Mạng Thông Tin Di Động Thế Hệ Thứ 6

Trần Văn Thọ
Khoa Điện-Điện tử viễn thông
Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh
Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam
vantho.tran@ut.edu.vn

***Abstract* - Mạng di động thế hệ tiếp theo 6G sẽ là một trong những nền tảng cơ bản của xã hội loài người trong thập kỷ tới (2030), tạo ra tiến bộ bền vững cho xã lội, phù hợp với các mục tiêu phát triển bền vững của Liên hiệp quốc. Bài báo n giới thiệu các yêu cầu kỹ thuật cần đáp ứng và các khái niệm dịch vụ mới của công nghệ 6G.**

Từ khóa - Chỉ số đánh giá hiệu suất chính, công nghệ mạng diện rộng được xác định bằng phần mềm, công nghệ chuỗi khối, Ultra Massive MIMO, internet công nghiệp kết nối vạn vật.

I. GIỚI THIỆU

Khi 5G đang bước vào giai đoạn triển khai thương mại, các nghiên cứu thuộc nhiều tổ chức trên thế giới đã bắt đầu chú ý đến 6G, dự kiến triển khai vào khoảng năm 2030. Thế hệ di động 6G có thể nâng cao hiệu suất truyền thông tin - tốc độ dữ liệu cao nhất lên đến 1 Tbps và độ trễ cực thấp tính bằng micro giây. Sử dụng tần số terahertz và kỹ thuật ghép kênh không gian, 6G có thể cung cấp dung lượng cao hơn 1000 lần so với mạng 5G. Một mục tiêu 6G là tiến đến kết nối phổ cập bằng cách tích hợp mạng lưới thông tin liên lạc vệ tinh và mạng lưới thông tin liên lạc dưới nước để có thể mở rộng phạm vi phủ sóng toàn cầu. Công nghệ thu gom năng lượng và việc sử dụng các vật liệu mới có thể cải thiện đáng kể hiệu quả hệ thống năng lượng và hiện thực hóa mạng lưới xanh bền vững. Ba lớp dịch vụ mới trong 6G là phổ cập băng thông di động siêu thanh (ubiquitous mobile ultrabroadband - uMUB), truyền tốc độ cực nhanh độ trễ cực thấp (ultrahigh-speed-withlow- latency communications - uHSLLC) và mật độ dữ liệu siêu cao (ultrahigh data density - uHDD). Bài báo gồm năm phần: Phần một, giới thiệu tổng quan quan về mạng 6G. Phần hai trình bày các mục tiêu mạng 6G. Mô hình kiến trúc đề xuất trong phần ba. Phần bốn là các kỹ thuật mới cho mạng 6G. Cuối cùng là kết luận.

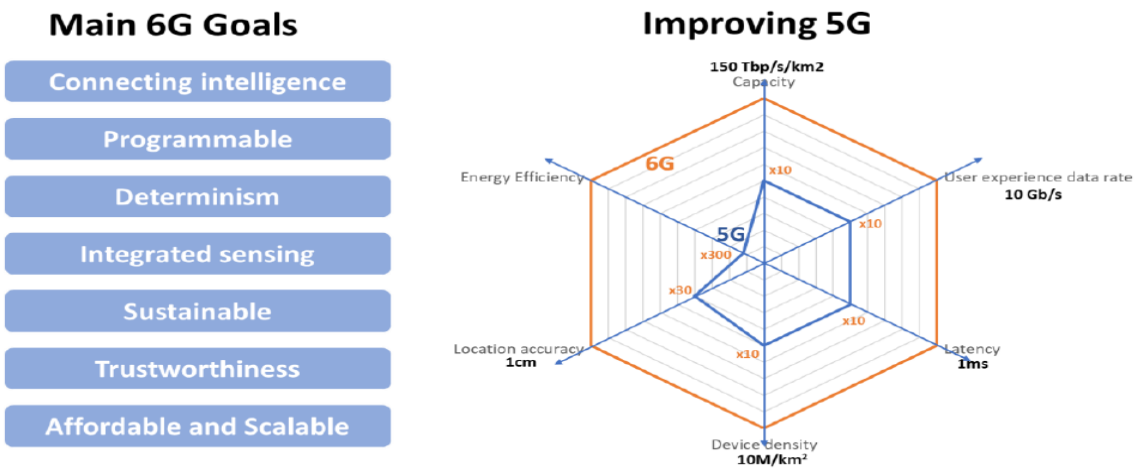
II. MỤC TIÊU MẠNG 6G

Trong thập kỷ qua, lưu lượng dữ liệu di động tăng trưởng từ 50% đến 100% hàng năm. Chúng ta có thể mong đợi sự gia tăng liên tục của số lượng thiết bị được kết nối (cảm biến, các kết nối ô tô, thiết bị gia đình, camera gắn trên cơ thể, v.v…) kết hợp với nhu cầu ngày càng tăng từ các ứng dụng và dịch vụ mới. Vì vậy mạng di động thế hệ tiếp theo cho những năm 2030 - 6G sẽ phục vụ cho lưu lượng dữ liệu di động lớn hơn từ 100 x đến 1000 x so với 5G. Các mục tiêu chính của mạng 6G:

