌اند و ظرفیت پشتیبانی از موارد استفاده حساس نظامی، مانند ناوبری وسایل نقلیه خودمختار را فراهم کرده‌اند. با افزایش حجم داده‌های پردازش‌شـــده در لبه، حفاظت از اطلاعات حساس همچنان یک اولویت اساسی است. ادغام فناوری بلاک‌چین به‌عنوان یک راه‌حل امیدوارکننده برای افزایش امنیت و یکپارچگی در محیط‌های لبه‌ای مورد تقدیر قرار گرفته و با ارائه یک دفترکل توزیع‌شده و غیرمتمرکز، بلاک‌چین می‌تواند به هر دستگاه لبه اجازه دهد داده‌های پردازش‌شده محلی را مستقلاً تأیید و محافظت کند.

رایانش کوانتومی

رایانش کوانتومی، حوزه‌ای نوظهور است که از اصول مکانیک کوانتومی برای حل مسائل پیچیده‌ای که فراتر از توانایی‌های رایانه‌های کلاسیک هستند، بهره می‌برد. اگرچه این نوع رایانش هنوز در مراحل اولیه خود قرار دارد، اما اســـتعداد تحول‌آفرینی برای بازتعریف محدودیت‌های محاسباتی دارد. تا ســـال ۲۰۲۳، پیشرفت‌هایی جدی در این حوزه حاصل شد که توسط مجموعه‌های بخش خصوصی مانند IBM، گوگل/آلفابت و مایکروســـافت رهبری می‌شود. بارزترین آن‌ها IBM است که پیوسته، تعداد کیوبیت‌ها (واحدهای بنیادی اطلاعات کوانتومی) را بر یک تراشه افزایش داده و در مقیاس‌پذیری پردازنده‌های کوانتومی پیشـــرفت‌هایی داشته است. از طرفی، تحقیقات تجربی نشان داده‌اند که شبکه‌های ترکیبی که رایانه‌های کلاسیک و کوانتومی را با هم ترکیب می‌کنند، می‌توانند آموزش مدل‌های یادگیری ماشینی را بهبود بخشند. این پیشرفت‌ها، پیامدهای مهمی برای هوش مصنوعی در عرصه نظامی، ازجمله توسعه سامانه‌های خودمختار کشنده دقیق، دارند. بااین‌حال، تکامل ســـریع رایانش کوانتومی نگرانی‌هایی در حوزه امنیت سایبری ایجاد کرده است، به‌ویژه تهدید حملاتی با نام «اکنون جمع‌آوری کن، بعداً رمزگشایی کن Harvest Now, Decrypt Later» که می‌تواند الگوریتم‌هـــای رمزنگاری پرکاربرد را به خطر بیندازد. در پاســـخ به تهدیدات نوظهور کوانتومی، تلاش‌های مداومی برای توسعه رمزنگاری پساکوانتومی (Post-Quantum Cryptography) در جریان است. اگرچه رایانش کوانتومی تا سال ۲۰۲۴ هنوز برتری قطعی خود را نسبت به رایانش کلاســـیک به اثبات نرسانده، اما پیشرفت‌های آن با افزایش سرمایه‌گذاری و علاقه‌مندی از سوی شرکت‌های خصوصی و دولت‌ها پیش می‌رود. شـــرکت‌های پیشرو بر کاهش نرخ خطا و بهبود عملکرد سامانه‌ها متمرکزند. به‌عنوان مثال، پردازنده کوانتومی جدید Heron از شـــرکت IBM، همراه با نرم‌افزار کوانتومی Qiskit، پیشرفت‌های قابل‌توجهی در ســـرعت و دقت به دســـت آورده و کاربردهای عملی رایانش کوانتومی را به واقعیت نزدیک‌تر کرده است. نقشه راه کوانتومی IBM، اهداف بلندپروازانه‌ای را برای دســـتیابی به ابر رایانش کوانتوم محور، بهبود مقیاس‌پذیری و توســـعه سامانه‌های کاملاً اصلاح‌شده از نظر خطا در ســـال‌های آینده، ترســـیم کرده است. هوش مصنوعی نیز نقش فزاینده‌ای در پیشـــبرد رایانش کوانتومی ایفا می‌کند. گوگل با همـــکاری انویدیا از ابر رایانش مبتنی بر هوش مصنوعی برای طراحی پردازنده‌های کوانتومی نســـل بعدی استفاده می‌کند و هدف آن، غلبه بر محدودیت‌های سخت‌افزاری فعلی است.

