

# TRUYỀN THÔNG VỆ TINH TRONG KỶ NGUYÊN KHÔNG DÂY THỂ HỆ THỨ 5: KỊCH BẢN ỨNG DỤNG VÀ THÁCH THỨC KỸ THUẬT

Nguyễn Viết Minh

Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

**Tóm tắt:** Hệ thống truyền thông không dây thể hệ thứ 5 (5G) mang lại những thay đổi lớn giúp giải quyết các thách thức của truyền thông hiện nay: Dữ liệu tốc độ cực cao; Trễ rất nhỏ; Kết nối kiểu máy cỡ lớn. Các mạng 5G đang được thử nghiệm, triển khai rộng khắp toàn cầu và được chuẩn hóa trong tiêu chuẩn IMT-2020 của ITU. Với 5G, truyền thông vệ tinh (SatCom – Satellite Communications) có vai trò thế nào, bài báo sẽ đi qua một số động lực chính cho sự phát triển của SatCom hiện nay, khảo sát các kịch bản ứng dụng tiềm năng liên quan đến tích hợp mạng vệ tinh – mặt đất cho mở rộng vùng phủ, cung cấp thông nhất các dịch vụ kết nối internet vạn vật (IoT), băng rộng di động tăng cường (eMBB) và truyền thông trễ thấp và cực tin cậy (URLLC). Bên cạnh đó, các thách thức kỹ thuật chính đối với truyền thông vệ tinh trong việc hòa nhập với hệ thống 5G cũng được đề cập, đây cũng chính là các hướng được tập trung nghiên cứu hiện nay trong lĩnh vực này.<sup>†</sup>

**Từ khóa:** SatCom, 5G, tích hợp vệ tinh – mặt đất.

## I. MỞ ĐẦU

Hệ thống thông tin di động mặt đất đã phát triển qua 4 thế hệ từ 1G, 2G đến 3G với tiêu chuẩn IMT-2000 và 4G với tiêu chuẩn IMT-Advanced. Mạng 5G đang được triển khai rộng rãi và được chuẩn hóa trong tiêu chuẩn IMT-2020. Các hệ thống truyền thông vệ tinh phát triển khá độc lập với hệ thống mặt đất với tính chất đặc thù riêng, khiến cho việc tích hợp hai hệ thống cho dịch vụ hợp nhất trở nên rất khó khăn. Tuy nhiên điều này phải thay đổi với hệ thống 5G, hệ thống vệ tinh phải được tích hợp và trở thành một thành phần cơ bản của mạng không dây chung cung cấp các dịch vụ 5G. Với những đặc trưng riêng của mình, hệ thống vệ tinh sẽ giúp tăng cường khả năng dịch vụ 5G, cũng như giải quyết những thách thức liên quan đến vùng phủ sóng, truyền thông máy-máy (M2M – Machine to Machine), quảng bá lưu lượng đa phương tiện v.v.

Trong một mạng 5G thống nhất, các kịch bản ứng dụng chính của vệ tinh cần được xác định để làm rõ những đóng góp của nó trong các chỉ số hiệu năng chính (KPI) của 5G. Đặc biệt là các khía cạnh liên quan đến vùng phủ sóng,

thông tin kiểu máy cỡ lớn (mMTC), cứu hộ, quảng bá và đa phương. Vệ tinh cũng đảm bảo tích hợp chặt chẽ với mạng mặt đất cho truyền dẫn, cung cấp kết nối đến đầu cuối mạng và đường trục. Các nghiên cứu hiện nay đang được tập trung nhiều trong việc phát triển các công nghệ, kỹ thuật tiên tiến cho hệ thống SatCom phù hợp với sự phát triển của 5G. Tuy nhiên vẫn còn nhiều thách thức kỹ thuật cho sự tích hợp chặt chẽ, chủ yếu liên quan đến đặc tính của đường truyền vệ tinh với trễ lớn, vùng phủ sóng rộng và công suất tín hiệu thu rất nhỏ, cùng với đó là vấn đề phổ tần, vị trí quỹ đạo. Đây cũng là hướng phát triển cho các nghiên cứu về lĩnh vực thông tin vệ tinh hiện nay.

Về bố cục của bài báo, sau phần 1 Giới thiệu, bài báo sẽ đi qua các động lực chính cho sự phát triển của truyền thông vệ tinh hiện nay trong phần II. Tiếp theo, phần III xác định các lĩnh vực chính vệ tinh có thể đảm nhiệm trong vai trò là thành phần hệ thống 5G. Chi tiết các khía cạnh hệ thống trong phát triển gần đây của SatCom 5G được thảo luận trong phần IV. Phần V đề cập các thách thức và hướng nghiên cứu phát triển của SatCom và cuối cùng là phần Kết luận.

## II. ĐỘNG LỰC PHÁT TRIỂN CỦA SATCOM

Thông tin vệ tinh hiện nay đang đứng trước cơ hội phát triển mới trong hệ sinh thái không dây thể hệ 5, bên cạnh đó là những thách thức không nhỏ thúc đẩy sự đổi mới của SatCom để đảm nhiệm được vai trò quan trọng mới. Cùng với những tiến bộ trong công nghệ điện tử truyền thông, SatCom cũng liên tục phát triển, hoàn thiện nhờ sự hỗ trợ của các công nghệ, lĩnh vực liên quan. Những động lực cơ bản cho sự phát triển của SatCom hiện nay được bài báo trình bày văn tắt dưới đây.

### A. Các dạng chùm vệ tinh mới

Theo truyền thống, vệ tinh địa tĩnh (GEO – Geostationary Earth Orbit) được sử dụng chủ yếu cho SatCom vì chúng tránh chuyển động nhanh giữa các thiết bị đầu cuối và bộ thu phát vệ tinh đồng thời chúng cho phép phủ sóng rộng bằng cách sử dụng một vệ tinh duy nhất. Các hệ thống vệ tinh đa búp sóng (multibeam) đã được phát triển cho phép tái sử dụng tần số hiệu quả và đạt được băng

Tác giả liên hệ: Nguyễn Viết Minh,

Email: [minhmv@ptit.edu.vn](mailto:minhmv@ptit.edu.vn)

Đến tòa soạn: 2/2021, chỉnh sửa: 3/2021, chấp nhận đăng: 4/2021

thông rộng, thông lượng cao trên toàn vùng phủ sóng, đây là điểm đặc trưng khác biệt so với các hệ thống di động mặt đất. Gần đây, các loại chùm vệ tinh mới tham vọng hơn hiện đang được phát triển, chúng được thúc đẩy bởi các công nghệ truyền thông tiên tiến được phát triển cùng với chi phí phóng vệ tinh lên quỹ đạo đã rẻ hơn nhiều so với trước đây.

Theo hướng này, gần đây đã có sự quan tâm lớn đến việc phát triển các chùm lớn vệ tinh quỹ đạo trái đất thấp (LEO – Low Earth Orbit) có thể cung cấp các dịch vụ băng thông rộng, thông lượng cao với độ trễ thấp. Loại chùm vệ tinh này đã từng là công nghệ cách mạng của SatCom kể từ khi Teledesic lần đầu tiên đề xuất nó cách đây 25 năm [1]. Tuy nhiên đến hiện nay các quy trình sản xuất vệ tinh và phóng liên quan đã hoàn thiện và việc triển khai hệ thống trở nên khả thi trong tầm tay. Nhiều công ty, chẳng hạn như SpaceX, Amazon, OneWeb, TeleSAT, đã công bố các dự án LEO lớn bao gồm hàng nghìn vệ tinh và một số dự án đã phóng vệ tinh thử nghiệm giai đoạn đầu. Tính đến tháng 2 năm 2021, SpaceX đã triển khai khoảng 1081 vệ tinh để xây dựng chùm vệ tinh Starlink của mình, với mục tiêu đạt gần 1440 vệ tinh vào năm 2022 [2].

