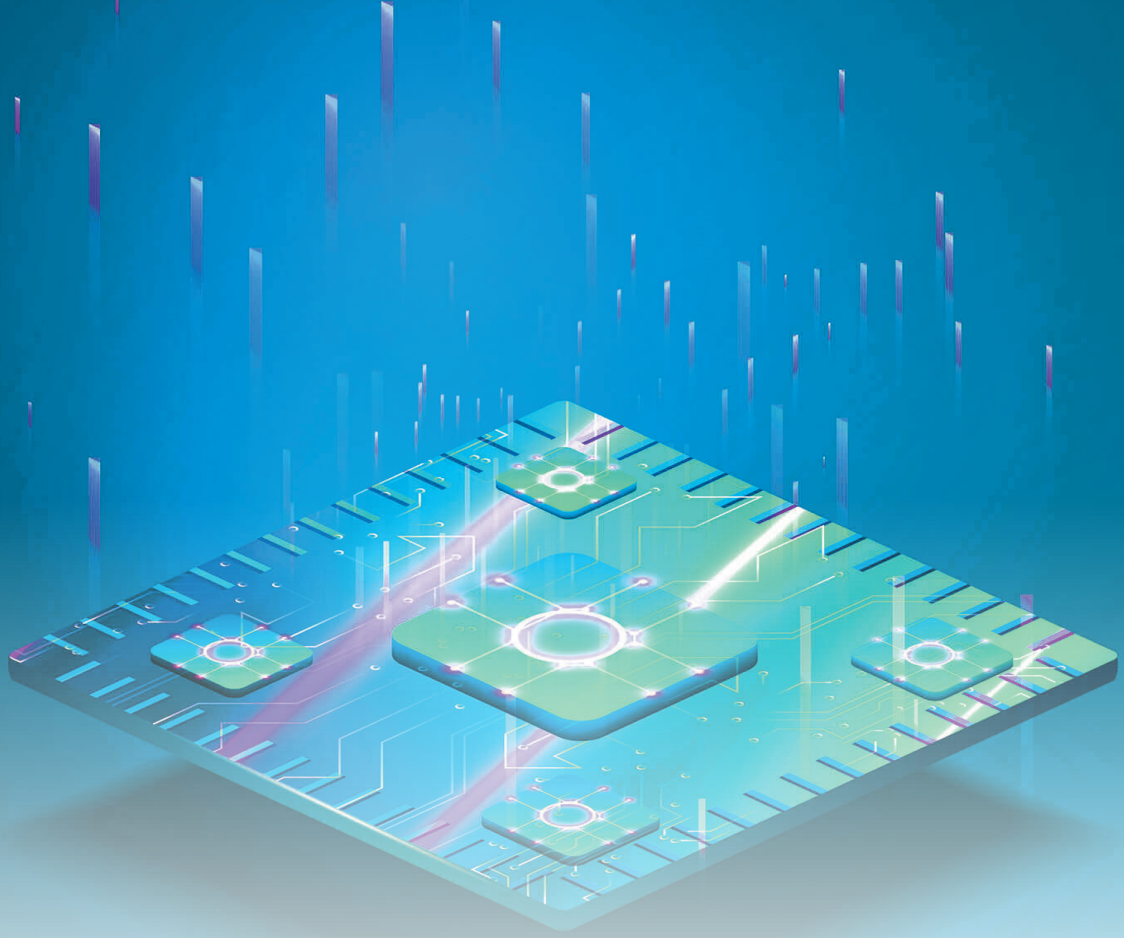


مروری بر پردازش کوانتومی و کاربردهای آن در صنعت مخابرات

سیدمنصور اطیابی

کارشناسی ارشد
مهندسی کامپیوتر
نرم افزار از دانشگاه علوم
و فنون مازندران

پردازش کوانتومی که در آن از Qubit به جای Bit برای پردازش واحدهای اطلاعاتی اســـتفاده می‌شود، ابزاری است که می‌تواند تحولی شگرف در خدمات و محصولات اپراتورهای مخابراتی ایجاد نماید. افزایش شگرف توان پردازشی که در نتیجه پردازش کوانتومی حاصل می‌شود، در ترکیب با هوش‌مصنوعی و پردازش لبه‌ای[1] می‌تواند کمک شایانی در ارائه خدمات نوین مخابراتی باشد. توان پردازشی بالا با فراهم آوردن پردازش بهینه وضعیت شبکه، بهینه‌سازی هوشمند و انطباق با نیاز مشتری، ارائه بهترین سرویس ممکن در هر شرایط برای مشتری را ممکن می‌سازد. البته همان‌قدر که پردازش کوانتومی می‌تواند در ارائه خدمات با کیفیت موثر باشد، در سوی دیگر ماجرا نیز می‌تواند تهدید جدی برای حمله و آسیب به شبکه باشد. بسیاری از الگوریتم‌های رمزنگاری کنونی در حضور پردازش کوانتومی بی‌ارزش و ناتوان خواهند شد و سبب می‌شود نیاز به الگوریتم‌های رمزنگاری پساکوانتومی مطرح گردد. به همین جهت اپراتورهایی که قادر به تضمین امنیت مشتریان خود نباشند با چالش فرار مشتری به اپراتور رقیب و جریمه‌های مالی قانونی روبه‌رو خواهند شد. در این مقاله چالش‌ها و مزایای بهره‌گیری از پردازش کوانتومی برای اپراتورهای مخابراتی مورد بررسی قرار گرفته و به شکل خاص به مزایای استفاده از پردازش کوانتومی در بهبود کاربردهای هوش‌مصنوعی در راستای بهبود و تضمین کیفیت سرویس شبکه پرداخته می‌شود.

