

CÔNG NGHỆ LƯỢNG TỬ: Xu hướng công nghệ mới nổi mang tầm chiến lược toàn cầu

Nguyễn Hoàng Nam

Thành viên Chương trình Thủ lĩnh thanh niên Đông Nam Á (SEAYLP)

“

Ngày nay, nhiều quốc gia trên thế giới đang xây dựng các chính sách tập trung vào đổi mới và phát triển công nghệ lượng tử. Theo đó, ứng dụng công nghệ lượng tử được chia thành ba nhóm chính: Nhóm điện toán (máy tính lượng tử), nhóm truyền thông (mạng lượng tử), nhóm cảm biến (cảm biến lượng tử).

”

Các khía cạnh ứng dụng của công nghệ lượng tử

So với máy tính truyền thống, máy tính lượng tử (Quantum computing) giúp lưu trữ và xử lý khối lượng dữ liệu khổng lồ hiệu quả hơn. Về lợi ích, máy tính lượng tử cho phép máy tính xử lý thông tin ở nhiều trạng thái cùng một lúc. Theo Cơ quan Nghiên cứu và

Phát triển quốc gia Nhật Bản (RIKEN), máy tính lượng tử ngày càng được sử dụng nhiều để tính toán dữ liệu trong nhiều lĩnh vực [1].

Truyền thông lượng tử hay mạng lượng tử (Quantum communication) là mạng lưới truyền thông hoạt động dựa trên các nguyên tắc của cơ học lượng tử, đặc biệt là cơ chế chồng chập lượng tử (Quantum



Máy tính lượng tử mang lại khả năng tính toán nhanh hơn, bảo mật mạnh mẽ hơn và cảm biến siêu chính xác. Ảnh: ST.

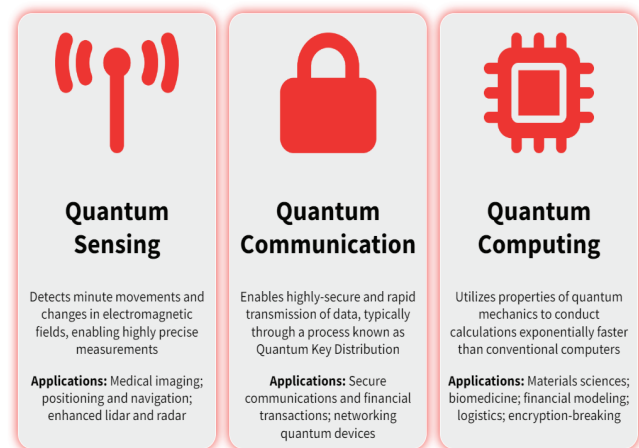
superposition) và vướng víu lượng tử (Quantum entanglement). Khác với máy tính lượng tử, mạng lượng tử hướng đến việc truyền tải thông tin lượng tử (qubit) qua nhiều kênh khác nhau, chẳng hạn như đường truyền cáp quang hoặc truyền thông không gian tự do. Theo Trung tâm Năng lực không quân liên hợp NATO (JAPCC), dữ liệu lượng tử của một qubit không thể bị sao chép [2]. Qua đó, cung cấp các ứng dụng bảo mật cao với chức năng ngăn chặn việc nghe lén trong lĩnh vực công nghiệp quốc phòng - an ninh và hàng không - vũ trụ.

Ngày nay, mạng lượng tử được ứng dụng thực tế trong việc tạo ra các mật mã lượng tử hay phân phối khóa lượng tử (QKD). Lợi ích của QKD so với mã hóa bất đối xứng thông thường (còn gọi là mật mã khóa công khai) là bất kỳ hành vi chặn hoặc nghe lén nào cũng sẽ bị phát hiện ngay lập tức. QKD hiện đã có sẵn trên thị trường để sử dụng với cáp quang và nhiều dịch vụ QKD không gian tự do thương mại sẽ được triển khai trong những năm tới. Các chuyên gia của JAPCC lưu ý rằng, QKD thường được mô tả là không thể bị truy cập bất hợp pháp (hack). Tuy nhiên, điều này chỉ đúng với các hoạt động truyền thông tin lượng tử được triển khai đúng cách. Trên thực tế, các điểm cuối được điều khiển bởi máy tính truyền thống vẫn là mục tiêu cho các hoạt động tấn công mạng.

