

Cơ sở khoa học lựa chọn khung vệ tinh viễn thám tầm thấp cho Việt Nam

Ngô Duy Tân^{1*}, Bùi Trọng Tuyên², Bùi Quang Huy¹, Nguyễn Đức Hiếu¹, Lê Quang Toàn¹, Phạm Anh Tuấn¹,
Phùng Đức Thưởng¹, Trần Kim Chi¹, Vũ Thị Dung¹, Phạm Ngọc Minh³

¹Trung tâm Vũ trụ Việt Nam, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam

²Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam

³Viện Công nghệ thông tin, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 20/10/2025; ngày chuyển phản biện 21/10/2025; ngày nhận phản biện 8/11/2025; ngày chấp nhận đăng 27/11/2025

Tóm tắt:

Vệ tinh viễn thám tầm thấp (vệ tinh VTTT) đóng vai trò quan trọng trong hình thành năng lực quan sát Trái Đất của một quốc gia. Khung vệ tinh bao gồm các cấu phần kỹ thuật đảm bảo hoạt động của các payload (thiết bị quan sát) trên vệ tinh VTTT. Việc lựa chọn khung này được dựa trên các tiêu chí như thời gian triển khai, cơ hội và chi phí phóng, khả năng tích hợp và làm chủ công nghệ, thời gian sống trên quỹ đạo, mục tiêu ứng dụng và xu hướng trên thế giới. Thông qua nghiên cứu và đánh giá các khung vệ tinh VTTT phổ biến và kết quả đã đạt được từ các chương trình vệ tinh quan sát Trái Đất của Việt Nam như VNREDSat-1, nhóm tác giả tập trung phân tích và đề xuất lựa chọn khung vệ tinh cỡ nhỏ (100 đến 500 kg), có khả năng mở rộng thành chùm vệ tinh lưỡng dụng. Đề xuất này hướng tới việc Việt Nam làm chủ công nghệ vệ tinh tầm thấp theo Nghị quyết số 57-NQ/TW ngày 22/12/2024 của Bộ Chính trị về đột phá phát triển khoa học, công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số quốc gia, đồng thời học hỏi và tiếp thu công nghệ từ các nước phát triển, cũng như gắn với Danh mục sản phẩm công nghệ chiến lược theo Quyết định số 21/2026/QĐ-TTg.

Từ khóa: khung vệ tinh, vệ tinh tầm thấp, vệ tinh viễn thám.

Chỉ số phân loại: 2.2, 2.11

Scientific basis for selecting a Low Earth Orbit remote sensing satellite platform for Vietnam

Duy Tan Ngo^{1*}, Trong Tuyen Bui², Quang Huy Bui¹, Duc Hieu Nguyen¹, Quang Toan Le¹, Anh Tuan Pham¹,
Duc Thuong Phung¹, Kim Chi Tran¹, Thi Dung Vu¹, Ngoc Minh Pham³

¹Vietnam National Space Centre, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Hanoi, Vietnam

²Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Hanoi, Vietnam

³Institute of Information Technology, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Hanoi, Vietnam

Received 20 October 2025; revised 8 November 2025; accepted 27 November 2025

Abstract:

Low Earth Orbit (LEO) remote sensing satellites play a crucial role in building a nation's Earth observation capabilities. The satellite platform consists of technical components that ensure the operation of payloads on LEO satellites. The selection of this platform is based on criteria such as deployment time, launch opportunities and costs, integration and technology mastery capabilities, orbital lifespan, application objectives and global trends. Through research and evaluation of widely used LEO satellite platforms and the results achieved from Vietnam's Earth observation satellite programmes, such as VNREDSat-1, the authors focus on analysing and proposing the selection of small satellite platforms (100 to 500 kg) with the potential to expand into dual-use satellite constellations. This proposal aims to enable Vietnam to achieve mastery of LEO satellite technology in line with Resolution No. 57-NQ/TW dated 22 December 2024 of the Political Bureau on breakthrough development in science and technology, innovation and national digital transformation, while learning from and adopting technologies from developed countries and aligning with the List of Strategic Technology Products under Decision No. 21/2026/QĐ-TTg.

Key words: Low Earth Orbit satellite, remote sensing satellite, satellite platform.

Classification numbers: 2.2, 2.11

* Tác giả liên hệ: Email: ndtan@vnsc.vast.vn

1. Đặt vấn đề

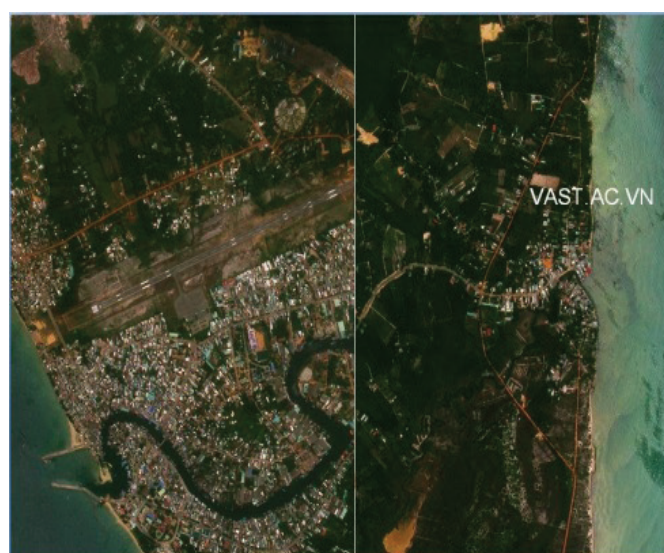
Trong bối cảnh cuộc Cách mạng công nghiệp lần thứ tư và chuyển đổi số quốc gia đang diễn ra mạnh mẽ, các vệ tinh quỹ đạo thấp ngày càng đóng vai trò quan trọng trong quá trình mở rộng hạ tầng kết nối Internet, giám sát tài nguyên, thiên nhiên, môi trường, đồng thời hỗ trợ tích cực cho ứng phó thiên tai tại Việt Nam [1]. Vệ tinh VTTT có các ưu điểm như độ trễ truyền tín hiệu thấp, độ phân giải ảnh cao, chi phí và thời gian thực hiện phù hợp và có thể liên tục thay thế để đảm bảo tính liên tục và cập nhật công nghệ [2].