### B. Khả năng xử lý trên trạm

Theo truyền thống, khả năng xử lý trên trạm là yếu tố hạn chế đối với các chiến lược phát triển SatCom tiên tiến. Thứ nhất, phần lớn các vệ tinh hoạt động như một bộ chuyển tiếp đối tần, khuếch đại và chuyển tiếp do đó quá trình xử lý trên trạm phải là dạng sóng. Thứ hai, tồn tại tổn hao đường truyền lớn phải đối mặt và nguồn cung cấp năng lượng hạn chế, nó liên quan chặt chẽ với khối lượng vệ tinh và chi phí phóng. Thứ ba, các thành phần trên trạm được sử dụng với công nghệ phải cực kỳ đáng tin cậy và mạnh mẽ vì có rất ít cơ hội sửa chữa/thay thế sau khi vệ tinh được đưa vào quỹ đạo. Tuy nhiên, những tiến bộ gần đây về hiệu năng sản xuất điện, hiệu quả năng lượng của phần tần số vô tuyến cũng như các thành phần xử lý kỹ thuật số đã cho phép tăng cường xử lý trên trạm, từ đó có thể cho phép các công nghệ truyền thông linh hoạt, chẳng hạn như định tuyến/phân kênh, tạo chùm tia và thậm chí tái tạo tín hiệu [3]. Hơn nữa, công nghệ vô tuyến định nghĩa bằng phần mềm (SDR) cho phép xử lý dạng sóng trên trạm có thể được nâng cấp trong suốt thời gian tồn tại của vệ tinh. Cuối cùng, chi phí phóng rẻ và việc sản xuất vệ tinh hàng loạt cho phép triển khai các giải pháp mới tiếp cận mức độ rủi ro/sáng tạo cao hơn, đảm bảo theo kịp những phát triển mới nhất trong công nghệ truyền thông.

### C. Các mạng không trên mặt đất

Mạng phi mặt đất (NTN – Non Terrestrial Networks) là một thuật ngữ được đặt ra theo tiêu chuẩn 5G để chỉ các hệ thống liên lạc bao gồm vệ tinh, phương tiện bay không người lái (UAV), hạ tầng trên cao (HAP). Ngoài thông tin vệ tinh, thời gian gần đây, HAP và đặc biệt là UAV được ứng dụng rất phổ biến, bên cạnh đó các công nghệ truyền thông sử dụng HAP, UAV đang dần hoàn thiện do đó trong việc chuẩn hóa 5G cần phải đưa vào các hệ thống này. Mục tiêu chính của sáng kiến nêu trên là tích hợp liền mạch các thành phần NTN vào hệ thống 5G bằng cách nghiên cứu các điểm đặc biệt của chúng về mặt kiến trúc và giao diện vô tuyến. Quan trọng hơn, các bên liên quan muốn đánh giá các đặc điểm riêng biệt nổi bật của các NTN, chẳng hạn như phạm vi phủ sóng rộng, khả năng đa hướng và sự bổ sung với cơ sở hạ tầng trên mặt đất hiện tại. Hơn nữa, từ quan điểm triển khai, chi phí có thể giảm đáng kể bằng cách

sử dụng chipset/hệ thống 5G và khai thác kinh tế hơn ở quy mô lớn. Theo hướng này, một số trường hợp sử dụng đầy hứa hẹn đã được đưa ra và các điểm thích ứng cụ thể của các tiêu chuẩn 5G hiện tại đã được đề xuất thông qua các nhóm làm việc liên quan, tập trung vào khả năng tương thích giao diện vô tuyến và tích hợp kiến trúc.

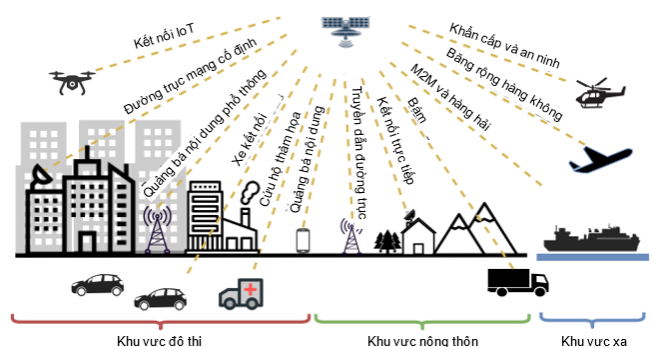
## III. KỊCH BẢN ỨNG DỤNG SATCOM VỚI VAI TRÒ LÀ THÀNH PHẦN 5G

Truyền thông vệ tinh đang trở thành thành phần quan trọng trong hệ sinh thái 5G, bổ sung cho phần truyền thông mặt đất cố định và di động. Hiện 3GPP đã chỉ ra các kịch bản sử dụng SatCom trong 5G với ba mảng ứng dụng chính đó là [4]:

1- Thúc đẩy việc triển khai dịch vụ 5G ở các khu vực chưa được phục vụ do không thể phủ sóng bởi mạng 5G trên mặt đất (như các khu vực biệt lập/hẻo lánh, trên máy bay hoặc tàu thuyền) và các khu vực được phục vụ kém (như khu vực ngoại thành/nông thôn). Hơn nữa, giúp nâng cấp hiệu năng của các mạng mặt đất một cách hiệu quả.

2- Tăng cường độ tin cậy của dịch vụ 5G bằng cách cung cấp dịch vụ liên tục cho thiết bị M2M/IoT hoặc cho người dùng trên các phương tiện di chuyển. Ngoài ra, cũng đảm bảo dịch vụ sẵn sàng ở bất cứ đâu, đặc biệt là đối với các thông tin liên lạc quan trọng như thông tin cứu hộ cứu nạn.

3- Cho phép mở rộng khả năng mạng 5G bằng cách cung cấp tài nguyên quảng bá/đa phương hiệu quả cho dịch vụ dữ liệu ở biên mạng.



Hình 1. Vai trò của vệ tinh trong hệ sinh thái 5G

Chi tiết hơn về các trường hợp sử dụng vệ tinh cho từng nhóm dịch vụ 5G được minh họa trong Hình 1. Chúng ta sẽ phân tích chi tiết hơn các lĩnh vực mà SatCom có thể đảm nhận vai trò cần thiết trong hệ sinh thái 5G theo các khía cạnh về vùng phủ sóng, truyền thông dạng máy cỡ lớn và truyền thông độ tin cậy cao.

### A. Vùng phủ sóng

Mục tiêu chung của 5G là cung cấp kết nối rộng khắp cho mọi loại thiết bị cũng như bất kỳ loại ứng dụng nào. Điều này chỉ có thể trở thành hiện thực khi tích hợp vệ tinh với mạng 5G. So với các nhà khai thác mạng di động mặt đất, các nhà khai thác truyền thông vệ tinh có thể cung cấp một mạng toàn cầu duy nhất giúp giảm chi phí vận hành, hỗ trợ thương mại. Điều này làm cho các dịch vụ, dữ liệu toàn cầu cùng chi phí hợp lý chỉ có thể được thực hiện thông qua công nghệ vệ tinh. Do đó, việc cung cấp dữ liệu và dịch vụ đến các địa điểm xa xôi, hành khách trên máy bay, tàu hỏa và tàu thủy, các khu vực khó tiếp cận trong các tình

huống khẩn cấp, cũng như đối tượng khách hàng ngoài nước là cơ hội thị trường hàng đầu cho các nhà khai thác mạng vệ tinh (SNO). Hơn nữa, lợi thế của vệ tinh liên quan đến vùng phủ sóng dự kiến sẽ tăng hơn nữa trong điều kiện sau:

- + Chùm vệ tinh LEO cỡ lớn có thể cung cấp các dịch vụ như chuyển tiếp toàn cầu hiệu quả và truy cập vị trí địa lý chi tiết ở mọi nơi.

- + Triển khai tài nguyên điện toán đám mây không gian trong tương lai.

- + Tăng dung lượng thông qua các kỹ thuật mới như tái sử dụng tần số theo không gian và tăng hiệu suất phổ tần bằng phương pháp điều chế mới, cũng như sử dụng kỹ thuật đa anten thu phát (MIMO – Multiple Input Multiple Output) vệ tinh.

- + Tiến bộ trong công nghệ khai thác vị trí dự đoán của vệ tinh và vị trí địa lý của thiết bị mặt đất giúp đưa ra các sơ đồ thích ứng phù hợp và hiệu quả hơn.