- *Kết nối thông minh:* Nếu 5G hiện thực hóa tầm nhìn kết nối vạn vật – "connect of everything" và cho phép chuyển đổi kỹ thuật số mọi doanh nghiệp theo chiều dọc thì 6G được cho là sẽ mở ra một kỷ nguyên mới của kết nối thông minh "Connecting Intelligence" với những người được kết nối, những thứ được kết nối và trí thông minh được kết nối, giải quyết những thách thức của con người trong các khía cạnh và góp phần hoàn thiện thế giới nhân loại.
- *Có thể lập trình:* Cho phép điều khiển có thể lập trình và định hình môi trường truyền không dây qua các phần tử vô tuyến chủ động (active radio-frequency).
- *Khả năng ra quyết định:* Xử lí thông tin xác định, tập trung vào các tác vụ E2E, bao gồm cảm biến, truyền dẫn và tính toán xác định nhằm giảm độ trễ và đảm bảo trải nghiệm dịch vụ từ cấp hệ thống.
- *Cảm biến tích hợp:* Thu thập thông tin từ các thiết bị cảm biến, thu thập và phân tích dữ liệu.
- *Tính bền vững:* Nghiên cứu và phát triển 6G cần được thúc đẩy bởi các mục tiêu phát triển bền vững của Liên hợp quốc (UN SDGs).
- *Sự tin cậy:* Mức độ tin cậy 6G cần kết hợp giữa viễn thông, bảo mật, quyền riêng tư và nhiều lĩnh vực khác.
- *Giá cả hợp lí và khả năng mở rộng*: Đảm bảo một hệ thống 6G có thể mở rộng và giá cả phải chăng được sử dụng trên toàn thế giới.

Một trong những hứa hẹn lớn nhất của thập kỷ tới là giao tiếp nhập vai, viễn vọng ảnh ba chiều và thực tế ảo hay thực tế ảo tăng cường (AR/VR), tương đương chất lượng độ phân giải 8K, cung cấp tốc độ trải nghiệm cho người dùng lên đến 10 Gbps. Số lượng thiết bị di động ngày càng tăng, không có nghĩa

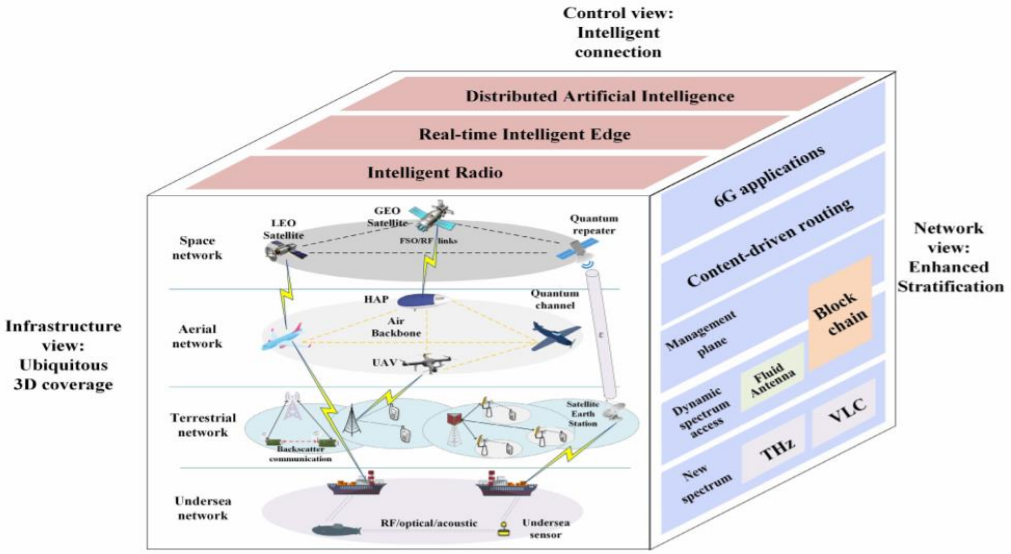
là mật độ thiết bị di động tăng lên. 6G có thể sử dụng các ô nhỏ hơn, trong đó mật độ thiết bị có thể cao hơn. Vì vậy, 6G hỗ trợ mật độ tối đa lên đến 10 thiết bị trên m^2. Hơn nữa, khi lưu lượng dữ liệu di động cho mỗi thiết bị tăng, dung lượng yêu cầu cũng tăng theo. Đối với các tình huống như khán giả trong sân vận động hay văn phòng trong các toà nhà có nhiều thiết bị thực tế tăng cường sẽ cần công suất trong khoảng 150 Tpbs/km^2, nghĩa là gấp 10 lần yêu cầu công suất của 5G. Điều này trở thành xu hướng chủ đạo trong giao tiếp của con người.