Trong hơn một thập kỷ qua, Việt Nam đã ghi dấu những bước tiến quan trọng trong lĩnh vực quan sát Trái Đất dựa trên vệ tinh, từ ứng dụng dữ liệu vệ tinh đến làm chủ hệ thống hoàn chỉnh như vệ tinh viễn thám VNREDSat-1 (phóng năm 2013, tuổi thọ theo thiết kế 5 năm và vẫn đang hoạt động) đến dự án LOTUSat-1 đang chờ thời điểm phóng phù hợp [3]. Những nỗ lực này thể hiện rõ chiến lược phát triển khoa học, công nghệ và đổi mới sáng tạo được xác định trong Nghị quyết số 57-NQ/TW ngày 22/12/2024 của Bộ Chính trị [4], nhấn mạnh yêu cầu nghiên cứu ứng dụng khoa học, công nghệ trong khai thác không gian vũ trụ. Gần đây, chương trình khoa học và công nghệ về công nghệ vũ trụ giai đoạn 2016-2020 (tiếp nối và phát triển của Chương trình các giai đoạn 2008-2011 và 2012-2015) đã đạt được nhiều kết quả nổi bật như: Nghiên cứu, chế tạo và phóng vệ tinh NanoDragon (10 kg). Ngoài ra, Trung tâm Vũ trụ Việt Nam đã nghiên cứu, chế tạo thành công vệ tinh siêu nhỏ PicoDragon (1 kg) vào năm 2013 và vệ tinh MicroDragon (50 kg) được phóng lên quỹ đạo vào năm 2019 [5]. Song, việc lựa chọn khung vệ tinh phù hợp cho vệ tinh VTTT đáp ứng những nhu cầu ở Việt Nam đòi hỏi phân tích đa chiều về công nghệ, kinh tế cũng như chiến lược quốc gia. Cụ thể, việc lựa chọn khung vệ tinh được dựa trên các tiêu chí như thời gian triển khai, cơ hội và chi phí phóng, khả năng tích hợp và làm chủ công nghệ, thời gian sống trên quỹ đạo, mục tiêu ứng dụng và xu hướng trên thế giới.

2. Khung vệ tinh viễn thám tầm thấp

Vệ tinh quỹ đạo thấp là loại vệ tinh chuyển động quanh Trái Đất ở độ cao từ khoảng 160 đến 2.000 km so với mặt đất. Đây là lớp quỹ đạo gần Trái Đất nhất và có mật độ vệ tinh hoạt động đông đảo nhất hiện nay. Các hệ thống vệ tinh quỹ đạo thấp được chia thành hai nhóm chính: vệ tinh viễn thông tầm thấp và VTTT.

Trong lĩnh vực viễn thám quang học và ra-đa, các vệ tinh VTTT đóng vai trò cốt lõi trong thu nhận dữ liệu quan sát bề mặt Trái Đất. Các hệ thống thương mại nổi bật bao gồm WorldView và GeoEye của Maxar (Mỹ), Pléiades và Pléiades Neo của Airbus (Pháp - EU), KOMPSAT của Hàn Quốc, Gaofen của Trung Quốc, TeLEOS của Singapore và Sentinel thuộc chương trình Copernicus của Liên minh châu Âu. Những vệ tinh này thường hoạt động ở độ cao từ 500 đến 750 km, cung cấp ảnh quang học có độ phân giải không gian từ 0,5 đến 10 m, phục vụ cho giám sát đô thị, nông nghiệp chính xác, theo dõi khu vực rừng, đất, nước, khí hậu và ứng phó thiên tai [6-10] (hình 1).



Hình 1. Ảnh chụp Phú Quốc từ vệ tinh VNREDSat-1 [11].

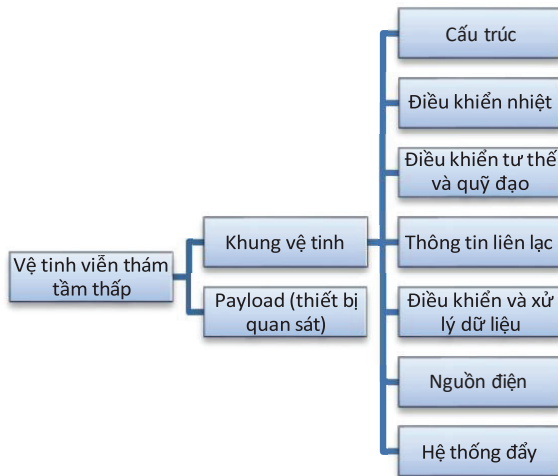
Khung vệ tinh đóng vai trò là “xương sống” của toàn bộ vệ tinh, cung cấp nền tảng cơ học, điện, điều khiển và truyền thông để payload (thiết bị quan sát) có thể hoạt động ổn định trên quỹ đạo. Cấu trúc của vệ tinh VTTT bao gồm khung vệ tinh và payload như được mô tả trong hình 2 [12]. Khung vệ tinh bao gồm các phân hệ cơ bản sau đây:

- Khung cấu trúc: Bộ khung vật lý để cố định các thành phần của vệ tinh, đảm bảo vệ tinh duy trì sự bền vững trong môi trường vũ trụ.
- Nguồn điện: Tạo, lưu trữ và phân phối năng lượng điện cho toàn bộ các hệ thống con.
- Điều khiển tư thế: Xác định và duy trì hướng của vệ tinh trong không gian, định hướng vệ tinh về phía mục tiêu và giữ quỹ đạo ổn định.
- Thông tin - liên lạc: Giao tiếp với trạm điều khiển mặt đất, tiếp nhận lệnh, gửi dữ liệu.

- Điều khiển và xử lý dữ liệu: Đóng vai trò “bộ não” của vệ tinh, xử lý các lệnh, thu thập dữ liệu từ thiết bị và quản lý các hoạt động cũng như giao tiếp bên trong trên vệ tinh.

- Hệ thống đẩy: Cung cấp lực đẩy để điều chỉnh vị trí vệ tinh, như duy trì quỹ đạo, thay đổi quỹ đạo hoặc đưa vệ tinh ra khỏi quỹ đạo khi kết thúc vòng đời.

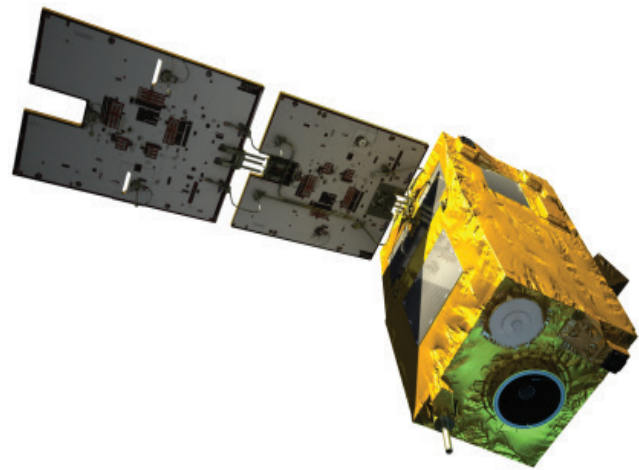
- Điều khiển nhiệt: Đảm bảo các bộ phận hoạt động trong phạm vi nhiệt độ tối ưu.