کاربردهای نظامی رایانـــش کوانتومی نیز علی‌رغم نوظهور بودن این فناوری، توجه زیادی را به خود جلب کرده اســـت. حوزه‌های کلیدی تحقیق شـــامل ادغام فناوری‌های کوانتومـــی و ترکیبی کوانتومی در یادگیری ماشـــینی برای حل چالش‌های محاســـباتی پیچیده است. نیروهای نظامی همچنین در حال بررسی استفاده از فناوری‌های توزیع کلید کوانتومی (QKD) برای ایمن‌ســـازی ارتباطات حساس در برابر شـــنود احتمالی‌اند. بااین‌حال، نگرانی‌های اخلاقی در مورداستفاده از فناوری‌هـــای کوانتومی در صنایع دفاعی نیز در حال پدیدارشـــدن است. مصداق آن، پیچیدگی الگوریتم‌های کوانتومی است که می‌تواند مهندســـی معکوس آن‌ها را دشوار کرده و یک شکاف مسئولیت ایجاد کند که در آن، پاســـخ‌گویی به نتایج آن‌ها، مبهم شـــود. این مسئله، مشـــابه مخاطراتی است که با استفاده از هوش مصنوعی در حوزه‌های نظامی وجود دارد. به‌علاوه، توانایی رایانه‌های کوانتومی برای به خطر انداختن سامانه‌های رمزنگاری فعلی (مانند رمزنگاری‌های نظامی) بر فوریت‌دهی به اولویت‌بندی مســـائل امنیتی و حریم خصوصی در توسعه رایانش کوانتومی، ضرورت می‌بخشد.

دسته ۴

زیرساخت‌های ارتباطی

شبکه‌های 5G و 6G

عبارت 5G مخفف «نسل پنجم استاندارد فناوری» برای شبکه‌های ســـلولی است که اتصالات پهن باند پیشرفته‌ای را ارائه می‌دهد که از نســـل‌های قبلی مانند 4G-LTE فراتـــر می‌رود. عبارت 6G نیز به فناوری ســـلولی نسل ششم اشـــاره دارد که برای پیشی گرفتن از 5G طراحی شده و قابلیت‌های شبکه‌ای پیشرفته‌تری را ارائه می‌دهد. فناوری بی‌سیم، زیرساختی اساسی برای بوم‌سازگان دیجیتال به‌هم‌پیوسته فراهم می‌کند و ضمن تســـهیل ارتباطات بدون وقفه، قابلیت اطمینان شبکه را افزایش داده و از طیف گســـترده‌ای از کاربردهای نوآورانه پشتیبانی می‌کند. کتابچه ســـال ۲۰۲۳ نقش حیاتی شـــبکه‌های سلولی نسل پنجم را به‌ویژه در کاربردهای نظامی برجســـته کرد، مانند ارتباطات امن، انتقال داده‌های پرســـرعت و ادغام سامانه‌های پیشرفته هوش مصنوعی و اینترنت اشیا. بااین‌حال، پذیرش گسترده 5G چالش‌های امنیت ســـایبری را نیز برجسته کرده که ناشی از افزایش حجم داده‌ها، دســـتگاه‌های متصل و وابستگی به زیرساخت‌های باز و مبتنی بر ابر اســـت. در همین حین، تحقیقات در مورد شبکه‌های نسل ششم نیز با هدف ارائه اتصال جهانی در سراسر زمین، دریا، هوا و فضا با استفاده از سامانه‌های یکپارچه ماهواره‌ای- زمین، آغاز شده است.

درحالی‌که پوشـــش و پذیرش 5G در سال ۲۰۲۴ همچنان در حال گسترش است، توجهات به پیشرفت‌های نسل بعدی معطوف شده. 5G-Advanced (نسخه‌ای تکامل‌یافته از فناوری فعلی 5G) آماده اســـت تا قابلیت‌ها و کارایی بیشتری را ارائه دهد. این به‌روزرسانی، بر بهینه‌ســـازی مصرف انرژی شبکه و بهبود پشتیبانی از برنامه‌های پیشـــرفته مانند واقعیت گسترده (XR)، وســـایل نقلیه خودران و سامانه‌های اینترنت اشـــیا تمرکز دارد. پیشرفت‌های کلیدی در این فناوری، شـــامل ادغام قابلیت‌های یادگیری ماشین برای مدیریت هوشمند شبکه است. اولین مشخصات 5G-Advanced که توسط پروژه مشارکت نسل سوم (3GPP) منتشر شده بود، در ژوئن ۲۰۲۴ برای اجرا نهایی شـــد و گامی به‌سوی عملکرد، کارایی و تاب‌آوری بیشتر به شمار می‌رود.