Hình 1. Các mục tiêu của mạng 6G [1].

III. MÔ HÌNH KIẾN TRÚC 6G

Mạng 6G được mong đợi để đạt được hiệu quả năng lượng và các kết nối không dây liền mạch về mặt xã hội trong phạm vi toàn cầu, trong khi kiến trúc mạng hiện tại không thể đảm bảo các ràng buộc về dung lượng cực cao, độ trễ cực thấp và độ tin cậy cho các ứng dụng trong tương lai. Kiến trúc của 6G thể hiện qua ba mặt phẳng trong hình 2.



Hình 2. Ba mặt phẳng kiến trúc mạng 6G.[2]

A. *Mặt phẳng hội tụ phổ cập 3D (UBIQUITOUS 3D COVERAGE)*

Mục tiêu của kiến trúc mạng thế hệ tiếp theo là đảm bảo phạm vi phủ sóng rộng và sâu. Kiến trúc mạng hiện tại - cơ sở hạ tầng di động mặt đất - có hai nhược điểm sau:

- Không có khả năng đáp ứng thông tin liên lạc độ cao và biển sâu;
- Chi phí cho việc thiết lập mạng di động toàn cầu đắc đỏ..

Để khắc phục những nhược điểm trên, 6G tích hợp mạng phi mặt đất (Space Air Ground Sea) để cung cấp phạm vi phủ sóng không dây đầy đủ.

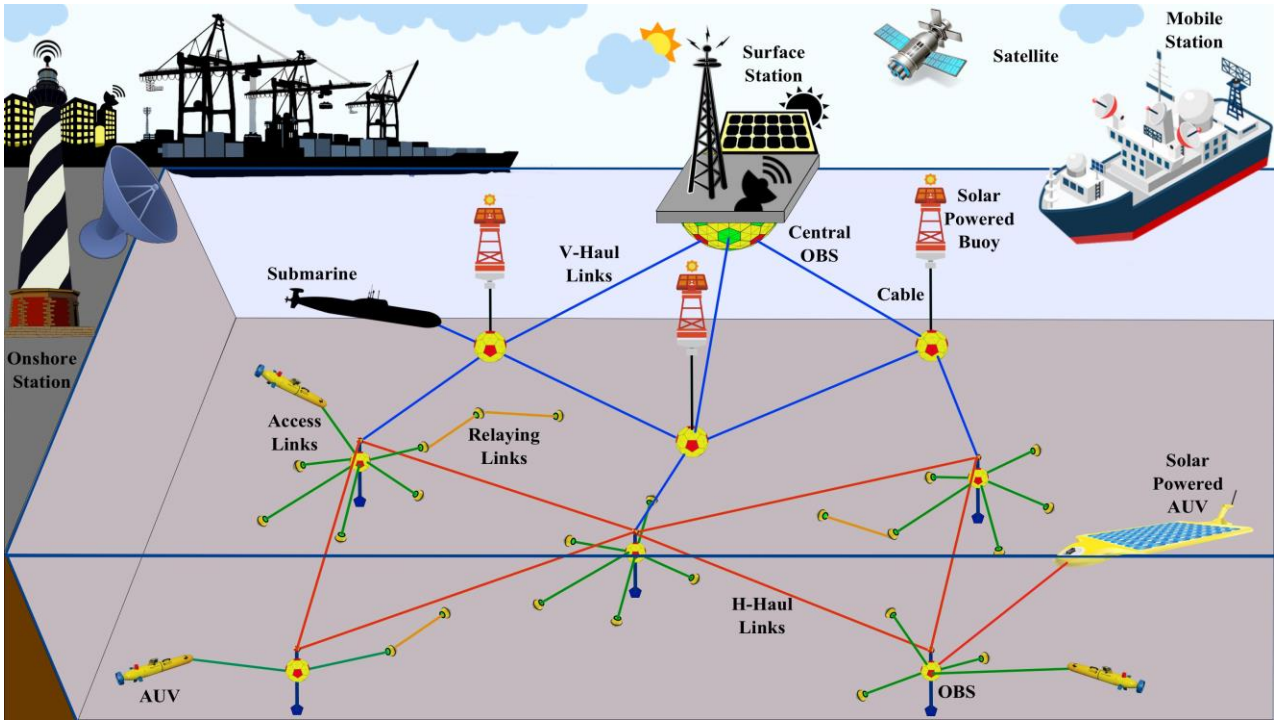
1) Mạng không gian (hệ thống vệ tinh LEO): Hệ thống vệ tinh dung lượng cao (High throughput satellite - HTS) có khả năng dịch vụ truy cập Internet