کلمات کلیدی: هوش مصنوعی، پردازش کوانتومی، امنیت، رمزنگاری پساکوانتومی، کیفیت سرویس

1- Edge Computing

مقدمه

پیش‌بینی شده است که ترافیک جهانی شبکه تلفن همراه بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰ سالانه ۵۵% رشد داشته باشد. به‌طوری که در سال ۲۰۳۰ بیش از ۵۰۰۰ اگزابایت (EB) داده در هر ماه تولید خواهد شد. بدین جهت، استقرار شـــبکه‌های 5G و فراتر از آن و توسعه کاربردهای ذیل آن با افزایش بی‌ســـابقه حجم داده‌های تولیدی نیاز به توان پردازشی بالاتر که قادر به پردازش با

تاخیر بسیار کمتر باشد را افزایش داده است. در این بین پردازش کوانتومی به‌عنوان یک ابزار توانمند در تقویت توان پردازشی مورد توجه قرار گرفته است و محققان حوزه مخابرات با هدف ایجاد پوشش جهانی، پشتیبانی از طیف ارتقاء یافته، افزایش بازدهی مصرف انرژی، امنیت بیشتر و هوشمندی پویا، پردازش حجم عظیم داده‌ها براساس الگوریتم‌ها و ساختارهای پیچیده پردازش کوانتومی را مدنظر قرار داده‌اند [۱] و [۲].

هرچندکه 5G بستری برای استقرار شبکه‌های هوشمند با عملیات هوش‌مصنوعی است، مدیریت و ارکستراسیون[۱] ۱۰۰ % هوشمند شبکه برای ارائه سرویس‌های نوآورانه قابلیتی است که انتظار می‌رود در 6G به‌طور کامل محقق شود. پاسخ‌گویی کامل به نیازمندی‌های سختگیرانه عملکردی شبکه‌های نسل جدید مستلزم استقرار فناوری‌های جدیدی نظیر صفحات هوشمند[۲]، تکانه زاویه‌ای الکترومغناطیسی-اوربیتال[۳]، مخابرات نوری مرئی[۴]، مخابرات بدون‌سلول[۵] و همچنین پردازش کوانتومی خواهد بود. چشم‌انداز 6G یک شبکه بسیار فشرده پیچیده قادر به پاسخ‌گویی خدمات درخواستی کاربران با یادگیری بلادرنگ وضعیت شبکه در لبه شبکه (موقعیت جغرافیایی BTS[۶]ها)، در واسط هوایی (طیف فرکانسی و کانال‌های انتشار) و در سمت کاربر (موقعیت و طول حیات باتری) است. طبیعت چندبعدی-چندوضعیتی شبکه که نیازمند اطلاعات بی‌درنگ[۷] است، می‌تواند به‌عنوان یک مساله عدم‌قطعیت کوانتومی درنظر گرفته شود. به همین جهت مفاهیم یادگیری‌ماشین (ML)، پردازش کوانتومی (QC) و یادگیری ماشین کوانتومی (QML) و هم‌افزایی آن‌ها با شبکه‌های مخابراتی می‌تواند به‌عنوان هسته‌های توانمندساز 6G درنظر گرفته شود [۳]. بدین‌ترتیب اصول کوانتوم برای یادگیری و استنتاج از طریق ترجمه الگوریتم‌های کلاسیک به زبان سازگار با کوانتوم به‌کار گرفته خواهد شد و الگوریتم‌های یادگیری کوانتومی تحت‌نظارت (QSL[۸])، بدون نظارت (QUL[۹]) و تقویت شده (QRL[۱۰])، با ارتقای روش‌های یادگیری کلاسیک به زبان کوانتومی حاصل خواهند شد. برای مثال الگوریتم‌های کوانتومی مانند Grover می‌تواند مساله جستجوی ساختارنایافته را با افزایش سرعت از مرتبه دوم[۱۱] حل نموده و الگوریتم Shor می‌تواند اعداد صحیح بزرگ را با سرعت نمایی بیش از الگوریتم‌های کلاسیک تجزیه نماید [۴]. الگوریتم‌های مدل‌سازی یادگیری ماشین بسیاری از جمله نزدیک‌ترین همسایه kام[۱۲]، ماشین بردار پشتیبانی،[۱۳] الگوریتم‌های ژنتیک[۱۴] و شبکه‌های عصبی[۱۵] با استفاده از پردازش کوانتومی می‌توانند در مخابرات کوانتومی به‌کار گرفته شوند. این الگوریتم‌ها و موارد بسیار دیگر می‌توانند در حل چالش‌های شبکه‌های مخابراتی مانند مدیریت ازدحام، زمان‌بندی و تخصیص منابع به‌کار گرفته شوند. برای این منظور یادگیری ماشین کوانتومی می‌تواند در کاربردهایی نظیر مدل‌سازی پیش‌بینی‌کننده، شناسایی رفتارهای مخرب و بهینه‌سازی شبکه به‌کار گرفته شود [۵].

در ادامه این مقاله ابتدا کاربردهای پردازش کوانتومی در شبکه‌های مخابراتی، به صورت مشخص در 6G معرفی شده و سپس به بررسی فرصت‌های پیش‌رو و چالش‌های استفاده از این فناوری در 6G پرداخته خواهد شد.

پردازش کوانتومی و 6G

در شکل ۱ کاربردهای پردازش کوانتومی در 6G ارائه شده‌اند. در این بخش به توضیح برخی از آن‌ها شامل روش‌های یادگیری ماشینی کوانتومی و الگوریتم‌های کوانتومی به‌همراه کاربردهایی که در 6G خواهند داشت پرداخته می‌شود.

