نشریه علمی علوم و فنون نوین هوانوردی
سال ۱ شماره ۲،تابستان ۱۴۰۳

استفاده از فناوری‌های کوانتومی در مسائل فرماندهی و کنترل، مطالعه موردی نیروی هوایی

حسین داودی یگانه*[۱]، محمد اسحاق‌نژاد[۲]، مهراب رامک[۳]

۱ -دکتری فیزیک محاسبات و اطلاعات کوانتومی، دانشگاه تهران

۲ - دکتری ریاضی کاربردی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳ - دکتری مدیریت راهبردی، دانشگاه دفاع ملی

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۵/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۳)

چکیده

فرماندهی و کنترل عبارت است از استفاده از عناصر و اختیارات و نیز رهبری توسط یک فرمانده در جهت هدایت نیروهای تحت امر و انجام یک مأموریت. در مسائل کنترل و فرماندهی حجم بزرگی از داده‌ها باید جمع‌آوری، تحلیل و درنهایت تصمیم‌گیری انجام شود. با توجه به محدودیت منابع کلاسیک در جمع‌آوری و پردازش داده‌ها استفاده از فناوری‌های کوانتومی راهکار مناسبی است. در حال حاضر درزمینه‌ی فناوری‌های کوانتومی نسل دوم که مبتنی بر کنترل و تغییر ذرات منفرد مانند تک اتم‌ها، تک‌یون‌ها و تک فوتون‌ها است، زمینه‌های تازه‌ای ظهور کرده است که نقش مهمی در توسعه قدرت علمی و نظامی کشورها دارد. در این مقاله استفاده از فناوری‌های کوانتومی در مسائل فرماندهی و کنترل بررسی و جنبه‌های مختلف آن سنجیده شد و نقش آن‌ها در حل مسائل فرماندهی و کنترل موردمطالعه قرار گرفت همچنین کاربرد این مسائل در نیروی هوایی بررسی شد و نتایج نشان داد که می‌توانند در هر ۳ لایه تولید داده، پردازش داده و استفاده از داده فرماندهی کنترل، مورداستفاده قرار گیرند.

واژگان کلیدی: فرماندهی و کنترل، فناوری‌های کوانتومی، کامپیوتر کوانتومی

* پست الکترونیک نویسنده مسئول:h.yeganeh@ssau.ac.ir

مقدمه

فرماندهی و کنترل سیستمی است که شیوه‌های لازم برای جمع‌آوری، پردازش و انتشار اطلاعات در خصوص کارکنان، تجهیزات و تأسیسات نظامی را فراهم می‌کند. این اطلاعات، موردنیاز فرماندهان و تصمیم‌گیرندگان است و در طرح‌ریزی، سازمان‌دهی، هدایت، هماهنگی، کنترل و نظارت بر عملیات نظامی، مورداستفاده قرار می‌گیرد. به‌طورکلی، فرماندهی و کنترل را سازمان‌دهی نفرات و تجهیزات با بهره‌گیری از اطلاعات برای طرح‌ریزی، هدایت و کنترل عملیات می‌توان تعریف نمود. هر سیستم فرماندهی و کنترل از مجموعه قوانین و روش‌های جاری، فرمانده و ستاد، مخابرات و روش تصمیم‌گیری تشکیل‌شده است. فرماندهی و کنترل اصطلاح بسیار متداول در میدان نظامی و متون مربوط به آن است که از ابتدای خلقت بشر استفاده می‌شود. سیر تحول فرماندهی و کنترل را می‌توان در سه مرحله جنگ‌های ابتدایی تا عصر ناپلئون، از عصر ناپلئون تا پایان جنگ جهانی اول و جنگ جهانی دوم تا به امروز دسته‌بندی نمود. عمده‌ترین تغییرات در این تحول از سال ۱۹۳۶ تا به امروز اتفاق افتاده است چراکه در این بازه زمانی استفاده از مخابرات رادیویی، طراحی جنگ‌افزارها و تجهیزات، فناوری‌های نظامی نوین و نظام فرماندهی و کنترل و تولید انبوه اطلاعات در سطح انبوه رقم خورده است. همچنین استفاده از فناوری هوافضا، تأسیس مراکز فرماندهی در کشورها، ظهور رایانه‌ها و ماهواره‌ها و فناوری GPS و GIS و گسترش اینترنت در این زمان رایج شده است. فرماندهی و کنترل مترادف با عبارت C٤I[1] است و در بخش دفاعی آمریکا انتشار یافت و مصطلح شد. C٤I به محدوده‌ای از عملیات، تجهیزات نظامی جهت در نظر داشتن حرکات دشمن، ارتباطات در زمان نبرد و صلح، بهره‌برداری از امکانات ارتباطی نظیر ماهواره و امکان ایجاد اختلال در ارتباطات دشمن و دفع حملات دشمن اطلاق می‌گردد که درواقع موضوع اصلی کنترل منابع به بهینه‌ترین حالت می‌باشد (شهلایی و همکاران، ۱۳۸۸). در حال حاضر، فناوری اطلاعات و ارتباطات در قدرت نیروهای مسلح نقش بسزایی دارد. دستیابی به برتری نظامی درصحنه نبرد منوط به داشتن ابتکار عمل در امور اطلاعاتی است. برتری در اطلاعات باعث می‌شود تا تمام واحدها و سیستم‌ها بطورموثر در عملیات شرکت کنند (فرج پور، ۱۳۸۹).

مطلب مهم در C٤I جمع‌آوری اطلاعات پردازش آن تصمیم‌گیری و درنهایت پیاده‌سازی آن درصحنه نبرد است. با توجه به افزایش حجم داده‌ها و اطلاعات در C٤I نیاز به جمع‌آوری و پردازش سریع داده‌هاست که لازمه آن استفاده از کامپیوتر و الگوریتم کلاسیک است. با توجه به محدودیت منابع کلاسیک و ضعف الگوریتم‌های کلاسیکی در پردازش اطلاعات و داده‌ها نیاز به روش‌ها و ابزارها جدید احساس می‌شود. با ظهور مکانیک کوانتومی در قرن بیستم، تحولی عظیم در علوم بنیادی و فناوری‌های مبتنی بر آن ایجاد شد. پیدایش فناوری‌های نسل اول کوانتومی مانند ترانزیستور و لیزر در میانه‌ی سده‌ی بیستم تغییر زیادی در زندگی انسان ایجاد کرد به‌طوری تمام جنبه‌های زندگی بشری را در برگرفته است. در حال حاضر درزمینه‌ی فناوری‌های کوانتومی نسل دوم که مبتنی بر کنترل و تغییر ذرات منفرد مانند تک‌اتم‌ها، تک‌یون‌ها و تک‌فوتون‌ها است، زمینه‌های تازه‌ای ظهور کرده است که نقش مهمی در توسعه کشورها دارد. این فناوری‌ها شامل محاسبات و اطلاعات کوانتومی، شبیه‌سازی کوانتومی، مترولوژی و حسگرهای کوانتومی، زیست‌شناسی کوانتومی و ارتباطات کوانتومی می‌باشد. با توجه به رشد روزافزون فناوری‌های نوین کوانتومی و افزایش سرمایه‌گذاری کشورهای مختلف روی آن، اهمیت این حوزه بیش‌ازپیش نمایان می‌شود. با توجه به حجم بالای داده‌ها در سیستم فرماندهی و کنترل و لزوم استفاده از منابع و پردازنده‌ها بهره‌گیری از فناوری‌های کوانتومی می‌تواند بر پویایی و دقت و سرعت آن بیفزاید. در این مقاله این فناوری‌ها معرفی می‌شوند و تأثیر آن‌ها در فرماندهی و کنترل بیان خواهند شد. این مقاله در بخش‌های زیر تنظیم‌شده است. در بخش دوم مبانی فرماندهی و کنترل بیان می‌گردد، در بخش سوم فناوری‌های کوانتومی موردبررسی قرار می‌گیرد. بخش چهارم به استفاده از فناوری‌های کونتومی در فرماندهی و کنترل اختصاص داده‌شده است و نهایتاً در بخش پنجم نتایج و پیشنهادات ارائه می‌گردد.