băng thông rộng tương đương với dịch vụ mặt đất về giá cả và băng thông. Hầu hết các thông tin liên lạc vệ tinh đang ở trong quỹ đạo địa tĩnh (GEO) tại một độ cao 35786 km, dẫn đến độ trễ quá mức và khả năng tích hợp với mạng di động mặt đất không khả thi. Hệ thống vệ tinh quỹ đạo phi địa tĩnh (NGSO) là đề xuất cung cấp Internet toàn cầu có độ trễ thấp, tốc độ bit cao kết nối và một số chòm sao vệ tinh sắp sửa bắt đầu thương mại hóa:

- *Starlink:* Công ty Mỹ SpaceX ra mắt Starlink, một chòm sao gồm 4425 vệ tinh quỹ đạo thấp (LEO) và 7518 vệ tinh VLEO trong khoảng quỹ đạo 340 km. Kế hoạch đã được liên bang cho phép Ủy ban Truyền thông (FCC) được triển khai đầy đủ vào năm 2027;
- *OneWeb:* Vào ngày 27 tháng 2 năm 2019, OneWeb thành công đã phóng 06 vệ tinh đầu tiên vào quỹ đạo. Chòm sao bao gồm 720 vệ tinh tầm thấp LEO và đã được ủy quyền từ Vương quốc Anh và FCC;
- *Hongyan:* Gồm 320 vệ tinh tầm thấp LEO của Tập đoàn Khoa học và Công nghệ Hàng không Vũ trụ Trung Quốc (CASC) sẽ hoàn thành vào năm 2025.

2) Mạng trên không (AERIAL NETWORK): Mạng trên không có thể được phân loại rộng rãi thành hai loại, các nền tảng độ cao (high altitude platforms - HAP) thường hoạt động trong tầng bình lưu và các nền tảng độ cao thấp (low altitude platforms - LAP) thường ở độ cao không quá vài km. So với LAP, các mạng HAP có khả năng phủ sóng rộng hơn và độ bền lâu hơn, nhưng lợi thế của HAP trùng lặp với mạng lưới vệ tinh LEO ở một mức độ nào đó. Mặt khác, mạng LAP dựa trên máy bay không người lái (unmanned aerial vehicle - UAV) có thể triển khai nhanh chóng, được thiết lập một cách rõ ràng hơn để phù hợp nhất với môi trường giao tiếp và cho hiệu suất tốt hơn trong giao tiếp tầm ngắn.

Mạng không dây UAV có thể triển khai đến các nơi trong tình huống cơ sở hạ tầng bị xâm phạm nghiêm trọng hoặc thậm chí không có cơ sở hạ tầng, đặc biệt trong trường hợp thảm họa và tình huống khẩn cấp. Bên cạnh đó, các trạm cơ sở bay như UAV có thể hoạt động như các nút chuyển tiếp trong liên lạc đường dài để thúc đẩy hội nhập mạng mặt đất và mạng phi mặt đất. Những tính năng này làm cho mạng không dây dựa trên UAV trở thành một thành phần tiềm năng không thể thiếu của hệ thống thông tin di động thế hệ tiếp theo. Kiến trúc dọc nhiều lớp được tích hợp đầy đủ cho mạng 6G bao gồm cả mặt đất, LAP dựa trên UAV, HAP, vệ tinh LEO và vệ tinh GEO sẽ là kiến trúc mạng vượt trội hơn hạ tầng và các giao thức hiện có.



Hình 3. Mạng thông tin dưới biển [3].

3) Mạng dưới biển (Undersea): Có rất nhiều tranh cãi về việc liệu mạng lưới dưới biển có thể trở thành một phần của mạng 6G trong tương lai. Dưới biển, giao tiếp không dây chủ yếu liên quan đến RF, âm thanh và thông tin liên lạc quang học (hình 3). Sự so sánh giữa ba công nghệ truyền thông trên được thể hiện trong bảng I.

