

BẢN TIN CHIẾN LƯỢC PHÁT TRIỂN



KHOA HỌC



CÔNG NGHỆ



KINH TẾ

Số 12

2022

(BẢN TIN CHỌN LỌC PHỤC VỤ LÃNH ĐẠO)

XU HƯỚNG KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ 2020 - 2040



BỘ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ
CỤC THÔNG TIN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ QUỐC GIA

CỤC THÔNG TIN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ QUỐC GIA

Địa chỉ: 24, Lý Thường Kiệt, Hoàn Kiếm, Hà Nội.

Tel: (024)38262718, Fax: (024)39349127

BAN BIÊN TẬP

TS. Trần Đắc Hiến (*Trưởng ban*); ThS. Trần Thị Thu Hà (*Phó Trưởng ban*);

KS. Nguyễn Mạnh Quân; ThS. Nguyễn Lê Hằng; ThS. Phùng Anh Tiến.

MỤC LỤC

XU HƯỚNG KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ 2020 - 2040

Giới thiệu	1
1. Phát triển khoa học và công nghệ	1
2. Các công nghệ đột phá	5
3. Các công nghệ mới nổi	11
4. Sự hội tụ, phụ thuộc lẫn nhau và hợp lực	14
Kết luận	16

XU HƯỚNG KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ 2020 - 2040

Giới thiệu

Những đặc điểm của công nghệ hiện đại là động lực thúc đẩy sự phát triển hiện tại và cuộc cách mạng về dữ liệu, trí tuệ nhân tạo (AI), hệ thống tự trị, không gian, lượng tử, siêu âm, công nghệ sinh học và vật liệu. Báo cáo Xu hướng Khoa học & Công nghệ 2020-2040 đưa ra đánh giá về KH&CN mới nổi hoặc đột phá và tác động tiềm tàng của chúng đối với các hoạt động quân sự, khả năng quốc phòng và không gian quyết định chính trị. Đánh giá này dựa trên những hiểu biết chung của Tổ chức Khoa học & Công nghệ của Liên minh Khối quân sự Bắc Đại Tây dương (NATO), mạng lưới hợp tác của hơn 6000 nhà khoa học, nhà phân tích, nhà nghiên cứu và kỹ sư đang hoạt động và các cơ sở nghiên cứu liên quan.

Mặc dù mục đích của báo cáo định hướng vào lĩnh vực quân sự. Tuy nhiên, những thành tựu KH&CN này cũng sẽ có những tác động lớn đến sự phát triển kinh tế - xã hội nói chung, khi chúng được thương mại hóa phục vụ cho các mục đích dân sự.

Dự đoán xu hướng KH&CN là một công việc khó khăn. Các công nghệ hiếm khi phát triển theo kiểu tuyến tính đơn giản và sự hiệp lực phức tạp giữa các công nghệ mới nổi và đột phá thường quan trọng như chính các công nghệ. Danh sách các công nghệ mới nổi và đột phá cung cấp một nhóm các công nghệ liên quan có khả năng bứt phá công nghệ và sự phát triển của các công nghệ phụ có thể rất khác so với tổng thể.

Hiểu được lý do tại sao các công nghệ này đặt ra một vấn đề hoặc cơ hội, cách chúng dự kiến sẽ thể hiện là một bước khởi đầu tuyệt vời và sẽ đảm bảo duy trì lợi thế công nghệ.

1. Phát triển khoa học và công nghệ

1.1. Bối cảnh KH&CN

Phạm vi rộng lớn của công nghệ trong cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư (dữ liệu, xử lý, kết nối, AI, robot, khoa học sinh học, tự trị, ...) đang thay đổi cách chúng ta sống, làm việc và vui chơi, giờ đây sẽ biến đổi cách thức tiến hành chiến tranh - trong một quá trình kéo dài ít nhất một thế hệ ... Các yếu tố chung liên kết các công nghệ này là chúng đều được định hình theo một cách nào đó hoặc hình thành thông minh, kết nối với nhau, phân tán và kỹ thuật số về bản chất.

Cụ thể hơn, bối cảnh KH&CN trong tương lai sẽ được đặc trưng (đồng thời thúc đẩy) bởi những điểm sau:

- *Thông minh*: Trí tuệ nhân tạo tích hợp và toàn diện, khả năng phân tích và quyết định trên toàn bộ phổ công nghệ.
- Tự trị: Các hệ thống tự trị được hỗ trợ AI có khả năng tự đưa ra quyết định ở một số cấp độ. Các hệ thống tự trị như vậy có thể dựa trên robot, dựa trên nền tảng

hoặc dựa trên tác nhân (kỹ thuật số).

- Trí tuệ nhân văn: Sự tích hợp liên mạch của các hệ thống tâm lý - xã hội - công nghệ hỗ trợ nâng cao khả năng hợp tác giữa người và máy và các hành vi hiệp đồng.
- Phân tích kiến thức: Các phương pháp phân tích nâng cao (bao gồm cả AI) khám phá các tập dữ liệu lớn và toán học nâng cao để cung cấp thông tin chi tiết, kiến thức và lời khuyên cho đến nay không thực tế.
- *Kết nối*: Khai thác mạng (hoặc lưới) của các miền thực và ảo chồng chéo, bao gồm các cảm biến, tổ chức, tổ chức, cá nhân, tác nhân tự trị và quy trình.
- Liên lạc tin cậy: Việc sử dụng các công nghệ như công nghệ sổ cái phân tán (ví dụ: blockchain), phân tán khóa lượng tử (QKD), mật mã hậu lượng tử và tác nhân mạng AI để đảm bảo các tương tác và trao đổi thông tin đáng tin cậy.
- Hệ thống kết năng (Synergistic Systems): Sự phát triển của các hệ thống phức hợp hỗn hợp (vật lý hoặc ảo) cho phép tạo ra các hệ sinh thái mới (ví dụ: thành phố thông minh).
- *Phân tán*: Cảm biến, lưu trữ, tính toán, ra quyết định, nghiên cứu và phát triển trên quy mô lớn được phi tập trung và phổ biến.
- Điện toán phân tán (Edge Computing): Nhúng lưu trữ, tính toán và phân tích / AI vào các tác nhân và đối tượng gần với nguồn thông tin.
- Cảm biến phổ cập: Nhúng các cảm biến thấp (hoặc chi phí thấp hơn) để tạo ra các mạng cảm biến lớn trên các lĩnh vực thông tin-vật lý-con người.
- Sản xuất phi tập trung: Khai thác thiết kế có sự hỗ trợ của AI, vật liệu mới và (vật liệu hỗn hợp) công nghệ in 3D/4D, để hỗ trợ sản xuất và chế tạo kỹ thuật số địa phương kịp thời.
- KH&CN được dân chủ hóa: Giảm chi phí thiết kế và sản xuất, tăng khả năng tính toán và sự sẵn có rộng rãi của thông tin KH&CN sẽ làm tăng sự đổi mới và thể hệ khoa học mới.
- *Kỹ thuật số*: Sự kết hợp của các lĩnh vực con người, vật lý và thông tin để tạo ra những thực thể sinh lý, tâm lý, xã hội và văn hóa mới.
- Song sinh kỹ thuật số (Digital Twin): Một mô phỏng kỹ thuật số của các thực thể vật lý, sinh học hoặc thông tin được liên kết kỹ thuật số (thường trong thời gian thực) với bản gốc, hỗ trợ phân tích dự đoán, thử nghiệm và đánh giá.
- Hiện thực tổng hợp: Sự tạo ra các thực tại nhận thức hoặc vật chất mới dựa trên sự tích hợp của các hệ thống tâm lý - xã hội - kỹ thuật. Thực tế như vậy có thể được tăng cường, ảo, xã hội hoặc văn hóa trong tự nhiên.

1.2. Quá trình hoàn chỉnh của công nghệ

Sự phát triển công nghệ mang tính chu kỳ rõ rệt ở nhiều cấp độ. Chu kỳ nổi tiếng nhất trong số này là Chu kỳ Hype Gartner dựa trên công trình của Howard Fosdick về xã hội học áp dụng công nghệ.