Hình 2. Cấu trúc vệ tinh viễn thám tầm thấp [12].

Hiện nay, trên thế giới có nhiều loại khung vệ tinh VTTT phổ biến được phân loại theo khối lượng và độ phức tạp. Nhóm thứ nhất là khung vệ tinh cho dòng vệ tinh CubeSat và nanosatellite (1-10 kg), thường dùng cho mục đích thử nghiệm công nghệ, viễn thám quy mô nhỏ hoặc giáo dục. Các khung vệ tinh tiêu biểu cho dòng vệ tinh này gồm GOMSpace NanoSat (Đan Mạch), Tyvak NanoSat (Mỹ), ISIS (Hà Lan), NanoAvionics (Litva). Các khung vệ tinh này được thiết kế theo chuẩn mô đun (1U-27U), sử dụng linh kiện thương mại (COTS) để giảm chi phí, và có thể tích hợp cảm biến quang học hoặc radar nhỏ gọn. Tuy nhiên, hạn chế chính của loại khung vệ tinh này là công suất thấp, khả năng định hướng chỉ đạt mức vài trăm đến vài nghìn arcsec, chính vì thế, chúng chưa đáp ứng được yêu cầu của ảnh quang học độ phân giải cao.

Nhóm thứ hai là khung vệ tinh cho dòng vệ tinh microsatellite (10-100 kg) và minisatellite (100-500 kg), là phân khúc được sử dụng rộng rãi nhất cho vệ tinh quang học quan sát Trái Đất, độ phân giải từ 0,5 đến 5 m. Vệ tinh VNREDSat-1 của Việt Nam (khoảng 130 kg) nằm trong phân khúc này (hình 3).



Hình 3. Vệ tinh viễn thám tầm thấp VNREDSat-1 của Việt Nam [13].

Nhóm thứ ba là khung vệ tinh cho vệ tinh cỡ trung bình (1000-1500 kg), thường dùng cho các vệ tinh thương mại lớn hoặc vệ tinh quốc gia có nhiệm vụ đa cảm biến, ví dụ như Airbus AstroBus-L (Pháp), Ambassador (Mỹ), CAST2000 và CAST3000 (Trung Quốc). Các hệ thống này sở hữu một cấu trúc vững chắc, năng lực điều khiển quỹ đạo chính xác cao, nguồn điện lớn và khả năng duy trì tuổi thọ lên đến 7 năm. Tuy nhiên, các khung vệ tinh này có chi phí phát triển cao và yêu cầu mức độ về công nghệ lớn hơn [14-17].

Các quốc gia và công ty lớn hiện nay đều có dòng sản phẩm khung vệ tinh riêng cho phân khúc vệ tinh VTTT Airbus Defence & Space (Pháp) với dòng AstroBus đã được sử dụng cho hàng loạt vệ tinh như PeruSat-1, Azersky, VNREDSat-1 và KazEOSat-1. SSTL (Anh) là đơn vị tiên phong trong khung vệ tinh nhỏ gọn (SSTL-100, 150, 300) được hơn 20 quốc gia sử dụng [18]. Satrec Initiative (Hàn Quốc) cung cấp dòng khung vệ tinh SpaceEye và SI-300/500, cũng có khả năng tùy chỉnh cho vệ tinh 100-300 kg. Trong khi đó, các công ty như NanoAvionics, Tyvak, GomSpace lại hướng tới thị trường nhỏ, cung cấp khung vệ tinh thương mại sẵn có với khả năng sản xuất hàng loạt, thời gian giao hàng ngắn. NEXTAR là dòng khung vệ tinh quỹ đạo thấp do NEC Corporation (Nhật Bản) phát triển, thiết kế theo kiến trúc dạng mô-đun linh hoạt, gồm các biến thể NX-300L, NX-1500L, NX-G, phù hợp cho vệ tinh quan sát Trái đất khối lượng 300-3000 kg. Khung vệ tinh này nổi bật nhờ độ tin cậy cao, hệ thống điều khiển chính xác, khả năng tự chẩn đoán và tích hợp bộ đẩy điện. Trong đó, biến thể NX-300L đã được ứng dụng trong dự án ASNARO-1 [19].

3. Xu hướng phát triển khung vệ tinh cho các vệ tinh quỹ đạo thấp

Trong những năm gần đây, sự thay đổi mạnh mẽ của ngành công nghiệp vũ trụ đã làm xuất hiện một loạt xu hướng mới trong thiết kế và phát triển khung vệ tinh cho vệ tinh quỹ đạo thấp. Trước đây, các vệ tinh quang học quan sát Trái Đất thường được phát triển theo hướng đơn chiếc (one-off), kích thước lớn, chi phí cao và thời gian chế tạo kéo dài 5-7 năm. Với sự phát triển của điện tử công suất thấp, hiệu năng cao, vật liệu siêu nhẹ và linh kiện có sẵn, ngành công nghiệp vệ tinh đang chuyển dịch sang mô hình sản xuất hàng loạt, chi phí thấp, độ linh hoạt cao và khả năng tái cấu hình nhanh. Những xu hướng này đang định hình lại cách mà các cơ quan vũ trụ, doanh nghiệp và quốc gia lựa chọn khung vệ tinh cho các thế hệ vệ tinh mới, trong đó có Việt Nam.

Mô-đun hóa và chuẩn hóa kiến trúc khung vệ tinh: Một trong những thay đổi nổi bật nhất là mô-đun hóa trong thiết kế khung vệ tinh. Thay vì phát triển mỗi vệ tinh như một sản phẩm độc lập, các hãng hiện nay xây dựng các dòng khung vệ tinh có thể tái sử dụng cho nhiều nhiệm vụ khác nhau bằng cách hoán đổi mô-đun hoặc điều chỉnh cấu hình. Mỗi phân hệ - như nguồn điện, điều khiển tư thế, truyền thông, máy tính trung tâm - được chuẩn hóa thành mô-đun có giao diện cơ - điện thống nhất. Nó cho phép rút ngắn chu kỳ phát triển, tăng khả năng tái sử dụng, giảm chi phí sản xuất và dễ dàng nâng cấp công nghệ mới. Các nền tảng như SSTL-100/300 (Anh), AstroBus-S/M (Airbus, Pháp) hay NanoAvionics M16P/M12P (Litva) là ví dụ điển hình, có thể dùng chung cấu trúc khung vệ tinh cho nhiều vệ tinh có payload khác nhau từ quan sát Trái Đất, vô tuyến, cho đến nhiệm vụ khoa học [20].