BẢNG I. SO SÁNH CÁC KỸ THUẬT TRUYỀN DƯỚI BIỂN.

STT	Thông số	Tần số vô tuyến	Âm thanh	Quang
1	Sự suy hao	Cao	Thấp nhất	Độ đục
2	Tốc độ truyền	Mbps	Kbps	Gbps
3	Độ trễ	Vừa phải	Cao	Thấp
4	Khoảng cách truyền	< 10m	< 100Km	< 100m
5	Công suất tiêu thụ	Vừa phải	Cao	Thấp

Môi trường dưới nước phức tạp và khó lường dẫn đến triển khai mạng phức tạp, tín hiệu suy giảm rất lớn. Vì vậy, mạng dưới biển còn nhiều vấn đề cần được giải quyết.

B. Mặt phẳng kết nối thông minh (Intelligent connection)

1) Khía cạnh thời gian thực thông minh (REAL-TIME INTELLIGENT EDGE – RTIE): Mạng thế hệ tiếp theo yêu cầu sự hỗ trợ của tương tác các dịch vụ từ AI và một số dịch vụ lái xe tự động rất nhạy với độ trễ. Điều này cần tương tác thông minh với môi trường của chúng trong thời gian thực. RTIE rất cần thiết cho dự đoán, suy luận và quyết định thông minh được thực hiện trên dữ liệu trực tiếp.

2) Vô tuyến thông minh (INTELLIGENT RADIO – IR): Đây là khái niệm gần giống với khái niệm vô tuyến nhận thức. IR cho phép thiết bị truy cập phổ tần mọi lúc mọi nơi tùy theo môi trường và nhu cầu của nó, ngoài khả năng giao tiếp còn có các vấn đề như tính toán, bảo mật, v.v…

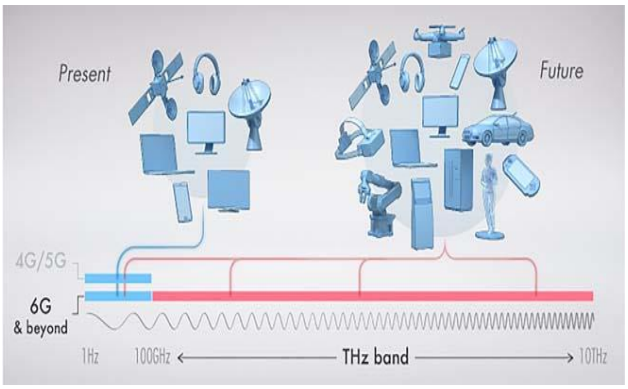
3) Trí tuệ nhân tạo phân tán (DISTRIBUTED AI): Mạng tương lai sẽ là một hệ thống phi tập trung lớn, nơi các quyết định thông minh được đưa ra ở các cấp độ khác nhau. Để đẩy nhanh việc học và cải thiện độ tin cậy theo cấp số nhân, AI phân tán thúc đẩy các nguồn tài nguyên (tính toán, giao tiếp, lưu vào bộ nhớ đệm và điều khiển) trong mạng thông qua quá trình đào tạo song song đòi hỏi tách dữ liệu và mô hình theo cách thích hợp.

C. Mặt phẳng phân tầng nâng cao (Enhanced stratification)

Mặt phẳng phân tầng 6G được chia thành 5 tầng. Tầng dưới cùng là vật lí: Sử dụng phổ tần mới như terahertz (THz), (visible light communications VLC –Thông tin ánh sáng nhìn thấy). Tiếp theo là tầng truy cập phổ động (dynamic spectrum access), tầng mặt phẳng quản lí (management plane), tầng định tuyến theo nội dung (content driven routing). Trên cùng là tầng ứng dụng 6G. Block chain dùng cho an ninh mạng, giữa tầng dynamic spectrum access và tầng management plane. Trên cùng là lớp ứng dụng của 6G.