QML: یادگیری ماشین کوانتومی به‌عنوان یک ابزار کلیدی در توسعه 6G نقشی کلیدی برای حل مسائل مختلف بهینه‌سازی کاربردهای شبکه مخابراتی خواهد داشت. یادگیری ماشین کوانتومی از قابلیت‌هایی است که وظایف محوله را با استفاده از برهم‌نهی کوانتومی، درهم‌تنیدگی کوانتومی[۱۶] و دیگر مفاهیم فیزیک کوانتوم انجام خواهد داد. ترکیبی از یادگیری ماشین و یادگیری کوانتومی به‌عنوان عوامل توانمندساز هسته پردازش کوانتومی درنظر گرفته می‌شوند. در شکل ۲ برخی کاربردها و توابعی که با به‌کارگیری QML در 6G قابل تحقق هستند، نمایش داده شده‌اند.

QSL: این روش می‌تواند برای حل مسائل طبیعی مبتنی بر الگوریتم‌های کوانتومی مانند ماشین‌های بردار پشتیبانی کوانتومی (QSVM[۱۷]) به‌کار گرفته شود. QSL می‌تواند برای بهبود عملکرد توابع مختلفی در 6G از جمله پیش‌بینی بهینه افت توان در مسیر کانال‌های انتقال امواج mm-Wave، پیش‌بینی پارامترهای بهینه شبکه، تخصیص توان، تخصیص پویای پهنای‌باند به کاربران به تناسب نیاز ایشان و بهبود عملکرد تاخیر انتهابه‌انتها در شبکه به‌کار گرفته شود.

1- Orchestration
2- Intelligent surfaces
3- Electromagnetic-Orbital Angular Momentum
4- Visible Light Communications
5- Cell-free communications
6- Base Transceiver Station
7- Real-Time
8- Quantum Supervised Learning
9- Quantum Unsupervised Learning
10- Quantum Reinforcement Learning
11- Quadratic speedup
12- K-neighrest neighbor
13- Support vector machine
14- Genetic Algorithms
15- Neural networks
16- Quantum Superposition, Quantum Entanglement
17- Quantum support vector machines

QUL: افزایش چشم‌گیر تعداد تجهیزات IoT و هوشمند متصل به شبکه ساختارهای مسیریابی، امنیت و انتقال داده در 6G را به مراتب پیچیده‌تر خواهد کـــرد. در این بین وظیفه اصلی QUL[18] خوشـــه‌بندی، کاهش ابعاد و تخمین داده است. به همین جهت QUL می‌تواند به ایجاد پروتکل‌های مخابراتی 6G موثر با قیمت مناسب با حل مسائلی از قبیل نحوه انتخاب کاربران و دست‌یابی به توان بهینه ارسال توان به آن‌ها، بهینه‌سازی گذردهی و نحوه تخصیص منابع بین دو تجهیز[19]، شناســـایی و پیش‌بینی ریشه بروز مشکلات و خطاهای تجهیزات شـــبکه، بهینه سازی منابع رادیویی و سنجش طیف فرکانس رادیویی و سیستم‌های تراهرتز کمک ویژه‌ای نمایـــد. هم‌چنین بهره‌گیـــری از QUL با کنترل به‌هنگام ترافیک شبکه منجر به شناسایی بلادرنگ حملات نفوذ و ناهنجاری، کشف فریب و در نتیجه بهبود امنیت لایه فیزیکی و عملیات کدگذاری و کدگشایی منبع در 6G شود.

QRL: با توجه به تعداد بســـیار بالای تجهیزات متصل و ترافیک بالایی کـــه در 6G با آن مواجـــه خواهیم بود، ابعاد مســـاله‌های بهینه‌سازی افزایش نمایی پیدا کرده و الگوریتم‌های RL[20] کنونی با محدودیت‌هایی در استراتژی کشف و سرعت یادگیری مواجه می‌شـــوند. این محدودیت‌ها دقت تصمیمات گرفته شده برای کاربردهای مختلف موردنیاز در 6G مانند مســـیریابی، عملیات رباتیک، بازی و کیفیت ســـرویس را تحت تاثیر قرار خواهد داد. لیکن QRL به جهت آن‌که به‌صورت ذاتی از موازی‌سازی کوانتومی و قرارداد برهم‌نهی حالت[21] استفاده می‌کند، تمام محدودیت‌های ذکر شده را برطرف کرده و سرعت پردازش داده را به شکلی موثر افزایش خواهد داد. QRL روش‌هایی برای تخصیص بهینه طیف، بهبود نرخ مجموع سیســـتم‌های D2D[22]، انتخاب توان ارسالی، صرفه‌جویی در انرژی به منظور کاهش احتمال خروج شـــبکه از سرویس و ذخیره‌سازی فعال[23] برای تخصیص بهینه منابع ارائه خواهد کرد. از دیدگاه امنیت سایبری QRL قابلیت مقاومت 6G در برابر حملات متعدد از قبیل مختل کردن[24] و شناسایی رفتارهای مخرب در بین تجهیزات متصل را افزایش خواهد داد. هم‌چنین QRL خودکارسازی فرآیندها، قابلیت پیش‌بینی و تصمیم‌گیری دقیق علیه حملات را در شبکه 6G در اختیار خواهد گذاشت.

