PHÂN TÍCH VÀ ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG HỆ THỐNG TRUYỀN THÔNG QUANG KHÔNG DÂY LIÊN VỆ TINH

Nguyễn Thị Thu Nga

Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

Tóm tắt: Bài báo này tập trung nghiên cứu khả năng thực hiện truyền thông quang không dây liên vệ tinh (Is-OWC) giữa vệ tinh ở quỹ đạo thấp (LEO) và quỹ đạo địa tĩnh (GEO). Mục đích của nghiên cứu này là để chứng minh khả năng của liên kết quang tốc độ cao, giữa các thiết bị đầu cuối LEO và GEO. Việc triển khai này sẽ đảm bảo đồng thời đat được hiệu suất thời gian hệ thống cao, theo cách tiếp cận tiết kiệm chi phí vận hành. Tuy nhiên, hệ thống Is-OWC yêu cầu khắt khe về đường truyền thẳng (LOS), điều khó đạt được khi sử dụng hệ thống điểm điểm. Do đó, hai giải pháp được đề xuất để cải thiện khả năng duy trì LOS và giảm tỉ lệ lỗi bit (BER) bao gồm: (1) sử dung kỹ thuật đa đầu vào đa đầu ra (MIMO) và (2) áp dung kỹ thuật ghép kênh theo bước sóng (WDM). Bằng việc triển khai mô phỏng hệ thống trên phần mềm OptiSystem, kết quả của nghiên cứu đã chứng minh được tính khả thi của hai giải pháp đề xuất nêu trên.

Từ khoá: Truyền thông quang liên vệ tinh (Is-OWC), LEO, GEO, MIMO, ghép kênh theo bước sóng (WDM).

I. GIỚI THIỆU:

Vào ngày 04 tháng 10 năm 1957, vệ tinh nhân tạo đầu tiên trên thế giới, có tên là Sputnik, đã được phóng lên để mở ra chương mới cho truyền thông vệ tinh. Kế từ đó, hơn 12000 vệ tinh nhân tạo đã được phóng cho đến tháng 5 năm 2022, theo báo cáo của Văn phòng các vấn đề ngoài không gian của Liên hợp quốc (UNOOSA) [1]. Trong tổng số các vật thể được phóng, có khoảng 4800 vệ tinh hiện đang hoạt động trên các quỹ đạo khác nhau xung quanh Trái đất [2]. Trong hơn 60 năm qua, công nghệ vệ tinh đã chứng minh thành công tính hữu dụng bằng cách cung cấp các dịch vụ khác nhau như thông tin liên lạc, viễn thám/quan sát trái đất, điều hướng, giám sát thời tiết, thăm dò không gian cho các mục đích quốc phòng, dân dụng, và thương mại [3]. Một số mốc quan trọng có thể được liệt kê trong lịch sử liên lạc vệ tinh như điện thoại và tín hiệu truyền hình từ không gian, các nhiệm vụ quân sự và truy cập Internet từ không gian.

Truyền thông vệ tinh là kết quả của những nỗ lực nghiên cứu trong cả lĩnh vực truyền thông và công nghệ với mục

Tác giả liên hệ: Nguyễn Thị Thu Nga,

Email: ngantt@ptit.edu.vn

Đến tòa soạn: 8/2022, chỉnh sửa: 9/2022, chấp nhận đăng: 10/2022.

tiêu là đạt được phạm vi và dung lượng ngày càng tăng với chi phí thấp nhất có thể. Hệ thống liên lạc vệ tinh về cơ bản bao gồm một phân hệ không gian, một phân hệ điều khiển



Hình 1. Truyền thông quang không dây liên vệ tinh trong nhiệm vụ quan sát Trái Đất.

