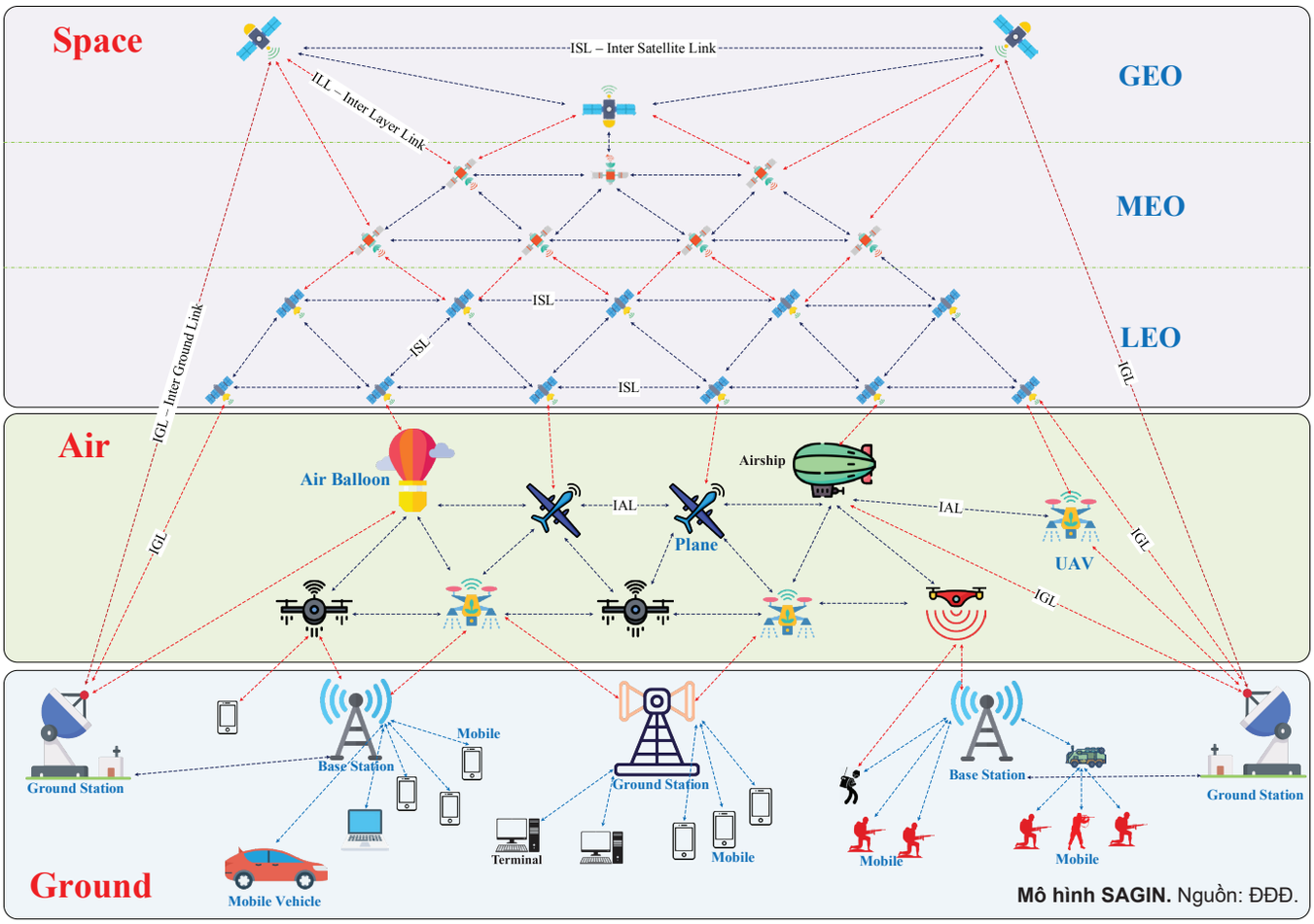


Mô hình SAGIN. Nguồn: ĐĐĐ.