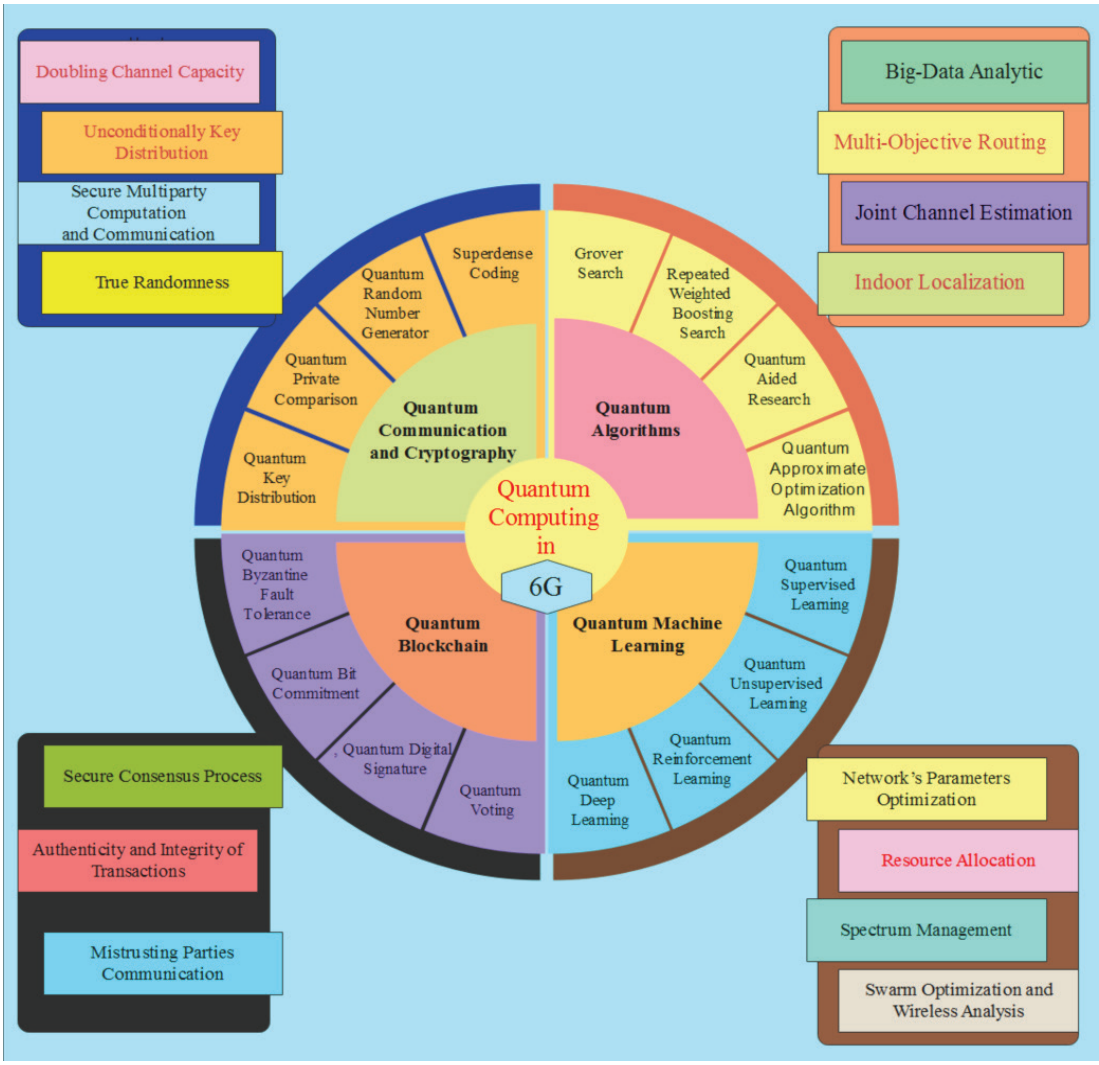
الگوریتـــم Grover Search: مکان‌یابـــی درون‌ســـاختمانی از کابردهای رایج حوزه 6G خواهد بود که با توجه به نویز و تداخل شدید محیطی امری بسیار دشوار است و به پارامترهای پیچیده‌ای مانند توان سیگنال ارسالی/دریافتی، زمان و زاویه سیگنال دریافتی و تفاوت زمانی سیگنال دریافتی بستگی دارد. تخمین و ردگیری موقعیت دقیق کاربر و حـــرکات او در 6G امکان تخصیص دقیق منابع و توان ارســـالی به کاربر و بهبود کیفیت سرویس را فراهم خواهد کرد. لذا مساله می‌تواند به صورت یک مساله بهینه‌سازی جستجو بر اساس پایگاه داده شامل پارامترهای ذکر شده تعریف شود. متاسفانه الگوریتم‌های جستجوی کلاسیک زمان حل بسیار پیچیده و بالایی دارند. لیکن استفاده از الگوریتم‌های جستجوی Grover یا الگوریتم‌های تکمیلی ارائه شده در امتداد آن قادرند حتی با وجود حضور نویز و تعدد دستگاه‌های موجود مساله را در زمانی از مرتبه دوم حل نماینـــد و این موضوع می‌تواند به 6G در حل مساله مکان‌یابی با دقت بالا و زمان بسیار کمتر جهت استفاده در مخابرات نور مرئی و مخابرات تراهرتز در تبادل داده MIMO[25] خصوصا برای ارسال داده به تجهیزات UAV[26] کمک ویژه‌ای نماید.

الگوریتم جستجوی تقویت وزن‌دار تکراری: مساله تخمین کانال مشترک در جهت UpLink سیستم‌های 6G چندکاربره با چندین آنتن، دسترسی چندگانه غیرمتعامد (NOMA[27]) و یا با چندین حامل، دسترسی با تقسیم فرکانسی متعامد (OFDM[28]) ظاهر خواهد شد. به‌همین جهت الگوریتم‌های ابتکاری بسیاری برای شناســـایی پارامترهای بهینه در تخمین کانال پیشنهاد شده‌اند که همگی پیچیدگی بالایی داشته و زمان زیادی برای حل آن‌ها نیاز است که این موضوع زمانی که صحبت از کاربردهای واقعی شبکه می‌شود، کیفیت ســـرویس 6G را متاثر خواهد کرد. لیکن با افزودن الگوریتم‌های کوانتومی مانند الگوریتم‌های جستجوی تقویت وزن‌دار تکراری[29] کوانتومی، پیچیدگی و زمان حل مساله در 6G کاهش یافته و کیفیت سرویس ارائه شده افزایش چشم‌گیر خواهد یافت.