và một phân hệ mặt đất [4]. Phân hệ không gian bao gồm một hoặc một số vệ tinh đang hoạt động được tổ chức thành một chòm sao. Phân hệ điều khiển còn được gọi là các trạm theo dõi, đo xa và chỉ huy (TTC). Phân hệ này quản lý lưu lượng và tài nguyên trên vệ tinh cho các mạng truyền thông. Phân hệ mặt đất chứa tất cả các trạm mặt đất của người dùng có nền tảng cố định hoặc di động (ví dụ: tàu cao tốc, tàu thủy, ô tô tự hành, v.v.). Tùy theo ứng dụng và các trường hợp sử dụng mà các trạm này có kích thước khác nhau. Cấu trúc cơ bản của hệ thống truyền thông vệ tinh được minh họa trong hình 1, bao gồm đường truyền giữa các vêệ tinh (vệ tinh với vệ tinh), đường lên (mặt đất với vệ tinh) và đường xuống (vệ tinh với mặt đất). Có ba cấu hình quỹ đạo cơ bản, là quỹ đạo được theo sau bởi vệ tinh, bao gồm

- Quỹ đạo địa tĩnh (GEO): Nằm ở độ cao 35768 km tính từ bề mặt Trái đất. Vệ tinh GEO khóp với chuyển động quay của Trái đất khi chúng di chuyển; vì vậy chúng vẫn ở trên cùng một điểm trên mặt đất. Ba vệ tinh GEO có thể phủ sóng toàn cầu, tức là 99% dân số thế giới và các hoạt động kinh tế ngoại trừ vùng cực [5]. Vệ tinh GEO được sử dụng cho dữ liệu thời tiết, truyền hình phát sóng, v.v.
- Quỹ đạo Trái đất Trung bình (MEO): Có phạm vi độ cao từ 2000 km đến 35768 km so với Trái đất. Do độ cao thấp hơn so với GEO, chòm sao MEO thường cần

hàng chục vệ tinh để cung cấp vùng phủ sóng liên tục và liên lạc trong thời gian thực. Vệ tinh MEO thường được sử dụng cho các hệ thống định vị toàn cầu (GPS) và các ứng dụng điều hướng khác.

Quỹ đạo Trái đất tầm thấp (LEO): Có phạm vi độ cao hoạt động từ 160 km đến 2000 km so với bề mặt Trái đất. Các vệ tinh LEO di chuyển tương đối nhanh khi càng gần Trái đất; do đó, yêu cầu một hệ thống theo dõi để duy trì liên lạc giữa các trạm vệ tinh và mặt đất. So với GEO và MEO, ngày nay LEO có mật độ dân cư đông đúc với hàng nghìn vệ tinh đang hoạt động do hiệu quả chi phí, độ trễ thấp hơn và tiêu thụ ít điện năng hơn.

Ngày nay, công nghệ cáp quang đang quản lý phân lớn mạng truy nhập mặt đất và mạng đường trục với dung lượng chung hàng chục tera-bit-mỗi giây (Tbps) [6]. Tuy nhiên, do chi phí đắt đỏ và / hoặc trở ngại địa chất, mạng cáp quang không phù hợp ở những khu vực không thể tiếp cận được (vùng thiên tai, vùng biển, vùng sa mạc, v.v.) và các vùng hẻo lánh (vùng nông thôn, vùng sâu vùng xa, v.v.). Với sứ mệnh phủ sóng toàn câu, một mạng liên lạc từ không gian, nơi không thể áp dụng truyền thông hữu tuyến, là cần thiết [7]. Truyền thông vệ tinh mặt đất là phương thức giao tiếp giữa một vệ tinh nhân tạo có nhiệm vụ truyền tín hiệu thông qua một bộ phát đáp khi nó tao ra một kênh giữa bộ phát (vệ tinh) và bộ thu được đặt tại các vị trí khác nhau trên Trái đất. Tuy nhiên, một vài vệ tinh tầm thấp không thể thực hiện nhiệm quan sát toàn diện Trái Đất. Việc các vệ tinh hoạt động ở các độ cao khác nhau, đặc biệt là GEO và LEO, giúp cho việc quan sát Trái Đất trở lên toàn diện hơn. Do đó, trong bài báo này, chúng tôi tập trung vào việc thiết kế, phân tích, và đánh giá hiệu năng truyền thông giữa GEO và LEO.