---

[1] Command, Control, Communication, Computer و Intelligence

مبانی نظری

در این سرفصل، مفاهیم کلیدی مطرح در پژوهش را مورد بررسی دقیق‌تری قرار می‌دهیم.

۱-۱- فرماندهی و کنترل

فرماندهی و کنترل دو واژه مکمل هم هستند چراکه فرماندهی بدون کنترل امکان‌پذیر نیست. فرماندهی اختیاراتی است که یک فرد به سبب مسئولیتی که دارد در راستای انجام مأموریت محوله به کار می‌برد. فرمانده با افراد واحد تحت امر را اداره کند. اختیارات فرماندهی تکالیفی از قبیل آموزش، طرح‌ریزی سازمان دادن، هماهنگی، کنترل و هدایت نیروهای نظامی را به‌منظور اجرای مأموریت‌های تصریحی یا استنتاجی در برداشته وتوام با این تکالیف و مسئولیت‌ها مواردی از قبیل انضباط، تدارک، روحیه، رفاه و آسایش مرئوسین را نیز در بردارد. برخی از اصطلاحات مطرح در نظریه فرماندهی و کنترل عبارت‌اند از:

فرماندهی: اختیار واگذارشده به یک فرد از نیروهای مسلح برای هدایت، هماهنگی و کنترل گروهی از نیروهای نظامی.

کنترل: اعمال نشانه‌های فیزیکی و روانی جهت اطمینان از اینکه یک عامل یا گروه به همان صورت که رهبری شده، پاسخ دهد. سیستم فرماندهی و کنترل: نقش اصلی سیستم، ترسیم تصویر کلی عملیات و نقش فرمانده نیز گرفتن تصمیمی به‌شدت فعل و انفعالی است. به‌بیان‌دیگر، فرماندهی اختیاراتی است که به یک فرد از نیروهای مسلح جهت هدایت، هماهنگی و کنترل نیروهای نظامی داده می‌شود. کنترل اساسی‌ترین قسمت یک ارگان نظامی است و قسمتی از فرماندهی محسوب می‌شود. فرمانده با در دست داشتن ملزومات نظیر ستاد، مخابرات و... افراد تحت امر خود را کنترل و در صورت نیاز در مسئولیت آن‌ها دخالت کند. ازاین‌رو فرماندهی و کنترل عبارت است از استفاده از عناصر و اختیارات و نیز رهبری توسط یک فرمانده در جهت هدایت نیروهای تحت امر و انجام یک مأموریت. فعالیت‌های فرماندهی و کنترل از طریق هماهنگی نیروی انسانی، تجهیزات، ارتباطات و فرایندهای کاری اعمال می‌شود تا فرمانده در انجام مأموریت ابلاغ‌شده بتواند به موارد طرح‌ریزی، هدایت، هماهنگی کنترل نیروها و عملیات بپردازد. برای کنترل یکپارچه سیستم فرماندهی و کنترل باید سامانه آن تعریف شود. تعریف سامانه فرماندهی و کنترل عبارت است از مجموعه عناصر مختلف فرماندهی و کنترل، مراقبت و شناسایی که اطلاعات نظامی را از طریق شبکه‌های رایانه‌ای و مخابراتی برای تصمیم‌گیری و ایجاد توانمندی درصحنه عملیات فراهم می‌سازد سامانه فرماندهی و کنترل گفته می‌شود. سامانه‌های فرماندهی و کنترل، به‌عنوان یک سیستم تصمیم‌یار، با پرورش داده‌های خام، اطلاعات لازم برای انجام مأموریت‌های محوله را در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌دهد و با ارائه تصویری لحظه‌ای و آنلاین از صحنه نبرد که اولویت‌های موجود در آن تعیین و مشخص گردیده‌اند، تجسم فرماندهان را عینیت بخشیده و ضریب خطا و اشتباه را به حداقل ممکن کاهش می‌دهند. سامانه‌های فرماندهی باهم شبکه فرماندهی کنترل را تشکیل می‌دهند به عبارت دقیق‌تر به مجموعه‌ای از عناصر، مراکز و یا سامانه‌های فرماندهی و کنترل که از طریق لایه‌های ارتباطی بر اساس قوانین، دستورالعمل‌ها و آیین‌نامه‌های نظامی باهم در سطوح افقی عمودی در تعامل و تبادل اطلاعات و فرامین می‌باشند، شبکه‌های فرماندهی و کنترل می‌گویند. آنچه فرماندهی و کنترل نقش اساسی ایفا می‌کند جمع‌آوری داده پردازش سریع آن‌ها تصمیم‌گیری بر اساس آن است. لازم به ذکر است تصمیم‌گیری دارای مدل‌هایی است که چرخه OODA یکی از معروف‌ترین آن‌هاست (ولی وند زمانی و همکاران، ۱۳۹۵).

این ابزار، مدلی برای تصمیم‌گیری است که به انجام یک تصمیم‌گیری سریع، اثربخش پیشگیرانه کمک می‌کند و شامل چهار گام است:

۱- مشاهده (جمع‌آوری اطلاعات جاری از کلیه منابع موجود در دسترس)

۲-جهت‌گیری(تفسیر موقعیت)

۳- تصمیم‌گیری

۴- اقدام (پیگیری و اجرای تصمیم گرفته‌شده).

مدل‌هایی که در فرماندهی و کنترل ارائه‌شده است را می‌توان در گروه‌های ذیل دسته‌بندی نمود:

مدل‌های اجرایی (پیاده‌سازی): تمرکز این مدل‌ها بر مواردی همچون تشریح مسئولیت‌ها و پست‌ها، نیروی انسانی و عملکرد واقعی ارتش در یک موقعیت جنگی می‌باشد.

مدل‌های سازمانی: این مدل‌ها با اقتباس از سازمان‌های تجاری توسعه‌یافته‌اند و می‌توانند مبتنی بر فرآیند یا ارزیابی باشند (مدل‌های تصمیم‌گیری نظامی نیز در این گروه جای دارند).

مدل‌های رفتاری: بر رفتار فرد یا گروه به‌عنوان جنبه‌ی اساسی از فرماندهی و کنترل تمرکز دارند. محققان، معمولاً ارزیابی فرماندهی و کنترل را به‌عنوان فرآیندهای روان‌شناختی و رفتاری تصویر می‌کنند.

مدل‌های سیستم‌گرا: عملکرد امکانات خاص، تکنولوژی و سیستم‌های مورداستفاده در پشتیبانی توابع فرماندهی و کنترل را توصیف و ارزیابی می‌کنند.