### B. Truyền thông dạng máy cỡ lớn

Truyền thông dạng máy cỡ lớn dẫn đến khả năng hỗ trợ một số lượng lớn các thiết bị IoT giá rẻ với thời lượng pin rất dài và phạm vi phủ sóng rộng bao gồm cả môi trường trong nhà. Sự gia tăng theo cấp số nhân của số lượng các thiết bị được kết nối đòi hỏi phải xem xét các công nghệ mới hướng tới tập hợp dữ liệu lớn và quảng bá dữ liệu vượt ra ngoài vô tuyến mặt đất. Khả năng quảng bá vốn có của vệ tinh cho phép nó tiếp cận với số lượng thiết bị rất lớn trong khi chỉ sử dụng một lượng tài nguyên hạn chế khiến chúng rất phù hợp với các mạng M2M phân tán. Mạng vệ tinh cung cấp các phương tiện để tập hợp dữ liệu lớn thông qua môi trường quan sát địa lý cũng như một phương tiện để chia sẻ kết nối đường lên một cách rất hiệu quả từ một số lượng rất lớn các vùng mạng được kết nối. Ngoài ra, các vệ tinh đã hỗ trợ các ứng dụng bám đối tượng (tracking) có thể được mở rộng để hỗ trợ truyền thông M2M/IoT trong tương lai.

Một lưu ý khác đó là việc triển khai một số lượng lớn thiết bị đặt ra một thách thức hoạt động rõ ràng, do các thiết bị phải được bảo trì (các bản vá bảo mật, v.v.), được định cấu hình và nâng cấp theo thời gian. Các vệ tinh có thể hỗ trợ/vượt qua những thách thức trong quá trình hoạt động liên quan đến việc triển khai số lượng lớn thông qua việc:

- + Phân phối dữ liệu hiệu quả trên quy mô lớn và với phạm vi toàn cầu, bổ sung cho việc triển khai trên mạng mặt đất.

- + Cung cấp dung lượng đường trục theo yêu cầu mà không cần triển khai thêm cơ sở hạ tầng mặt đất. Bản chất theo yêu cầu là do phần lớn các dịch vụ M2M yêu cầu đường trục không liên tục.

- + Cung cấp một giải pháp thay thế kết nối rất hiệu quả cho truyền thông M2M. Vệ tinh cũng có thể cung cấp một giải pháp thay thế cho các khu vực xa xôi và hẻo lánh cũng như trong các mạng liên miền dày đặc, nơi các gói dữ liệu phải được chuyển qua nhiều hệ thống tự động để đến đích. Điều này đại diện cho thị trường hiện tại của mạng vệ tinh, nơi M2M hiện đang trở thành một trong những dịch vụ kết nối quan trọng.

- + Chuyển vùng sử dụng một nhà khai thác vệ tinh duy nhất. Mạng vệ tinh có thể tiếp cận một khu vực rộng lớn,

vượt qua bất kỳ loại biên giới nào và thông qua đó đảm bảo tính khả dụng của kết nối thông qua một nhà cung cấp duy nhất.

- + Kích hoạt và cấu hình thiết bị qua vệ tinh để sử dụng cơ sở hạ tầng mạng nội hạt.

- + Dự phòng kết nối liên tục sẵn sàng cho truyền thông khi không có mạng mặt đất.

### C. Truyền thông độ tin cậy cao

Các ứng dụng và trường hợp sử dụng mới trong 5G, chẳng hạn như chăm sóc sức khỏe di động và xe tự hành, yêu cầu hỗ trợ độ trễ rất thấp, thường là dưới 1ms và tính khả dụng, bảo mật và độ tin cậy rất cao. Do đó, độ trễ rất thấp qua mạng vô tuyến là một trong những mục tiêu của 5G. Đạt được độ trễ thấp trong truyền thông mức dịch vụ đầu cuối – đầu cuối bị hạn chế bởi các giới hạn vật lý và không thể thực hiện được nếu không chuyển chức năng ra biên của mạng, tại vị trí gần điểm kết thúc của mạng vô tuyến 5G có độ trễ rất thấp. Do đó, để đáp ứng các yêu cầu về độ trễ, giải pháp thay thế hiệu quả duy nhất là cung cấp khả năng tính toán khả dụng ở biên mạng và ngăn mạch mạng đầu cuối – đầu cuối cho các dịch vụ có độ trễ khắt khe [5]. Các dịch vụ yêu cầu thời gian trễ dưới 1ms phải có tất cả nội dung của chúng được phục vụ từ một vị trí vật lý rất gần với thiết bị của người dùng. Có thể tại trạm gốc của từng ô, bao gồm nhiều ô nhỏ được dự đoán là cơ bản để đáp ứng các yêu cầu về mật độ [6]. Để đạt được đường dịch vụ ngắn, tất cả các chức năng bắt buộc đối với việc cung cấp dịch vụ phải được đặt ngay ở biên, điều này làm cho dung lượng đường trục và các đặc tính trễ ngoài nút biên không liên quan đến độ trễ cung cấp dịch vụ thực tế.

Độ trễ lan truyền của vệ tinh GEO, khoảng 270 ms (540 ms khứ hồi), có thể chấp nhận được trong một số trường hợp sử dụng 5G. Mạng vệ tinh MEO và LEO sẽ có thể hỗ trợ nhiều ứng dụng nhạy cảm với độ trễ hơn. Độ trễ lan truyền của dịch vụ kết nối cũng sẽ được quản lý bởi kích thước và cấu trúc liên kết thích hợp của các chùm vệ tinh, cấu hình động của các cụm máy khách cũng như kỹ thuật liên kết mạng có khả năng chịu trễ. Trong khi đó, độ trễ xử lý có thể được quản lý bằng cách phân tán phù hợp việc thực thi các chức năng ảo trên các trung tâm dữ liệu không gian và mặt đất.

## IV. CÁC KHÍA CẠNH HỆ THỐNG TIẾN TIẾN TRONG SATCOM 5G

Những tiến bộ gần đây của SatCom 5G có được dựa trên những dự án tích hợp vệ tinh – mặt đất trong hệ sinh thái 5G. Khía cạnh nổi bật tập trung ở vấn đề phối hợp phổ tần, chùm vệ tinh LEO cỡ lớn, công nghệ GaN và giải pháp báo hiệu tích hợp.

### A. Phổ tần mặt đất và vệ tinh trong 5G

Việc sử dụng băng thông lớn hơn trong băng tần milimet (mmWave) cơ bản để đáp ứng yêu cầu của mạng mặt đất 5G. Với một phần của dải mmWave hiện được phân bổ trên cơ sở đồng chính thức cho một số ứng dụng khác như các dịch vụ vệ tinh cố định (FSS – Fixed Satellite Services), cần có một khuôn khổ linh hoạt hơn cho việc sử dụng phổ điện từ ở trên 24 GHz [7,8]. Gần đây, dữ liệu kiểm tra thực tế đã được sử dụng để đánh giá khả năng gây nhiễu giữa băng thông rộng di động mặt đất (5G) và hệ thống FSS chia sẻ băng tần 28 GHz [9]. Mục đích của công

việc [9] là tạo ra các quy tắc dịch vụ cho việc sử dụng bốn dải phổ được chia sẻ bởi các hệ thống vệ tinh và mặt đất. Các băng tần cụ thể là băng tần 28 GHz (27,5–28,35 GHz), 37 GHz (37–38,6 GHz) và 39 GHz (38,6–40 GHz) và băng tần không cấp phép ở 64–71 GHz. Những tần số cao này theo truyền thống dành cho vệ tinh hoặc viba số cố định. Phép đo kiểm tra thực địa cho thấy nhiều trạm mặt đất FSS phát hiện tác động vào mạng 5G có thể được kiểm soát bằng cách giới hạn mật độ thông lượng công suất ở độ cao 10 m so với mặt đất xuống mức -77,6 dBm/m<sup>2</sup>/MHz.

Tính khả thi của sự đồng tồn tại giữa FSS và mạng mặt đất mmWave cũng đã được nghiên cứu trong [10] bằng cách đánh giá mức độ nhiễu đối với tạp âm tại FSS và các cấu hình và triển khai trạm gốc mặt đất khác nhau. Các cấu hình được xem xét bao gồm phân bố nhiều tầng của các trạm gốc và có định dạng búp sóng vô tuyến (RF Beamforming) tại máy phát. Nó chỉ ra rằng bằng cách khai thác các đặc điểm của kịch bản mmWave như mảng ăng-ten lớn và tổn hao đường truyền cao, có thể thực hiện được sự đồng tồn tại của trạm gốc mặt đất mmWave và FSS trong cùng một khu vực. Hơn nữa, việc thiết lập các tham số như góc ngẩng FSS, mật độ trạm gốc và khoảng cách bảo vệ là rất quan trọng trong việc triển khai mạng để đảm bảo các chức năng của FSS.