Hiện nay, truyền thông vệ tinh thường được thực hiện bằng việc truyền sóng điện từ RF. Tuy nhiên phương thức truyền dẫn này có nhiều hạn chế ví dụ như cần xin cấp phép tần số, công suất tiêu thụ lớn, kích thước thiết bị lớn... Gần đây, phương thức truyền thông quang không dây đang dành được nhiều sự quan tâm nghiên cứu từ các viện nghiên cứu cũng như các nhà cung cấp dịch vụ [8, 9]. Truyền thông quang không dây có nhiều ưu điểm như: tốc độ dữ liệu cao, không yêu cầu cấp phép phổ tần và công suất tiêu thụ thấp... Do đó, việc kết hợp cả hai công nghệ truyền thông liên vệ tinh và hệ thống quang không dây sẽ mở ra một chương mới cho sự phát triển của thế hệ mạng không dây mới trong tương lai.

Đường truyền quang không dây giữa 2 vệ tinh hoặc giữa vệ tinh và trạm mặt đất có tốc độ cao với trễ truyền dẫn nhỏ do sử dụng tín hiệu ánh sáng tần số cao làm sóng mang. Đường truyền quang có nhiều ưu điểm hơn đường truyền RF. Kích thước của anten phụ thuộc vào tần số sóng mang nên rõ ràng anten thu phát của hệ thống RF có kích thước mét nhưng anten của hệ thống truyền thông quang chỉ có kích thước cm. Kích thước anten nhỏ hơn nghĩa là kích thước tải trọng nhỏ hơn, giảm được trọng lượng và giá thành của vệ tinh, đây cũng chính là ưu điểm lớn của truyền thông quang. Do sử dụng bước sóng nhỏ nên độ rộng búp sóng Laser hẹp dẫn đến suy hao công suất tín hiệu của hệ thống RF. Truyền thông quang không dây không yêu cầu về cấp phép tần số như truyền thông RF. Truyền thông quang không dây cung

cấp một giải pháp thay thế đầy hứa hẹn với tốc độ dữ liệu cao nhờ kỹ thuật ghép kênh quang phân chia theo bước sóng. Nhược điểm lớn nhất của truyền thông quang liên vệ tinh là yêu cầu hệ thống theo dõi chính xác cao để đảm bảo đường truyền giữa các vệ tinh là đường truyền thẳng LOS [10].

Truyền thông quang liên vệ tinh đóng một vai trò quan trọng trong nhiều lĩnh vực. Nhiều nhà khoa học đang nghiên cứu về IsOWC để cung cấp những kỹ thuật tốt hơn cho các yêu cầu về mạng. VWS Chan [11] đã nghiên cứu rằng truyền thông quang không dây giữa các vệ tinh ở tốc độ dữ liệu cao 10Gb/s là khả thi. Noor NHM và các cộng sự [12] đề xuất một hệ thống nhiều bộ thu phát để cung cấp tốc độ bit cao với BER có thể chấp nhận được. Patnaik B và cộng sự [13] đã chứng minh tốc độ dữ liệu 400Gbps với khoảng cách 4767km sử dụng điều chế QPSK kết hợp có thể thực hiện được. Patnaik B và cộng sự [14] thiết kế hệ thống DWDM 32 kênh sử dung QPSK quang cho truyền thông quang không dây để đạt được tốc độ dữ liệu 40Gbps. Rain và cộng sự [15] đã nghiên cứu dao động giữa các vệ tinh và sự lệch liên kết tương ứng, các lỗi về đồng chỉnh và BER.

Ngoài ra, một số thử nghiệm liên lạc giữa vệ tinh với vệ tinh đã được Cơ quan Vũ trụ Châu Âu (ESA) thực hiện, Cơ quan Thám hiểm Hàng không Vũ trụ Nhật Bản (JAXA), Cơ quan Vũ trụ (DLR) Đức và Cơ quan Hàng không Vũ trụ Quốc gia (NASA) [16]. Vào tháng 11 năm 2014, lần truyền dữ liệu đầu tiên được thực hiện giữa Vệ tinh LEO Sentinel 1A và vệ tinh GEO Alphasat. Sau đó vào tháng 12 năm 2014, chiến dịch đã kết thúc với những màn trình diễn vượt quá mong đợi [17]. Cuối năm 2016, EDRS bắt đầu cung cấp các dịch vụ từ LEO đến GEO cho khoảng 40 đường truyền quang. Năm 2021, hơn 15000 đường truyền đã được thực hiện thành công [18].