Xu hướng mạng tích hợp SAGIN và ứng dụng

ThS. Đoàn Đại Đình, ThS. Trương Đình Dũng

Trường Cao đẳng Kỹ thuật Thông tin, Binh chủng Thông tin liên lạc

Trong kỷ nguyên số, nhu cầu kết nối mọi lúc, mọi nơi đang trở thành tiêu chuẩn mới. Tuy nhiên, các mạng truyền thống như 5G vẫn chưa thể đáp ứng hoàn toàn, đặc biệt ở vùng xa hoặc môi trường khắc nghiệt. Mạng tích hợp không gian - trên không - mặt đất (SAGIN) được xem là lời giải tiềm năng, hướng tới một hệ thống truyền thông toàn cầu liền mạch và thông minh, đặt nền móng cho mạng 6G trong tương lai.

SAGIN kết hợp ba lớp mạng: không gian, trên không và mặt đất. Đồng thời, hệ thống tích hợp các công nghệ như trí tuệ nhân tạo (AI), ảo hóa, an ninh mạng và tính toán phân tán. Nhờ đó, hệ thống có thể mở rộng phạm vi phủ sóng toàn cầu, bảo đảm độ tin cậy cao, thông lượng lớn và khả năng phục vụ liên tục trong mọi điều kiện. SAGIN được xây dựng trên ba đặc điểm tiêu biểu: công nghệ giao diện vô tuyến thống nhất, giúp tối giản thiết bị đầu cuối và truy cập thông minh, tạo điều kiện tái cấu trúc linh hoạt các chức năng mạng để thích ứng với sự biến động tài nguyên và nhu cầu; điều khiển, quản lý thông minh thống nhất, tối ưu hóa lập lịch tài nguyên và hướng đến mô hình mạng bền vững.

Hơn nữa, AI đóng vai trò cốt lõi trong việc xử lý dữ liệu lớn, tối ưu thuật toán quản lý tài nguyên và nâng cao chất lượng dịch vụ, trong khi ảo hóa giúp phân bổ hiệu quả các tài nguyên vô tuyến, tính toán, lưu trữ và chức năng mạng. Với những lợi thế nổi bật, SAGIN sẽ trở thành nền tảng quan trọng cho mạng 6G, mở ra tiềm năng ứng dụng rộng rãi trong quan sát Trái đất, giao thông thông minh, cứu hộ, cứu nạn, quân sự, IoT diện rộng và công nghiệp, góp phần mở ra những thay đổi mang tính đột phá trong lĩnh vực truyền thông toàn cầu.

Kiến trúc và đặc điểm hệ thống

Cấu trúc SAGIN

*Mạng không gian: B*ao gồm nhiều vệ tinh trên các quỹ đạo khác nhau (Geostationary Earth Orbit - GEO; Medium Earth Orbit - MEO; Low Earth Orbit - LEO) tạo thành mạng vệ tinh đa tầng. Để duy trì hoạt động của mạng cần các trạm điều khiển mặt đất cũng như các kết nối giữa vệ tinh với trạm mặt đất, kết nối các vệ tinh với nhau và kết nối từ vệ tinh tới tầng dưới. Mạng không gian có nhiệm vụ bảo đảm đường truyền liền mạch không phụ thuộc không gian.

Mạng trên không: Gồm các thiết bị truyền thông hoạt động ở tầng khí quyển của Trái đất như máy bay, khinh khí cầu, UAV, v.v. với nhiệm vụ truyền thông không dây băng thông rộng để hỗ trợ mạng mặt đất, giảm độ trễ, đồng thời kết nối với mạng không gian để mở rộng phạm vi phủ sóng, giám sát quỹ đạo vệ tinh và cảnh báo.

Mạng mặt đất: Gồm mạng di động, mạng tùy biến và mạng cục bộ không dây. Với sự phát triển của 5G dựa trên nền tảng mạng định nghĩa bằng phần mềm (Software Defined Network - SDN) và việc ảo hóa các chức năng mạng (Network Function Virtualisation - NFV) giúp thực hiện nhiều chức năng mạng trên cùng một nền tảng ảo hóa nhằm tăng tính linh hoạt mà không cần thay đổi phần cứng, các trạm gốc của mạng di động trên mặt đất có thể được tích hợp trực tiếp vào hệ thống SAGIN. Đây cũng chính là lớp mạng bảo đảm truyền thông cho các ứng dụng của người sử dụng.