IV. CÁC KỸ THUẬT MỚI CHO 6G

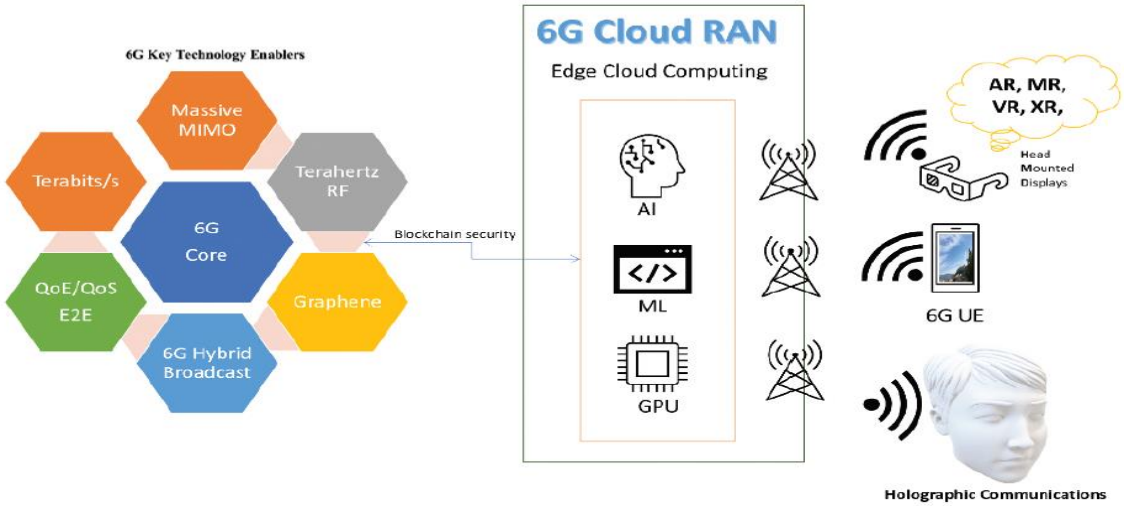
A. Terahertz (THz) communication



Hình 5. Băng tần THz [4].

Dải THz là dải quang phổ giữa vi sóng và các dải quang học, với tần số khác nhau, từ 0.1 THz đến 10 THz. Hệ thống liên lạc THz hứa hẹn sẽ hỗ trợ dữ liệu tốc độ từ 100 Gbps đến Tbps. Sóng THz giao tiếp an toàn do chùm tia hẹp và chu kì xung ngắn nên hạn chế đáng kể xác suất nghe trộm. Sóng THz có thể xuyên qua một số vật liệu với suy hao thấp. Với những đặc điểm như vậy, sóng THz có thể ứng dụng rộng rãi trong truyền thông không dây và truyền thông không gian tốc độ cực cao. Do đó, các cơ quan quản lý toàn cầu đang cố gắng xúc tiến các tiêu chuẩn để phát triển các công nghệ truyền thông mới trong phổ tần THz. Tuy nhiên, dãi THz gặp nhiều trở ngại hơn trong việc triển khai do những hạn chế vật lý của công nghệ bán dẫn và đóng gói hiện đại. Các vật liệu mới (như graphene - bao gồm than chì, ống nano carbon và fulleren) có thể giải quyết hạn chế này. Những thách thức khác để đáp ứng các yêu cầu về phạm vi phủ sóng và tính di động của 6G gồm: Mô hình kênh THz mới, các sơ đồ điều chế và dạng sóng mới, các giao

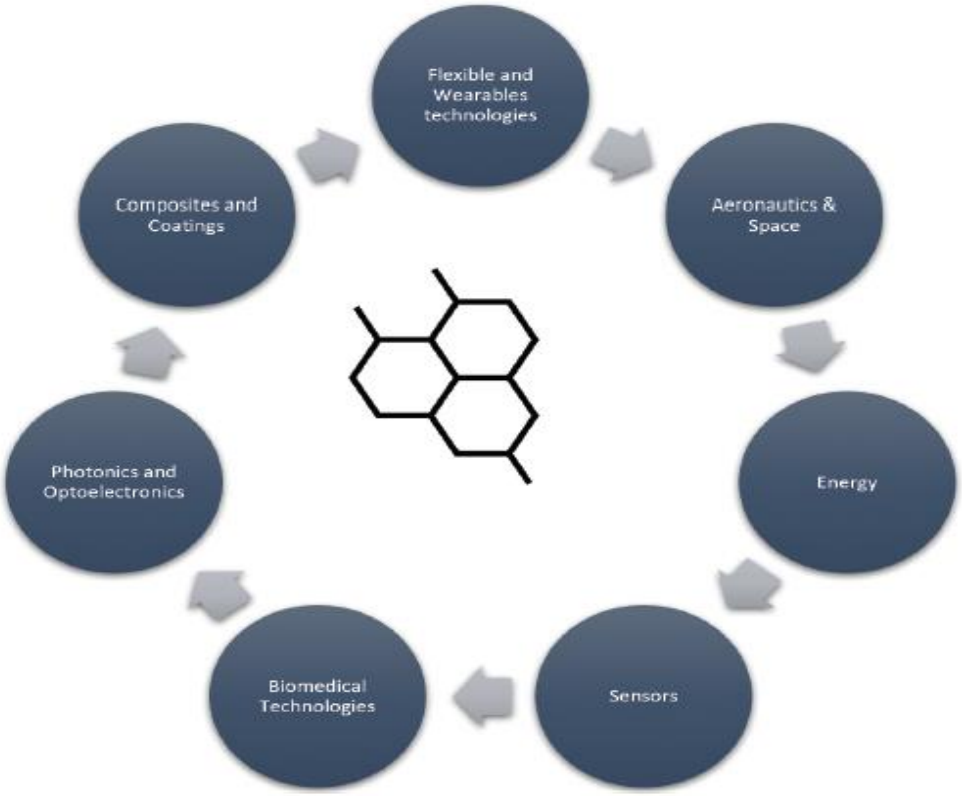
thức MAC mới, mô hình hóa và giảm thiểu các trường hợp phi tuyến tính và nhiễu pha, quá trình ADC/DAC cho hàng chục mẫu Giga/giây với mức tiêu thụ điện năng hợp lý, …