مدل‌های مرتبط با معماری: با معماری سیستم سروکار دارند و ارتباط بین بخش‌های مختلف سیستم را تعریف می‌کنند.

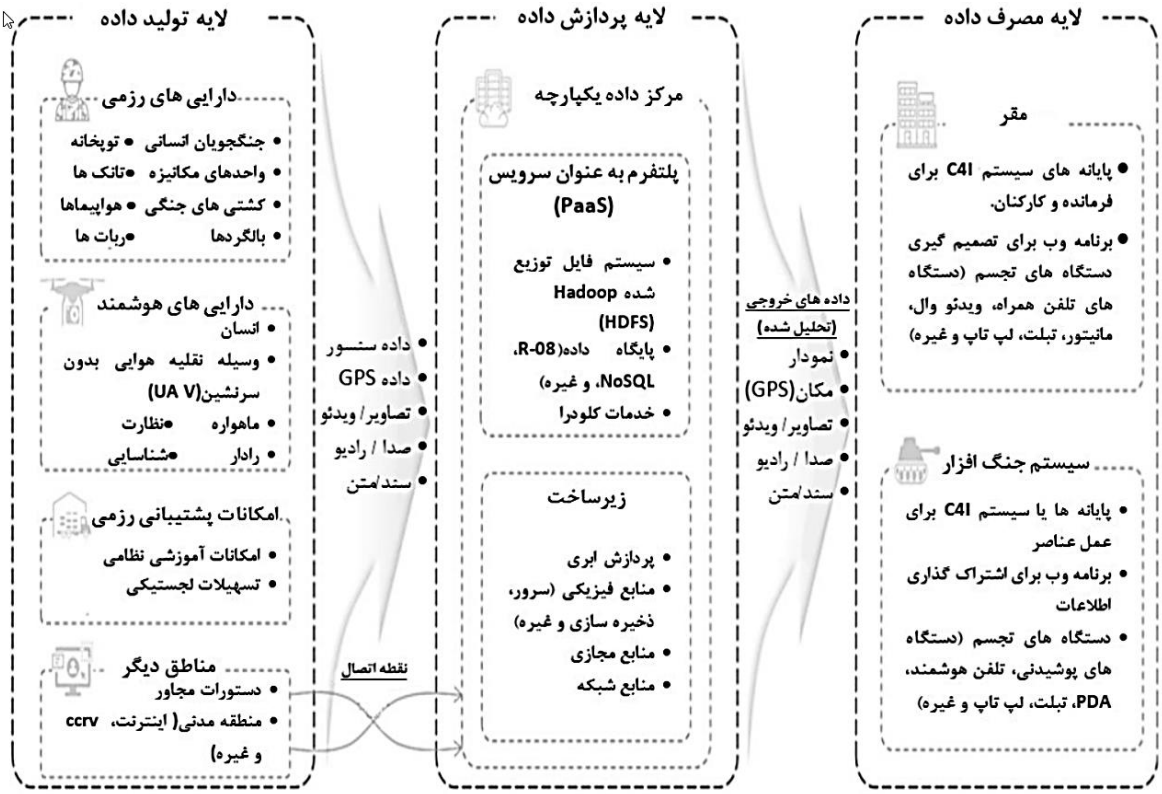
مدل‌های شبکه: مدل‌هایی مبتنی بر شبکه یا نمودارهای پرت یا سایر مدل‌های مدیریت پروژه بوده و تکنیک‌هایی را برای تشخیص و تحلیل عملیات هم‌زمان در سیستم‌های کامپیوتری ارائه می‌نمایند.

مدل‌های سایبرنتیک: سیستم‌ها را به کامپوننت‌هایی برای تبادل سیگنال‌ها (ورودی و خروجی) با تبدیلات ریاضی خاص، تقسیم می‌کنند. مدل‌های سایبرنتیک خالص (با سیگنال‌های عددی و تبدیلاتشان) فعالیت‌های پیچیده انسانی را در سیستم‌های فرماندهی و کنترل به‌درستی نمایش نمی‌دهند و کامل نیستند.

مدل‌های شناختی: برای غلبه بر ناکارایی و نقص مدل‌های سایبرنتیک، ساختارهای شناختی جهت نشان‌دادن تصمیم‌گیری انسان وارد کارشده‌اند. تاکنون تکنیک‌های شناختی مختلفی برای مدل‌سازی «تصمیم‌گیری فرمان» ارائه‌شده‌اند که به‌طور خاص می‌توان به سیستم‌های خبره مبتنی بر قوانین اشاره نمود.

۲-۱- فرماندهی و کنترل از منظر جریان داده صحنه نبرد

در میدان نبرد، یک سیستم C٤I ابزاری است که اطلاعات را بین عناصر متعدد میدان نبرد تحت شبکه تحت مفهوم «سنسور به تیرانداز» مبادله می‌کند و از عزم فرمانده و اقدام تیرانداز به‌طور مؤثر پشتیبانی می‌کند. به‌طور خاص، با توجه به فرآیندهای تولید، پردازش و استفاده از داده‌های میدان نبرد، سیستم C٤I به سه لایه تقسیم می‌شود که با لایه‌های تولید داده، پردازش داده و استفاده از داده بیان می‌شود. جزئیات هر لایه در زیر ارائه و در شکل ۱ نشان داده‌شده است (بیک و کیم، ۲۰۲۱).



شکل ۱ فرماندهی و کنترل از منظر جریان داده صحنه نبرد

لایه تولید داده: این لایه حجم زیاد و انواع مختلفی از داده‌های میدان نبرد را تولید می‌کند و آن داده‌ها را به مرحله بعدی یعنی لایه پردازش داده‌ها منتقل می‌کند. عناصری که داده‌های جنگی را تولید می‌کنند در مکان‌های متنوعی مانند مناطق جنگی، مناطق اردوگاه نظامی و مناطق غیرنظامی عمل می‌کنند. نمونه‌هایی از تولیدکننده داده‌های رزمی عبارت‌اند از: دارایی‌های اطلاعاتی، دارایی‌های رزمی، امکانات پشتیبانی رزمی، سایر دستورات، اینترنت و غیره. داده‌های رزمی همچنین شامل داده‌های حسگر از IoBT های مختلف، سیگنالGPS ، تصویر/ویدئو، سیگنال صوتی/رادیویی، متن/اسناد می‌باشد. و غیره. تقریباً تمام اشکال داده تحت پوشش یک سیستم کلان داده معمولی را شامل می‌شود .لایه پردازش داده: این لایه در مرکز داده یکپارچه اجرا می‌شود، جایی که مراحل چرخه حیات داده‌های بزرگ برای ذخیره و تجزیه‌وتحلیل داده‌های جمع‌آوری‌شده پیاده‌سازی می‌شوند. لایه پردازش داده را می‌توان به زیرساخت و پلت فرم (یا پلتفرم به‌عنوان سرویس (PaaS) تقسیم کرد. زیرساخت به معنای منابع فیزیکی/مجازی مانند محاسبات ابری، دستگاه‌های شبکه و غیره است و پلت فرم سیستم کلان داده ممکن است مانند Hadoop ، Cloudera و غیره باشد .

لایه استفاده از داده: این لایه به فرماندهان کمک می‌کند تا با تجسم داده‌های تجزیه‌وتحلیل شده در لایه پردازش داده به‌عنوان اطلاعات ارزشمند، تصمیم‌گیری کنند. اطلاعات رزمی بلادرنگ مستقیماً در دسترس فرمانده و کارکنانی است که در مقر فرماندهی و دارایی‌های جنگی/اطلاعاتی در میدان نبرد قضاوت و تصمیم‌گیری می‌کنند.