Đặc điểm của SAGIN

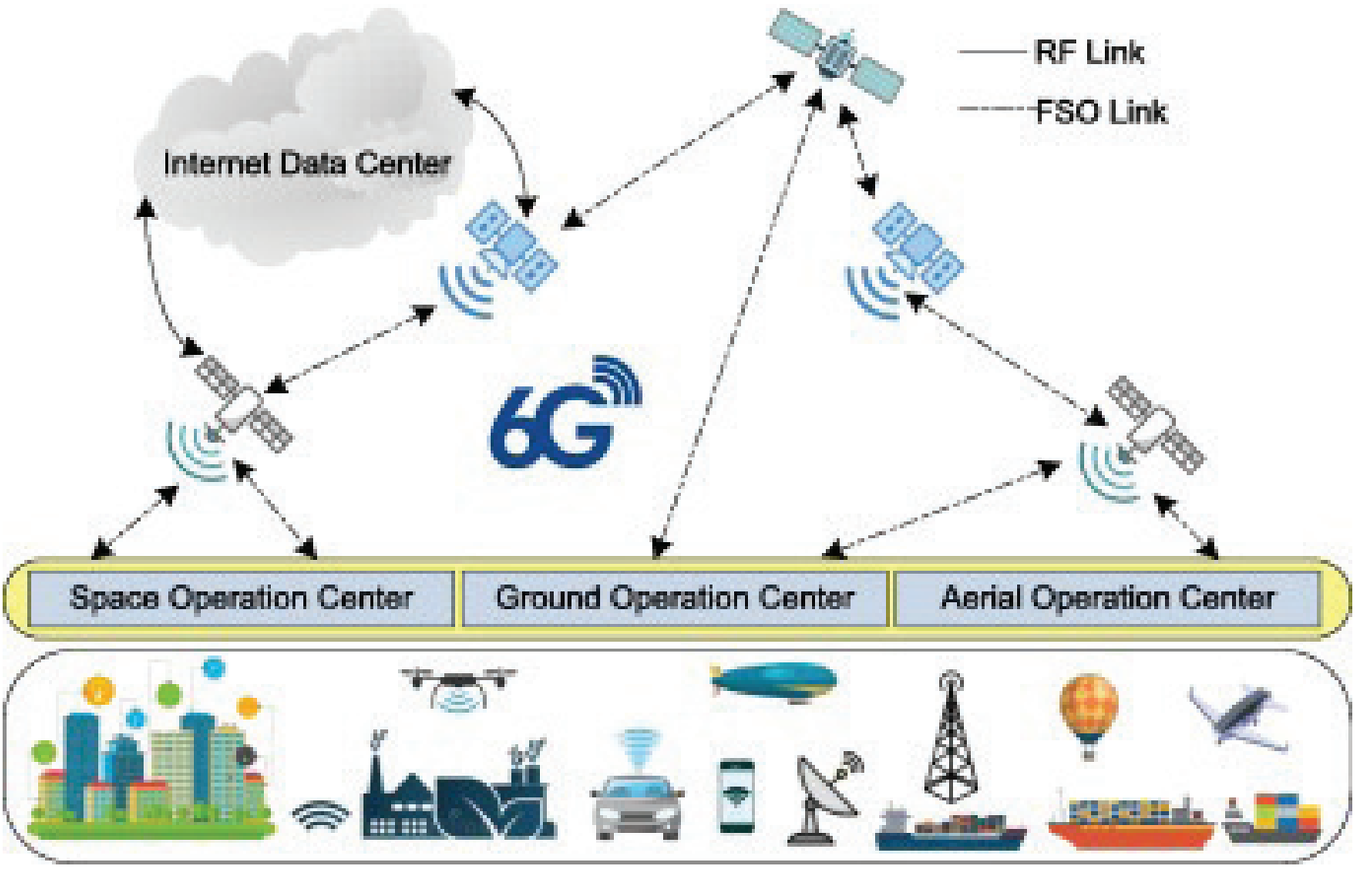
SAGIN là kiến trúc mạng đa tầng gồm tầng không gian cung cấp vùng phủ toàn cầu, tầng trên không mở rộng vùng phủ, giảm độ trễ, tăng tính linh hoạt, tầng mặt đất là tầng cung cấp dịch vụ chính như mạng di động 5G, MANET, WLAN, trạm gốc mặt đất, các trung tâm điều khiển.