Tích hợp linh kiện thương mại: Một xu hướng khác là tăng cường sử dụng linh kiện thương mại có sẵn trên thị trường để thay thế cho các linh kiện chuyên dụng trong vũ trụ vốn có giá thành rất cao. Sự tiến bộ của ngành điện tử tiêu dùng và công nghiệp viễn thông đã tạo ra các vi xử lý, cảm biến, bộ nhớ, camera và mạch nguồn nhỏ gọn, bền bỉ, có thể hoạt động ổn định trong môi trường có điều kiện khắc nghiệt khi được bọc bảo vệ và kiểm tra thích hợp. Việc ứng dụng linh kiện này giúp giảm đáng kể chi phí phát triển khung vệ tinh, đồng thời rút ngắn thời gian sản xuất. Tuy nhiên, điều này đòi hỏi năng lực kiểm định và đánh giá bức xạ cũng như khả năng tích hợp hệ thống cao [21].

Gia tăng độ chính xác và tự động hóa trong điều khiển định hướng: Công nghệ điều khiển tư thế và quỹ đạo đang được cải tiến nhanh chóng nhờ cảm biến sao, cơ cấu chấp hành chính xác cao, kèm theo các thuật toán điều khiển thích nghi. Mục tiêu là đạt được độ ổn định định hướng để chụp ảnh quang học độ phân giải siêu cao (dưới 1 m) [22]. Nhiều hệ thống khung vệ tinh hiện nay tích hợp thêm cảm biến quán tính, hệ thống định vị toàn cầu và cảm biến mặt trời có độ chính xác cao để nâng cao khả năng định hướng. Các hệ thống điều khiển hiện đại có tính tự động và thích nghi cao với môi trường vũ trụ, giúp giảm can thiệp từ mặt đất, đồng thời nâng cao độ tin cậy [23, 24].

Tăng cường khả năng truyền dữ liệu băng rộng và xử lý trên quỹ đạo: Với lượng dữ liệu khổng lồ, đặc biệt từ cảm biến quang học độ phân giải cao và siêu phổ, khả năng truyền dữ liệu về trạm mặt đất trở thành một tiêu chí then chốt trong khung vệ tinh. Các khung vệ tinh mới được trang bị bộ phát băng tần X hoặc Ka với tốc độ truyền lên đến 1 Gbps, thậm chí có thể tích hợp truyền laser cho các nhiệm vụ cần băng thông rất lớn. Bên cạnh đó, xử lý dữ liệu trên quỹ đạo đang được đẩy mạnh, nhờ vào các mô-đun máy tính hiệu năng cao hoặc sử dụng các vi mạch FPGA (Field Programmable Gate Array) hoặc SoC (Systems on a Chip). Điều này giúp giảm đáng kể lượng dữ liệu cần gửi về mặt đất, tiết kiệm năng lượng và tăng khả năng phản ứng thời gian thực, đặc biệt trong các ứng dụng phát hiện nhanh (rapid monitoring) như thiên tai, nông nghiệp và môi trường [23].

Tích hợp hệ thống đẩy điện và khả năng cơ động quỹ đạo: Trước đây, các vệ tinh quang học nhỏ thường không có hệ thống đẩy. Hiện nay, nhiều khung vệ tinh được tích hợp hệ thống đẩy điện mini hoặc động cơ đẩy khí lạnh giúp điều chỉnh quỹ đạo, tránh va chạm và chủ động hạ quỹ đạo khi kết thúc nhiệm vụ để giảm rác vũ trụ. Việc trang bị hệ thống đẩy không chỉ kéo dài tuổi thọ vệ tinh mà còn tăng tính linh hoạt khi bố trí chùm vệ tinh. Các hệ thống đẩy điện hiện đã được tích hợp trong nhiều khung vệ tinh thương mại cỡ 50-300 kg [24].

Phát triển mô hình chùm vệ tinh và khung vệ tinh đồng nhất: Một xu hướng quan trọng khác là chuẩn hóa khung vệ tinh cho mục đích triển khai chùm vệ tinh. Các công ty như Planet Labs (Mỹ) với chùm Flock, BlackSky, ICEYE (Phần Lan) hay Satellogic (Argentina) đã chứng minh tính hiệu quả của việc sản xuất hàng loạt khung vệ

tinh cỡ nhỏ, đồng nhất về cấu trúc, chỉ thay đổi payload tùy mục tiêu. Khung vệ tinh đồng nhất giúp đơn giản hóa quá trình lắp ráp, kiểm tra và phóng lên, bên cạnh đó cũng làm giảm đáng kể chi phí mỗi vệ tinh. Xu hướng này mở ra khả năng quan sát toàn cầu với chu kỳ thăm lại chỉ vài giờ, thay vì vài ngày như trước.

Xu hướng hợp tác và chuyển giao công nghệ khung vệ tinh: Trong bối cảnh toàn cầu hóa, các quốc gia đang tăng cường hợp tác và chuyển giao công nghệ trong lĩnh vực phát triển khung vệ tinh. Nhiều dự án vệ tinh quốc gia của các nước đang phát triển (như Peru, Algeria, Philippines, Việt Nam) được triển khai thông qua mô hình hợp tác với các tập đoàn châu Âu hoặc Hàn Quốc, trong đó khung vệ tinh được chuyển giao kèm theo chương trình đào tạo kỹ sư và xây dựng năng lực tích hợp. Xu hướng này không chỉ giúp tiết kiệm chi phí mà còn tạo nền tảng công nghiệp trong nước để từng bước nội địa hóa khung vệ tinh VTTT.

Khung vệ tinh thông minh và tích hợp trí tuệ nhân tạo: Khung vệ tinh thông minh có khả năng học và tự đưa ra quyết định sử dụng trí tuệ nhân tạo (AI). Máy tính trên vệ tinh được trang bị bộ xử lý mạnh và phần mềm tự thích nghi, cho phép vệ tinh tự chẩn đoán lỗi, tối ưu hóa định hướng và điều phối hoạt động payload mà không cần lệnh từ trạm mặt đất. Xu hướng này đang được các tổ chức như Cơ quan Vũ trụ châu Âu (ESA), Cơ quan Hàng không Vũ trụ Mỹ (NASA) và các công ty tư nhân đầu tư mạnh nhằm hướng tới thế hệ vệ tinh tự trị (autonomous satellite), giảm chi phí vận hành và tăng độ linh hoạt trong khai thác dữ liệu [25, 26].