۳-۱- فناوری‌های کوانتومی

در حال حاضر ما در میانه انقلاب دوم کوانتومی قرار داریم. انقلاب اول کوانتومی با معرفی قوانین جدید که در پدیده‌های فیزیکی به درک آن‌ها کمک شایانی کرد. در انقلاب دوم کوانتومی با استفاده از این قوانین به توسعه فناوری‌های جدید پرداخته می‌شود. در اوایل قرن بیستم میلادی، قوانین فیزیک کلاسیک در توجیه مسائل بسیاری ازجمله تابش جسم سیاه ناکام ماند و نظریه مکانیک کوانتوم با تکیه‌بر پایه‌های جدید همچون دوگانگی موج ذره، برنهی کوانتومی، گسسته بودن انرژی پاسخ این دست از مسائل را داد (فرنچ و همکاران، ۲۰۱۸).

با ظهور مکانیک کوانتومی، اولین انقلاب کوانتومی شکل گرفت که طی آن با استفاده از این قوانین فیزیک نیم‌رساناها

کامل شد و در ادامه منجر به تولید ترانسیتورها گشت که پایه بسیاری از وسایل همچون رایانه‌ها و وسایل ارتباطی هستند. در حال حاضر مکانیک کوانتومی کاربردهای گسترده‌ای در علوم و فناوری‌های نوین دارد، برای مثال یک ابزار کارآمد برای درک ساختار اتمی مولکول‌ها است. یکی از جنبه‌های بسیار کاربردی مکانیک کوانتومی در مجموعه فناوری‌های کوانتومی بروز کرده است. فناوری‌های کوانتومی از مهم‌ترین فناوری‌های حال حاضر به شمار می‌روند که در حال ایجاد انقلاب شگرفی در علوم و فناوری هستند. فناوری‌های کوانتومی بر مبنای استفاده از اصول فیزیک کوانتومی در جهت کنترل سیستم‌های میکروسکوپیک منفرد (مانند تک اتم یا تک فوتون) یا بس ذره‌ای (مانند اتم‌های به دام افتاده در شبکه‌های اپتیکی) بناشده‌اند. در فناوری‌های کوانتومی از اصول و پدیده‌هایی نظیر درهم‌تنیدگی، اصل عدم قطعیت و اصل برهم‌نهی حالت‌های کوانتومی برای افزایش ظرفیت، سرعت، دقت و امنیت بهره گرفته می‌شود. مهم‌ترین شاخه‌های فناوری کوانتومی عبارت هستند از محاسبات و اطلاعات کوانتومی، شبیه‌سازی کوانتومی، مترولوژی و حسگرهای کوانتومی، زیست‌شناسی کوانتومی و ارتباطات کوانتومی.

۱-۳-۱- محاسبات و اطلاعات کوانتومی

یکی از جنبه‌های بسیار کاربردی مکانیک کوانتومی در نظریه محاسبات و اطلاعات کوانتومی بروز کرده است که بیشتر بنام رایانه‌های کوانتومی شناخته می‌شود. اطلاعات دیجیتالی مانند چیزهای مادی هستند. صفرها و یک‌های کد دودویی می‌توانند به‌راحتی اندازه‌گیری شوند. اما اگر اطلاعاتی را به یک‌ذره کوانتومی نسبت دهیم، شروع به پیدا کردن یک سری خصوصیات غیر مأنوس و عجیب جهان کوانتوم می‌کند. رایانه‌های کوانتومی توانایی و دقت بالایی نسبت به مشابه‌های کلاسیکی خود در حل مسائل پیچیده ریاضیاتی و فیزیکی را دارا می‌باشند. دلیل اصلی کارایی این کامپیوترها مربوط به یک اصول کوانتومی درهم‌تنیدگی و برهم‌نهی است که اجازه محاسبات دقیق و سریع را می‌دهد. دلیل اینکه یک کامپیوتر کلاسیکی نمی‌تواند به‌طور مؤثر یک سیستم کوانتومی را شبیه‌سازی کند این است که برای ذخیره‌سازی حالت کوانتومی یک سیستم بزرگ به تعداد بسیار زیادی از حافظه‌های کلاسیکی احتیاج است زیرا که تعداد حالت و پارامترهای مربوط به آن به‌صورت نمایی رشد می‌کنند. هر سیستم محاسباتی دارای یک‌پایه اطلاعاتی است که نماینده کوچک‌ترین میزان اطلاعات قابل‌نمایش، چه پردازش‌شده و چه خام است. در محاسبات کلاسیک این واحد ساختاری را بیت می‌نامیم. در محاسبات کوانتومی هم‌چنین پایه‌ای معرفی می‌شود که آن‌ها کیوبیت یا بیت کوانتومی می‌نامید. در حالت کلی به هر سیستم کوانتومی دوترازه را کیوبیت می‌نامیم ـ یک کیوبیت می‌تواند به‌طور هم‌زمان صفر و یک باشد. کامپیوترهای کوانتومی می‌توانند میلیون‌ها دستور را در کسری از زمان محاسبه کنند و یا با شبیه‌سازی رفتار مواد تا سطوح اتمی انقلابی را در کشف مواد جدید به وجود آورند. کامپیوترهای کوانتومی می‌توانند، رمزنگاری و امنیت را با شکستن کدهای شکست‌ناپذیر بالا ببرند بنابراین امید می‌رود که باعث تقویت هر چه بیشتر اطلاعات هوش مصنوعی شوند. همچنین این رایانه‌ها در مسائل بهینه‌سازی، کشف داروها، مسائل رباتیک و صنایع نظامی کاربردهای فراوان دارند و توجه بسیاری معطوف به آن‌هاست (آسین و همکاران، ۲۰۱۸). پردازشگرهای کوانتومی امروزه توسط تعدادی از سیستم‌های فیزیکی (نظیر ابررسانا، یون‌های به دام افتاده، نقاط کوانتومی) قابل پیاده‌سازی هستند. پردازشگرهای کوانتومی که بر پایه چنین کیوبیت‌هایی تاکنون ساخته‌شده‌اند، قابلیت ارائه کردن بسیاری از الگوریتم‌ها و پروتکل‌های کوانتومی را دارند. توسعه یک کامپیوتر کوانتومی بزرگ با ویژگی‌های کامل، با چالش مقیاس‌پذیری مواجه می‌شود که باید متضمن یکپارچه‌سازی تعداد زیادی از کیوبیت‌ها و تصحیح خطاهای کوانتومی باشد. تلاش‌های رو به فزون پایدار در آزمایشگاه‌های علمی و شرکت‌های بزرگ، به‌وضوح نشانگر این موضوع هستند که محاسبات کوانتومی در مقیاس‌های بزرگ بسیار چالش‌برانگیز، و درعین‌حال دستیابی به آن، هدفی بسیار ارزشمند است (جیل و همکاران ۲۰۲۲).