الگوریتم جســـتجوی کوانتومی: باتوجه به تعدد تعداد فرستنده-گیرنده در 6G، انتقال داده بین گره‌های شـــبکه بستگی به تعداد بالای تجهیزات هاب[30]های میانی از قبیل آنتن‌ها و BTSها دارد. در نتیجه یافتن مسیر بهینه به‌منظور رفع مشخصات کیفیت سرویس درخواستی نیازمند بهینه‌ســـازی دقیق چندین شاخص حساس کیفیت سرویس از جمله پهنای باند، موقعیت و توان ارسالی خواهد بود. از این‌رو، با مسئله بهینه‌سازی بسیار پیچیده‌ای روبه‌رو بوده و الگوریتم‌های چند متغیره بهینه‌ســـازی کلاسیک در همگرایی به مقادیر بهینه محلی اغلب دچار مشکل می‌شوند. این در حالی است که، الگوریتم‌های جستجوی کوانتومی[31] می‌توانند چنین مساله‌های مسیریابی را با پیچیدگی کمتر، در زمان کوتاه‌تر و با بازدهی بیشتر حل نمایند.

فرصت‌ها و چالش‌های به کارگیری پردازش کوانتومی در مخابرات کاربردهای داده‌محور حیاتی و همه‌جانبه مانند واقعیت مجازی/افزوده، اینترنت Tactile، اتوماسیون صنعتی و جابجایی خودکار

18- Quantum Unsupervised learning
19- Device-to-Device (D2D) resource allocation
20- Reinforcement learning
21- State superposition convention
22- Device-to-Device
23- Proactive caching
24- Jamming
25- Multi-Input Multi-Output
26- Unmanned Aerial Vehicles
27- Non-orthogonal multiple access
28- Orthogonal Frequency Division Multiplexing
29- Repeated weighted boosting
30- Hub
31- Quantum Aided Research



شکل ۱- اجزای پردازش کوانتومی و نقش آن‌ها در 6G [۴]

چالش‌های بی‌سابقه‌ای برای مخابرات با تاخیر کم و قابلیت اعتماد بالا (URLLC[۳۲]) در شبکه‌های 6G ایجاد کرده‌اند. هوش‌ماشینی از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، فدرال و تقویت‌شده برای تضمین کیفیت سرویس URLLC 6G در یادگیری داده بزرگ استفاده می‌کند. حجم بسیار بالای داده‌ها در 6G سبب می‌شود که برای تحلیل این حجم عظیم از داده از QML اســـتفاده شود. برای این منظور از مزایای منابع کوانتومی از قبیل برهم‌نهی، درهم‌تنیدگی و موازی‌سازی کوانتومی می‌توان بهره گرفت [۶]. اما نکته‌ای که باید درنظر داشت این است که پردازش کوانتومی چالش‌هایی نیز در پیش خواهد داشت که در ادامه به بررسی آن‌ها خواهیم پرداخت.

سیستم‌های مخابراتی مقاوم در برابر پردازش کوانتومی

تعداد و تنوع تجهیزات جدید IoT و سیســـتم‌های کنترل همراه آن‌ها، آســـیب‌پذیری‌های امنیتی و حریم‌خصوصی جدیدی در دوران گذار از 5G به 6G ایجاد خواهد کرد. تعداد تجهیزات IoT متصل به شبکه از ۱۰ میلیارد در 5G به ۱۰۰ میلیارد در 6G افزایش خواهد یافت و این یعنی الگوریتم‌های رمزنگاری باید به تناسب توان پردازشی کوانتومی برای رمزگشایی ارتقا یابند تا بتوان احراز هویت امن بین خدمات و تبادل داده امن را تضمین نمود.

معماری مبتنی بر پردازش کوانتومی[۳۳]