Với đặc điểm quan sát liên tục và chủ động, các vệ tinh VTTT là nguồn dữ liệu quan trọng và hiệu quả cho các công cụ ứng dụng AI trên mặt đất, cụ thể là tự động phân tích, nhận dạng và phát hiện các đối tượng, phân tích và dự đoán xu hướng cho các bài toán sử dụng dữ liệu đa nguồn, đa thời gian, hợp nhất dữ liệu đa nguồn...

Những xu hướng này đang định hình tương lai của ngành công nghiệp vệ tinh toàn cầu, giúp giảm rào cản công nghệ cho các quốc gia đang phát triển. Đối với Việt Nam, việc nắm bắt các xu hướng này là điều kiện tiên quyết để lựa chọn và phát triển khung vệ tinh phù hợp cho vệ tinh VTTT tiếp nối VNREDSat-1, bảo đảm tính khả thi về kỹ thuật, chi phí, cũng như khả năng nội địa hóa và hợp tác quốc tế hiệu quả.

4. Cơ sở khoa học và đề xuất khung vệ tinh cho vệ tinh viễn thám tầm thấp của Việt Nam

4.1. Nhu cầu thực tiễn

Việt Nam là quốc gia có địa hình dài, ven biển, thường xuyên chịu ảnh hưởng của thiên tai như bão lũ, hạn hán và biến đổi khí hậu, dẫn đến nhu cầu cao về vệ tinh VTTT để quan sát bề mặt Trái Đất kịp thời và chính xác [27]. Nhu cầu này đã được thể hiện từ đầu những năm 2000, với các vệ tinh như VNREDSat-1 và các vệ tinh nước ngoài khác. VNREDSat-1 đã giúp Việt Nam tự chủ dữ liệu viễn thám, giảm phụ thuộc nguồn nước ngoài và trở thành nước thứ 5 trong ASEAN sở hữu vệ tinh quan sát Trái Đất. Tuy nhiên, hạn chế là ảnh quang học bị ảnh hưởng bởi điều kiện thời tiết tại khu vực quan tâm và chỉ quan sát được vào ban ngày. Do đó, cần thiết phải lựa chọn các loại khung vệ tinh có khả năng hỗ trợ các thiết bị chụp ảnh độ phân giải cao với tần suất chụp ảnh cao và độ phủ trùm ảnh rộng.

Giám sát thiên tai và biến đổi khí hậu: Hằng năm, khoảng 5-10 cơn bão ảnh hưởng đến đất liền Việt Nam, gây thiệt hại lớn về con người và tài sản [28]. Vệ tinh VTTT với độ phân giải cao (0,3-1 m) cung cấp nguồn dữ liệu ảnh hiệu quả trong việc theo dõi trước, trong và sau khi thiên tai xảy ra, cụ thể là lên kịch bản ứng phó, theo dõi quá trình (khi sử dụng nhiều vệ tinh) và đánh giá thiệt hại. Đê, tường chắn sóng, công trình bị sụp cũng có thể được theo dõi bằng nguồn dữ liệu này. Dữ liệu ảnh vệ tinh có độ phân giải cao cũng giúp quan sát các hiện tượng xói lở bờ sông, bờ biển...

Quản lý tài nguyên thiên nhiên và môi trường: Nguồn dữ liệu ảnh có độ phân giải siêu cao từ vệ tinh VTTT cho phép giám sát chi tiết hiện trạng rừng, đất, nước và khu vực đô thị, đồng thời phát hiện sớm các biến động như suy giảm diện tích rừng, ô nhiễm nguồn nước hay khai thác tài nguyên trái phép. Nhờ chu kỳ chụp ngắn và độ chính xác cao, ảnh vệ tinh VTTT hỗ trợ hiệu quả cho công tác quy hoạch, kiểm kê tài nguyên, đánh giá tác động môi trường và ứng phó biến đổi khí hậu, góp phần hướng tới quản lý bền vững tài nguyên quốc gia.

Phát triển nông nghiệp và kinh tế: Ảnh vệ tinh VTTT độ phân giải siêu cao giúp theo dõi diện tích gieo trồng, sinh trưởng cây trồng, phát hiện sớm sâu bệnh và hạn hán, từ đó tối ưu quy trình canh tác và giảm chi phí sản xuất. Ngoài ra, ảnh vệ tinh độ phân giải siêu cao còn

hỗ trợ đánh giá hiệu quả sử dụng đất, quy hoạch vùng chuyên canh và giám sát chuỗi cung ứng nông sản. Việc ứng dụng ảnh trong quản lý nông nghiệp thông minh góp phần nâng cao năng suất, đảm bảo an ninh lương thực và thúc đẩy phát triển kinh tế bền vững.

An ninh và hạ tầng số: Hỗ trợ giám sát biên giới, cảng biển, khu công nghiệp và các công trình trọng điểm, giúp phát hiện sớm hoạt động bất thường hoặc xâm phạm lãnh thổ. Trong xây dựng hạ tầng số, ảnh vệ tinh cung cấp nền tảng bản đồ chính xác phục vụ quy hoạch đô thị thông minh, giao thông, viễn thông và hệ thống thông tin địa lý quốc gia. Việc ứng dụng ảnh vệ tinh VTTT độ phân giải siêu cao góp phần nâng cao năng lực giám sát, quản lý lãnh thổ và đảm bảo an ninh quốc gia trong thời đại số.

Mức độ cấp thiết cao do Việt Nam phụ thuộc dữ liệu nước ngoài, dẫn đến độ trễ và chi phí lớn. Trong khi đó, biến đổi khí hậu ngày càng nhanh, biến đổi địa chính trị cũng ngày càng phức tạp, vấn đề này đòi hỏi dữ liệu vệ tinh được cung cấp nhanh chóng và tần suất nhiều hơn. Việc đầu tư dòng vệ tinh VTTT có độ phân giải ảnh siêu cao có thể giảm khoảng cách số, tạo việc làm và thúc đẩy ngành công nghiệp vũ trụ, đồng thời hỗ trợ kịp thời trong quá trình ứng phó với thiên tai và biến đổi khí hậu, phát hiện kịp thời những biến động mới nhất có nguy cơ ảnh hưởng tới an ninh quốc phòng. VTTT khi kết hợp với các nền tảng khác như các cảm biến trên mặt đất, thiết bị bay không người lái sẽ hình thành hệ thống quan sát đa tầng, cung cấp nguồn dữ liệu đa chiều, đóng góp hiệu quả vào công tác giám sát tài nguyên thiên nhiên, môi trường và thiên tai, đặc biệt trong các hệ thống hỗ trợ ra quyết định. Hệ thống đa tầng này mở ra cơ hội cho các ứng dụng AI, dữ liệu lớn để tạo đột phá trong nghiên cứu và ứng dụng công nghệ vũ trụ tại Việt Nam.