۱-۳-۲- شبیه‌سازی کوانتومی

طور کلی، شبیه‌سازی کلاسیکی سیستم‌های کوانتومی نیازمند منابع زیادی است که با بزرگ شدن اندازه سیستم افزایش پیدا می‌کند، زیرا بعد فضای هیلبرت (فضای کلاسیکی) با اندازه سیستم رابطه‌ای نمایی دارد. ازاین‌رو رایانه‌های کلاسیکی

توانایی شبیه‌سازی سیستم‌های کوانتومی را ندارند. شبیه‌سازی کوانتومی یک راهکار بهینه برای به دست آوردن رفتار فیزیکی سیستم‌های بزرگ و بس‌ذره‌ای است. در شبیه‌سازی کوانتومی با استفاده از یک سیستم کوانتومی شناخته‌شده و کنترل‌پذیر (شبیه‌ساز کوانتومی) به مطالعه سیستم‌های که کنترل آن‌ها مشکل است پرداخته می‌شود. به دلیل کارایی بالایی که شبیه‌سازی کوانتومی درزمینه های مختلف همچون فیزیک ماده چگال ، فیزیک انرژی‌های بالا ، فیزیک اتمی و حتی کیهان‌شناسی دارد در مهروموم‌های اخیر بسیار موردتوجه قرارگرفته است. می‌توان از شبیه‌سازی کوانتومی در ساخت کامپیوترهای کوانتومی بهره برد. با توجه به رشد فناوری در حال حاضر به‌کارگیری مؤثر شبیه‌سازی کوانتومی در دسترس است. کنیم. طبق تعریف شبیه‌سازهای کوانتومی وسایلی هستند که خود یک سیستم کوانتومی محسوب می‌شوند. به بیان ساده‌تر در شبیه‌سازی کوانتومی هدف یافتن حالت سیستم کوانتومی بعد از گذشت زمان t است. این حالت با استفاده از شبیه‌ساز کوانتومی قابل‌محاسبه است. در حالت کلی شبیه‌سازهای کوانتومی به دودسته عمده دیجیتال و آنالوگ دسته می‌شوند. در شبیه‌سازهای دیجیتال با استفاده از گیت‌های کوانتومی کار شبیه‌سازی انجام می‌شود اما در شبیه‌سازهای آنالوگ با تغییر روی خود شبیه‌ساز سیستم موردنظر شبیه‌سازی می‌شود به‌عبارت‌دیگر دینامیک سیستم را کپی می‌کند (بلوتا و همکاران، ۲۰۰۹).

۱-۳-۳- حسگرهای کوانتومی

می‌توان با کنترل حالت‌های کوانتومی تک اتمی از آن‌ها به‌عنوان، حسگرهای کوانتومی استفاده کرد. با استفاده از فناوری کوانتومی حسگرهایی در اندازه یک اتم قابل ساخت هستند. خواص این حسگرها از خواص اپتیک کوانتومی و درهم‌تنیدگی کوانتومی ناشی می‌شود. در اپتیک کوانتومی، تصویربرداری با وضوح فوق‌العاده بالا امکان‌پذیر هست که در حسگرهای کوانتومی کاربرد فراوان دارد. ساعت‌های اتمی کوانتومی یکی از حسگرهای مطرح در فناوری کوانتومی است که در آن‌ها از فرکانس انتقال‌های الکترونی در نواحی ریزموج، مرئی و فرابنفش در طیف الکترومغناطیسی اتم‌ها به‌عنوان فرکانسی استاندارد جهت زمان‌سنجی استفاده می‌شود.

در دهه‌های گذشته با استفاده از فرآیند خنک‌سازی لیزری، دما را تا حدود میکرو کلوین پائین آوردند تا اثرات ناشی از حرکت اتم‌ها حذف گردد که دقت آن به حدود یک ثانیه در طول عمر جهان رسیده است. ساعت‌های اتمی در نسل بعدی ماهواره‌های اکتشاف، اینترنت پرسرعت، مخابرات فضائی، بازار بورس وGPS مورداستفاده قرار خواهند گرفت. برای کنترل پهپادها، پایدارسازی عکس‌برداری، تعیین دقیق مکان قطب‌های زمین از حسگرهای چرخشی استفاده می‌شود. همچنین تصویربرداری از فعالیت درون و برون سلولی در ساختارهای زیستی، مانیتورینگ غیر مخرب فعالیت مغز و حسگرهای مغناطیسی به کار می‌روند. همچنین میدان گرانشی را با استفاده از حسگرهای گرانشی اندازه‌گیری می‌کنند. با کمک فناوری کوانتومی، می‌توان توانایی، حساسیت و مقاومت در برابر نویز حسگرهای گرانشی را افزایش داد و همچنین اندازه‌ی آن‌ها را بسیار کوچک کرد. از کاربردهای این حسگرها می‌توان به پیدا کردن لوله‌ها و مخازن آب زیرزمینی، مخازن زیرزمینی نفت و گاز و شکاف‌ها در زمین و مین‌ها، هواشناسی،کنترل ورود و خروج‌ها و حفاظت گیت‌ها اشاره کرد (دگن و همکاران، ۲۰۱۷).

۱-۳-۴- زیست‌شناسی کوانتومی

با توجه به اینکه در مکانیک کوانتومی پدیده‌های میکروسکوپی بررسی می‌شود و از طرفی با توجه به ابعاد و مقیاس سیستم‌های زیستی می‌توان از مکانیک کوانتومی در توصیف رفتار سیستم‌های زیستی استفاده کرد چراکه ابعاد این سیستم در اندازه اتمی هستند. از مهم‌ترین مثال‌های این حوزه فرایند فتوسنتز است که نشان داده‌شده است وجود ویژگی‌های کوانتومی نظیر همدوسی و درهم‌تنیدگی کوانتومی منجر به انتقال انرژی با بازدهی بالا در آن می‌شود. همچنین مطالعات رفتار کوانتومی مغز را در حال انجام است. مسیریابی پرندگان از همبستگی کوانتومی ناشی می‌شود. همچنین اثرات کوانتومی در DNA مشاهده‌شده است (لامبرت و همکاران، ۲۰۱۳).

۱-۳-۵- ارتباطات کوانتومی

با توجه به رشد روزافزون ارتباط بر بستر رایانه‌ها و اینترنت محافظت از اطلاعات بسیار مهم است. عمده‌ترین روش

برای محافظت از اطلاعات رمزگذاری آن‌هاست که با روش RSA انجام می‌شود. در این روش عامل‌های اول یک عدد مرکب به‌عنوان رمز انتخاب می‌شود. دلیل انتخاب این امر این است که یافتن عامل‌های اول با الگوریتم کلاسیکی بسیار دشوار است. با معرفی الگوریتم کوانتومی شور شکستن رمزها بسیار ساده شد و ازاین‌رو زنگ خطری برای ارتباطات هست. در حال حاضر پروتکل‌های ارتباطات کوانتومی بسیار موردتوجه است و سعی در ایجاد اینترنت کوانتومی هست (جیسین و همکاران، ۲۰۰۷).

۴-۱- اصول مکانیک کوانتومی

در فناوری‌های کوانتومی از اصول و قواعد مکانیک کوانتومی استفاده می‌شود تا بتوان کارکرد وسایل و صنایع را بهبود بخشید. این فناوری‌ها جز پیش‌روترین مباحث روز هستند و تحقیقات زیادی در این حوزه در حال انجام هست. ابتدا اصول و قواعد فیزیک کوانتوم را بیان می‌شود و سپس شاخه‌های اصلی این فناوری‌ها را بیان خواهد شد. مکانیک کوانتوم قسمتی از فیزیک است که در مورد رفتار ماده و ارتباط آن با انرژی در اندازه‌های در حد اتم و اجزای آن سروکار دارد. درواقع مکانیک کوانتوم با بی‌نهایت ریزها در طبیعت سروکار دارد و قوانین کلاسیک فیزیک در مورد این اجزاء اتمی کاربردی ندارند.