Hình 4. Các kỹ thuật mới cho 6G [5].

B. Ultra-Massive MIMO & Graphene

Để tăng cường kết nối không dây Terahertz, nguyên tố hóa học Graphene đóng vai trò giải quyết các hạn chế về vật liệu bán dẫn hiện nay. Graphene là một nguyên tố của carbon vật liệu, có khả năng hoạt động như một chất siêu bán dẫn.



Hình 6. Các lĩnh vực ứng dụng của vật liệu Graphene [5].

Sử dụng Graphene để sản xuất anten nano plasmonic siêu nhỏ gọn tạo ra UM-MIMO (Ultra Massive MIMO) hoạt động trong miền THz với cấu hình hàng nghìn anten. Kỹ thuật UM-MIMO cho phép truyền nhận lên tới tốc độ Tbps.

C. Truyền thông không dây quang (Optical Wireless Communications - OWC)

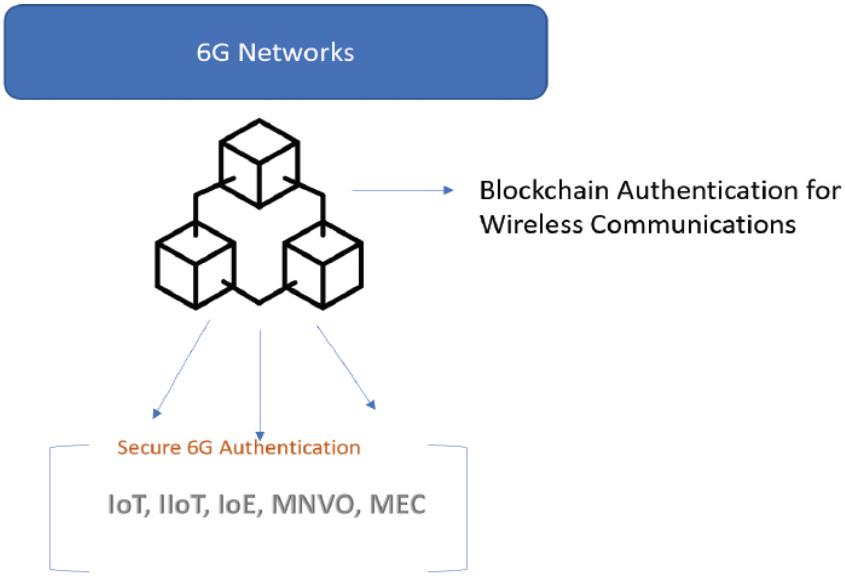
Truyền thông không dây quang (OWC) được xem là một công nghệ bổ sung cho truyền thông di động dựa trên RF và dải tần hồng ngoại. Quang phổ ánh sáng khả kiến (430-790THz) là phổ tần lý tưởng nhất

của OWC do những tiến bộ công nghệ và sự áp dụng rộng rãi của đèn LED. Một trong những khía cạnh nổi bật nhất của đèn LED khác với công nghệ chiếu sáng trước đó là nó có thể chuyển các mức cường độ ánh sáng khác nhau rất nhanh chóng, cho phép dữ liệu được mã hóa dưới dạng ánh sáng theo nhiều cách khác nhau. Các loại OWC:

- Truyền thông quang không gian tự do (FSO - Free Space Optical Communications);
- Truyền thông ánh sáng có thể nhìn thấy (VLC - Visible Light Communications);
- Truyền thông máy ảnh quang học (Optical Camera Communications – OCC);
- Kết nối mạng không dây với ánh sáng (Light Fidelity or Wireless Networking with Light - LiFi);

Hiện tại, công nghệ micro-LED đã đạt được tốc độ truyền tải 10 Gbps. Công nghệ này hi vọng đạt tốc độ truyền dữ liệu hàng trăm Gbps, hoặc thậm chí Tbps trong kỷ nguyên 6G.