Tuy nhiên, thách thức bao gồm vốn đầu tư, nhân lực và hợp tác quốc tế. Xét về tổng thể, nhu cầu vệ tinh VTTT là mang tính chiến lược, phù hợp với xu hướng toàn cầu và mục tiêu tự chủ công nghệ [27].

4.2. Các tính năng kỹ thuật cơ bản

Tương thích với payload: Khung vệ tinh của vệ tinh VTTT là hệ thống kỹ thuật hỗ trợ và đảm bảo hoạt động của payload trên quỹ đạo. Do vậy, khung vệ tinh của vệ tinh phải đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật của payload được lựa chọn theo yêu cầu như camera quang học, phổ kế, cảm biến ra-đa (SAR) hoặc thiết bị vô tuyến. Điều này bao gồm cung cấp năng lượng, không gian vật lý, kiểm

soát nhiệt độ và giao diện dữ liệu. Hiện nay, các nhà sản xuất vệ tinh VTTT trên thế giới thường tích hợp payload từ các nhà sản xuất uy tín, do đó tính tương thích và đồng bộ giữa khung vệ tinh và payload là một trong những yếu tố quan trọng đảm bảo hoạt động ổn định của vệ tinh trên quỹ đạo.

Vệ tinh VNREDSat-1 của Việt Nam sử dụng thiết bị chụp ảnh quang học có độ phân giải 2,5 m cho mục đích giám sát tài nguyên thiên nhiên, môi trường và thiên tai. Thiết bị này có tổng khối lượng khoảng 30 kg và được đảm bảo hoạt động trên khung vệ tinh có khối lượng khoảng 100 kg.

Độ ổn định và linh hoạt: Trên quỹ đạo, payload của vệ tinh được điều khiển định hướng vào các khu vực theo yêu cầu của người sử dụng. Vì thế, độ ổn định và chính xác chỉ hướng của khung vệ tinh là các tham số kỹ thuật đặc biệt quan trọng quyết định chất lượng dữ liệu và năng lực của vệ tinh. Tiêu chí này được đảm bảo bởi phân hệ điều khiển tư thế và quỹ đạo của vệ tinh VTTT. Phân hệ này bao gồm các thiết bị để tính toán, xác định tư thế của vệ tinh đồng thời phải có khả năng điều chỉnh hướng linh hoạt và chính xác. Bên cạnh đó, vệ tinh VTTT cần được trang bị hệ thống đẩy để điều khiển các thông số quỹ đạo khi cần thiết (điều chỉnh độ cao, góc nghiêng, tránh va chạm...).

Năng lượng và thông tin liên lạc: Thông qua hệ thống pin mặt trời và ắc quy lưu trữ, khung vệ tinh phải cung cấp đủ điện năng cho tải trọng và các phân hệ hỗ trợ khác. Do vậy, việc thiết kế bộ nguồn cần được phân tích dựa trên các kịch bản vận hành của vệ tinh, nhằm xác định công suất tấm pin mặt trời, dung lượng bộ lưu trữ điện và các thiết bị điều khiển, giám sát kèm theo. Việc cung cấp công suất là một trong những tiêu chí quan trọng khi lựa chọn khung vệ tinh, vì nó quyết định khả năng đáp ứng yêu cầu hoạt động của tải trọng và ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất cũng như tuổi thọ của hệ thống.

Ngoài ra, hệ thống thông tin liên lạc cũng là một phân hệ quan trọng của khung vệ tinh. Vệ tinh VTTT phải duy trì liên lạc với trạm mặt đất để nhận lệnh điều khiển, truyền dữ liệu (gồm dữ liệu của payload và các dữ liệu khác), các đặc trưng truyền dẫn (băng thông, điều chế, công suất,...), cần đáp ứng yêu cầu truyền dẫn của nhiệm vụ, đồng thời tuân thủ các quy định về quản lý tần số vô tuyến điện và phối hợp tần số của Việt Nam cũng như quốc tế.

Thời gian sống trên quỹ đạo: Khi hoạt động trên quỹ đạo, vệ tinh VTTT phải chịu được môi trường khắc nghiệt của không gian (bức xạ, nhiệt độ, chân không, oxy nguyên tử, nguy cơ va chạm...) và độ bền của các linh kiện. Vì vậy, thiết kế của vệ tinh VTTT, đặc biệt là khung vệ tinh phải lựa chọn các thiết bị, linh kiện đạt tiêu chuẩn, có độ dự phòng và được trang bị các bộ phận (phần cứng và phần mềm) để giám sát và ứng phó với các tình huống lỗi hoặc hỏng khi vệ tinh hoạt động.

Vệ tinh VNREDSat-1 được thiết kế với thời gian sống 5 năm, đến nay vệ tinh vẫn hoạt động (trên 10 năm) do sử dụng các linh kiện, thiết bị đã được kiểm chứng, có các thiết bị dự phòng phù hợp và cơ chế tự phát hiện và khắc phục lỗi ngay trên vệ tinh.

Kích thước, khối lượng và khả năng phóng của khung vệ tinh: Vệ tinh VTTT chỉ thực sự có tính ứng dụng khi được đưa vào đúng quỹ đạo và hoạt động ổn định trong không gian. Bởi vậy, việc phóng vệ tinh phải được cân nhắc ngay từ ban đầu, căn cứ vào yêu cầu về tiến độ, khối lượng và kích thước của vệ tinh.

Kích thước và khối lượng của khung vệ tinh ảnh hưởng trực tiếp đến thiết kế vệ tinh, khả năng tích hợp payload và yêu cầu tương thích với phương tiện phóng. Khung vệ tinh phải đủ không gian cho các phân hệ và đảm bảo tải trọng trong giới hạn cho phép. Đồng thời

phải tối ưu hóa tỷ lệ khối lượng giữa payload và khung vệ tinh để tăng hiệu quả. Đối với VNREDSat-1 tỷ lệ này đạt khoảng 30%, phù hợp cho vệ tinh VTTT cỡ nhỏ. Ngoài ra, khung vệ tinh phải có kích thước nhỏ gọn để tương thích với các thiết bị phóng và giảm lực cản khí quyển khi hoạt động trong vũ trụ (tỷ lệ với diện tích mặt cắt ngang).

Khả năng chuyển giao công nghệ: Khả năng chuyển giao công nghệ liên quan đến việc thiết kế khung vệ tinh dễ dàng truyền đạt kiến thức, tài liệu và quy trình sản xuất từ nhà cung cấp đến đối tác. Khung vệ tinh phải có thiết kế mô-đun với tài liệu chuẩn hóa để hỗ trợ đào tạo kỹ sư và tích hợp nội địa (Assembly, Integration, and Testing - AIT). Đây là một trong những yêu cầu quan trọng trong giai đoạn hiện nay của Việt Nam đối với lĩnh vực vệ tinh VTTT.