۱-۴-۱- عدم قطعیت

در مکانیک کوانتومی بر اساس اصل عدم قطعیت نمی‌توان در مورد پدیده‌ها با قطعیت کامل اظهارنظر کرد و نتیجه اندازه‌گیری‌ها و آزمایش‌های مختلف به‌وسیله نظریه احتمال تعبیر می‌شود و این اصل عدم قطعیت هایزنبرگ، خاصیت بنیادین و گریزناپذیر جهان است. به بیان ساده دو کمیت فیزیکی که وابسته به هم هستند را نمی‌توان به‌طور هم‌زمان اندازه گرفت، یک مثال از این کمیت‌ها مکان ذره کوانتومی و تکانه (سرعت) آن است که نمی‌توان آن‌ها را به‌طور هم‌زمان و دقت دلخواه اندازه‌گیری کرد.

۱-۴-۲- برهم‌نهی کوانتومی

حالت سیستم کوانتومی می‌تواند برحسب تمام زیر حالت‌ها بیان شود یعنی یک سیستم در یک‌زمان می‌تواند به‌طور هم‌زمان در دو یا چند حالت باشد.

۱-۴-۳- درهم‌تنیدگی

در هم تنیدگی کوانتومی یک پدیده است، که توسط مکانیک کوانتومی قابل توصیف است. این پدیده در ذراتی مانند الکترون و فوتون ها... اتفاق می‌افتد، و عبارت است از این‌که خواص مکانیکی دو ذره جفت شده باشند یا به عبارتی این ذرات پیشتر با هم در اندرکنش بوده و سپس از هم دیگر جدا شدند. این اندرکنش فیزیکی مربوط به خواصی نظیر مکان، تکانه و اسپین و غیره می باشد، به‌گونه‌ای که با تعیین هرکدام از خواص برای یکی از ذرات همان خاصیت در دیگری تعیین می‌شود. به زبان ساده اگر دو ذره درهم‌تنیده باشند با اندازه‌گیری روی ذره اول می‌توان اطلاعاتی از ذره دوم به دست آورد.

۱-۴-۴- ناهمدوسی

در حالت کلی یک سیستم کوانتومی با محیط اطراف خود اندرکنش دارد ک این امر منجر به از بین رفتن برهم‌نهی کوانتومی حالت کوانتومی می‌شود که از این پدیده به نام ناهمدوسی یاد می‌شود.توجه شود که این مبانی و اصول مکانیک کوانتومی در فیزیک کلاسیک وجود ندارد.

۵-۱- فناوری‌های کوانتومی در ایران

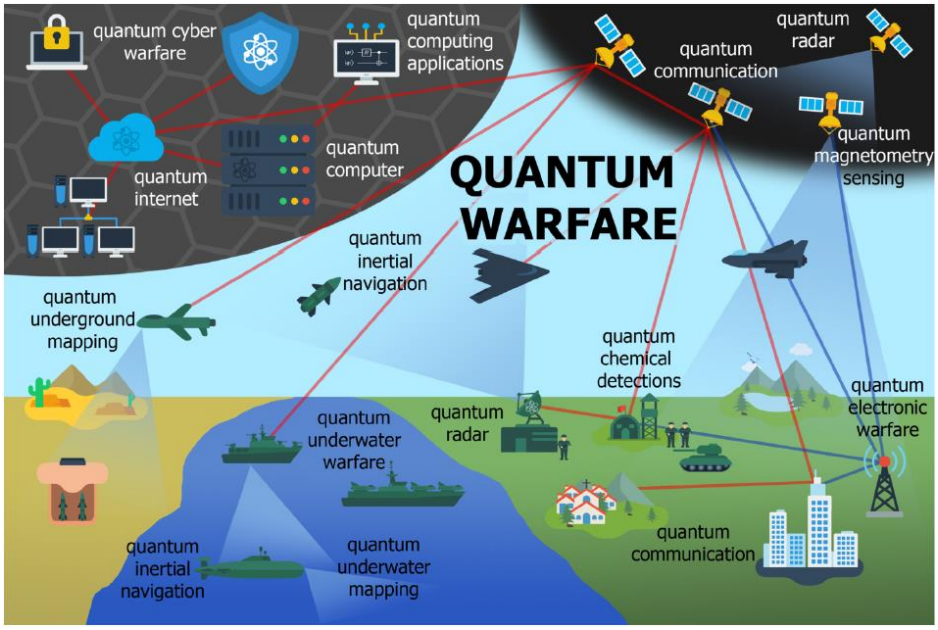
با توجه به رشد روزافزون ارتباط بر بستر رایانه‌ها و اینترنت محافظت از اطلاعات بسیار مهم است. عمده‌ترین روش برای محافظت از اطلاعات رمزگذاری آن‌هاست که با روش RSA انجام می‌شود. در این روش عامل‌های اول یک عدد

مرکب به‌عنوان رمز انتخاب می‌شود. دلیل انتخاب این امر این است که یافتن عامل‌های اول با الگوریتم کلاسیکی بسیار دشوار است. با معرفی الگوریتم کوانتومی شور شکستن رمزها بسیار ساده شد و ازاین‌رو زنگ خطری برای ارتباطات هست. در حال حاضر پروتکل های ارتباطات کوانتومی بسیار موردتوجه است و سعی در ایجاد اینترنت کوانتومی هست. در سال‌های اخیر بخش عمده سرمایه‌گذاری‌های انجام‌شده در فناوری‌های کوانتومی در قالب پروژه‌های تحقیق محور و از سوی مؤسسات تحقیقاتی یا دولت‌ها انجام‌شده است. اندازه بازار محصولات فناوری‌های کوانتومی تا سال ۲۰۳۰، ۱۸ میلیارد دلار تخمین زده می‌شود. در منطقه خاورمیانه سه کشور ایران، اتحادیه عرب و رژیم اشغالگر قدس از سال ۲۰۰۰ میلادی بامطالعه بر روی علم فیزیک کوانتوم فعالیت خود را آغاز کرده‌اند. اتحادیه عرب و قرارداد با شرکت‌های داخلی و مایکروسافت برای مشارکت با سرمایه ۱۵۰ میلیون دلاری فعالیت‌های در این زمینه داشتند با توجه به نقش و اهمیت فناوری‌های کوانتومی در سال‌های اخیر در کشور تلاش‌هایی در این زمینه انجام‌گرفته است. درزمینه مطالعات نظری از سال‌های ۱۳۸۰ کارهای بسیاری در دانشگاه‌های کشور نظیر صنعتی شریف، تبریز، تهران، کردستان انجام‌شده و هم‌اکنون نیز در حال انجام است. به لحاظ پیاده‌سازی آزمایشگاهی با تأسیس مرکز فناوری‌های کوانتومی در سازمان انرژی اتمی اولین گام برداشته شد. در این مرکز شاخه‌های فناوری کوانتومی در بستر آزمایشگاهی در حال پیاده‌سازی هست. برای مثال آزمایش ایجاد فوتون‌های درهم‌تنیده و فرآیند تله پورت کوانتومی در این مرکز به انجام رسیده است. در کنار این مرکز مراکزی در دانشگاه‌های تهران و صنعتی شریف در حال آماده‌سازی آزمایشگاهی برای مطالعه تجربی این فناوری هستند. کاربرد این فناوری در ارتش، مخابرات، وزارت دفاع، سپاه و سایر نیروهای مسلح و وزارت اطلاعات و بخش‌هایی نظیر این‌ها و هرجایی که نیاز داشته باشند است که می‌خواهند اطلاعات رمزگذاری شده ارسال کنند ازاین‌رو اهمیت این موضوع دوچندان می‌شود.