Theo Cơ quan an ninh mạng quốc gia Anh (NCSC), mạng thông tin lượng tử (Quantum Information Network - QIN) hay Internet lượng tử cung cấp các dịch vụ đồng bộ hóa có độ chính xác và tính bảo mật cao dựa trên thiết bị cảm biến lượng tử được kết nối mạng, chẳng hạn như bộ nhận dạng an toàn hay xác minh vị trí thông qua điện toán lượng tử phân tán. Nghiên cứu gần đây của NCSC cho thấy, rào cản lớn nhất đối với việc triển khai QIN là nhu cầu về bộ nhớ lượng tử để lưu trữ thông tin lượng tử nhằm đồng bộ hóa và phân phối trên một mạng lưới với nhiều nút trung gian [3]. Trong đó, NCSC thiết lập lộ trình 3 giai đoạn trong tài liệu hướng dẫn chi tiết để hỗ trợ các tổ chức áp dụng các kỹ thuật mã hóa chống lượng tử vào năm 2035. Cụ thể, giai đoạn 1 đến năm 2028, xác định các dịch vụ mật mã cần nâng cấp và xây dựng kế hoạch chuyển đổi; giai đoạn 2 từ năm 2028 đến năm 2031, thực hiện các nâng cấp ưu tiên cao và tinh chỉnh

kế hoạch khi mật mã hậu lượng tử (PQC) phát triển; giai đoạn 3 từ năm 2031 đến năm 2035, hoàn tất quá trình chuyển đổi sang PQC cho các hệ thống, dịch vụ và sản phẩm [4].

Three Key Types of Quantum Technologies



 ChinaPower

Theo Trung tâm nghiên cứu chiến lược và quốc tế (CSIS) thuộc Dự án Năng lượng Trung Quốc, công nghệ lượng tử có thể được chia thành ba lĩnh vực chính: Cảm biến, truyền thông và điện toán. Ảnh: TG.

Cảm biến lượng tử (Quantum Sensing) là công nghệ lượng tử phát triển nhất với mức độ sẵn sàng công nghệ (TRL) trung bình cao nhất. Cảm biến lượng tử là các thiết bị sử dụng các nguyên lý của cơ học lượng tử để đo lường các đại lượng vật lý như từ trường hoặc điện trường, gradient trọng lực, vòng quay gia tốc và thời gian. Hiện nay, nhiều trung tâm nghiên cứu triển khai các phép đo thời gian được cải tiến sử dụng cho các đồng hồ tính toán, dẫn đường quán tính lượng tử, hỗ trợ hoạt động thám hiểm dưới lòng đất và đáy biển, liên lạc tần số vô tuyến hiệu quả hơn trong các ứng dụng quân sự yêu cầu giải pháp di động hoặc cảm tay có kích thước, trọng lượng và công suất (SWaP) thấp. Tuy vậy, hiệu quả của các cảm biến được áp dụng vẫn còn nhiều nghi ngờ. Các nhà khoa học đang tìm cách cải thiện độ phân giải không gian của cảm biến lượng tử. Tiêu biểu như việc phát hiện tàu ngầm từ không gian có thể khả thi, nhưng việc sử dụng cảm biến lượng tử với độ chính xác tuyệt đối là không thể vì độ phân giải không gian đủ sẽ dẫn đến độ nhạy không đủ.

Về lâu dài, công nghệ lượng tử hứa hẹn mang lại nhiều ứng dụng rộng rãi, từ điện toán, truyền thông đến cảm biến. Mặc dù các nguyên lý đã được chứng minh là thành công trong phòng thí nghiệm, việc chuyển đổi từ phòng thí nghiệm sang ứng dụng thực tế vẫn đang trong quá trình hoàn thiện. Các yêu cầu như SWaP thấp, tính di động và chi phí vẫn là những yếu tố hạn chế đáng kể [2]. Theo Trung tâm nghiên cứu khoa học thông tin lượng tử (QIS) quốc gia của Bộ Năng lượng Mỹ (DOE), tương lai của công nghệ lượng tử còn nhiều tiềm năng nhưng cũng đầy bất định [5]. Các cơ quan, doanh nghiệp vẫn đang háo hức khám phá những khả năng mà công nghệ lượng tử mang lại.