SAGIN có kết nối đa dạng khi kết hợp các liên kết vệ tinh với vệ tinh, kết nối liên lớp, kết nối vệ tinh với trạm điều khiển mặt đất cho phép định tuyến động giữa các tầng để tối ưu băng thông, giảm độ trễ.

SAGIN có độ phủ rộng và liên tục khi có tầng không gian bảo đảm phủ toàn cầu kể cả các vùng có cơ sở hạ tầng cực kỳ hạn chế, tầng trên không bổ trợ cho các khu vực thiếu hạ tầng, bảo đảm các dịch vụ liền mạch.

SAGIN có khả năng linh hoạt trong cân bằng giữa độ trễ và băng thông.

SAGIN có thể điều khiển và quản lý thông minh khi sử dụng SDN và NFV để điều khiển tập trung, quản lý tài nguyên linh hoạt, thêm vào đó là hỗ trợ định tuyến động, phân bổ tài nguyên tối ưu dựa trên QoS, độ trễ, độ tin cậy.



Ứng dụng SAGIN trong mạng 6G. Nguồn: ĐĐĐ.

SAGIN với nhiều ưu điểm như kết nối mọi nơi, độ tin cậy cao, hỗ trợ đa dịch vụ, linh hoạt triển khai và tiềm năng ứng dụng rộng rãi trong liên lạc quân sự và dân sự, IoT toàn cầu, phương tiện tự hành, hàng không - hàng hải, cứu hộ khẩn cấp.

Thách thức khi triển khai SAGIN

Tính di động không đồng nhất: Các nút mạng có tính di động cao và khác nhau làm cấu trúc kết nối thay đổi liên tục, khó khăn trong duy trì liên kết ổn định và định tuyến động, đòi hỏi giao thức truyền thông mới có khả năng tự thích ứng và tái cấu hình theo thời gian thực.

Đặc tính kênh truyền phức tạp: Liên kết xuyên tầng trong SAGIN có khoảng cách lớn, gây độ trễ cao và suy hao nghiêm trọng. Các hiện tượng fading, tán xạ, nhiễu và tác động khí quyển làm giảm chất lượng kênh, trong khi sự di chuyển liên tục của vệ tinh và UAV ảnh hưởng đến thông lượng và QoS toàn mạng.

Thiếu tương thích và chuẩn hóa: Ba tầng của SAGIN sử dụng công nghệ, tần số và giao thức khác nhau, dẫn đến khó tích hợp và quản lý tài nguyên chung, do đó việc chuẩn hóa giao thức và điều khiển hợp nhất là hướng nghiên cứu trọng tâm.

Hạn chế tài nguyên hệ thống: Các nút vệ tinh và phương tiện bay bị hạn chế về năng lượng, năng lực tính toán và lưu trữ, trong khi băng thông phổ tần giới hạn dễ gây nghẽn khi nhiều thiết bị truy cập, việc phân bổ và điều phối trở nên phức tạp.

Các ứng dụng của mạng SAGIN

Trong lĩnh vực quân sự: SAGIN giữ vai trò then chốt trong hệ thống C4ISR, bảo đảm truyền thông thời gian thực giữa các lực lượng trên bộ, trên không và trên biển. Nhờ khả năng phủ sóng liên tục, chống gián đoạn và tự tổ chức, mạng hỗ trợ tác chiến mạng trung tâm, chia sẻ dữ liệu cảm biến và hình ảnh chiến thuật trong môi trường phức tạp.