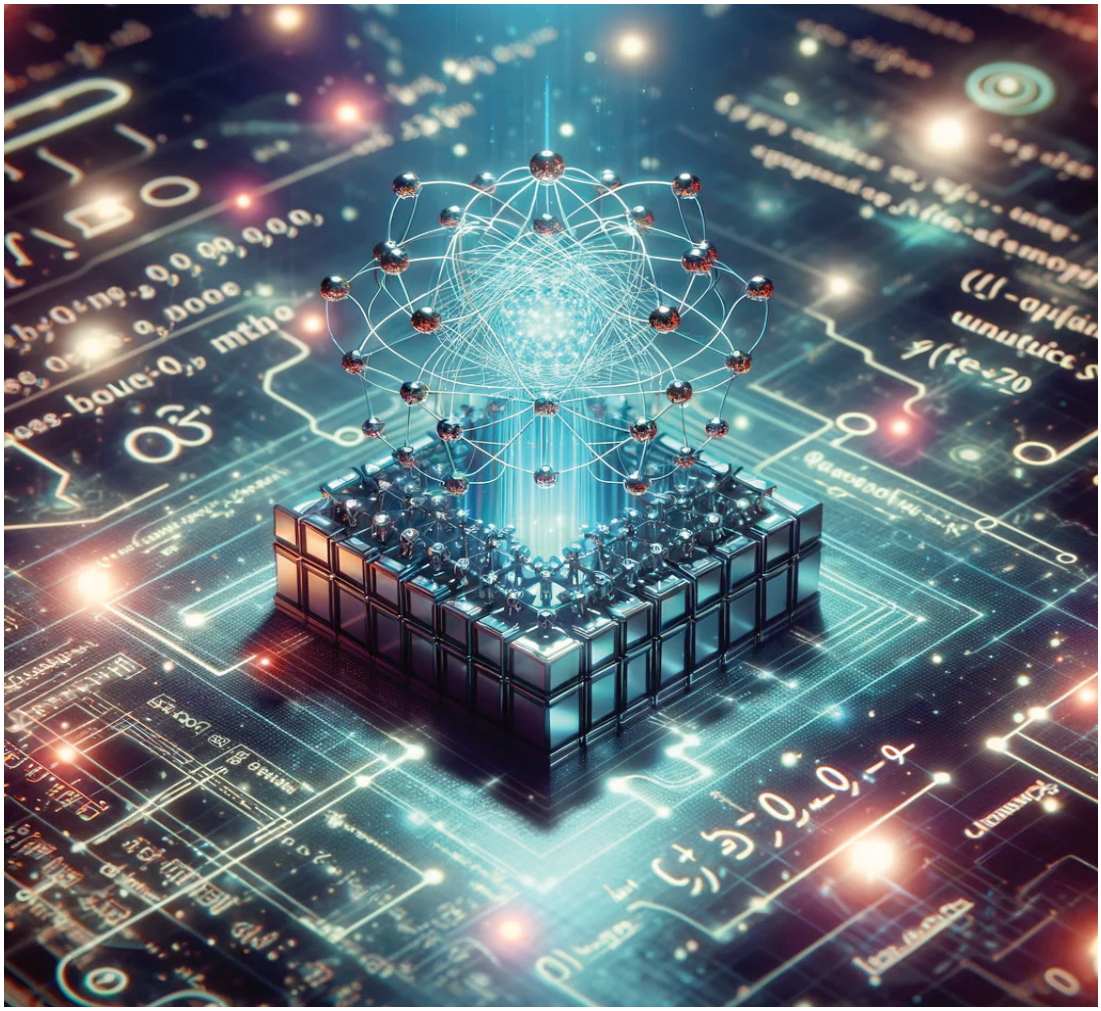
همان‌طور که 6G به‌ســـمت اســـتفاده از طیف تراهرتز با پهنای باند بســـیار بیشـــتر حرکت می‌کند، چگالی کاربـــران متصل افزایش می‌یابد و ابری‌ســـازی برای یک دنیای بسیار متصل[۳۴] با اتصال میلیاردها تجهیز متصل استفاده خواهد شد و استفاده از مجازی‌سازی، نرم‌افزاری‌سازی و یادگیری ماشین اجباری خواهد شد. روش‌های جستجوی کوانتومی قابلیت‌های پردازش موازی پیشرفته‌ای دارند که می‌تواند برای پاسخ به مسائل بهینه‌سازی شبکه پیچیده به‌کار گرفته شوند.

32- Ultra-reliable low latency communications

33- Quantum-assisted architecture

34- Cloudification for a hyperconnected world

HAMRAH-E-AVAL



قابلیت محاسبات با کارآیی بالا

دست‌یابی به تاخیر بسیار کم در حد چند میلی‌ثانیه در 6G به‌منظور پاسخ به نیاز کاربردهایی مانند جراحی دقیق و خودروهای بدون‌سرنشین نیازمند قابلیت پردازش و تحویل داده‌های ارسالی با کمترین تاخیر ممکن است. این موضوع سبب می‌شود که نیاز به توان پردازشی با کارایی بالا در لبه شبکه اهمیت ویژه‌ای پیدا کند. پردازش کوانتومی می‌تواند پاسخی به این نیاز باشد.

تخصیص متغیر منابع رادیویی

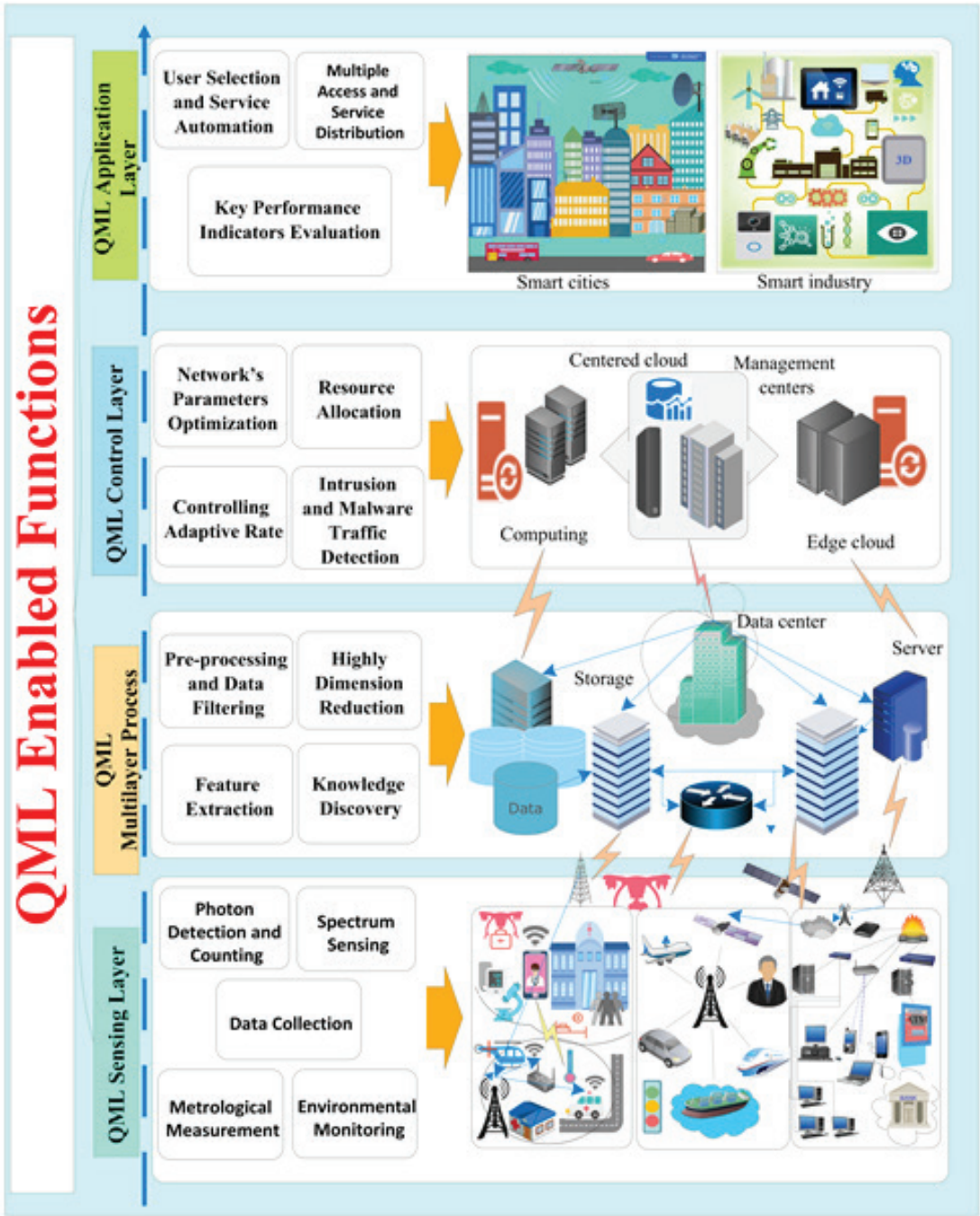
به‌منظور تضمین کیفیت سرویس درخواستی متغیر کاربران مختلف، تخصیص منابع رادیویی به کاربران نیز باید انعطاف‌پذیر باشد. پهنای‌باند و توان ارسال داده به کاربران می‌تواند همزمان تغییر نماید. چالش دیگر تحقق 6G تضعیف سریع و افت توان در حین انتشار سیگنال 6G است که پیاده‌سازی آن را دشوار می‌نماید. هنگام ورود کاربر به ساختمان‌ها و فضاهای سرپوشیده توان سیگنال دریافتی به صورت خودکار کاهش خواهد یافت و باید الگوریتم‌های کوانتومی دقیق، سریع و قابل اطمینان برای توزیع پویا و متغیر منابع در دسترس شبکه 6G ایجاد نمود.