۶–۱– استفاده از فناوری‌های کوانتومی در فرماندهی و کنترل

فناوری‌های کوانتومی در بسیاری از زمینه فعالیت انسان قابلیت استفاده را دارند. یکی از بخش‌های مهم در حوزه دفاعی است. فناوری‌های کوانتومی را می‌توان در تمام حوزه‌های جنگ نوین بکار گرفت. انقلاب دوم کوانتوم، حساسیت و بهره‌وری را بهبود می‌بخشد و توانایی‌های جدید را در تکنیک‌های جنگ نوین را تقویت می‌کند و باعث ایجاد سلاح‌های جدید خواهد شد. یک نمای کلی از فناوری‌های کوانتومی که در مسائل نظامی و فرماندهی و کنترل استفاده می‌شوند؛ در تصویر ۱ نشان داده است. همان‌گونه که در تصویر مشاهده می‌شود در زمینه‌های مختلف جنگ نوین از فناوری‌های کوانتومی می‌توان استفاده کرد. در حوزه فضایی با استفاده از ارتباطات کوانتومی نظیر سنسورهای اندازه‌گیری کوانتومی، رادار کوانتومی می‌توان به جمع‌آوری اطلاعات از موقعیت دشمن و تجهیزات و تحرکات آن‌ها پرداخت. در حوزه هوایی هواپیماها جنگده با دریافت اطلاعات دقیق از رادارهای کوانتومی قدرت مانور بالایی بدست‌آورند. همچنین با استفاده از تصویربرداری کوانتومی که توسط هواپیماها انجام می‌شود تصاویر دقیق از مکان‌های حساس دشمن به دست می‌آید. در حوزه زمینی ایستگاه‌های مخابراتی با استفاده از اینترنت کوانتومی و رمزنگاری کوانتومی اطلاعات امن رابین مراکز مختلف تبادل می‌کند. همچنین با استفاده از قدرت کامپیوترهای کوانتومی در پردازش اطلاعات می‌توان با دقت و سرعت بالایی انجام داد. همچنین سامانه پدافند با استفاده از اطلاعات دریافتی از رادارها و ایستگاه‌های مخابراتی می‌تواند اهداف را با دقت بالایی مورد اصابت قرار دهد. در حوزه دریایی تصویربرداری زیرآب به کمک تصویربرداری کوانتومی با وضوح‌بالا امکان‌پذیر است، همچنین نقشه‌برداری زیرآب امکان‌پذیر است. در حوزه جنگ سایبری با استفاده از پروتکل‌های کوانتومی نظیر رمزنگاری کوانتومی و امنیت کوانتومی می‌توان به تهدیدات سایبری پاسخ داد. بنابراین با استفاده از فناوری‌های کوانتومی می‌توان توان رزمی و تاکتیکی نیروهای خودی را افزایش داد. با توجه به چارچوب بیان‌شده در این بخش و بخش‌های قبلی می‌توان شاخص‌های فناوری‌های کوانتومی منطبق بر شاخص‌های فرماندهی و کنترل را بیان کرد. در فرماندهی و کنترل استفاده از وسایل الکترونیکی نظیر ماهواره و رادار برای جمع‌آوری داده ضروری است، از طرفی با توجه به کلاسیکی بودن این ابزارها، و گستردگی حجم داده‌ها نمی‌توان انتظار بهره‌وری بالا از این وسایل را داشت بنابراین استفاده از وسایل کوانتومی نظیر رادار کوانتومی ضروری است. شاخص مهم دیگر پردازش سریع اطلاعات و ذخیره‌سازی آن‌ها است که به کمک پردازنده‌ها و حافظه‌های کلاسیکی صورت می‌پذیرد و با توجه به محدودیت آن‌ها در مواجه با حجم بزرگی از داده‌ها استفاده از کامپیوتر

کوانتومی راه‌حل بسیار مناسبی است. شاخص دیگر که در فرماندهی و کنترل حائز اهمیت است امنیت اطلاعات است، در حال حاضر تمام رمزنگاری‌ها کلاسیک است و قابل شکسته شدن را دارد از طرفی با توجه به قضیه عدم کپی‌برداری کوانتومی این مسئله به‌طور کامل مرتفع می‌شود. ارتباطات دیگر شاخص در فرماندهی و کنترل است. در ارتباطات کلاسیک، خطا و اختلال و شنود کاملاً محتمل است که با استفاده از فناوری‌های کوانتومی نظیر اینترنت کوانتومی این شاخص بهینه می‌گردد. بنابراین تمام شاخص‌های فرماندهی و کنترل با استفاده از فناوری‌های کوانتومی قابل‌اجرا و پیاده‌سازی بهینه و ایمن است (کرلینا و همکاران، ۲۰۲۱).



شکل ۲ : نمای شماتیک از استفاده از فناوری‌های کوانتومی در مسائل نظامی و مسائل فرماندهی و کنترل

نمای شماتیک فوق به استفاده از فناوری‌های کوانتومی در مسائل نظامی و مسائل فرماندهی و کنترل تجهیزات و تحرکات آن‌ها پرداخته است. در حوزه هوایی هواپیماها جنگده با دریافت اطلاعات دقیق از رادارهای کوانتومی قدرت مانور بالایی بدست‌آورند. همچنین با استفاده از تصویربرداری کوانتومی که توسط هواپیماها انجام می‌شود تصاویر دقیق از مکان‌های حساس دشمن به دست می‌آید. در حوزه زمینی ایستگاه‌های مخابراتی با استفاده از اینترنت کوانتومی و رمزنگاری کوانتومی اطلاعات امن را بین مراکز مختلف تبادل می‌کند. همچنین با استفاده از قدرت کامپیوترهای کوانتومی در پردازش اطلاعات می‌توان با دقت و سرعت بالایی انجام داد. همچنین سامانه پدافند با استفاده از اطلاعات دریافتی از رادارها و ایستگاه‌های مخابراتی می‌تواند اهداف را با دقت بالایی مورد اصابت قرار دهد. در حوزه دریایی تصویربرداری زیرآب به کمک تصویربرداری کوانتومی با وضوح‌بالا امکان‌پذیر است، همچنین نقشه‌برداری زیرآب امکان‌پذیر است. در حوزه جنگ سایبری با استفاده از پروتکل‌های کوانتومی نظیر رمزنگاری کوانتومی و امنیت کوانتومی می‌توان به تهدیدات سایبری پاسخ داد. بنابراین با استفاده از فناوری‌های کوانتومی می‌توان توان رزمی و تاکتیکی نیروهای خودی را افزایش داد. با توجه به چارچوب بیان‌شده در این بخش و بخش‌های قبلی می‌توان شاخص‌های فناوری‌های کوانتومی منطبق بر شاخص‌های فرماندهی و کنترل را بیان کرد. در فرماندهی و کنترل استفاده از وسایل الکترونیکی نظیر ماهواره و رادار برای جمع‌آوری داده ضروری است، از طرفی با توجه به کلاسیکی بودن این ابزارها، و گستردگی حجم داده‌ها نمی‌توان انتظار بهره‌وری بالا از این وسایل را داشت بنابراین استفاده از وسایل کوانتومی نظیر رادار کوانتومی ضروری است. شاخص مهم دیگر پردازش سریع اطلاعات و ذخیره‌سازی آن‌ها است که به کمک پردازنده‌ای و حافظه‌های کلاسیکی صورت می‌پذیرد و با توجه به