Trong khuôn khổ dự án VNREDSat-1 (dựa trên khung vệ tinh Myriade, hợp tác Airbus/Pháp), 15 kỹ sư Việt Nam được đào tạo tại Pháp đã chuyển giao đầy đủ quyền kiểm soát vệ tinh cho Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (VAST) sau 2 năm.

Trên cơ sở phân tích như trên, khung vệ tinh tiếp theo đảm bảo tính liên tục và kế thừa của VNREDSat-1, được đề xuất với các tiêu chí cơ bản trong bảng 1.

Bảng 1. Tiêu chí của khung vệ tinh đề xuất.

Tiêu chí	Vệ tinh VNREDSat-1	Khung vệ tinh đề xuất
Nhu cầu thực tiễn	Chụp ảnh quang học, có khả năng chụp ảnh toàn cầu với độ phân giải 2,5 m.	Chụp ảnh quang học, khả năng chụp toàn cầu với độ phân giải cao nhất lên đến 0,5 m.
Tương thích với payload	Gắn và đảm bảo hoạt động của 1 payload quang học.	Gắn và đảm bảo hoạt động của 1 payload quang học.
Thời gian sống trên quỹ đạo	5 năm theo thiết kế.	Tối thiểu 5 năm theo thiết kế.
Độ ổn định và linh hoạt	Độ chính xác địa lý dưới 300 m. Khả năng quay nghiêng 30° trong vòng 90 giây. Kênh truyền dữ liệu ảnh: 60 Mbps, băng tần X; kênh điều khiển: băng tần S. Điều khiển quỹ đạo bằng hệ thống đẩy.	Độ chính xác địa lý dưới 100 m. Khả năng quay nghiêng 30° trong vòng 15 giây. Kênh truyền dữ liệu ảnh: 600 Mbps, băng tần X; kênh điều khiển: băng tần S. Có hệ thống đẩy để điều khiển quỹ đạo.
Năng lượng và thông tin liên lạc	Sử dụng cánh pin mặt trời và ắc quy.	Sử dụng cánh pin mặt trời và ắc quy.
Kích thước, khối lượng và khả năng phóng	Khối lượng ~130 kg, tương thích với nhiều thiết bị phóng.	Khối lượng từ 100 kg đến 500 kg (chúng loại minisatellite), tương thích với nhiều thiết bị phóng.
Khả năng chuyển giao công nghệ	Chương trình đào tạo và chuyển giao công nghệ cho vận hành và điều khiển vệ tinh, tham quan quá trình AIT của vệ tinh và trạm mặt đất.	Chương trình đào tạo và chuyển giao công nghệ cho vận hành và điều khiển vệ tinh, tiếp nhận chuyển giao công nghệ khung vệ tinh cỡ nhỏ, hình thành năng lực tự phát triển vệ tinh tương tự.

Nguồn: Nhóm tác giả.

Các ứng dụng của khung vệ tinh trên được mô tả như sau:

Với nhiệm vụ quan sát bề mặt Trái Đất ở phạm vi toàn cầu, khung vệ tinh đề xuất có thể gắn thiết bị chụp ảnh quang học với độ phân giải siêu cao (khoảng 0,5 m) để trở thành nguồn cung cấp dữ liệu ảnh viễn thám chủ động và hiệu quả cho Việt Nam. Vệ tinh này sẽ cung cấp những bức ảnh bề mặt Trái Đất hoặc các đối tượng quan tâm với độ chi tiết cao và siêu cao. Ngoài ra, vệ tinh này có khả năng kết hợp kỹ thuật với các vệ tinh quang học hoặc ra-đa khác để hình thành hệ thống quan sát Trái đất bằng chùm vệ tinh. Việc kết hợp với vệ tinh khác có thể được thực hiện ở ba cấp độ khác nhau: 1) Phối hợp hoàn toàn về quỹ đạo và điều khiển các vệ tinh cùng loại khung nhằm nâng cao vùng quan sát và tăng cường dữ liệu; 2) Phối hợp điều khiển các vệ tinh khác nhau nhằm cải thiện vùng chụp và nguồn thông tin; 3) Phối hợp dữ liệu từ các vệ tinh khác nhau để bổ trợ dữ liệu lẫn nhau.

5. Kết luận

Vệ tinh VTTT được xác định là sản phẩm công nghệ chiến lược quốc gia theo Quyết định số 21/2026/QĐ-TTg, đóng vai trò quan trọng trong quá trình tự chủ dữ liệu quan sát Trái Đất của Việt Nam. Trong bối cảnh nhu cầu ứng phó thiên tai, quy hoạch đô thị, phát triển nông nghiệp - thủy sản, quản lý tài nguyên, môi trường và đảm bảo an ninh quốc phòng ngày càng gia tăng, việc phát triển các vệ tinh VTTT kế tiếp VNREDSat-1 là hết sức cần thiết.