امنیت پساکوانتومی

استاندارد کنونی 5G مبتنی بر الگوریتم‌های رمزنگاری سنتی است که بسیاری از آن‌ها در حضور پردازش کوانتومی بی‌اعتبار خواهند بود. در شبکه 6G، گذر به لبه و زیرساخت ابری هم‌چنان باقی خواهد بود ولی پیش‌بینی می‌شود که حضور پردازش کوانتومی اندکی بیشتر به طول بینجامد، لیکن سیستم بایستی قادر به استفاده از الگوریتم‌های رمزنگاری باشد که بتوانند در برابر پردازش کوانتومی مقاوم باشند. البته الگوریتم‌های رمزنگاری متقارن پیشرفته در شرایط حضور پردازش کوانتومی نیز می‌توانند مقاوم باشند. علاوه‌بر آن فناوری‌های دیگری از قبیل تصادفی‌سازی ضرایب انتقال MIMO و احراز هویت لایه فیزیکی مانند اثر انگشت سیگنال رادیویی[۳۵] نیز می‌توانند در 6G به‌کار گرفته شوند. امنیت در حضور پردازنده‌های کوانتومی و در یک شبکه بسیار فشرده با تعداد بسیار زیاد کاربران 6G شکلی متفاوت به‌خود خواهد گرفت. حرکت از ساختار اشیای متصل در 5G URLLC به سمت هوش متصل[۳۶] در 6G به جهت حضور حجم عظیمی از داده‌های

35- RF Fingerprinting
36- Connected intelligence

HAMRAH-E-AVAL



شکل ۲- توابعی که با استفاده از QML در 6G قابل تحقق خواهند بود. [۴]

خصوصـــی کاربران، نیازمند تبادل داده بســـیار امن در شـــبکه توزیع‌شده خواهد بود [۷].

در ارزیابی ریســـک‌های امنیت ســـایبری، CRQC[۳۷]ها نه صرفا به‌عنوان یک بردار حمله جدید به شـــکل افزایش توان پردازشی، بلکه به‌عنوان یک بردار حمله جدید به شـــکل "امروز ذخیره کن و بعد رمزگشایی کن" می‌توانند مطرح باشند. هرچند که حضور کامپیوترهای کوانتومی چارچوب ارزیابی ریسک را تغییر نمی‌دهد، لیکن بایستی با دقت بررسی نمود که چشم‌انداز ریسک چگونه با حضور آن‌ها تغییر خواهد کرد. رویه‌های رایج در چارچوب ارزیابی ریسک از قبیل شناسایی اموال و دارایی‌های رمزنگاری، شناسایی تهدیدات، محاسبه کمی و کیفی تاثیر آن‌ها، انتخاب رویه کنترل امنیتی و پایش آن و انطباق با قوانین رگولاتوری در صنایع مربوطه؛ همگی بایستی بر اساس قابلیت‌های CRQCها بازبینی و تنظیم شـــوند. یک QCRA[۳۸] یک رویه ارزیابی ریسک است که صرفاً بر

37- Cryptographically Relevant Quantum Computer

38- Quantum Cryptanalytic Risk Assessment

شناسایی و اولویت‌بندی تهدیدات و آسیب‌پذیری‌هایی که توسط CRQCها ایجاد شده‌اند تمرکز دارد. در این بین هر رویه QCRA می‌بایست شامل ارزیابی کامل چشم‌انداز تهدیدات CRQCها، بررسی و تهیه یک لیست از دارایی‌های موجود و محافظت رمزنگاری اختصاصی آن‌ها، تدوین یک استراتژی برای کنترل‌های مقاوم در برابر پردازش کوانتومی، یک روش‌شناسی برای اولویت‌بندی تهدیدات، قابلیت تکرار ارزیابی‌ها با ارتقای استانداردهای رمزنگاری مقاوم در برابر پردازش کوانتومی و یک برنامه مشخص برای مانیتور کردن چشم‌انداز تهدید و پیاده‌سازی آن باشد. روش اولویت‌بندی بایستی مبتنی بر حساسیت داده‌ها، مدت زمان محرمانه بودن یک داده و امکان‌پذیری عملیاتی مساله باشد [۸].