#### B. Chùm vệ tinh LEO cỡ lớn

Vệ tinh quỹ đạo thấp có độ cao quỹ đạo khoảng 700km đến 1.200km. Với khoảng cách truyền dẫn nhỏ hơn rất nhiều so với quỹ đạo địa tĩnh GEO (trên 36.000km) và quỹ đạo trung bình MEO (10.000km đến 20.000km) nên LEO đảm bảo trễ truyền lan nhỏ và tổn hao truyền sóng thấp. Điều này tạo thuận lợi cho việc thực hiện truyền dẫn đến các đầu cuối người dùng, nhất là thiết bị di động. Khai thác lợi thế này, nhiều hệ thống di động vệ tinh mặt đất (LMS - Land Mobile Satellite) đã được triển khai khá sớm, từ những năm cuối 1990 như GlobalStar, Iridium, ICO. Tuy nhiên thời điểm đó chi phí chế tạo, phóng vệ tinh còn rất đắt đỏ, cùng với mấy đầu cuối công kênh khiến việc thương mại hóa gặp rất nhiều khó khăn.

Hiện nay các điều kiện kỹ thuật đã cho phép triển khai chùm vệ tinh LEO lớn để cung cấp dịch vụ dữ liệu cố định và di động toàn cầu. Chẳng hạn như hệ thống StarLink dự kiến lên tới trên 12.000 vệ tinh cung cấp kết nối internet toàn cầu đã bắt đầu phóng một số vệ tinh thử nghiệm dịch vụ từ đầu 2020. Để cải thiện dung lượng của hệ thống, giải pháp MIMO là lựa chọn hàng đầu vì với chùm vệ tinh LEO, mỗi đầu cuối có thể kết nối tới nhiều vệ tinh. Tuy nhiên sự chuyển động liên tục của vệ tinh làm phát sinh hiệu ứng Doppler phức tạp cho máy thu mặt đất và điều này phải được đưa vào tính toán trong triển khai MIMO. Các hệ thống LEO gần đây đa số sử dụng băng tần số siêu cao như Ku (14/12GHz) và Ka (30/20GHz) nhằm mục đích mở rộng băng thông khả dụng và để tránh nhiễu đa vệ tinh, kỹ thuật ấn định tần số riêng cho từng kênh được sử dụng (FDMA) [11].

Các vệ tinh thông lượng cao (HTS – High Throughput Satellites) cung cấp kết nối dung lượng lớn thông qua công nghệ chùm tia đa điểm và tái sử dụng tần số với chi phí giảm. Sự tích hợp của GEO HTS với hệ thống mặt đất sẽ cung cấp phạm vi phủ sóng dung lượng lớn trên toàn cầu. Tuy nhiên, điều này đi kèm với thách thức là độ trễ truyền lan lớn. Các chùm vệ tinh quỹ đạo thấp cỡ lớn (Mega-LEO), là hệ thống LEO của hàng trăm đến hàng nghìn vệ tinh, có thể khắc phục vấn đề này và gần đây nó đã nhận

được sự chú ý đáng kể. Chùm vệ tinh Mega-LEO có thể được sử dụng để cung cấp các dịch vụ băng thông rộng 4G (LTE) cho các khu vực không được kết nối với cơ sở hạ tầng mặt đất như đã trình bày trong [12,13]. Trong [12], các tác giả đã phân tích tác động của trễ truyền lan và dịch Doppler trong hệ thống LEO đối với các thủ tục LTE lớp vật lý PHY và lớp truy nhập MAC. Phân tích tích mở rộng tập trung vào thiết kế dạng sóng, truy nhập ngẫu nhiên và thủ tục yêu cầu phát lại tự động lại ghép được trình bày trong [14]. Ảnh hưởng của dịch Doppler trong hệ thống LEO trên dạng sóng có thể được khắc phục bằng cách ước tính vị trí chính xác. Hơn nữa, tác động của trễ truyền lan đến thủ tục truy nhập ngẫu nhiên có thể được hạn chế bằng cách tăng bộ đếm thời gian phản hồi truy cập ngẫu nhiên. Bảng 1 cho thấy một số chùm vệ tinh Mega-LEO được lên kế hoạch triển khai và thông số kỹ thuật của chúng [15].

**Bảng 1. Các chùm vệ tinh Mega-LEO HTS**

| Chùm vệ tinh   | LeoSat                            | SpaceX                | OneWeb             |
|----------------|-----------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Số vệ tinh     | 78 – 108                          | 12000                 | 640                |
| Độ cao (km)    | 1.400                             | 1.100                 | 1.200              |
| Trễ (ms)       | 50                                | 20 – 30               | 20 – 30            |
| Tốc độ dữ liệu | 1,6Gb/s                           | 1Gb/s                 | 50Mb/s             |
| Chi phí đầu tư | 3,5 tỉ \$                         | 10 tỉ \$              | 2,3 tỉ \$          |
| Thị trường     | Doanh nghiệp, di động, đường trục | Băng rộng, đường trục | Băng rộng, di động |

#### C. Công nghệ GaN

Công nghệ GaN (Gallium Nitride) là một ứng cử viên đầy hứa hẹn cho phân hệ thông tin trên vệ tinh thế hệ tiếp theo [16]. Các vệ tinh hiện tại dựa trên công nghệ Gallium Arsenide (GaAs) và đèn sóng chạy (TWT) cho hầu hết phần cứng đầu cuối vô tuyến (RF Front - End) của mình. Hơn nữa, sự hoàn thiện của công nghệ GaN và việc áp dụng thương mại của nó đã mở đường cho sự tiến bộ vượt bậc trong ngành công nghiệp vũ trụ. Những ưu điểm khiến GaN trở thành ứng cử viên chính cho công nghệ không gian bao gồm độ tin cậy, cường độ bức xạ và hoạt động ở nhiệt độ cao, bên cạnh những lợi thế chung về hiệu suất gia tăng cao, mật độ công suất cao và tần số hoạt động cao [17,18]. Ba ưu điểm sau, cũng cải thiện hiệu quả tổng thể trong chuỗi RF, làm cho công nghệ GaN rất phù hợp với thiết kế trạm gốc 5G, nơi công nghệ MIMO và mmWave sẽ hoạt động.

Lợi thế về chi phí của GaN so với bộ khuếch đại đèn sóng chạy (TWTA) và bộ khuếch đại công suất bán dẫn GaAs (SSPA) thể hiện qua việc loại bỏ nguồn cấp lên tới kW cho TWTA và phần cứng làm mát phức tạp cho GaAs SSPA. Điều này dẫn đến việc giảm kích thước và trọng lượng, giúp tiết kiệm nhiên liệu và không gian trên vệ tinh. Không thể phủ nhận việc công nghệ GaN cung cấp yêu tố hình thức nhỏ gọn, nhẹ từ đó mang lại tính khả thi cho các vệ tinh nano và micro với mô hình nhỏ khi mà kích thước vật lý, khối lượng, mức tiêu thụ điện năng và chi phí đặt ra những hạn chế chặt chẽ trong thiết kế chế tạo vệ tinh này. Dự kiến sự phát triển của công nghệ GaN sẽ tiếp tục nhờ các đặc tính RF công suất cao [18]. Tiềm năng đạt được toàn bộ của phần đầu thu vệ tinh với công nghệ GaN sẽ tiếp tục tạo ra lợi thế về chi phí thấp hơn và khả năng tích hợp được cải thiện [16]. Để đạt được mục tiêu này, một số dự án đã được bắt đầu để thực hiện kiểm tra và phân tích

chuyên sâu trên công nghệ GaN nhằm khai thác tiềm năng của nó cho vệ tinh.