Các vệ tinh này cần có khả năng cung cấp dữ liệu ảnh quang học độ phân giải cao hoặc siêu cao, ổn định và tin cậy, phục vụ đồng thời nhiều lĩnh vực dân sinh và chiến lược. Chính vì thế, việc lựa chọn khung vệ tinh kế tiếp VNREDSat-1 phải bảo đảm khả năng hỗ trợ thực hiện nhiệm vụ quan sát Trái Đất với độ phân giải siêu cao và chính xác, đồng thời có khả năng mở rộng thành chùm vệ tinh với những vệ tinh khác. Bên cạnh đó, khung vệ tinh này phải có tính năng kỹ thuật mạnh mẽ, tin cậy và tương thích được với nhiều thiết bị phóng để nhanh chóng đưa vệ tinh hoạt động trên quỹ đạo và tối đa hóa hiệu quả đầu tư.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu được thực hiện với sự hỗ trợ kinh phí từ nhiệm vụ khoa học và công nghệ mã số NVCC34.01/25-25 do Trung tâm Vũ trụ Việt Nam, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam thực hiện. Các tác giả xin chân thành cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Vietnam Government (2025a), "Pilot implementation under controlled conditions of telecommunications services using low Earth orbit satellite technology", *Viet Nam Government News*, <https://baochinhphu.vn/thi-diem-co-kiem-soat-trien-khai-dich-vu-vien-thong-su-dung-cong-nghe-ve-tinh-quy-dao-tam-thap-tai-viet-nam-102250326112020508.htm>, accessed 9 October 2025 (in Vietnamese).
- [2] ESI Motion (2025), "LEO vs GEO Satellite Requirements", <https://esimotion.com/blogs/news/leo-vs-geo-satellite-requirements>, accessed 9 October 2025.
- [3] eoPortal (2024), "LOTUSat-1 (JV-LOTUSat)", <https://www.eoportal.org/satellite-missions/lotusat-1#eop-quick-facts-section>, accessed 9 October 2025.
- [4] Political Bureau (2025b), "Resolution No. 57-NQ/TW on breakthroughs in the development of science, technology, innovation, and national digital transformation", <https://xaydungchinhachsach.chinhphu.vn/toan-van-nghi-quyet-ve-dot-pha-phat-trien-khoa-hoc-cong-nghe-doi-moi-sang-tao-va-chuyen-doi-so-quoc-gia-119241224180048642.htm>, accessed 9 October 2025 (in Vietnamese).
- [5] Hanoi Management Board of Industrial and Export Processing Zones (2021), "Summary of the National-level Science and Technology Program on Space Technology for the period 2016-2020", https://hhttp.gov.vn/vi/thong-tin-kh-cn/tong-ket-chuong-trinh-khoa-hoc-va-cong-nghe-cap-quoc-gia-ve-cong-nghe-vu-tru-giai-doan-2016-2020-428.html?utm_source, accessed 7 November 2025 (in Vietnamese).
- [6] eoPortal (2023), "WorldView-3", https://www.eoportal.org/satellite-missions/worldview-3?utm_source.com#eop-quick-facts-section, accessed 7 November 2025.
- [7] European Space Agency (2014), "GeoEye-1 overview", https://earth.esa.int/eogateway/missions/geoeye-1/description?utm_source, accessed 7 November 2025.
- [8] Centre National D'études Spatiales (2025), "Pléiades", <https://cnes.fr/en/projects/pleiades>, accessed 7 November 2025 (in French).
- [9] eoPortal (2025a), "KOMPSAT-3A (Korea Multi-Purpose Satellite-3A) / Arirang-3A", https://www.eoportal.org/satellite-missions/kompsat-3?utm_source#mission-status, accessed 7 November 2025.

- [10] eoPortal (2025b), GF-1 (Gaofen-1)", https://www.eoportal.org/satellite-missions/gaofen-1?utm_source, accessed 7 November 2025.
- [11] Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (2013), "Some images taken by VNREDSat-1 Satellite", <https://vast.gov.vn/CmsView-EcoIT-portlet/html/print.cms.jsp?articleId=2870>, accessed 16 October 2025 (in Vietnamese).
- [12] T.M. Tuan, N.D. Tan, B.T. Tuyen, et al. (2007), *Satellite Technology*, Science and Technology Publishing House, pp.33 (in Vietnamese).
- [13] Vega Space and Geospatial Academy (2025), "VNREDSat-1", <https://vsgacademy.com/satellites/vnredsatsat-1>, accessed 9 October 2025 (in Vietnamese).
- [14] Terran Orbital (2024), "Ambassador", <https://terranorbital.com/spacecraft-platforms/ambassador>, accessed 8 November 2025.
- [15] China Academy of Space Technology (2025), "Optical Remote Sensing Series", <https://www.cast.cn/english/channel/1987>, accessed 8 November 2025.
- [16] ESTEC (2015), "CleanSat workshop evolution of LEO platforms", https://indico.esa.int/event/73/attachments/2542/2932/Airbus_Evolution_of_LEO_platforms.pdf?utm_source, accessed 7 November 2025.
- [17] Orbital ATK (2017), "LEOSTar™-3 bus a medium-to-large, high performance, versatile and expandable spacecraft bus designed for 1 - 10 years", <https://satsearch.co/products/orbital-atk-leostar-3-bus-a-medium-to-large-high-performance-versatile-and-expandable-spacecraft-bus-designed-for-1-10-years>, accessed 7 November 2025.
- [18] M. Adachi (2014), "Introduction of NEC Space Business (Launch of Satellite Integration Center)", https://www.nec.com/en/global/ir/pdf/library/140702/140702_01.pdf, accessed 7 November 2025.
- [19] Q. Young (2005), "ssc05-i-6 modular platform architecture for small satellites: evaluating applicability and strategic issues", *19th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites*, <https://digitalcommons.usu.edu/smallsat/2005/all2005/7/>, 7 November 2025.
- [20] BIS Research (2022), "satellite commercial-off-the-shelf components enabling innovation in space technology", https://bisresearch.com/news/satellite-commercial-off-the-shelf-components-enabling-innovation-in-space-technology-?utm_source, accessed 16 October 2025.
- [21] C.C. Liebe (1995), "Star trackers for attitude determination", *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, **10(6)**, pp.10-16, DOI: 10.1109/62.387971.
- [22] ASPINA (2023), "Importance of satellite attitude control and types of attitude control devices", https://us.aspina-group.com/en/learning-zone/columns/2023041901/?utm_source, accessed 16 October 2025.
- [23] The National Remote Sensing Department (2025), "TCVN 14362:2025", <https://nrsd.mae.gov.vn/noidung/Lists/VBQPPL/Attachments/86/3.TCVN14362%202025.pdf>, accessed 7 November 2025.
- [24] Enpulsion (2025), "The new system brings the benefits of FEEP technology to spacecraft up to 500 kg, with higher thrust, improved orbit raising, and seamless integration", <https://www.enpulsion.com/enpulsion-unveils-nexus-its-most-powerful-electric-propulsion-system-to-date/>, accessed 16 October 2025.
- [25] National Aeronautics and Space Administration (2025), "How nasa is testing ai to make earth-observing satellites smarter", https://www.nasa.gov/science-research/earth-science/how-nasa-is-testing-ai-to-make-earth-observing-satellites-smarter/?utm_source, accessed 16 October 2025.
- [26] European Space Agency (2024), "New satellite to show how AI advances Earth observation", https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Phsat-2/New_satellite_to_show_how_AI_advances_Earth_observation, accessed 16 October 2025.
- [27] University of Science and Technology of Hanoi (2025), "Low-orbit satellite technology: New opportunities for the Space Science sector in Vietnam", <https://usth.edu.vn/cong-nghe-ve-tinh-tam-thap-co-hoi-moi-cho-nganh-khoa-hoc-vu-tru-tai-vietnam-24802/>, accessed 9 October 2025 (in Vietnamese).
- [28] Disaster Prevention Policy and Technology Center (2025), "Disaster Events", <http://www.dmc.gov.vn/thong-tin-thien-tai-pt32.html?lang=vi-VN>, accessed 7 November 2025 (in Vietnamese).