Công nghệ không phải lúc nào cũng tiến triển từ đầu đến cuối của một chu kỳ như vậy; thực sự phần lớn các công nghệ đều thất bại. Nhiều con đường khám phá khoa học hoặc công nghệ không bao giờ có tính đột phá để khơi dậy sự đổi mới, hoặc chúng biến mất khỏi ý thức cộng đồng sau sự nhiệt tình ban đầu như những con đường phát triển không hiệu quả, hoặc chúng có thể xuất hiện sau đó khi những phát triển hội tụ mới làm sống lại một ý tưởng cũ. Cuối cùng, ngay cả những công nghệ thành công cũng có thể xuất hiện trở lại khi những ý tưởng mới lại tạo ra kích hoạt đổi mới và các công nghệ cũ được tích hợp vào hệ thống sản. Một quá trình tiến hóa như vậy được xây dựng dựa trên những thất bại oanh liệt hoặc những sai sót trong sáng tạo là điều cần thiết đối với tiến bộ KH&CN, vì những bài học và ý tưởng nảy sinh thường sẽ dẫn đến những lĩnh vực hoàn toàn mới để khám phá, đổi mới và phát triển.

Trong một chu kỳ cường điệu hóa, một công nghệ có xu hướng thành công cuối cùng sẽ trải qua 5 giai đoạn chính:

- **Kích hoạt đổi mới sáng tạo:** Sau một thời gian dài hỗ trợ nghiên cứu, một bước đột phá công nghệ mới tiềm năng bắt đầu cho thấy nhiều hứa hẹn. Kích hoạt đổi mới ban đầu này được xây dựng dựa trên thử nghiệm ban đầu, kết quả là các câu chuyện bằng chứng về khái niệm và sự quan tâm của giới truyền thông được kích hoạt. "Đốm lửa" này mang lại sự gia tăng công khai và hoạt động tìm kiếm trên internet. Ở giai đoạn này, không có sản phẩm nào tồn tại và khả năng thương mại vẫn chưa được chứng minh.

- **Đỉnh điểm của kỳ vọng bị lạm phát:** Việc công khai sớm tạo ra nhiều câu chuyện thành công - thường đi kèm với nhiều thất bại. Mức độ quan tâm (ví dụ như được đo bằng các tìm kiếm trên web) đang ở mức cao nhất mọi thời đại. Một số công ty đổi mới thực hiện hành động; nhiều công ty không tiếp tục.

- **Thất vọng tột cùng:** Những hạn chế của công nghệ trở nên rõ ràng, và một số nỗ lực triển khai không mang lại kết quả hữu ích. Kết quả là, sự quan tâm chung giảm xuống và những chuyện tiêu cực trở nên thường xuyên hơn, mặc dù chúng có thể quá bi quan. Cuối cùng, một số nhà phát triển và nhà sản xuất chuyển sang các lĩnh vực khác hoặc thất bại hoàn toàn. Sự phân nhánh xảy ra vào thời điểm này, khi đầu tư và sự phát triển tiếp tục chỉ xảy ra nếu tiến bộ liên tục có thể được thể hiện thông qua việc cải tiến công nghệ cơ bản, phát triển hiểu biết tốt hơn về nơi công nghệ này được áp dụng nhiều nhất hoặc sự hội tụ của các công nghệ hoặc nhu cầu khác. Nếu điều này không xảy ra, công nghệ cuối cùng sẽ được coi là không hiệu quả và biến mất hoàn toàn khỏi sự cân nhắc, hoặc quay trở lại điểm ban đầu để chờ đợi những phát triển tiếp theo, sự hội tụ công nghệ hoặc hoàn cảnh thay đổi.

- **Gia tăng giác ngộ (tiếp tục phát triển):** Với sự hiểu biết tốt hơn về thực tế và nơi nó có thể được áp dụng tốt nhất, tiềm năng bắt đầu kết tinh và trở nên được hiểu và đánh giá cao hơn. Các sản phẩm thế hệ tiếp theo xuất hiện và sự chú ý tích cực bắt đầu tăng lên với ngày càng nhiều các sản phẩm thử nghiệm và thử nghiệm thành công. Tuy nhiên, một số công ty vẫn thận trọng.

- **Mặt bằng hiệu suất:** Việc áp dụng chính thống xảy ra. Với sự hiểu biết tốt hơn về giá

trị, khả năng ứng dụng và những hạn chế, công nghệ này đã tìm thấy thị trường của mình. Các vấn đề và ý tưởng mới vẫn có thể nảy sinh, có khả năng khởi động một chu kỳ mới. Còn không, công nghệ trở nên tích hợp tốt vào bối cảnh công nghệ đến mức việc sử dụng nó trở thành phổ biến cho đến khi nó được thay thế bởi một tiến bộ công nghệ mới.

Cân bằng giữa mức cao của kỳ vọng và mức đầy thất vọng là một nhiệm vụ quan trọng trong việc đưa ra các quyết định đầu tư và khả năng dài hạn. Chu trình Hype Gartner rất hữu ích cho mục đích này. Tuy nhiên, trong khi cách tiếp cận này được biết đến nhiều, vẫn có những sai sót đáng chú ý trong việc sử dụng nó như một công cụ đánh giá và quyết định.

Mức độ sẵn sàng của công nghệ

Nhìn chung, KH&CN thành công tiến hành theo một lộ trình phát triển được nắm bắt trong việc sử dụng các mức độ sẵn sàng của công nghệ (TRL), do Cơ quan Hàng không Vũ trụ Hoa Kỳ (NASA) phát triển ban đầu, với mỗi bước là một mức cao hơn hoặc tạm dừng tiềm năng cho công nghệ cụ thể đó. Các cấp độ này cung cấp một cách hữu ích để giải thích mức độ trưởng thành của công nghệ và do đó, được sử dụng rộng rãi trong ngành công nghiệp và chính phủ.

Bảng 1. Mức độ sẵn sàng về công nghệ.

Cấp	Mức độ hoàn chỉnh công nghệ
TRL 9	Hệ thống thực tế đã được chứng minh thông qua các hoạt động nhiệm vụ thành công.
TRL 8	Hệ thống thực tế đã hoàn thành và đạt tiêu chuẩn thông qua thử nghiệm và trình diễn.
TRL 7	Trình diễn nguyên mẫu hệ thống trong môi trường không gian.
TRL 6	Mô hình hệ thống / hệ thống con hoặc trình diễn nguyên mẫu trong môi trường có liên quan.
TRL 5	Xác nhận thành phần và / hoặc bảng mạch thử nghiệm (breadboard) trong môi trường liên quan.
TRL 4	Xác nhận thành phần và / hoặc bảng mạch thử nghiệm (breadboard) trong môi trường phòng thí nghiệm.
TRL 3	Chức năng quan trọng phân tích và thực nghiệm và / hoặc bằng chứng khái niệm đặc trưng.
TRL 2	Khái niệm công nghệ và / hoặc công thức ứng dụng.
TRL 1	Các nguyên tắc cơ bản được quan sát và báo cáo.

Các công nghệ hoặc khoa học cơ bản có thể không thành công trong việc tạo ra các khả năng hoạt động mới hoặc tạm dừng tại bất kỳ thời điểm nào trên con đường dẫn đến TRL 9+ do một số yếu tố, bao gồm tính liên kết hoặc sự phụ thuộc vào các công nghệ khác, chi phí, đạo đức, chính sách hoặc vật lý cơ bản, thông tin hoặc giới hạn của con người. Tuy nhiên, những phát triển không thành công là rất quan trọng trong lĩnh vực KH&CN để cung cấp thông tin và cuối cùng làm phát sinh các cách tiếp cận và công nghệ mới có thể thành công hơn trong việc chuyển từ các nguyên tắc cơ bản sang khả năng hoạt động. Việc đánh giá mức TRL hiện tại chủ yếu thông qua các đánh giá được thực hiện trong các hoạt động theo dõi công nghệ của STO, đánh giá tương lai liên quan và tham khảo một số tính toán TRL có sẵn. Các công nghệ mới nổi thường nằm trong phạm vi TRL từ 1 đến 5.