Phát triển công nghệ lượng tử trong bối cảnh an ninh toàn cầu

Ngành công nghiệp lượng tử đã trải qua hai cuộc cách mạng. Cuộc cách mạng thứ nhất (cách mạng lượng tử 1.0) khám phá và ứng dụng các nguyên lý cơ bản của cơ học lượng tử trong nửa đầu thế kỷ XX. Trong đó, xoay quanh việc con người bắt đầu hiểu và kiểm soát được các hiện tượng lượng tử, đặc biệt là hành vi của các hạt ở cấp độ nguyên tử và hạ nguyên tử, bao gồm: phân hạch hạt nhân, laser, chất bán dẫn, v.v. Khác với cuộc cách mạng thứ nhất chỉ khai thác các hiệu ứng lượng tử cơ bản, cuộc cách mạng lần thứ hai (cách mạng lượng tử 2.0) khai thác hành vi của các hệ lượng tử riêng lẻ như nguyên tử, phân tử, hạt nhân, bán hạt, v.v đi sâu vào việc điều khiển các hệ thống lượng tử phức tạp, tập trung vào việc kiểm soát và thao tác các trạng thái lượng tử của vật chất, ánh sáng, góp phần nâng cao khả năng cảm biến, truyền thông và tính toán.

Báo cáo chuyên đề về máy tính lượng tử trong hàng không - vũ trụ và quốc phòng - an ninh của GlobalData cho thấy, có 3 phương pháp chính được sử dụng trong quốc phòng: Máy tính lượng tử (xử lý lượng lớn dữ liệu nhanh hơn và chính xác hơn máy tính truyền thống); cảm biến lượng tử (phát hiện tàu ngầm hoặc mìn của đối phương); truyền thông lượng tử (kênh truyền thông an toàn được bảo vệ khỏi các thiết bị nghe lén).



Hội nghị thượng đỉnh lượng tử lần thứ 7 năm 2024 tại Đại học Chicago (Mỹ). Ảnh: ST.

Tháng 2/2021, các Bộ trưởng quốc phòng của các quốc gia thuộc Tổ chức Hiệp ước Bắc Đại Tây Dương (NATO) đã thông qua Chiến lược công nghệ mới nổi và đột phá (EDT) nhằm thúc đẩy cách tiếp cận thống nhất trong việc phát triển và áp dụng các công nghệ sử dụng kép, trong đó công nghệ lượng tử là 1 trong 9 lĩnh vực công nghệ được thúc đẩy trong chiến lược. Đến tháng 6/2021, tại Hội nghị thượng đỉnh NATO, các nhà lãnh đạo của các nước thuộc khối này đã ra mắt Chương trình tăng tốc đổi mới quốc phòng cho Bắc Đại Tây Dương (DIANA).

Tại Liên minh châu Âu (EU), nội dung chương trình làm việc với các cơ quan của Ủy ban châu Âu (EC) tại Brussels (Bỉ) ngày 19/4/2023 đã khẳng định, công nghệ lượng tử là “công nghệ mới nổi có tầm quan trọng chiến lược toàn cầu”. Tại Trung Quốc, Chính phủ nước này đã ban hành Kế hoạch đầu tư quốc gia 5 năm vào các trung tâm nghiên cứu lượng tử của Bộ quốc phòng. Năm 2024, Cục Phát triển trang thiết bị của quân đội Trung Quốc đã tiến hành tài trợ cho các dự án cảm biến lượng tử theo chương trình nghiên cứu và phát triển (R&D) quốc phòng, đồng thời ưu tiên phát triển công nghệ lượng tử thành một tiền tuyến an ninh và phát triển quốc gia [6].