D. Bảo mật chuỗi khối cho 6G (Blockchain Security Model for 6G)



Hình 7. Mô hình bảo mật Blockchain [5].

Tại sao Blockchain là một công nghệ đủ điều kiện để cung cấp phương pháp xác thực cho 6G? Công nghệ chuỗi khối, còn được gọi là "sổ cái phân tán" (Distributed Ledger Technology – DLT), cho phép truyền dữ liệu an toàn qua Internet thông qua ghi chú vô hạn, ghi nhận từng thay đổi xảy ra trên dữ liệu theo cách phi tập trung trong thời gian thực cho tất cả người dùng dữ liệu đó. Mô hình do DLT cung cấp cho phép xây dựng một mạng không dây đáng tin cậy, đồng thời phi tập trung và việc trao đổi dữ liệu không thể được điều chỉnh. Một số tiềm năng Blockchain mang lại cho mạng 6G:

- Cung cấp quản lý tài nguyên thông minh;
- Cung cấp quyền kiểm soát truy cập cho 6G và xác thực user;
- Chống lại các cuộc tấn công DDoS (Distributed Denial of Service).

V. KẾT LUẬN

Sự gia tăng gần như theo cấp số nhân đối với dữ liệu không dây, đặc biệt là dữ liệu đa phương tiện và các thiết bị thông minh tạo tiền đề cho sự phát triển không dây tiếp theo về phía 6G. Bài báo đề cập đến các mục tiêu và kiến trúc mới của mạng di động thế hệ thứ 6. Đi cùng với nó là các công nghệ phổ tần mới, như giao tiếp THz và VLC, mô hình giao tiếp mới, kỹ thuật UM-MIMO cùng với vật liệu mới Graphene cho phép giao tiếp tốc độ lên tới hàng Tbps trong mạng 6G. Mặt khác, việc tái cấu trúc phân tầng kết hợp các kết nối thông minh như thời gian thực thông minh, vô tuyến thông minh, trí tuệ nhân tạo giúp mạng 6G có khả năng tương tác thông minh với môi trường, ra quyết định thông minh ở các cấp độ khác nhau, đồng thời tạo kiến trúc dọc nhiều lớp vượt trội so với kiến trúc mạng hiện tại. Đây chính là tiền đề quan trọng tiến tới xã hội 5.0, tạo ra tiến bộ bền vững cho xã lội, phù hợp với các mục tiêu phát triển bền vững của Liên hiệp quốc.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] The 5G Infrastructure Association, "European Vision for the 6G Network Ecosystem", 2021. Availbale: https://5g-ppp.eu/wp-

content/uploads/2021/06/WhitePaper-6G-Europe.pdf. Accessed on: 30/12/2021.

[2] T. Huang, W. Yang, J. Wu, J. Ma, X. Zhang, D. Zhang, "A Survey on Green 6G Network: Architecture and Technologies", IEEE Access, vol.7, pp.175758-175768, 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2957648.

[3] Nasir Saeed, Abdulkadir Çelik, Tareq Y. Al-Naffouri, Mohamed-Slim Alouini, "Underwater Optical Wireless Communications, Network, and Location: A servey", Ad Hoc Network 94:101935, 2019, DOI:10.1016/j.adhoc.2019.101935.

[4] Mohamad-Slim Alouini, Osama Amin, Shuping Dang, "What should 6G be?", 2019-2022, https://shihada.com/basem-shihada/projectarticle/what-should-6g-be, Accessed on: 20/08/2022.

[5] P. S. R. Henrique, Ramjee Prasad, "6G The Road to the Future Wireless Technologies 2030", in 6G The Road to the Future Wireless Technologies 2030, Gistrup, Denmark: River Publishers, 2021, pp. i-xxvi.

[6] M. Z. Asghar, S. A. Memon, J. Hämäläinen, "Evolution of Wireless Communication to 6G: Potential Applications and Research Directions", Sustainability, vol. 14, no.10, 2022. DOI:10.3390/su14106356.

[7] S. Barmpounakis, et al., "Dynamic Infrastructure-As-A-service: A key paradigm for 6G networks and application to maritime communications", ITU Journal on Future and Evolving Technologies, vol. 3, issue 1, 2022.