2. Các công nghệ đột phá

2.1. *Dữ liệu: Dữ liệu lớn và Phân tích nâng cao*

Dữ liệu lớn mô tả dữ liệu thể hiện những thách thức đáng kể về khối lượng, tốc độ, sự đa dạng, tính xác thực và hình ảnh hóa. Sự gia tăng kỹ thuật số hóa, sự gia tăng của các cảm biến mới, các phương thức giao tiếp mới, internet vạn vật và ảo hóa các không gian nhận thức xã hội (ví dụ: mạng xã hội) đã góp phần đáng kể vào sự phát triển của Dữ liệu lớn. Phân tích nâng cao (Dữ liệu) mô tả các phương pháp phân tích nâng cao để hiểu và hình dung khối lượng lớn thông tin. Những kỹ thuật này bao gồm một loạt các phương pháp được rút ra từ các lĩnh vực nghiên cứu về khoa học dữ liệu và quyết định, bao gồm trí tuệ nhân tạo, tối ưu hóa, lập mô hình & mô phỏng (M&S), kỹ thuật yếu tố con người và nghiên cứu vận hành.

Kể từ đầu những năm 1960, thế giới của chúng ta ngày càng trở nên số hóa và ảo. Và trong 20 năm tới, xu hướng này dự kiến sẽ tăng tốc và có tác động bứt phá cơ bản.

BDAA (Dữ liệu lớn và Phân tích nâng cao) là sự phát triển trực tiếp của thế giới ảo và kỹ thuật số ngày càng tăng của chúng ta, và nhu cầu tiếp theo sẽ là hiểu rõ về sự tràn ngập thông tin. Cụ thể, phân tích là quá trình tạo ra sự hiểu biết (ví dụ thông qua phân tích toán học và trực quan) và cung cấp những hiểu biết sâu sắc về trạng thái hệ thống hiện tại (mô tả) hoặc trạng thái hệ thống trong tương lai (dự đoán). Nhà phân tích thường phải đối mặt với việc dữ liệu có những thách thức về khối lượng, tốc độ, sự đa dạng, tính xác thực hoặc trực quan hóa đáng kể.

Một lượng lớn dữ liệu có sẵn trong không gian vật lý, con người hoặc thông tin trong tương lai sẽ cho phép phân tích cung cấp thông tin chi tiết và dự đoán, cung cấp hỗ trợ quyết định theo thời gian thực, đồng thời nêu bật các chỉ báo sớm về thành công và cảnh báo về khủng hoảng. Việc tăng cường sử dụng phân tích dự báo và M&S sẽ cho phép những người ra quyết định vượt qua giới hạn nhận thức của họ trong khi cải thiện khả năng cân nhắc, sự phụ thuộc lẫn nhau, trong quá trình kiểm tra và động lực thời gian. Cuối cùng, điều này sẽ cho phép những người ra quyết định hiểu rõ hơn về tác động tiềm tàng của các quyết định của họ và điều chỉnh kế hoạch cho phù hợp. Nhiều khía cạnh của BDAA đã được phát triển tốt, mặc dù nó đang và sẽ tiếp tục mang tính đột phá cao, một số người đã đặt câu hỏi liệu nó có thực sự là một công nghệ mới nổi vào thời điểm này hay không.

BDAA được hiểu là bao gồm bốn thành phần thiết yếu: (1) thu thập (cảm biến); (2) thông tin liên lạc; (3) phân tích; và, (4) ra quyết định. Các tính chất của chúng được thể hiện bằng 5V (5 chữ đầu của các từ tiếng Anh là: khối lượng (volume), tốc độ (velocity), sự đa dạng (variety), tính trung thực (veracity) and , và trực quan (visualisation)) mô tả thách thức thiết yếu của BDAA: làm thế nào để hiểu được lượng lớn dữ liệu không đồng nhất đến quá nhanh và tính xác thực và độ chính xác có khả năng gây nghi ngờ. BDAA bao gồm các lĩnh vực con người (truyền thông xã hội, tin sinh học, ...), vật lý (cảm biến) và thông tin (mạng, phân tích, ...).

BDAA là một công nghệ nền tảng và như vậy, hiểu được sự phát triển dự kiến của nó là một bước quan trọng để hiểu các EDT khác. Từ góc độ theo dõi công nghệ, BDAA sẽ được kích hoạt bởi sự phát triển của KH&CN trong nhiều lĩnh vực, bao gồm: khai thác chữ ký của con người; mô hình hóa và mô phỏng cho phương tiện truyền thông xã hội; động cơ nhiệt hạch đa cảm biến mô-đun; cung cấp và khám phá các công cụ và dịch vụ M&S trên đám mây điện toán; phân tích hình ảnh; hỗ trợ quyết định và hỗ trợ lập kế hoạch với M&S; các khu vực nhiệm vụ ảo; các công nghệ sổ cái phân tán (ví dụ: blockchain); cảm nhận nhận thức; cảm biến nén; hình ảnh tính toán; học sâu; cảm biến điện trường và từ trường; mạch tích hợp quang tử; kết hợp dữ liệu nguồn cảm biến; hệ thống trung tâm bầy đàn; và viễn thông băng rộng.

Bảng 2.1. Dữ liệu lớn và Phân tích nâng cao (BDAA) 2020-2040.

EDT	Lĩnh vực Công nghệ trọng tâm	Tác động	Sự chú ý	TRL	Tầm nhìn
Dữ liệu	Phân tích nâng cao	Cách mạng	Kỳ vọng	4	2025
	Thông tin Liên lạc	Cao	Sáng sửa	6	2030
	Ra quyết định nâng cao	Cách mạng	Vỡ mộng	6	2025
	Cảm biến	Cao	Kỳ vọng	4	2030

2.2. Trí tuệ nhân tạo

Trí tuệ nhân tạo (AI) đề cập đến khả năng của máy móc thực hiện các tác vụ thường yêu cầu trí thông minh của con người - ví dụ: nhận dạng các mẫu, học hỏi từ kinh nghiệm, rút ra kết luận, đưa ra dự đoán hoặc thực hiện hành động - cho dù là kỹ thuật số hay là phần mềm thông minh đằng sau các hệ thống vật lý tự trị.

AI đã được xác định là thách thức công nghệ lớn nhất, với một số người gọi nó là công nghệ quan trọng nhất từng được phát minh. Trong 20 năm tới, AI được kỳ vọng sẽ đóng vai trò là một lực lượng bứt phá đáng kể thông qua các tác động của nó đối với:

- Khai thác sự gia tăng số hóa và tạo ra sự sẵn có của các bộ dữ liệu (rất) lớn, bao gồm dữ liệu công khai sẵn có để đào tạo và phát triển hệ thống;
- Triển khai và sử dụng rộng rãi trong các hệ thống vật lý mạng;
- Các lĩnh vực ứng dụng mới, được thúc đẩy bởi sự đầu tư nhiều hơn và áp dụng rộng rãi hơn các kỹ thuật AI;
- Ra quyết định và kiểm soát tối ưu (ví dụ: hệ thống điện, đầu tư, ...);
- Tính toán, chẳng hạn như những tiến bộ trong điện toán ở mọi nơi / cạnh, cảm biến phổ biến, thiết kế cơ sở dữ liệu, công cụ phát triển, điện toán đám mây, các phương pháp tiếp cận thuật toán mới và sử dụng AI để khởi động sự phát triển của AI; và,
- Phát triển các công cụ phân tích dữ liệu lớn tiên tiến và tầm nhìn máy tính.