#### D. Báo hiệu kết hợp

Môi trường 5G được thúc đẩy bởi việc triển khai rất dày đặc các tế bào nhỏ cung cấp dịch vụ truyền thông dải động cao (HDR) cho thiết bị của người dùng. Thách thức chính với kiến trúc như vậy là dung lượng dữ liệu người dùng có sẵn bị hạn chế do dung lượng báo hiệu tăng lên. Hơn nữa, chi phí báo hiệu của trạm gốc góp phần vào tổng mức tiêu thụ năng lượng của hệ thống và do đó cản trở việc giảm năng lượng. Tách mặt phẳng điều khiển (C) và mặt phẳng dữ liệu (U) cùng với mạng định nghĩa bằng phần mềm (SDN) gần đây đã được xác định là một trong những kỹ thuật đầy hứa hẹn nhằm đáp ứng mục tiêu 5G KPI về giảm năng lượng. Các kỹ thuật này cũng cung cấp sự cải thiện về khả năng quản lý và khả năng thích ứng của mạng 5G. Trong kiến trúc phân tách mặt phẳng C&U, các trạm gốc phát dữ liệu trên mặt phẳng U bằng cách sử dụng liên kết mặt đất nếu có và định tuyến mặt phẳng C thông qua một ô macro bao trùm kết nối đường trục qua liên kết vệ tinh [19]. Do đó, điều này mang lại cho nhà khai thác mạng sự linh hoạt hơn, vì các ô dữ liệu/nhỏ có thể được kích hoạt theo yêu cầu để chỉ phát dữ liệu dành riêng cho người dùng tại thời điểm và vị trí cần thiết. Nhờ đó, mức tiêu thụ năng lượng được cải thiện, vì kiến trúc phân tách cũng dẫn đến thời gian ngủ của tế bào dữ liệu dài hơn, do đặc tính kích hoạt theo yêu cầu của chúng [20,21]. Trong môi trường nông thôn, trọng tâm là xác định lưu lượng mặt phẳng C có thể được quản lý tại địa phương và chỉ sử dụng liên kết vệ tinh khi được yêu cầu. Hệ thống lai ghép với các mặt phẳng C&U tách biệt có thể đạt được khoảng cải thiện hiệu năng năng lượng lần lượt là 40% và 80% trong các mạng phân tán và siêu dày đặc so với các mạng LTE thông thường [22].

### V. THÁCH THỨC VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU PHÁT TRIỂN

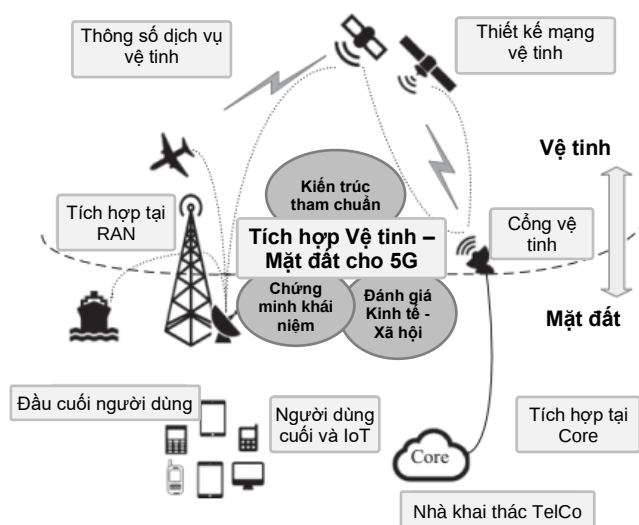
Với các đặc trưng về công nghệ và ứng dụng hiện nay, SatCom phải giải quyết một số thách thức trong quá trình phát triển. Cùng với đó cũng sẽ đặt ra các hướng nghiên cứu phát triển trong lĩnh vực này trong thời gian tới để tìm giải pháp hoàn thiện hệ thống SatCom 5G. Một số vấn đề chính cần nghiên cứu, giải quyết được trình bày bao gồm các khía cạnh tích hợp mạng vệ tinh mặt đất, kỹ thuật báo hiệu kết hợp, xử lý trên trạm và MIMO vệ tinh.

#### A. Kiến trúc tích hợp vệ tinh – mặt đất

Việc tích hợp thông tin vệ tinh với hệ thống thông tin di động mặt đất luôn gặp khó khăn do cách tiếp cận khép kín của từng lĩnh vực [23]. Do đó, việc tái thiết kế căn bản và chi phí lớn thường đi kèm trong giải pháp tích hợp như vậy. Ví dụ, các mạng vệ tinh hiện tại chủ yếu hỗ trợ đường trục cho mạng 2G với các trạm gốc có kết nối hạn chế và các tình huống khẩn cấp, trong khi các mạng 3G và 4G LTE hiện đang theo một nỗ lực kỹ thuật rộng rãi để điều chỉnh các tiêu chuẩn theo các đặc tính vệ tinh cụ thể. Trong khi đó, yêu cầu hội tụ của hệ sinh thái 5G mới mang đến cơ hội hiếm có để vượt qua một số rào cản liên quan đến tích hợp trong các thể hệ triển khai mạng mặt đất trước đây thông qua việc phát triển một môi trường duy nhất ngay từ các giai đoạn phát triển ban đầu. Ngoài ra, nó cũng cho phép các ngành công nghiệp truyền thông di động và vệ

tinh làm việc cùng nhau để xác định và chỉ định một hệ thống 5G thống nhất. Cách tiếp cận tổng thể như vậy sẽ đảm bảo rằng liên lạc vệ tinh có thể giải quyết một số thách thức liên quan đến việc hỗ trợ các yêu cầu dự kiến cho mạng 5G.

Một hệ sinh thái mạng mặt đất-vệ tinh tích hợp được thể hiện trong Hình 2 [24] với sự tích hợp tại mạng truy nhập vô tuyến (RAN) cũng như mạng lõi (Core). Mô hình mạng giả định kiến trúc mạng vệ tinh bao gồm các vệ tinh kết nối với công vệ tinh và các thiết bị đầu cuối vệ tinh thông qua các liên kết không đối xứng. Công nghệ truy nhập vô tuyến (RAT) trên mặt đất có thể bao gồm vô tuyến 5G mới, Wi-Fi và LTE, cũng như các công nghệ vô tuyến được phát triển cho liên lạc giữa tàu với tàu và thiết bị với thiết bị. Kiến trúc tích hợp vệ tinh-mặt đất yêu cầu đánh giá tổng thể cho các tình huống khác nhau. Các thành phần chính của đánh giá như vậy bao gồm việc bổ sung các thông số vệ tinh cho các yêu cầu 5G, dịch vụ dựa trên vệ tinh mới và người dùng cuối bao gồm một thiết bị đầu cuối đa chuẩn vô tuyến. Sự xác nhận về mặt xã hội, kinh tế và kinh doanh của kiến trúc tích hợp cũng rất quan trọng trong việc triển khai thành công giải pháp.



Hình 2. Kiến trúc tích hợp vệ tinh mặt đất

Tích hợp vệ tinh với hệ thống mặt đất có lẽ là lĩnh vực then chốt mang lại nhiều lợi thế. Một trong số đó là cải thiện chất lượng trải nghiệm (QoE) của người dùng bằng cách định tuyến lưu lượng truy cập giữa các hệ thống phân phối một cách thông minh và lưu video dung lượng cao vào bộ nhớ đệm để truyền trên mặt đất. Điều này có thể được hỗ trợ bởi khả năng đa bá/quảng bá vốn có của các hệ thống vệ tinh, trong khi độ trễ lan truyền không còn là vấn đề nhờ sự hỗ trợ của bộ nhớ đệm thông minh. Việc giảm tải lưu lượng truy cập từ hệ thống mặt đất để tiết kiệm phổ tần mặt đất có giá trị mở ra cơ hội cải thiện khả năng phục hồi và bảo mật bằng cách sử dụng hai mạng. Các trường hợp sử dụng của mạng xác định chủ yếu cho việc tích hợp giải pháp dựa trên vệ tinh trong 5G, cụ thể là cung cấp đường truyền trung kế và đầu cuối, kết nối đường trục và đến trạm, truyền thông khi di chuyển.

Tập trung vào phân phối đa phương tiện, cần có nỗ lực nghiên cứu và phát triển đáng kể trên kiến trúc tích hợp để đáp ứng các yêu cầu thách thức của người dùng trong



tương lai về chi phí, hiệu năng, QoE và chất lượng dịch vụ (QoS). Những thách thức như vậy bao gồm quyền truy cập song song và trong suốt của người dùng vào cả mạng băng thông rộng và mạng quảng bá, quản lý thông minh cả tài nguyên băng thông rộng và quảng bá cũng như quản lý nội dung người dùng. Ngoài ra, tính liên tục của dịch vụ là một tính năng thiết yếu của kiến trúc vệ tinh-mặt đất tích hợp vì nó nhằm mục đích cung cấp dịch vụ liên tục cho người dùng cuối 5G trong khi chuyển vùng giữa các tế bào được kết nối đường trực qua vệ tinh và mặt đất. Những thách thức chính liên quan đến vấn đề này bao gồm [25] (1) hỗ trợ di động liên tục theo chuyển giao chiều dọc, (2) thiết kế các giao thức liên kết mạng có thể đối phó với các độ trễ khác nhau, (3) thiết kế các thiết bị 5G chi phí hợp lý hỗ trợ hoạt động chế độ kép vệ tinh-mặt đất.