Tại Việt Nam, ngày 25/8/2025, Bộ Tài chính đã tổ chức Lễ công bố thành lập 3 mạng lưới Đổi mới sáng tạo và chuyên gia trong các ngành công nghệ chiến lược. Sự kiện thể hiện cam kết của Chính phủ Việt Nam trong việc thúc đẩy khoa học và công nghệ, tạo đà phát triển đổi mới sáng tạo đến năm 2030 theo định hướng của Quyết định số 569/QĐ-TTg ngày 11/5/2022



Công nghệ lượng tử đang đặt ra vấn đề an ninh quốc gia cấp bách.
Ảnh: ST.

của Thủ tướng Chính phủ về Chiến lược phát triển khoa học, công nghệ và đổi mới sáng tạo đến năm 2030 [7]. Cụ thể, 3 mạng lưới ra mắt bao gồm: Mạng lưới lượng tử (VNQuantum), tập trung vào lĩnh vực điện toán và công nghệ lượng tử tiên tiến; mạng lưới an ninh mạng (ViSecurity), đóng vai trò thiết yếu trong việc bảo vệ không gian mạng quốc gia trước những mối đe dọa ngày càng tinh vi; mạng lưới hàng không, vũ trụ, thiết bị bay không người lái (UAV Việt Nam)

là nơi quy tụ các chuyên gia để phát triển công nghệ UAV và các ứng dụng hàng không vũ trụ. Việc thành lập các mạng lưới này nhằm kết nối nguồn lực, tri thức chuyên môn giữa các nhà khoa học, doanh nghiệp và cơ quan quản lý, qua đó thúc đẩy nghiên cứu, ứng dụng và thương mại hóa các công nghệ chiến lược, góp phần nâng cao năng lực cạnh tranh quốc gia và tạo ra những đột phá trong kỷ nguyên số.

Tuy nhiên, ngành công nghiệp lượng tử hiện đang đối mặt với không ít thách thức. Theo TS David Collingridge - Tổng biên tập của The “Lancet Oncology”, công tác sản xuất công nghệ lượng tử đang rơi vào tình thế tiến thoái lưỡng nan: (1) Tác động không thể dễ dàng dự đoán cho đến khi công nghệ được phát triển và sử dụng rộng rãi, (2) việc kiểm soát hoặc thay đổi trở nên khó khăn khi công nghệ đã trở nên cố hữu. Báo cáo của EC về đánh giá tác động của công nghệ lượng tử gần đây cho thấy, hầu hết các dự án phát triển công nghệ lượng tử đang bị đánh giá ở TRL thấp, do đó, rất khó dự đoán chính xác hiệu suất, khả năng thực tế, tính khả thi của các ứng dụng và mốc thời gian triển khai cụ thể [8]

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] The RIKEN Center for Quantum Computing (2023), “Annual report”, <https://rqc.riken.jp/pdf/annual-report/2023.pdf>, truy cập ngày 01/09/2025.
- [2] K. Michal, D. Denis (2023), “Quantum technology for defence: What to expect for the air and space domains”, *Joint Air Power Competence Centre in Journal Edition 35 (Transformation & Capabilities)*, pp.39-46.
- [3] Cyber Security Professionals (2025), “Quantum networking technologies”, *National Cyber Security Centre*, <https://www.ncsc.gov.uk/pdfs/whitepaper/quantum-networking-technologies.pdf>, truy cập ngày 01/09/2025.
- [4] R. Anna (2025), “UK NCSC guidance focuses on quantum-resistant encryption to protect critical sectors by 2035”, <https://industrialcyber.co/regulation-standards-and-compliance/uk-ncsc-guidance-focuses-on-quantum-resistant-encryption-to-protect-critical-sectors-by-2035/>, truy cập ngày 01/09/2025.
- [5] J. Katie (2022), “Quantum information science initiative bridges fundamental discoveries to future technologies”, *U.S. Department of Energy*, <https://www.energy.gov/science/articles/quantum-information-science-initiative-bridges-fundamental-discoveries-future>, truy cập ngày 01/09/2025.
- [6] I. Marin (2024), “China’s quantum computing and quantum technology Initiatives”, <https://postquantum.com/quantum-computing/china-quantum/#quantum-computing-chinas-current-advancements>, truy cập ngày 01/09/2025.
- [7] Thủ tướng Chính phủ (2022), *Quyết định số 569/QĐ-TTg về ban hành Chiến lược phát triển khoa học, công nghệ và đổi mới sáng tạo đến năm 2030*.
- [8] The Quantum Delta Netherlands Growth Fund & The Centre for Quantum and Society (2023), *Exploratory Quantum Technology Assessment: Direct The Impact of Quantum Technology*, Ester Schop, 103pp.