Kể từ khi bắt đầu vào giữa những năm 1950, AI đã trải qua ba chu kỳ phát triển. Giai đoạn ban đầu tập trung vào các phương pháp tiếp cận dựa trên quy tắc (cây quyết định, Boolean và logic mờ), ví dụ như hệ thống chuyên gia. Chu kỳ thứ hai tập trung vào việc phát triển và áp dụng các phương pháp thống kê (tức là học tập có giám sát, không giám sát và tăng cường). Các phương pháp học máy như vậy đã rất thành công và làm nền tảng

cho mọi thứ, từ lọc thư rác trong e-mail đến tìm kiếm web trên internet. Chu kỳ phát triển thứ ba tập trung vào việc sử dụng các phương pháp học tập lấy cảm hứng từ sinh học (mạng lưới thần kinh, học sâu), với thành công đáng kể trong các lĩnh vực cảm nhận và nhận thức.

Trong thương mại, AI là lĩnh vực NC&PT ưu tiên với nhiều quốc gia đầu tư lớn đáng kể. Kinh doanh là động lực chính đằng sau AI, mặc dù nghiên cứu thường dựa trên các công cụ mã nguồn mở và dữ liệu công khai sẵn có rộng rãi. Các vấn đề phức tạp liên quan đến hợp tác giữa con người với AI và các vấn đề tâm lý - xã hội - kỹ thuật cũng cần được xem xét, nhưng hứa hẹn mang lại những ứng dụng mang tính cách mạng. Bất chấp những hạn chế này, đến năm 2030, ước tính đóng góp của AI cho nền kinh tế toàn cầu sẽ là 15,7 nghìn tỷ USD.

Sự phát triển của Trí tuệ nhân tạo tổng quát (AGI, tức là hành vi thông minh tổng quát ở cấp độ con người), đưa ra một thách thức kỹ thuật đáng kể (và có khả năng không thể xảy ra), bất chấp hơn 60 năm nghiên cứu về AI. Người ta cho rằng các hệ thống AI sẽ không đáp ứng được mức độ khả năng nhận thức này trong vòng 20 năm tới.

Bảng 2.2: Trí tuệ nhân tạo: 2020-2040.

EDT	Lĩnh vực Công nghệ trọng tâm	Tác động	Sự chú ý	TRL	Tầm nhìn
Trí tuệ nhân tạo	Các thuật toán tiên tiến	Cách mạng	Kỳ vọng	4	2030
	AI ứng dụng	Cách mạng	Kỳ vọng	6	2030
	Cộng sinh người-máy	Cao	Kích hoạt	4	2035

2.3. Tự trị

Tính tự trị (tự chủ) là khả năng của một hệ thống để ứng phó với các tình huống không chắc chắn bằng cách tự đưa ra và lựa chọn các phương thức hành động khác nhau để hoàn thành mục tiêu dựa trên kiến thức và hiểu biết theo ngữ cảnh về thế giới, bản thân và tình huống. Tính tự trị được đặc trưng bởi các mức độ của hành vi tự định hướng (các mức độ tự chủ) khác nhau, từ hoàn toàn thủ công đến hoàn toàn tự chủ. Robotics là ngành nghiên cứu thiết kế và xây dựng các hệ thống tự trị bao gồm tất cả các cấp độ tự chủ (bao gồm cả sự kiểm soát hoàn toàn của con người). Phương tiện không người lái có thể được điều khiển từ xa bởi người hoặc có thể tự hành động tùy thuộc vào nhiệm vụ. Các ứng dụng bao gồm cho phép tiếp cận các khu vực không thể tiếp cận, giám sát liên tục, độ bền, robot hỗ trợ, giao hàng hậu cần tự động, rẻ hơn.

Lịch sử của các hệ thống tự hành trong quốc phòng là một lịch sử dài ít nhất từ năm 1898 với việc Nikola Tesla trình diễn một chiếc thuyền không người lái điều khiển từ xa không dây. Tuy nhiên, 20 năm qua đã có một sự thúc đẩy đáng kể trong sử dụng tính tự trị của hệ thống trên nhiều môi trường vật lý và ảo.

Người máy và Hệ thống tự trị (RAS) là nhân tố quan trọng và là người thụ hưởng những phát triển trong các lĩnh vực EDT khác. Từ góc độ theo dõi công nghệ, sự phát triển được quan tâm trong các lĩnh vực: (1) Hệ thống tự trị (nền tảng, thiết bị & tác nhân): ví dụ: nền tảng mới; lực đẩy; tác nhân phần mềm; cảm biến công suất thấp; thiết bị IoT; và, các ứng dụng. Các lĩnh vực cần lưu ý cụ thể là: xe siêu thanh tự hành; các phương tiện bay nhỏ

và siêu nhỏ lấy cảm hứng từ sinh học; vệ tinh nhỏ (smallsats); hệ thống động cơ khí động lực hybrid-điện; công nghệ hình ảnh siêu phổ độ phân giải cao trọng lượng nhẹ cho các nhiệm vụ giám sát bán liên tục; thu nhỏ cảm biến tần số vô tuyến (RF); plasmonics để giảm kích thước máy dò hồng ngoại; lập mô hình môi trường 3D nhanh chóng; và sử dụng môi nhử robot; (2) Hợp tác giữa người và máy: cải tiến hiệu suất của con người, hợp tác giữa người và máy và giao tiếp; (3) Biện pháp đối phó: vũ khí tần số vô tuyến công suất cao (HPRF); và (4) Hành vi tự chủ: kiểm soát, các hệ thống tập trung vào bầy đàn và quyền tự chủ thông minh (tức là AI được nhúng ngày càng tiên tiến).

Mục tiêu cuối cùng luôn là hợp nhất con người và hệ thống tự trị (ở bất kỳ mức độ hoạt động độc lập nào) thành một đội đáng gờm, cho phép hệ thống tự động đảm nhận các nhiệm vụ buồn tẻ, bẩn thỉu, nguy hiểm và thân yêu (bốn chữ D của robot hóa). Động lực cơ bản là giảm chi phí, giảm nhân lực, nâng cao hiệu quả hoạt động và giảm thương vong.

Các phương pháp tiếp cận quyền tự chủ có thể bao gồm các hệ thống hoàn toàn tự trị đến bán tự trị hoặc thậm chí không người lái. Các mức độ tự chủ cụ thể là một chức năng của cảm biến, loại nhiệm vụ, liên kết thông tin liên lạc, quá trình xử lý trên tàu và các ràng buộc pháp lý / chính sách. .

Việc phát triển các hệ thống tự chủ chủ yếu được thúc đẩy bởi các nhu cầu vận hành như độ bền cao, mức độ AI tích hợp ngày càng tăng và các yếu tố người-máy (tức là làm thế nào để làm cho toàn bộ nhóm / hệ thống người-máy hiệu quả hơn trong khi vẫn giữ được con người cần thiết giám sát và ra quyết định). Đặc biệt, các cân nhắc về luật pháp, chính sách và khả năng tương tác sẽ thách thức việc sử dụng các hệ thống tự trị trong chuỗi tiêu thụ.

Bảng 2.3: Tự trị 2020-2040.

EDT	Lĩnh vực Công nghệ trọng tâm	Tác động	Sự chú ý	TRL	Tầm nhìn
Tự trị	Các hệ thống tự trị	Cách mạng	Kỳ vọng	6	2025
	Hợp tác giữa người-máy	Cách mạng	Kích hoạt	4	2030
	Hành vi tự chủ	Cao	Kỳ vọng	4	2030
	Các biện pháp đối phó	Cao	Vỡ mộng	5	2025

2.4. Công nghệ vũ trụ

Không gian vũ trụ thường được coi là bắt đầu từ 90-100 km (đường Karman) trên mực nước biển. Các công nghệ vũ trụ khai thác hoặc phải cạnh tranh với môi trường hoạt động độc đáo của không gian, bao gồm: quyền tự do hành động, trường nhìn toàn cầu, tốc độ, quyền tự do truy cập; một chân không gần; trọng lực vi mô; sự cách ly; và, môi trường khắc nghiệt (nhiệt độ, độ rung, âm thanh và áp suất).