Đối với ứng dụng M2M của kiến trúc tích hợp vệ tinh-mặt đất, các thách thức nghiên cứu chính liên quan đến việc thiết kế các giao thức phù hợp với M2M vệ tinh. Lưu ý rằng nỗ lực nghiên cứu đáng kể đã được đưa vào thiết kế IoT trên mặt đất cho hệ thống M2M chạy bằng pin, bảo mật và tính toàn vẹn, dạng sóng hiệu quả năng lượng và thiết kế phần cứng, cũng cần có một nỗ lực tương tự đối với thiết kế IoT vệ tinh [26,27]. Hơn nữa, thiết kế lại giao thức định tuyến cũng được yêu cầu đối với các kịch bản IoT liên quan đến vệ tinh vì độ trễ trở nên nghiêm trọng hơn trong việc triển khai như vậy. Ngoài ra, với việc sử dụng theo kế hoạch các tần số trên 10 GHz để triển khai trên mặt đất trong 5G, cần phải xem xét các kịch bản khác nhau của kiến trúc vệ tinh-mặt đất tích hợp về mặt phân bổ tài nguyên (cụ thể là sóng mang, băng thông và công suất) giữa vệ tinh và các hệ thống trên mặt đất. Hệ thống vệ tinh nhiều ăng-ten (MIMO) mang lại lợi ích đáng kể về vùng phủ sóng và dung lượng. Do đó, việc khảo sát hiệu năng của nó trong các mạng mặt đất và vệ tinh cần được đề xuất trong nghiên cứu thời gian tới.

### B. Báo hiệu kết hợp trong SatCom

Tương tự như kiến trúc phân chia mặt phẳng C/U trên mặt đất, kiến trúc phân chia tích hợp vệ tinh cũng phải đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật 5G. Ngoài vấn đề này, các yêu cầu để quản lý các ô siêu dày đặc cũng phải được đáp ứng trong kiến trúc tích hợp như vậy. Các yêu cầu này bao gồm quản lý chuyển giao và di động, quản lý truyền dẫn đường trực và khai thác ô dữ liệu. Liên kết người dùng với các ô dữ liệu trong kiến trúc phân tách thông thường được quản lý bởi các ô macro cung cấp các chức năng của mặt phẳng điều khiển, trong khi trong kiến trúc tích hợp, các vệ tinh sẽ xử lý tín hiệu điều khiển và qua đó liên kết ô dữ liệu người dùng. Một trong những đề xuất trong kiến trúc phân chia thông thường là để các ô điều khiển/macro xử lý việc truyền dữ liệu cho người dùng có tính di động cao và tốc độ thấp để giảm lỗi chuyển giao; tính khả thi của các vệ tinh phục vụ tính di động cao và tốc độ dữ liệu thấp phải được nghiên cứu.

Việc xác định chức năng của từng mặt phẳng và xác định kích thước các khung lớp vật lý của chúng là một thách thức trong cả kiến trúc phân chia thông thường và tích hợp. Thách thức này nảy sinh từ thực tế là một số hoạt động nhất định của người dùng như chuyển giao yêu cầu một số chức năng như chức năng quảng bá và đồng bộ, trong khi tín hiệu điều khiển khung được yêu cầu cho nhiều hơn một chức năng mạng [20,21]. Do đó, báo hiệu và các chức năng liên quan đến mỗi mặt phẳng phải được phân

bổ chính xác. Hơn nữa, khả năng vệ tinh lưu trữ thông tin người dùng nhất định và các vấn đề liên quan đến độ trễ và điều kiện kênh của nó càng làm tăng thêm thách thức đối với kiến trúc phân chia mặt phẳng C/U thông thường của mạng mặt đất.

### C. Xử lý trên trạm

Chức năng xử lý trên trạm trong vệ tinh ngụ ý có phần cứng bổ sung có thể dẫn đến tăng khối lượng bộ phát đáp và tiêu thụ điện năng. Do đó, nhiệt lượng bổ sung do bộ xử lý tạo ra phải được quản lý đúng cách. Độ tin cậy là một thách thức quan trọng khác đối với quá trình xử lý trên trạm. Dự phòng bộ xử lý tín hiệu số (DSP), được yêu cầu trong trường hợp thành phần hỏng hóc, có thể làm tăng chi phí đáng kể. Các thách thức khác liên quan đến quá trình xử lý trên trạm bao gồm hạn chế về khả năng cấu hình lại của chuỗi phần cứng và khả năng lấy mẫu. Chi phí thấp và kỹ thuật xử lý đáng tin cậy là chìa khóa để thực hiện xử lý trên trạm trong vệ tinh.

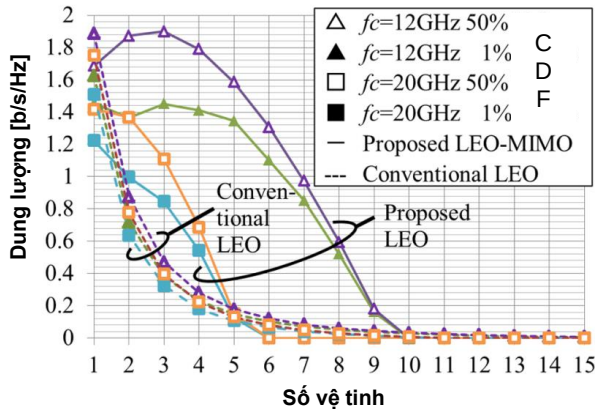
### D. MIMO vệ tinh

Sự thành công của công nghệ MIMO trong các ứng dụng trên mặt đất đã kéo dài hơn hai thập kỷ với kết quả đáng kể, đây là công nghệ then chốt cho việc thực hiện truyền dẫn vô tuyến thế hệ tiếp theo với tốc độ Gb/s [28]. Lý do cho các nghiên cứu chuyên sâu là công nghệ MIMO cung cấp nhiều lợi thế như: (a) Độ lợi phân tập không gian và đa người dùng, (b) Độ lợi ghép kênh không gian, (c) Độ lợi mảng và mã hóa, và (d) Giảm nhiễu. Đặc điểm nổi bật của các hệ thống dựa trên MIMO là giá trị nó mang lại trên cơ sở lý thuyết thông tin mà không phải thêm chi phí cho công suất phát hay băng thông. Thay vào đó, các hệ thống dựa trên MIMO tận dụng lợi thế của những gì có lẽ là giới hạn chưa được khai thác cuối cùng trong truyền thông không dây: Miền không gian.

Trong nỗ lực duy trì khả năng cạnh tranh với các hệ thống mặt đất, SatCom, đang cố gắng theo dõi sự phát triển của công nghệ MIMO mặt đất và nhận lợi ích từ những thành tựu nghiên cứu đáng kể trong lĩnh vực kỹ thuật đa ăng ten. Tuy nhiên, MIMO là một thuật ngữ khá chung chung bao gồm rất nhiều kỹ thuật như phân tập, định dạng búp sóng, ghép kênh, một người dùng (SU), nhiều người dùng (MU) và MIMO phân tán/áo v.v. Vì thế câu hỏi cần trả lời là kỹ thuật MIMO cụ thể nào được áp dụng cho SatCom, vì SatCom thể hiện các đặc tính khác biệt so với hệ thống mặt đất, liên quan đến vùng phủ sóng dịch vụ, hình dạng liên kết, trễ lan truyền, suy hao kênh, các kịch bản nhiễu và giao diện lớp vật lý. Hơn nữa, ta có thể phân biệt giữa các hệ thống SatCom khác nhau tùy thuộc vào [29,30]: Lựa chọn quỹ đạo (địa tĩnh - GSO so với phi địa tĩnh - NGSO), tính di động của người dùng (cố định so với di động), băng tần hoạt động (băng tần UHF, L, S, C, X, Ku, Ka), kích thước nhóm người dùng dự định (quảng bá, đa bá, và đơn bá), sơ đồ ghép kênh (ghép kênh theo thời gian (TDM) đơn sóng mang so với ghép kênh theo tần số trực giao (OFDM) đa sóng mang), loại ứng dụng (khả năng chịu trễ so với không chịu trễ), tính khả dụng của các kỹ thuật triệt pha định (FMT) (mã hóa điều chế cố định (CCM) so với thích ứng (ACM)), v.v.