Trong lĩnh vực dân sự: SAGIN được ứng dụng trong truyền thông khẩn cấp, hàng không, hàng hải, giao thông thông minh và Internet toàn cầu, đặc biệt định hướng cho mạng 6G. Hệ thống cho phép duy trì kết nối ổn định tại các vùng xa, vùng thiên tai và là nền tảng cho Internet vệ tinh, quan sát Trái đất, giám sát khí tượng và IoT quy mô lớn.

Trong truy cập băng thông rộng diện rộng: SAGIN cho phép phủ sóng toàn cầu, bảo đảm kết nối băng thông rộng mọi lúc, mọi nơi, đặc biệt tại các khu vực hạ tầng mặt đất khó đáp ứng. Nhờ đó, hệ thống góp phần thu hẹp khoảng cách số, thúc đẩy phát triển kinh tế - xã hội và mở rộng khả năng truy cập dịch vụ số.

Trong kết nối quy mô lớn diện rộng: Phục vụ các ứng dụng như giám sát nông nghiệp, tự động hóa và thăm dò. Trong tương lai, các hệ thống thông minh sẽ phổ biến và cần tương tác, cộng tác diện rộng. Do hạn chế của mạng mặt đất, SAGIN trở thành giải pháp hiệu quả để bảo đảm kết nối cho các hệ thống này.

Trong kết nối diện rộng theo thời gian thực: Hỗ trợ các ứng dụng cần độ trễ thấp như ITS và điều khiển máy móc từ xa. Các mạng di động truyền thống khó đáp ứng yêu cầu dung lượng lớn, độ tin cậy và bảo mật cao, trong khi SAGIN có thể giảm độ trễ đầu cuối và nâng cao hiệu quả cho ITS và các hệ thống thông minh thời gian thực.

Trong định vị chính xác cao diện rộng: Phục vụ vận tải thông minh và hoạt động từ xa. Trong SAGIN, mạng không gian và mạng mặt đất được tích hợp, bổ sung cho nhau để cải thiện khả năng định vị và điều hướng chính xác ở cấp độ hệ thống. Nhờ sự kết hợp linh hoạt giữa các tầng, SAGIN giúp tối ưu hóa băng thông, giảm độ trễ và mở rộng phạm vi kết nối, góp phần hình thành mạng truyền thông thế hệ mới cho cả mục đích quân sự và dân sự.

SAGIN là xu thế tất yếu trong kỷ nguyên 6G nhằm xây dựng hệ thống truyền thông toàn cầu, liền mạch và thông minh. Với kiến trúc đa tầng, kết nối linh hoạt và quản lý thông minh, SAGIN có khả năng mở rộng phủ sóng toàn cầu, đảm bảo độ tin cậy, băng thông lớn và độ trễ thấp. Hệ thống mang đến nhiều ứng dụng tiềm năng như truy cập băng thông rộng, IoT diện rộng, giao thông thông minh, cứu hộ khẩn cấp, định vị chính xác... Trong tương lai, SAGIN sẽ đóng vai trò nền tảng cho mạng 6G, góp phần thu hẹp khoảng cách số, thúc đẩy phát triển kinh tế - xã hội và bảo đảm an ninh - quốc phòng ✍

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. R. Zhang, H. Du, D. Niyato, et al. (2024), "Generative AI for space-air-ground integrated networks", *IEEE Wireless Communications*, **31(6),** pp.10-20, DOI: 10.1109/MWC.016.2300547.

2. H. Cui, J. Zhang, I. Geng, et al. (2022), "Space-air-ground integrated network (SAGIN) for 6G: Requirements, architecture and challenges", *China Communications*, **19(2)**, pp.90-108, DOI: 10.23919/JCC.2022.02.008.

3. P. Zhang, N.Chen, S. Shen, et al. (2023), "AI-enabled space-air-ground integrated networks: Management and optimization", *IEEE Network*, **38(2)**, pp.186-192, DOI: 10.1109/MNET.131.2200477.