Nhân loại đã sử dụng không gian hiệu quả trong hơn 60 năm. Tuy nhiên, hai xu hướng tương hỗ và tương tác với nhau đã xuất hiện và đang thúc đẩy sự bùng nổ trong việc khai thác không gian và các tài sản dựa trên không gian. Thứ nhất, ngành công nghiệp vũ trụ thương mại toàn cầu đã đóng vai trò hàng đầu không chỉ trong việc phát triển vệ tinh, mà còn ngày càng tăng trong cảm biến, thông tin liên lạc và phóng. Xu hướng này đã dẫn đến

giảm đáng kể chi phí phóng, các tùy chọn mới để triển khai các tài sản dựa trên không gian và tính khả dụng thương mại gần thời gian thực của thông tin chất lượng cao lấy từ không gian. Thứ hai, các công nghệ và phương pháp sản xuất mới đã làm thay đổi bản chất, tính khả dụng và chi phí sử dụng không gian [ví dụ: in 3D]. Các công nghệ này bao gồm các tùy chọn động cơ mới như hệ thống đẩy điện tiên tiến, AI trên bo mạch, robot tiên tiến, dịch vụ vệ tinh từ xa trên quỹ đạo, thu nhỏ hệ thống (cho phép vệ tinh nhỏ hơn và rẻ hơn), cảm biến cải tiến và mới lạ, in 3D, cải thiện sức mạnh lưu trữ và hiệu quả cũng như các công nghệ mã hóa thế hệ tiếp theo. Kết quả là, không gian ngày càng trở nên thương mại, tắc nghẽn, tranh chấp và cạnh tranh.

Công nghệ không gian trong phạm vi ở đây được hiểu là bao gồm ba thành phần thiết yếu:

1. Nền tảng: Bao gồm vệ tinh, nguồn điện, trạm giữ, động cơ đẩy, quang tử, vật liệu và;
2. Cảm biến: Cảm biến hiệu suất cao; và,
3. Hoạt động: Bao gồm kiểm soát không gian, nhận thức tình huống không gian, thời tiết không gian, quyền tự chủ, thông tin liên lạc.

Hoạt động chủ yếu ở quỹ đạo Trái đất thấp (LEO) và trung bình (MEO), các vệ tinh nhỏ (smallsats) đang cung cấp khoa học và dịch vụ giá cả phải chăng cho giới học thuật, thương mại và chính phủ và mang lại những lợi ích đáng kể. Các vệ tinh riêng lẻ đang hoạt động và toàn bộ các chùm vệ tinh có thể được triển khai với chi phí giảm đáng kể trong các lĩnh vực như thông tin liên lạc, viễn thám mở rộng và định vị địa lý. Smallsats là tàu vũ trụ có khối lượng dưới 500 kg và bao gồm một số loại phụ bao gồm: (1) vệ tinh mini (100 - 180 kg); (2) vệ tinh micro (10 - 100 kg); (3) vệ tinh nano (1 - 10 kg); (4) vệ tinh pico (0,01 - 1 kg); và, (5) vệ tinh femto (0,001 - 0,01 kg).

Một danh mục đặc biệt gồm các khối nhỏ dạng mô-đun (khối lập phương) có kích thước tiêu chuẩn là 10cm x 10cm x 10cm cho mỗi khối cấu thành. Các vệ tinh này rẻ hơn đáng kể so với các nền tảng lớn hơn, cho phép chấp nhận rủi ro lớn hơn và có thể được phóng nhanh chóng với chi phí thấp hơn. Hơn nữa, vệ tinh nhỏ cho phép triển khai các chùm vệ tinh hoặc hình thành các cơ sở không gian có thể thực hiện các nhiệm vụ với độ phân giải cao hơn, chu kỳ lặp lại và hiệu suất cao hơn trên các chùm vệ tinh.

Nhiều quốc gia đã tăng cường đáng kể sự hiện diện và khả năng tiếp cận không gian của họ. Tuy nhiên, sự phát triển thương mại và việc tăng cường sử dụng dữ liệu có nguồn gốc từ không gian dự kiến sẽ thống trị các sự kiện trong 20 năm tới. Những thách thức về luật pháp và chính sách này bao gồm xung đột giữa việc sử dụng thương mại, học thuật và quân sự; quản trị các cộng đồng toàn cầu (không gian); và, tiềm năng cho việc gia tăng quân sự hóa không gian.

Bảng 2.4: (Hệ thống) Không gian 2020-2040.

EDT	Lĩnh vực Công nghệ trọng tâm	Tác động	Sự chú ý	TRL	Tầm nhìn
Không gian	Các nền tảng	Trung bình	Kỳ vọng	6	2025
Vũ trụ	Hoạt động	Trung bình	Kỳ vọng	5	2030

2.5. Siêu vượt âm (Hệ thống vũ khí) (HWS)

Hệ thống vũ khí siêu vượt âm (tiên tiến) (tên lửa, phương tiện, ...) hoạt động ở tốc độ lớn hơn Mach 5 (6125 kph). Trong một chế độ như vậy, sự phân ly của không khí trở nên đáng kể, và tải nhiệt tăng lên gây ra mối đe dọa lớn cho xe. Các giai đoạn bay siêu vượt âm xảy ra trong quá trình tái nhập từ không gian vào khí quyển hoặc trong quá trình bay được đẩy / duy trì trong khí quyển bằng tên lửa đẩy, máy bay phản lực hoặc động cơ chu trình kết hợp. Loại hệ thống vũ khí này bao gồm tên lửa tấn công phóng từ trên không (HCM), phương tiện bay cơ động (HGV), diệt hạm mặt đất và máy bay tấn công tàng hình. Các hệ thống có tính chất này có thể chủ yếu dựa vào các hiệu ứng động học hoặc có thể bao gồm các đầu đạn bổ sung (hạt nhân hoặc phi hạt nhân). Các biện pháp đối phó với các hệ thống siêu thanh riêng lẻ, được cứu hộ hoặc theo bầy đàn đặc biệt khó khăn do tốc độ và khả năng cơ động của chúng.

Vũ khí siêu vượt âm là hệ thống vũ khí siêu nhanh và có thể điều khiển được, thường có ba loại:

(1) Lướt bút tốc: Phương tiện bay siêu vượt âm (HGV) sử dụng khả năng phóng đạn đạo bằng tên lửa, nhưng lướt và cơ động không được cấp năng lượng ở tốc độ siêu vượt âm trong bầu khí quyển. Những chiếc HGV cuối sóng này thường bay ở độ cao từ 40 đến 100 km đạt tốc độ cao tới Mach 25;

(2) Tên lửa hành trình: Tên lửa hành trình Hypersonic (HCM) thường được phóng từ trên không và di chuyển bằng động cơ phản lực (scramjets) để duy trì tốc độ siêu âm. Scramjets sử dụng lực đẩy được tạo ra bởi khí nén di chuyển với tốc độ siêu âm, trộn với nhiên liệu và sau đó được đốt cháy. Do đó, chúng yêu cầu các tên lửa hỗ trợ cất cánh hoặc phóng để tăng tốc HCM lên Mach 3 hoặc 4, nơi scramjets bắt đầu hoạt động. HCM thường bay ở độ cao 20 - 30 km; và,

(3) Máy bay siêu thanh: Máy bay có người lái hoặc máy bay không người lái, thường được sử dụng cho mục đích tấn công hoặc trinh sát.

Những phát triển mới nhất trong hệ thống siêu vượt âm được xây dựng dựa trên một số chu kỳ phát triển trải dài trong 60 năm qua. Tuy nhiên, chu kỳ NC&PT mới nhất đã mang lại cho nó khả năng sử dụng trong hoạt động. Các vật liệu mới và các phương pháp đẩy đã tạo điều kiện cho những phát triển gần đây trong nghiên cứu siêu âm và đã làm tăng đáng kể khả năng sử dụng rộng rãi của chúng.

Do tốc độ cao liên quan, chúng cũng có thể phân phối đầu đạn, dựa hoàn toàn vào khối lượng và động năng, do đó đơn giản hóa thiết kế vũ khí. Tốc độ như vậy sẽ làm tăng khả năng tấn công thành công và giảm nguy cơ bị đánh chặn. Các hệ thống của Hoa Kỳ dự kiến sẽ được triển khai vào năm 2025, với các máy bay không người lái siêu vượt âm sau đó vào năm 2035. Cả Trung Quốc và Nga đều đã trình diễn các chương trình siêu vượt âm tiên tiến.