بهینه‌سازی سیستم‌های مخابراتی در 6G

یادگیری ماشین و هوش مصنوعی باید برای بهینه‌سازی کاربردهای متنوعی در 6G که راه‌حل‌هایی با دشواری از مرتبه NP-complete دارند به‌کار گرفته شوند. به همین جهت استفاده از پردازش کوانتومی برای حل چنین مسائل بهینه‌سازی می‌تواند اهمیت ویژه‌ای داشته باشد زیرا به‌کارگیری آن می‌تواند منجر به حل مسائل NP-Hard در زمانی خطی شود، چیزی که با سیستم‌های پردازشی کنونی عملاً قابل دست‌یابی نخواهد بود.

استانداردسازی و ابعاد رگولاتوری

دستورالعمل‌ها و قوانین رگولاتوری جهانی موردنیاز خواهند بود تا بتوان فرصت‌ها و خطرات استفاده از پردازش کوانتومی را شناسایی و مدیریت کرد و کلیه ذینفعان را وادار به استفاده از این فناوری در راستای حمایت از منافع نوع بشر نمود.

نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی پردازش کوانتومی و کاربردهای آن در تحقق 6G و شبکه‌های مخابرات سلولی پرداختیم. دیدیم که تضمین کیفیت سرویس در ابعاد مختلف با توسعه تعداد کاربران متصل به شبکه که نیازمندی‌های متفاوتی دارند، نیازمند حل مسائل بهینه‌سازی پیچیده‌ای است که اغلب آن‌ها چنانچه با مدل‌های بهینه‌سازی کلاسیک مدل‌سازی شوند بسیار پیچیده بوده و پیچیدگی حل آن‌ها از مرتبه توانی بالایی است که در زمان مدنظر ما قابل انجام نخواهد بود. QML به‌صورت کلی می‌تواند برای دایره گسترده‌ای از کاربردها در 6G به کار گرفته شود که تخمین مشترک کانال ارسال/دریافت در جهت UpLink، تخصیص پویای منابع در دسترس به کاربران به تناسب نیاز ایشان، مکان‌یابی درون‌ساختمانی، تحلیل داده‌های

عظیم 6G، ردگیری به‌هنگام رفتار مشتریان و مسیریابی دقیق داده‌ها ضمن تضمین پارامترهای کیفیت سرویس موردانتظار از 6G صرفاً برخی از کاربردهای قابل تصور هستند. همچنین دیده شـــد که امنیت اکثریت الگوریتم‌های نامتقارن کنونی با حضور QML نقض شـــده و به همین جهـــت الگوریتم‌های رمزنگاری پســـاکوانتومی جدیدی که بتوانند در برابر پردازش کوانتومی مقاوم باشند می‌بایســـت تدوین و ارائه گردند. نکته مهم دیگر قوانین رگولاتوری و استفاده اخلاقی از این فناوری است که به منظور حفظ حریم خصوصی کاربران و تضمین استفاده اخلاقی از این فناوری می‌بایست توسط ســـازمان‌های مربوطه تدوین و تصویب گردند. در مجموع با توجه به پیچیدگی‌های عملکردی 6G استفاده از پردازش کوانتومی در آن اجتناب ناپذیر می‌نماید و این امر سبب می‌شود که امیدوار باشـــیم نسخه‌های تجاری پردازنده‌های کوانتومی بتوانند در مدتـــی کوتاه به بازار عرضه شوند.

منابع:

[1] S. M, "Machine learning and quantum computing for 5G/6G communication networks - A survey," International Journal of Intelligent Networks , Vol 3, p.197-203, 2022.

[2] L. C. Y. S. a. E. Wei Luo, "Recent progress in quantum photonic chips for quantum communication and internet," light: science & applications (A Nature Magazine) , Vol 12, Issue 175, 2024.

[3] S. J. Nawaz, S. K. Sharma, S. Wyne, M. N. Patwary و M. Asaduzzaman, "Quantum Machine Learning for 6G Communication Networks: State-of-the-Art and Vision for the Future," IEEE Access, Vol. 7, pp. 46317 - 46350, 2019.

[4] A. Farouk, N. A. Abuali و S. Mumtaz, "Quantum-Computing-Based Channel and Signal Modeling for 6G Wireless Systems," IEEE Communications Magazine, Vol. 62, Issue 2 pp. 64 - 70, 2024.

[5] F. Phillipson, "Quantum Computing in Telecommunication—A Survey," Mathematics by MDPI, Vol. 11, pp. 1-18, 2023.

[6] A. F. M. A. U. H. J. Fakhar Zaman, "Quantum Machine Intelligence for 6G URLLC," IEEE Wireless Communications, Vo. 30, No. 2, pp. 22-30, 2023.

[7] F. Zaman, S. N. Paing, A. Farooq, H. Shin و M. Z. Win, "Concealed Quantum Telecomputation for Anonymous 6G URLLC Networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 41, No. 7 pp. 2278-2296, 2023

[8] E. a. Yolanda Sanz, "Guidelines for Quantum Risk Management for Telco," GSM Association, London, 22 September 2023.