Với đặc trưng truyền sóng phù hợp, các nghiên cứu về MIMO vệ tinh hiện tập trung nâng cao hiệu năng cho hệ thống truyền thông di động (MS). Hệ thống MS hoạt động trên quỹ đạo GSO/LEO ở dải tần số dưới 10 GHz (ví dụ:

L, S) phục vụ các thiết bị đầu cuối vệ tinh di động (MST) trong môi trường lan truyền có các mức độ cản trở khác nhau (thành thị, ngoại ô, nông thôn). Nhiều nỗ lực nghiên cứu đã được hướng tới việc áp dụng MIMO trong MS hơn là vệ tinh cố định (FS) và các kỹ thuật liên quan được đề xuất có vẻ hoàn thiện hơn. Điều này đặc biệt đúng đối với mã thời gian phân cực (PTC) áp dụng cho anten phân cực kép [31,32]. Có thể giải thích cho điều này là, trái với FS, MS thể hiện đa đường do các vật tán xạ gần MST. Do đó, các kỹ thuật MIMO được phát triển cho các hệ thống mặt đất trong môi trường đa đường mạnh là ứng cử viên có thể cho MS MIMO. Hơn nữa, công nghệ tải trọng hiện tại của vệ tinh dường như hoàn toàn có khả năng hỗ trợ phân cực kép trên một búp đơn với tính linh hoạt đầy đủ. Nghiên cứu trong [38] đã phân tích dung lượng của hệ thống truyền thông vệ tinh quỹ đạo thấp sử dụng kỹ thuật MIMO. Với khả năng nhìn thấy nhiều vệ tinh từ máy đầu cuối, kỹ thuật MIMO sử dụng đa vệ tinh được kỳ vọng mang lại dung lượng truyền dẫn cao hơn cho hệ thống vệ tinh. Qua nghiên cứu ta thấy, truyền dẫn MIMO với 3 vệ tinh đạt được cải thiện hiệu năng đáng kể nếu độ rộng băng tần giới hạn 10MHz, và mức cải thiện dung lượng trung bình lên tới 4 lần có thể đạt được ở băng Ku đường xuống 12GHz. Hơn nữa dung lượng có thể tăng thêm nếu độ rộng băng tần sử dụng đủ lớn hơn tần số Doppler. Hình 3 trình bày dung lượng kênh theo số vệ tinh được vẽ với giá trị của hàm phân bố tích lũy, CDF, lần lượt là 1% và 50%. Do hiệu suất phổ tần giảm khi số vệ tinh tăng, có thể thấy rằng có một sự đánh đổi giữa số lượng vệ tinh và dung lượng kênh trường hợp băng thông  $W = 10\text{MHz}$ .



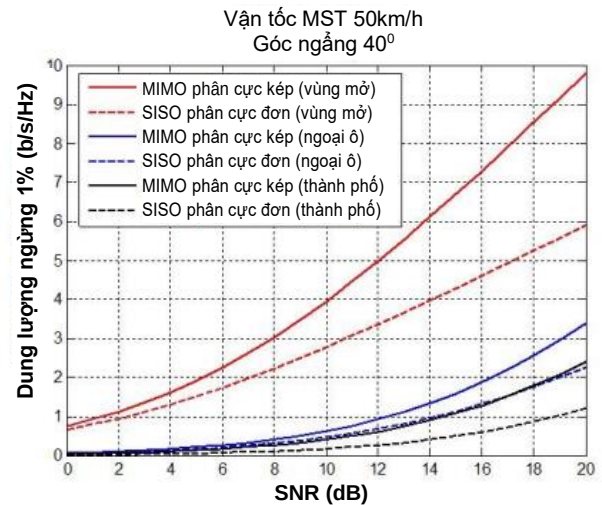
Hình 3. So sánh dung lượng hai giá trị CDF (1% và 50%) giữa hệ thống LEO thông thường và hệ thống LEO-MIMO theo số lượng vệ tinh ở hai băng tần Ku và Ka

Các phần mở rộng có thể có đối với nghiên cứu hiện tại cho MIMO vệ tinh tập trung theo các hướng:

I) *Cải thiện mô hình kênh*: Vì các hiệu ứng và đặc tính của kênh cuối cùng sẽ quyết định khả năng tồn tại của bất kỳ kỹ thuật MIMO nào qua vệ tinh, cũng như trong hệ thống mặt đất, cần phải đặc biệt chú ý để cung cấp mô hình kênh đáng tin cậy nhất có thể. Hơn nữa, mặc dù kênh MS thể hiện ở một mức độ nào đó tương đồng với đa đường trong vô tuyến di động mặt đất, cường độ của hiệu ứng phạm vi hẹp này lại không giống nhau, vì các vật tán xạ chỉ xuất hiện ở một đầu của tuyến và thậm chí tình trạng

này có thể không xảy ra khi các MST đến các khu vực mở hoặc ngoại ô.

Do chỉ có một số phép đo kênh MS MIMO khả dụng, vấn đề về mô hình kênh chính xác tương ứng cho MS MIMO vẫn còn bỏ ngõ, vì không có mô hình đề xuất nào có thể được xác nhận hoàn toàn dựa trên dữ liệu thực nghiệm. Tuy nhiên, nghiên cứu dọc theo các chuỗi mô hình được đề xuất bởi [33], kết hợp các tính năng tốt nhất từ các mô hình phân cực kép trên mặt đất và MS SISO có sẵn, là một cách chấp nhận được để hướng tới kết quả mô hình kênh MS MIMO đáng tin cậy. Lưu ý rằng mô hình kênh MS vệ tinh đơn/phân cực kép được đề xuất trong [33] đã được mở rộng trong [34] bằng chuỗi Markov. Các mô hình kênh MS MIMO này cho phép hiểu rõ hơn về biên của hiệu năng MIMO trong các môi trường truyền lan thực tế hơn. Một cách trực quan, Hình 4 trình bày kết quả cho dung lượng dừng 1% của hệ thống MIMO phân cực kép so với đơn anten (SISO) phân cực đơn cho vận tốc MST là 50 km/h và góc nghiêng là  $40^\circ$  [34]. Dễ dàng thấy rằng trong tất cả các môi trường truyền dẫn đặc trưng, MIMO phân cực kép đem lại hiệu năng dung lượng được cải thiện đáng kể từ 1 đến 4b/s/Hz so với SISO phân cực đơn.



Hình 4. Dung lượng ngừng 1% của mô hình MS MIMO phân cực kép băng tần S cho khu vực thoáng, ngoại thành và thành thị [34]. Vận tốc MST giá định là 50 km/h và góc nghiêng  $40^\circ$

II) *Kỹ thuật mã hóa không gian-phân cực-thời gian phức tạp hơn*: Mã không gian thời gian (STC) để thu được MIMO 2x2 tốc độ đầy đủ, phân tập đầy đủ gần đây đã thu hút được sự chú ý của các chuẩn không dây. Trong đó, nổi bật nhất là bộ mã Gold [35]. Do đó, việc áp dụng mã Gold trong kịch bản phân cực kép/vệ tinh đơn đường như là một kỹ thuật đầy hứa hẹn trong tương lai gần. Mỗi quan tâm chính liên quan đến mã Gold là cân giải mã khả năng tối đa (ML) rất phức tạp để thu lợi từ toàn bộ biên phân tập, tốc độ đầy đủ. Một cách để giảm độ phức tạp của ước lượng ML là sử dụng giải mã cầu. Mỗi quan tâm nói chung là STC tiên tiến phân tập đầy đủ tốc độ cao với hiệu suất cao đạt được với độ phức tạp thấp hơn [36,37] vì các mã này tự thân đã cho thấy phù hợp với kịch bản phân cực kép/vệ tinh đơn.