Công việc thử nghiệm trong chuyến bay siêu âm chỉ có thể thực hiện được đối với các

quốc gia có năng lực NC&PT phát triển cao và nguồn tài chính rất cao, riêng Hoa Kỳ đã chi 1 tỷ USD hàng năm. Hoa Kỳ, Nga và Trung Quốc là những nước đi đầu trong nghiên cứu và phát triển các ứng dụng phương tiện siêu âm quân sự. Đặc biệt, Trung Quốc đang thể hiện sự dẫn đầu về KH&CN đáng kể trong nhiều khía cạnh của chuyển bay siêu âm. Trong những năm gần đây, nhiều quốc gia khác, chẳng hạn như Anh, Pháp, Nhật Bản, và Úc đã khởi xướng các chương trình nghiên cứu siêu âm mới kết hợp với các đối tác khác. Đến những năm 2030, các công nghệ tên lửa siêu âm dự kiến sẽ mở rộng ngoài việc cung cấp đầu đạn với tốc độ nhanh hơn âm thanh, còn bao gồm cả các chuyển bay trinh sát và tình báo siêu âm.

Bảng 2.5: (Hệ thống) Siêu vượt âm Hypersonic 2020-2040.

EDT	Lĩnh vực Công nghệ trọng tâm	Tác động	Sự chú ý	TRL	Tầm nhìn
Siêu vượt âm	Nền tảng và hệ thống đẩy	Cao	Kích hoạt	5	2025
	Các biện pháp đối phó	Cao	Kích hoạt	3	2030

3. Các công nghệ mới nổi

3.1. (Công nghệ) Lượng tử

Các công nghệ lượng tử thế hệ tiếp theo khai thác vật lý lượng tử và các hiện tượng liên quan ở quy mô nguyên tử và dưới nguyên tử; đặc biệt là những hiệu ứng rối lượng tử và chồng chập. Những hiệu ứng này hỗ trợ những tiến bộ công nghệ đáng kể chủ yếu trong mật mã; tính toán; điều hướng chính xác và thời gian; cảm biến và hình ảnh; thông tin liên lạc; và vật liệu.

Cơ học lượng tử có nguồn gốc từ đầu thế kỷ trước và thường được sử dụng để mô tả hành vi của vật chất ở quy mô nguyên tử (nhỏ hơn 10nm). Hiện tượng lượng tử làm nền tảng cho phần lớn công nghệ hiện đại bao gồm bóng bán dẫn, năng lượng hạt nhân, kính hiển vi điện tử, hiện tượng siêu dẫn, máy dò quang điện, hình ảnh y tế (cộng hưởng từ chức năng và hình ảnh phát xạ positron), laser và các thiết bị trạng thái rắn. Trong 10 năm qua, các hiện tượng lượng tử, đặc biệt là hiện tượng chồng chất và vướng víu, đã được sử dụng để phát triển các công nghệ mới nổi. Những phát triển thế hệ tiếp theo này bao gồm: cảm biến siêu nhạy; đồng hồ cực kỳ chính xác; mã hóa và thông tin liên lạc không thể phá vỡ; và tính toán lượng tử.

Các công nghệ lượng tử thế hệ tiếp theo đang phát triển với tốc độ phi thường, nhưng các ứng dụng không tiến triển đồng đều giữa bốn dòng hoạt động chính: (1) Truyền thông; (2) Máy tính; (3) Định vị, Điều hướng và Định thời (PNT) (chính xác); và, (4) Cảm biến. Các phát triển cho tính toán lượng tử chủ yếu được thúc đẩy bởi lợi ích thương mại, trong khi những phát triển trong lĩnh vực cảm biến lượng tử, truyền thông và PNT được thúc đẩy bởi lợi ích quốc phòng và an ninh. Mức đầu tư của các quốc gia là đáng kể và ngày càng tăng, nhưng chủ yếu vẫn tập trung vào các ứng dụng thương mại. Sự hợp tác giữa các quốc gia sẽ là công cụ thúc đẩy khoa học cơ bản, và đặc biệt là các ứng dụng quốc phòng. Như vậy, trong dài hạn hơn đối với công nghệ lượng tử, thường là hơn 20 năm kể từ nay, một

bước thay đổi trong khả năng lượng tử được kỳ vọng khi các thiết bị lượng tử có thể khai thác hiện tượng vướng víu một cách đáng tin cậy bất chấp nhiễu loạn trên nhiều quy mô thời gian và khoảng cách và khi số lượng qubit logic vướng víu trên mỗi thiết bị tăng lên.

Trong tất cả các EDT, công nghệ lượng tử có lẽ là công nghệ mới và đang phát triển mạnh nhất, với các khoản đầu tư quốc gia và thương mại đáng kể đang được thực hiện. Đặc biệt, khả năng hoạt động của các cảm biến mới đã được chứng minh ở cấp phòng thí nghiệm là một lĩnh vực quan trọng cần được tiếp tục nghiên cứu.

Tính toán lượng tử (hay khoa học thông tin lượng tử) đã được phổ biến rộng rãi trên các phương tiện truyền thông và đã trải qua sự phát triển thương mại đáng kể. Tuy nhiên, sự phát triển của tính toán lượng tử phổ biến rộng rãi (tức là có khả năng vượt qua đáng kể các giới hạn lý thuyết của tính toán cổ điển (tức là tính tối cao lượng tử)) còn ít nhất 15-20 năm nữa. Tuy nhiên, ứng dụng kinh doanh bên ngoài môi trường nghiên cứu được dự kiến là 5 - 10 năm nữa. Để đạt được mục tiêu này, đòi hỏi phải vượt qua một số thách thức lý thuyết và kỹ thuật quan trọng (đặc biệt là xung quanh việc sửa lỗi), mà cuối cùng có thể khiến các hệ thống như vậy trở nên không thực tế trong giai đoạn này.

Bảng 3.1: Lượng tử 2020-2040.

EDT	Lĩnh vực Công nghệ trọng tâm	Tác động	Sự chú ý	TRL	Tầm nhìn
Lượng tử	Thông tin Liên lạc	Cao	Kích hoạt	5	2030
	Khoa học Thông tin	Cách mạng	Kích hoạt	4	2035
	Điều hướng chính xác	Cao	Thất vọng	6	2025
	Cảm biến	Trung bình	Kích hoạt	3	2040

3.2. Công nghệ sinh học & Tăng cường (năng lực) Con người

Công nghệ sinh học sử dụng sinh vật, mô, tế bào hoặc các thành phần phân tử có nguồn gốc từ sinh vật sống, để tác động lên sinh vật sống; hoặc, hành động bằng cách can thiệp vào hoạt động của tế bào hoặc các thành phần phân tử của tế bào, bao gồm cả vật chất di truyền của chúng. Công nghệ Tăng cường (năng lực) Con người (HET) là những can thiệp y sinh được sử dụng để cải thiện hình dáng con người hoặc hoạt động vượt quá những gì cần thiết để phục hồi hoặc duy trì sức khỏe. HET có thể tăng cường các chức năng sinh lý, nhận thức hoặc xã hội.