ضمن اینکه 6G همچنان در مراحل اولیه تحقیق‌وتوســـعه قرار دارد و تلاش‌های قابل‌توجهی برای تعریف اســـتانداردها و بررسی استعداد تحول‌آفرین آن در جریان اســـت. اتحادیـــه بین‌المللی مخابرات، چهارچوب IMT-2030 را معرفی کرده است تا توسعه استانداردها و فناوری‌های رابط رادیویی برای ســـامانه‌های 6G را رأســـاً هدایت کند. درعین‌حال، 3GPP و ذی‌نفعان صنعت نیز در حال آماده‌سازی جزئیات دقیقی هستند. انتظار می‌رود شبکه‌های 6G، هوش مصنوعی را عمیق‌تـــر در معماری اصلی خود ادغـــام کنند که این امر، امکان تحلیل بلادرنگ داده‌ها، بهینه‌ســـازی عملکـــرد و تقویت اقدامات امنیت سایبری را فراهم می‌کند. قابلیت‌های پیش‌بینی‌شده فناوری 6G مبتنی بر هوش مصنوعی، چشـــم‌ها را در صنایع نظامی به خود جلب کرده. موارد استفاده بالقوه شـــامل رباتیک، سامانه‌های خودمختار، محیط‌های آموزشی واقعیت مجازی و قابلیت‌های پیشرفته حسگری اســـت. بااین‌حال، نگرانی‌هایی من‌باب اتکا به بخش خصوصی در تأمین فناوری بی‌سیم پیشرفته برای پاسخگویی به تقاضاهای شبکه‌ای پیچیده‌تر بخش دفاعی، وجود دارد. این موضوع بر اهمیت ایجاد تعادل بین نوآوری و ملاحظات امنیتی تأکید می‌کند، زیرا فناوری بی‌ســـیم همچنان در حال تحول است.

اینترنت اشیا (Internet of Things)

اینترنت اشیا (IoT) شبکه گسترده‌ای از دستگاه‌های فیزیکی، لوازم، وســـایل نقلیه و سایر اشیا را که با حسگرها، نرم‌افزارها و اتصال شبکه یکپارچه شـــده‌اند، به هم متصل کرده و امـــکان جمع‌آوری و تبادل داده‌ها بین دستگاه‌ها و ســـامانه‌ها را فراهم می‌کند. با توانمندسازی این دســـتگاه‌ها برای ارتباط و همکاری با یکدیگر از طریق اینترنت یا سایر شبکه‌های ارتباطی، اینترنت اشیا، بوم‌سازگانی به‌هم‌پیوسته ایجاد می‌کنـــد که می‌توان آن را از راه دور نظارت و کنترل کرد که عملکرد و بهره‌وری را افزایش می‌دهند. تا سال ۲۰۲۳، ادغام فناوری اینترنت اشیا در سامانه‌های نظامی افزایش یافت. اینترنت اشیای نظامی (IoMT)، بـــا این توانایی که تلفات غیرنظامی را در مناطق جنگی کاهش دهد، از حســـگرهای متنوع در حوزه‌های مختلف استفاده می‌کند تا آگاهی موقعیتی و کنترل را بهبود بخشد و همچنین دقت هدف‌گیری را افزایش دهـــد. بااین‌حال، بدون وجود پروتکل‌هـــای ارتباطی قوی، پذیرش اینترنت اشـــیا در سامانه‌های نظامی می‌تواند خطرات امنیت سایبری قابل‌توجهی ایجاد کند. شبکه‌های اینترنت اشیای نظامی ممکن است ســـطح حملات را گســـترش داده و تهدیداتی را نه‌تنها برای عملیات نظامی، بلکه برای سایر بخش‌های حیاتی ایجاد کنند.

در سال ۲۰۲۴، فناوری اینترنت اشیا در حوزه‌های غیرنظامی و دوگانه همچنان در حال تکامل اســـت که این پیشرفت‌ها ناشی از نوآوری‌ها در هوش مصنوعی، رایانش لبه‌ای و شـــبکه‌های سلولی است. ادغام هوش مصنوعی در سامانه‌های اینترنت اشیا که به آن هوش مصنوعی اشیا (AIoT) گفته می‌شود، به‌عنوان یک روند تحول‌آفرین پا به میدان گذاشته است. با ترکیب قابلیت‌های جمع‌آوری داده‌های اینترنت اشیا با توانایی‌های تشـــخیص الگو و تصمیم‌گیری هوش مصنوعی، هوش مصنوعی اشـــیا، کارایی و عملکرد عملیاتی اینترنت اشـــیا را بهبود می‌بخشد. همچنین توسعه شـــبکه‌های سلولی 5G-Advanced نوید ارتقای بیشتر عملکرد اینترنت اشیا را می‌دهد و اتصال سریع‌تر، قابل‌اعتمادتر با بهره‌وری انرژی بیشتر را فراهم می‌کند.