## VI. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày các lĩnh vực chính mà truyền thông vệ tinh có thể đảm nhiệm vai trò trong mạng 5G. Các lĩnh vực tiềm năng được khảo sát bao gồm vùng phủ sóng, truyền thông kiểu máy cỡ lớn, mạng tích hợp, truyền thông siêu tin cậy và sử dụng phổ. Những tiến bộ gần đây của truyền thông vệ tinh và một số thách thức nghiên cứu liên quan đến kiến trúc tích hợp vệ tinh-mặt đất được đề cập. Ta thấy rằng, để đạt được và khai thác tốt tiềm năng của vệ tinh trong 5G và kích thích đầu tư, cộng đồng vệ tinh phải hợp tác chặt chẽ với những đối tác mặt đất trong các hoạt động 5G trên các lĩnh vực bao gồm tiêu chuẩn hóa công nghệ, triển khai và các vấn đề pháp lý liên quan giúp cho việc hợp nhất SatCom trong hệ sinh thái 5G được thành công./.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. A. Sturza, The teledesic satellite system: Overview and design trades, Teledesic Corporation, 1995.
- [2] [Online]. Available: <https://www.starlink.com/>
- [3] Andrii Mikhailovich Grekhov, Recent Advances in Satellite Aeronautical Communications Modeling, IGI Global, 2019.
- [4] Shree Krishna Sharma, Symeon Chatzinotas and Pantelis-Daniel Arapoglou, Satellite Communications in the 5G Era, IET, 2018.
- [5] M. Corici, A. Kapovits, S. Covaci et al., Assessing Satellite-Terrestrial Integration Opportunities in the 5G Environment, European Space Agency, 2016.
- [6] Dan Warren, Calum Dewar, Understanding 5G: Perspectives on Future Technological Advancements in Mobile, GSMA Intelligence, 2014.
- [7] Geoff Varrall, 5G and Satellite Spectrum Standards, and Scale, Artech House, 2018.
- [8] Nicolas Cassiau et al., Satellite and terrestrial multi-connectivity for 5G: making spectrum sharing possible, IEEE Xplore, 2020.
- [9] W. S. Majkowski, 5G US spectrum development, products and mmWave testing including measurements of fixed satellite service (FSS) earth station spillover emissions, IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility Signal/Power Integrity (EMCSI), 2017.
- [10] F. Guidolin, M. Nekovee, L. Badia et al., A study on the coexistence of fixed satellite service and cellular networks in mmWave scenario, IEEE International Conference on Communications (ICC), p. 2444–2449, 2015.
- [11] Daniel Minoli, Innovations in Satellite Communication and Satellite Technology, John Wiley & Sons, 2015.
- [12] A. Guidotti, A. Vanelli-Coralli, M. Caus et al., Satellite-enabled LTE systems in LEO constellations, 2017 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops), p. 876–881, 2017.
- [13] A. Guidotti, A. Vanelli-Coralli, O. Kodheli et al., Integration of 5G Technologies in LEO Mega-Constellations, IEEE 5G Tech Focus, 2017.
- [14] O. Kodheli, A. Guidotti, Vanelli-Coralli A, Integration of satellites in 5G through LEO constellations, IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), 2017.
- [15] Ifiok Otung, Thomas Butash and Peter Garland, Advances in Communications Satellite Systems, The Institution of Engineering and Technology, 2020.
- [16] J.L. Muraro, G. Nicolas, D.M. Nhut et al., GaN for space application: Almost ready for flight, International Journal of Microwave and Wireless Technologies, p.121–133, 2010.
- [17] Y. Noh, Y.H. Choi, I. Yom, Ka-band GaN power amplifier MMIC chipset for satellite and 5G cellular communications, IEEE 4th Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP), p. 453–456, 2015.
- [18] K. Yuk, G.R. Branner, C. Cui, Future directions for GaN in 5G and satellite communications. In: IEEE 60th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), p. 803–806, 2017.
- [19] T. Spathopoulos, O. Onireti, A.H. Khan et al., Hybrid cognitive satellite terrestrial coverage: A case study for 5G deployment strategies, 10th International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks (CROWNCOM), 2015.
- [20] A. Mohamed, O. Onireti, Y. Qi et al., Physical layer frame in signalling-data separation architecture: overhead and performance evaluation, Proc. European Wireless Conference, 2014.
- [21] A. Mohamed, O. Onireti, M.A. Imran et al., Control-data separation architecture for cellular radio access networks: A survey and outlook, IEEE Communications Surveys Tutorials, p.446–465, 2015.
- [22] J. Zhang, X. Zhang, M.A. Imran et al., Energy efficient hybrid satellite terrestrial 5G networks with software defined features, Journal of Communications and Networks, p.147–161, 2017.
- [23] B. Evans, O. Onireti, T. Spathopoulos et al., The role of satellites in 5G, 23rd European Signal Processing Conference (EUSIPCO), p. 2806–2810, 2015.
- [24] Junhyeong Kim, Guido Casati, Antonio Pietrabissa et al., 5G-ALLSTAR: An Integrated Satellite-Cellular System for 5G and Beyond, IEEE Xplore, 2020.
- [25] Jiang, Chunxiao Kuang, Linling Lu, Jianhua Qian, Yi, Terrestrial-satellite communication networks transceivers design and resource allocation, Springer, 2018.
- [26] Pankaj K. Sharma, Budharam Yogesh, and Deepika Gupta, Overlay Multi-user Satellite-Terrestrial Networks for IoT in the Presence of Interference, Springer, 2021.
- [27] Nader Alagha, Satellite Air Interface Evolutions in the 5G and IoT Era, PESN, 2018.
- [28] A.J. Paulraj, D.A. Gore, R.U. Nabar, H. Bolcskei, An overview of MIMO communications - A key to gigabit wireless, Proc. IEEE, vol. 92, no. 2, pp. 198–218, 2004.
- [29] G. Maral, M. Bousquet, Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology, 4th edition, Wiley, 2002.
- [30] D.J. Bem, R.J. Zielinski, Broadband satellite systems, IEEE Commun. Surveys Tuts., vol. 3, no. 1, pp. 2–15, 2000.
- [31] M. Sellathurai, P. Guinand, J. Lodge, Space-time coding in mobile satellite communications using dual-polarized channels, IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 55, no. 1, pp. 188–199, 2006.
- [32] A. Perez-Neira, C. Ibars, J. Serra, A. del Coso, J. Gomez, M. Caus, MIMO applicability to satellite networks, 10th Workshop Signal Process. Space Commun., SPSC, 2008.
- [33] K.P. Liolis, J. Gomez-Vilardebo, E. Casini, A. Perez-Neira, On the statistical modeling of MIMO land mobile satellite channels: A consolidated approach, 27th AIAA Int. Commun. Satell. Syst. Conf., ICSSC, 2009.
- [34] K.P. Liolis, J. Gomez-Vilardebo, E. Casini, A. Perez-Neira, Statistical modeling of dual-polarized MIMO land mobile satellite channels, IEEE Trans. Commun., Volume: 58, p: 3077 – 3083, 2010.
- [35] J.C. Belfiore, G. Rekaya, E. Viterbo, The Golden code: A 2x2 fullrate space-time code with nonvanishing determinants, IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 51, no. 4, p: 1432–1436, 2005.
- [36] J.M. Paredes, A.B. Gershman, M. Gharavi-Alkhansari, A new full-rate full-diversity space-time block code with nonvanishing determinants and simplified maximum-likelihood decoding, IEEE Trans. Signal Process., vol. 56, no. 6, p: 2461–2469, 2008.
- [37] S. Sezginer, H. Sari, E. Biglieri, On high-rate full-diversity 2x2 spacetime codes with low-complexity optimum detection, IEEE Trans. Commun., vol. 57, no. 5, p: 1532–1541, 2009.
- [38] Minh Nguyenviet, Improving Capacity Performance of Satellite Communications System by Multi-satellite MIMO, Journal of Science and Technology on Information and Communications, PTIT, Vol.4, Dec. 2020.



**SATELLITE COMMUNICATIONS IN 5G ERA:  
USAGE SCENARIOS AND TECHNOLOGY  
CHALLENGES**

**Abstract:** 5G comes with big changes in solving challenges of telecommunication nowadays: Extremely high data rate, ultra low latency and massive machine to machine communications. 5G networks are trialed all over the world and standardized in ITU IMT-2020. In 5G, what is the new role of satellite communications (SatCom) and will SatCom quickly adapt to well perform its new role, this paper will review newly developments of SatCom, its usage in 5G and name some important technology challenges needed to be overcome for SatCom to deeply merge with 5G.

**Keywords:** SatCom, 5G, Land-Sat Integrated



**Nguyễn Viết Minh**, Nhận học vị Tiến sỹ năm 2019. Hiện công tác tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông. Lĩnh vực nghiên cứu: Công nghệ anten, truyền thông MIMO, thông tin vệ tinh.

**Email:** minhnv@ptit.edu.vn