Thao túng môi trường sinh học và cải tạo con người của chúng ta bắt nguồn từ những ngày đầu tiên của loài người khi tổ tiên của chúng ta sử dụng da, đá và nông nghiệp để tạo ra lợi thế tiến hóa. Tuy nhiên, Công nghệ Sinh học và Tăng cường Con người (BHET) dự kiến sẽ ra mắt trong vòng 20 năm tới sẽ thay đổi định nghĩa của chúng ta về việc trở thành một người lính, thủy thủ hay phi công nghĩa là gì. Những công nghệ này trải dài trong phạm vi khoa học sinh học: Thao tác di truyền (ví dụ CRISPR) để phát triển các mầm bệnh mới hoặc các biện pháp đối phó y tế; Chế tạo phương pháp khai thác quá trình sinh học; Nâng cao con người thông qua robot tích hợp (ví dụ: bộ xương ngoài hoặc các bộ phận thay thế); Các giao diện thần kinh; Tăng cường thị lực; Cộng sinh kỹ thuật - xã hội với AI và các hệ thống tự trị; Phương pháp tiếp cận dược lý để nâng cao nhận thức và thể chất; Tăng cường

ảo hóa môi trường nhận thức xã hội hỗ trợ sự phát triển của cơ cấu tổ chức, thông tin và xã hội mới; và, Cảm biến sinh học mới và tin sinh học, sẽ tăng cường hiểu biết của chúng ta về các hành vi nhận thức xã hội, sinh lý, kinh tế và thần kinh để cải thiện hiệu suất hoạt động và khả năng phục hồi, cũng như tăng hiệu quả của việc nhắm mục tiêu phi động học.

Các lĩnh vực nghiên cứu về BHET có tiềm năng được quan tâm là: Tin sinh học và Cảm biến sinh học: Thu thập, phân loại, lưu trữ, truy xuất và phân tích dữ liệu sinh học và hóa sinh. Tăng cường con người: Việc sử dụng các biến đổi gen, tác nhân được lý, thiết bị điện cơ hoặc giao diện thần kinh để tăng hoạt động sinh lý và thần kinh của con người vượt quá giới hạn bình thường. Các biện pháp và công nghệ đối phó y tế: Sự phát triển của chẩn đoán, phương pháp điều trị và vắc xin mới (sử dụng tin sinh học, kỹ thuật di truyền và cảm biến sinh học) để hỗ trợ chẩn đoán dự báo, xác định và điều trị mối đe dọa CBRN. Sinh học tổng hợp: Việc cố ý thiết kế, kỹ thuật và tạo ra các thành phần hoặc hệ thống sinh học tổng hợp hoặc biến đổi mới.

Những thay đổi này sẽ và đang thể hiện các vấn đề xã hội, luật pháp và chính sách quan trọng.

Bảng 3.2: Công nghệ sinh học và Nâng cao con người 2020-2040.

EDT	Lĩnh vực Công nghệ trọng tâm	Tác động	Sự chú ý	TRL	Tầm nhìn
Công nghệ sinh học	Tin sinh học	Trung bình	Kỳ vọng	6	2025
	Tăng cường con người	Cao	Kỳ vọng	5	2030
	Các biện pháp đối phó y tế	Cao	Kích hoạt	4	2030
	Sinh học tổng hợp	Cao	Kích hoạt	6	2025

3.3. Vật liệu và Sản xuất (mới)

Vật liệu tiên tiến (mới) là vật liệu nhân tạo có đặc tính độc đáo và mới lạ. Vật liệu tiên tiến có thể được sản xuất bằng các kỹ thuật rút ra từ công nghệ nano hoặc sinh học tổng hợp. Sự phát triển có thể bao gồm các lớp phủ có khả năng chịu nhiệt cực cao, áo giáp nền hoặc thân có độ bền cao, lớp phủ tàng hình, thu và lưu trữ năng lượng, tính siêu dẫn, cảm biến và khử nhiễm tiên tiến, sản xuất hàng loạt thực phẩm, nhiên liệu và vật liệu xây dựng. Nghiên cứu về graphene, các vật liệu 2-D mới lạ khác và các vật liệu tô pô là một lĩnh vực có tiềm năng cao và ngày càng được quan tâm. Sản xuất đắp dần, thường được sử dụng như một từ đồng nghĩa với in 3-D, là quá trình tạo ra một vật thể rắn 3-D gần như tùy ý từ một mô hình kỹ thuật số thông qua việc bổ sung nhiều lớp vật liệu. Sản xuất đắp dần có thể được sử dụng cho: tạo mẫu nhanh; sản xuất tại chỗ & sửa chữa thiết bị; và sản xuất các bộ phận chính xác, tùy chỉnh hoặc độc đáo.

Những phát triển về vật liệu mới và sản xuất sẽ thể hiện cả những khía cạnh đột phá và mới nổi trong 20 năm tới. Trong khi các khía cạnh của EDT này, chẳng hạn như sản xuất nhanh (ví dụ: in 3D / 4D), được đánh giá là có tính đột phá cao trong các lĩnh vực phát triển năng lực, mua lại và hậu cần, các công nghệ cơ bản đã sẵn sàng và tiếp tục được phát triển, mở rộng và được sử dụng với tốc độ nhanh chóng theo ngành. Tuy nhiên, ở mũi nhọn của nghiên cứu là sự phát triển và khai thác các vật liệu mới (ví dụ như graphene được phát

hiện lần đầu tiên vào năm 2004 và các vật liệu 2-D khác); tính chất vật liệu mới; sản xuất các thiết kế không thể cho đến nay; các phương pháp sản xuất mới (ví dụ dựa trên công nghệ sinh học); thao tác quy mô nano của vật liệu; in vật liệu hỗn hợp; và, việc sử dụng AI và BDAA để tìm vật liệu mới. Các lĩnh vực nghiên cứu này được thúc đẩy bởi mong muốn khám phá hoặc khai thác các tính chất vật lý mới và độc đáo (ví dụ như tính siêu dẫn), cũng như các vật liệu rẻ hơn, mạnh hơn, nhẹ hơn, bền hơn hoặc khả năng cao hơn (ví dụ: năng lượng).

Bảng 3.3: Vật liệu (mới) 2020-2040.

EDT	Lĩnh vực Công nghệ trọng tâm	Tác động	Sự chú ý	TRL	Tầm nhìn
Vật liệu	Vật liệu (mới)	Cao	Kích hoạt	2	2040
	Sản xuất đắp dần (in 3D)	Trung bình	Sáng sửa	7	2025
	lưu trữ năng lượng	Trung bình	Kích hoạt	5	2030

4. Sự hội tụ, phụ thuộc lẫn nhau và hợp lực

EDT hiếm khi tạo ra tác động riêng lẻ. Thay vào đó, chúng bứt phá nhất ở ranh giới của các lĩnh vực vật lý, thông tin hoặc con người hoặc nơi các EDT này chồng chéo hoặc hội tụ. Những sự hiệp lực này, cùng với sự tình cờ và sự phụ thuộc lẫn nhau rõ ràng giữa các nhóm EDT sau đây được dự báo là đặc biệt quan trọng trong việc phát triển các năng lực trong tương lai. Không thể mô tả đầy đủ tất cả các kết hợp của các EDT này, nhưng sáu tập hợp dưới đây được coi là có khả năng gây bứt phá nhất.

4.1. Dữ liệu - AI - Tự trị

Sự kết hợp hiệp đồng giữa hệ thống tự trị, BDAA và AI dự kiến sẽ có tác động bứt phá lớn nhất trong 10 năm tới. Việc sử dụng ngày càng nhiều các cảm biến thông minh, được phân phối rộng rãi, phổ biến, giá rẻ, được kết nối với nhau và các thực thể tự trị (vật lý hoặc ảo) sẽ dẫn đến khối lượng dữ liệu hầu như không thể phân tích bằng các phương pháp và tiếp cận hiện tại. Các công nghệ và phương pháp có liên quan với nhau sẽ tạo cơ sở cho các giải pháp cho những vấn đề này. Các công nghệ như vậy bao gồm 5G (và các công nghệ truyền thông tương tự), quản lý phổ điện từ nhận thức, internet vạn vật (IoT), AI của vạn vật (AIoT), công nghệ pin tốt hơn và thậm chí cả in 3-D.