محدودیت آن‌ها در مواجه با حجم بزرگی از داده‌ها استفاده از کامپیوتر کوانتومی راه‌حل بسیار مناسبی است. شاخص دیگر که در فرماندهی و کنترل حائز اهمیت است امنیت اطلاعات است، در حال حاضر تمام رمزنگاری‌ها کلاسیک است و قابل شکسته شدن را دارد از طرفی با توجه به قضیه عدم کپی‌برداری کوانتومی این مسئله به‌طور کامل مرتفع می‌شود. ارتباطات دیگر شاخص در فرماندهی و کنترل است. در ارتباطات کلاسیک، خطا و اختلال و شنود کاملاً محتمل است که با استفاده از فناوری‌های کوانتومی نظیر اینترنت کوانتومی این شاخص بهینه می‌گردد. بنابراین تمام شاخص‌های فرماندهی و کنترل با استفاده از فناوری‌های کوانتومی قابل‌اجرا و پیاده‌سازی بهینه و ایمن است.

روش‌شناسی تحقیق

در این پژوهش تلاش گردید که ضمن شناخت فناوری‌های کوانتومی، کاربرد آن‌ها در بهبود عملکرد لایه‌های سه‌گانه فرماندهی کنترل از منظر داده‌های میدان نبرد، موردبررسی قرار گیرد.

۲- تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

نتایج بررسی‌ها نشان داد که فناوری‌های کوانتومی از قبیل محاسبات و اطلاعات کوانتومی، شبیه‌سازی کوانتومی، حسگرهای کوانتومی، زیست‌شناسی کوانتومی و ارتباطات کوانتومی می‌توانند در۳ هر لایه تولید داده، پردازش داده و استفاده از داده فرماندهی و کنترل، نقش تحولی قابل‌توجهی را ایفا نمایند.

نتیجه‌گیری

در فرماندهی و کنترل تمام حوزه‌های هوایی، زمینی و دریایی درصحنه نبرد حضور دارند و حجم بالایی از اطلاعات تولید، تحلیل و تصمیم‌گیری انجام می‌شود. از طرفی با توجه به ضعف منابع کلاسیک در جمع‌آوری اطلاعات و تحلیل آن‌ها استفاده از فناوری‌های کوانتومی بسیار کارساز است. در حال حاضر درزمینه‌ی فناوری‌های کوانتومی نسل دوم که مبتنی بر کنترل و تغییر ذرات منفرد مانند تک‌اتم‌ها، تک‌یون‌ها و تک‌فوتون‌ها است، زمینه‌های تازه‌ای ظهور کرده است که نقش مهمی در توسعه کشورها دارد. این فناوری‌ها شامل محاسبات و اطلاعات کوانتومی، شبیه‌سازی کوانتومی، مترولوژی و حسگرهای کوانتومی، زیست‌شناسی کوانتومی و ارتباطات کوانتومی می‌باشد. با استفاده از این فناوری‌های در کنترل و فرماندهی می‌توان به کارایی بالایی دست‌یافت. ازاین‌رو پیشنهاد می‌شود اهتمام بیشتری در این زمینه انجام گیرد و با سرمایه‌گذاری روی آن از قدرت این فناوری‌ها استفاده کرد.

منابع

شهلایی ناصر، مهرنیا احمد، ولی‌وند زمانی حسین (۱۳۸۸)، نظریه‌های راهبردی، تهران، انتشارات دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا

فرجپور، عباس (۱۳۸۹)، دکترین فرماندهی و کنترل، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا

موسسه آموزشی و تحقیقاتی

ولی‌وند زمانی حسین، لونی محمدرضا، ملکی غلامرضا (۱۳۹۵)، تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری در محیط نظامی، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا

French, A. P., & Taylor, E. F*An introduction to quantum physics*. Routledge. (۲۰۱۸)

Acín, A., Bloch, I., Buhrman, H., Calarco, T., Eichler, C., Eisert, J., ... & Wilhelm, F. K. The quantum technologies roadmap: a European community view. *New Journal of Physics*, *20*(۸), (۲۰۱۸),۰۸۰۲۰۱.

Gill, S. S., Kumar, A., Singh, H., Singh, M., Kaur, K., Usman, M., & Buyya, R. (۲۰۲۲). Quantum computing: A taxonomy, systematic review and future directions. *Software: Practice and Experience*, *52*(۱), ٦٦-۱۱٤.

Buluta, Nori, F.: Quantum simulators. Science ۳۲٦,٥۹٤۹ (۲۰۰۹): ۱۰۸-۱۱۱.

Degen, C. L., Reinhard, F., & Cappellaro, P. Quantum sensing. *Reviews of modern physics*, *89*(۳), . (۲۰۱۷), ۰۳٥۰۰۲.

Lambert, N., Chen, Y. N., Cheng, Y. C., Li, C. M., Chen, G. Y., Nori, F.: Quantum biology. Nature Physics,۹,(۲۰۱۳)

Gisin, N., & Thew, R. Quantum communication. *Nature photonics, 1*(٣), (٢٠٠٧). ,١٦٥-١٧١.
Krelina, M. Quantum technology for military applications. *EPJ Quantum Technol.* ٨, ٢٤ (٢٠٢١). https://doi.org/١٠,١١٤٠/epjqt/s٤٠٥٠٧-٠٢١-٠٠١١٣-y
Baek, Seungjin; & Kim, Young-Gab. (٢٠٢١). C٤I System Security Architecture: A Perspective on Big Data Lifecycle in a Military Environment. Sustainability, ١٣(٢٤), ١٣٨٢٧. https://doi.org/١٠,٣٣٩٠/su١٣٢٤١٣٨٢٧

Journal of Modern Aviation and Techniques
Year ۲, Number ۲, summer 2024

Using quantum technologies in command and control problems, case study Air force

۱st Hossein Davoudi yegane ،۲nd Mohammad IshaqNejad, ۳nd Mehrab Ramak

Abstract

Command and control is the use of elements and authority as well as leadership by a commander to guide the forces under his command and carry out a mission. In control and command issues, a large amount of data must be collected, analyzed and finally a decision should be made. Due to the limitation of classical sources in data collection and processing, using quantum technologies is a suitable solution. Currently, in the field of second-generation quantum technologies, which are based on controlling and changing individual particles such as single atoms, single ions, and single photons, new fields have emerged that play an important role in the development of the scientific and military power of countries. These technologies include quantum computing and information, quantum simulation, quantum metrology and sensors, quantum biology and quantum communication. In this article, the use of quantum technologies in command and control problems and its various aspects were measured and their role in solving command and control problems was studied and also these problems was studied in air force the results showed that they can generate data, process data and use data in all ۳ layers. command control data to be used.

Key words : Command and control, quantum technologies, quantum computer