در حوزه نظامی، پذیرش اینترنت اشـــیا از طریق پیشرفت در فناوری پهپادها، ســـامانه‌های ارتباطی و افزایش اتکا به شبکه‌های ماهواره‌ای در حال گسترش است. بااین‌حال، امنیت سایبری همچنان یک نگرانی حیاتی است و تلاش‌ها برای اجرای چهارچوب‌های امنیتی قدرتمند برای دســـتگاه‌های اینترنت اشیای نظامی، مانند اتخاذ مدل «اعتماد صفر» (Zero-Trust) برای کاهش آســـیب‌پذیری‌ها و حفاظت از عملیات حساس، ادامه دارد.

ارتباطات ماهواره‌ای

ارتباطات ماهواره‌ای شـــامل استفاده از ماهواره‌های مصنوعی برای ایجاد پیوندهای ارتباطی بین مکان‌های مختلف روی زمین اســـت. تا ســـال ۲۰۲۳ و به‌ویژه با رشد سریع منظومه‌های ماهواره‌ای مدار پایین زمین (LEO یا مدار لئو) مانند ســـامانه استارلینک از شرکت SpaceX، ارتباطات ماهواره‌ای شـــاهد پیشرفت‌های قابل‌توجهی بوده اســـت. این ســـامانه‌ها، اتصال جهانی را بهبود می‌بخشند و نقش فزاینده‌ای در حفظ ارتباطات در طول درگیری‌ها ایفا می‌کنند. علاوه بر این، پیشـــرفت در ادغام توزیع کلید کوانتومی (QKD) در ســـامانه‌های ماهواره‌ای، نوید امنیت بیشتر در ارتباطات را می‌دهد. باوجود این پیشـــرفت‌ها، ارتباطات ماهواره‌ای با چالش‌های امنیتی متعددی مواجه اســـت، مانند تهدیدات ســـایبری بالقوه و مشکل همیشـــگی زباله‌های فضایی. با افزایش اســـتفاده نیروهای نظامی از فناوری‌هـــای ماهواره‌ای تجاری، نگرانی‌هایی در مورد تفاوت در انگیزه‌ها، اصول عملیاتی و ســـازوکارهای پاسخگویی بین نهادهای دولتی و خصوصی مطرح شده است.

البته نوآوری‌هـــای فناوری ماهواره‌ای در ســـال ۲۰۲۴ نیز مزایای قابل‌توجهـــی در حوزه‌هـــای غیرنظامی و نظامـــی ارائه می‌دهند. ماهواره‌های مدار لئو همچنان در ارائه انتقال داده‌های پرســـرعت و پشـــتیبانی از کاربردهایی مانند سامانه‌های هشدار و کنترل موشکی، نقش محوری دارند. پیشرفت در فناوری لیزر نیز نوید بهبود بیشتر در کارایی ارتباطات از طریق پیوندهای لیزری بین ماهواره‌ای (ISLL) را می‌دهد که امکان تبادل داده‌های پرسرعت بین ماهواره‌ها و ایستگاه‌های زمینی را فراهم می‌کند. انتظار می‌رود ســـامانه‌های ارتباطی لیزری فضایی، به‌سرعت انتقال داده تا ۱۰۰ برابر سریع‌تر از سامانه‌های سنتی مبتنی بر امواج رادیویی دســـت یابند. علاوه بر این، هوش مصنوعی نقش فزاینده‌ای در نوآوری‌های ارتباطات ماهواره‌ای ایفا می‌کند، مانند بهبود مدیریت شبکه و بهینه‌سازی عملیات ماهواره‌ای.

همچنین، توســـعه مداوم فناوری ارتباط مستقیم از ماهواره به موبایل (Direct-to-Cell) در بخش تجاری، به دنبال تسهیل ارتباط مستقیم (پیامک، صدا و داده) بین ماهواره‌ها و دستگاه‌های تلفن همراه است. با ارائه پوشـــش فراگیر و اتصال باثبات، این قابلیت، امکان تحول در سامانه‌های ارتباطات ماهواره‌ای نظامی موجود را دارد. با رشد وابستگی نظامی به خدمات ماهواره‌ای تجاری، امنیت ســـایبری همچنان یک نگرانی اساسی باقی می‌ماند. پیشرفت در فناوری کلیدهای توزیع‌شده کوانتومی QKD می‌تواند به دستیابی به سامانه‌های ارتباطی مقاوم‌تر و ایمن‌تر کمک کند، اگرچه هنوز چالش‌های فنی متعددی باید برطرف شـــوند. از ســـوی دیگر، فناوری لیزر نیز به دلیل ماهیت نقطه‌به‌نقطه خود که خطرات اختلال و رهگیری را کاهش می‌دهد، امنیت بیشتری ارائه می‌دهد.

ادامه از صفحه ۴