4.2. Dữ liệu - Lượng tử

Trong khoảng thời gian từ 15 đến 20 năm, công nghệ lượng tử sẽ tăng đáng kể khả năng thu thập, xử lý và khai thác dữ liệu, thông qua việc tăng cường khả năng cảm biến, truyền thông an toàn và tính toán. Đặc biệt, tính toán lượng tử có thể làm tăng đáng kể tốc độ mô hình hóa & mô phỏng và độ trung thực cho phân tích dự đoán, đồng thời cho phép tiếp cận lượng tử với mạng nơ-ron học sâu để phân tích dữ liệu và AI được cải tiến đáng kể. Khả năng tính toán và mô phỏng tăng lên này cũng sẽ tác động đáng kể đến các hoạt động thông qua phân tích tổng hợp khoa học hiện có và mô phỏng các hệ thống thống trị lượng tử. Đến lượt nó, khả năng này sẽ dẫn đến việc khám phá ra khoa học cơ bản và ứng dụng mới, các thiết kế mới, gen hoặc sinh vật được tạo ra có mục đích, cũng như xác định

các đặc tính vật liệu, hóa học và sinh học mới. Tất cả những điều này đều có khả năng tạo ra các hiệu ứng bất phá sau năm 2040.

4.3. Không gian - Siêu vượt âm - Vật liệu

Không gian và siêu âm thanh tạo ra các lĩnh vực hoạt động đầy thách thức. Việc phát triển các vật liệu kỳ lạ, thiết kế mới lạ, thu nhỏ, tích trữ năng lượng, phương pháp sản xuất và động cơ đẩy sẽ là cần thiết nếu các hệ thống siêu thanh và không gian khai thác triệt để những lợi thế và cơ hội vốn có của những lĩnh vực này. Hệ thống không gian và siêu âm có nhiều thách thức về môi trường giống nhau. Việc phát triển các vật liệu mới rẻ, bền và đặc biệt chịu nhiệt sẽ là điều cần thiết để phát triển các hệ thống thực tế và giá cả phải chăng. Việc tăng cường sử dụng in 3D / 4D cũng sẽ rất quan trọng vì việc in các bộ phận thiết yếu (ví dụ: động cơ) sẽ giúp giảm chi phí và tăng độ tin cậy.

4.4. Không gian - Lượng tử

Các cảm biến lượng tử dựa trên không gian, được hỗ trợ bởi giao tiếp QKD, sẽ dẫn đến các loại cảm biến hoàn toàn khác nhau phù hợp để triển khai trên vệ tinh. Hiện tại, những hạn chế về nguồn điện và độ nhạy của cảm biến ảnh hưởng đáng kể đến thiết kế và hoạt động của vệ tinh. Mạng lưới cảm biến dựa trên không gian nhỏ hơn, công suất thấp hơn, nhạy hơn và phân tán hơn được kích hoạt bởi các công nghệ lượng tử thế hệ tiếp theo sẽ là một khía cạnh thiết yếu của kiến trúc viễn thám trong tương lai.

Việc phát triển các mạng liên lạc lượng tử QKD quy mô lớn được phủ sóng qua vệ tinh, sẽ là điều cần thiết để duy trì một mạng lưới thông tin liên lạc toàn cầu được bảo mật hoàn toàn. Liên lạc lượng tử từ vệ tinh đến Trái đất đã được chứng minh ở phạm vi trên 5000 km. Sự phát triển công nghệ trong vòng 5 - 10 năm tới dự kiến sẽ mở rộng đáng kể những thử nghiệm ban đầu này và cung cấp khuôn khổ công nghệ cho khả năng thương mại mạnh mẽ.

4.5. Dữ liệu - AI - Công nghệ sinh học

AI và công nghệ sinh học đang phát triển với tốc độ cấp số nhân, được thúc đẩy bởi chi phí giảm đáng kể, tốc độ tăng và lợi ích thương mại ngày càng tăng. Ví dụ, dự án bộ gen người ban đầu mất 13 năm và tiêu tốn 3 tỷ USD (năm 2001) với sự tham gia của các nhà nghiên cứu từ 20 trường đại học và trung tâm nghiên cứu ở 6 nước. Ngày nay, chỉ mất chưa đầy một giờ và tốn khoảng 1000 USD để giải mã bộ gen người.

AI, phối hợp với BDAA và công nghệ sinh học, sẽ có tác động lớn đến nền kinh tế và sức khỏe thế giới. Sự kết hợp EDT như vậy sẽ góp phần to lớn vào việc thiết kế và khám phá các loại thuốc mới, biến đổi gen có mục đích, thao tác trực tiếp các phản ứng sinh hóa, phát triển các tác nhân sinh học tối ưu hóa, cảm biến sống, phát triển các biện pháp đối phó và nhận dạng (thông qua siêu phân tích) các lĩnh vực nghiên cứu mới. Việc sử dụng AI để tối ưu hóa việc thiết kế các tác nhân sinh học mới theo từng phân tử hoặc từng tế bào sẽ mở rộng đáng kể khả năng của chúng ta trong việc điều chỉnh các loại dược phẩm mới cũng như tạo ra các phương tiện sản xuất mới. Sự bất phá như vậy sẽ không chỉ giới hạn trong lĩnh vực khoa học sinh học mà sẽ được phản ánh trên tất cả các lĩnh vực phát triển KH&CN.

4.6. Dữ liệu - AI - Vật liệu

AI, phối hợp với BDAA, sẽ đóng góp vào việc thiết kế các vật liệu mới, xác định và thiết kế các đặc tính vật lý độc đáo, thao tác trực tiếp các phản ứng hóa học, tạo ra các thiết kế mới và nhận dạng (thông qua siêu- phân tích) của các lĩnh vực nghiên cứu mới. Đặc biệt, điều này sẽ hỗ trợ những bước phát triển hơn nữa trong việc phát triển vật liệu 2-D. Sự bứt phá này sẽ được phản ánh trong tất cả các lĩnh vực phát triển KH&CN.

AI và BDAA, kết hợp với in 3D / 4D hoặc sản xuất sinh học, sẽ thúc đẩy sản xuất theo hướng vượt trội (tức là người dùng) và tạo điều kiện thuận lợi đáng kể cho việc phát triển các sản phẩm được sản xuất bằng vật liệu hỗn hợp, phù hợp và đáng tin cậy.

Kết luận

Báo cáo này đã xem xét cách EDT sẽ bứt phá trong khung thời gian 2020-2040. Những đặc điểm của công nghệ hiện đại là động lực thúc đẩy sự phát triển hiện tại và cuộc cách mạng về dữ liệu, AI, quyền tự chủ, không gian, lượng tử, siêu âm, công nghệ sinh học và vật liệu. Một mình hoặc kết hợp, chúng xác định lợi thế công nghệ cần thiết. Mức độ nhanh chóng, theo thứ tự và cuối cùng là mức độ thành công của những công nghệ này, hoặc những mối đe dọa mà chúng sẽ đưa ra, vẫn chưa được xác định. Tuy nhiên, dự báo dài hạn công nghệ cung cấp một bài tập hữu ích đồng thời cung cấp hướng dẫn để ưu tiên năng lực và các khoản đầu tư công nghệ. Hiểu được lý do tại sao chúng đưa ra một vấn đề hoặc cơ hội, cách chúng dự kiến sẽ thể hiện là một bước khởi đầu tuyệt vời và sẽ đảm bảo duy trì lợi thế công nghệ.

N.M.Q. (Nguồn: Science & Technology Trends: 2020-2040. NATO Science & Technology Organization, 2020)

CÁC CHỮ VIẾT TẮT:

AGI	Trí tuệ nhân tạo tổng quát
AI	Trí tuệ nhân tạo
BDAA	Dữ liệu (Lớn) và Phân tích nâng cao
BHET	Công nghệ Sinh học & Tăng cường (năng lực) Con người
CBRN	Hóa học, sinh học, bức xạ và Hạt nhân
EDT	Công nghệ bút phá và mới nổi
EM	Phổ điện từ
HCM	Tên lửa hành trình Hypersonic
HGV	Phương tiện bay siêu vượt âm
KH&CN	Khoa học và công nghệ
M&S	Lập mô hình và mô phỏng
NC&PT	Nghiên cứu và phát triển
QKD	Phân phối khóa lượng tử
RAS	Người máy và Hệ thống tự trị
TRL	Mức độ sẵn sàng của công nghệ
UAV	Máy bay không người lái