Theo xu thế hiện nay, các vệ tinh viễn thám thường được triển khai tại quỹ đạo thấp (LEO), gần trái đất nhằm thu thập được những thông tin, hình ảnh chính xác. Tuy nhiên, thời gian duy trì kết nối giữa trạm mặt đất và vệ tinh LEO thường rất ngắn, không đủ để vệ tinh truyền tải số liệu xuống trạm mặt đất. Các nghiên cứu trước đây chỉ nghiên cứu đường truyền liên vệ tinh giữa các LEO hoặc giữa LEO và GEO tốc độ thấp. Lấy nguồn cảm hứng từ đó, nhóm nghiên cứu tập trung thiết kế các giải pháp để cải thiện việc duy trì đường truyền thẳng LOS và nâng cao hiệu năng hệ thống. Vì vậy, nhóm nghiên cứu đề xuất sử dụng hai giải pháp để cải thiện hiệu năng hệ thống thông tin quang không dây liên vệ tinh giữa LEO và GEO như sau:

- Đầu tiên, chúng tôi đề xuất sử dụng kỹ thuật đa đầu vào đa đầu ra (MIMO) để cải thiện việc duy trì đường truyền thẳng LOS giữa hai vệ tinh. Thực vậy, điều này đã được chứng minh thông qua kết quả mô phỏng của công trình này.
- Thứ hai, chúng tôi đề xuất áp dụng kỹ thuật ghép kênh theo bước sóng WDM để cải thiện tỉ lệ lỗi bit (BER) trở nên tốt hơn, nghĩa là BER ở giá trị thấp. Trong kết quả mô phỏng, chúng tôi so sánh hệ thống đơn kênh và hệ thống sử dụng WDM để chứng minh tính khả thi của đề xuất.

Bài báo được tổ chức như sau: Phần I là giới thiệu chung trình bày các nghiên cứu liên quan về truyền thông

quang không dây liên vệ tinh phần II; phần III giải thích về mô hình hệ thống và mô hình kênh, phần IV phân tích hiệu năng hệ thống, phần V thảo luận về các kết quả thu được và phần VI là phần kết luận.

II. MÔ HÌNH HỆ THỐNG

Mô hình hệ thống được chia làm 3 phần như Hình 2: Phần phát là vệ tinh LEO, phần thu là vệ tinh GEO và môi trường truyền dẫn là kênh OWC.



Tín hiệu điện đưa vào Laser được thực hiện chuyển đổi E/O tại LEO. Sau đó tín hiệu quang này được phát qua thấu kính phát vào môi trường kênh OWC. Đến phía thu đặt tại GEO, tín hiệu quang được thu qua thấu kính thu và chuyển đổi O/E tại nguồn thu APD.

A. Phần phát:

Phần phát chứa một bộ tạo chuỗi bit ngẫu nhiên PRBS tương ứng với nguồn thông tin nhị phân đầu vào. Bộ tạo xung NRZ mã hoá thông tin nhị phân thành tín hiệu điện tương ứng. Laser CW là nguồn sóng mang ánh sáng tạo ra sóng liên tục chưa được điều chế. Công suất phát của LD là 1W và bước sóng 850nm. Bộ điều chế Mach Zehnder là thành phần chính của hệ thống phát. Đây là bộ điều chế quang có chức năng thay đổi cường độ ánh sáng Laser theo đầu vào của bộ tạo xung NRZ.

B. Kênh OWC

Các vệ tinh quay quanh trái đất trong không gian vũ trụ và môi trường xung quanh các vệ tinh là môi trường truyền dẫn. Môi trường này được thay thế bởi thành phần kênh OWC được mô hình hóa trong công cụ OptiSystem. Các an ten quang ở cả đầu phát và đầu thu đều là một phần của thành phần kênh OWC. Các thông số an ten như hệ số khuếch đại an ten, hiệu suất quang và hệ số đồng chỉnh, v.v. có thể thay đổi tùy theo yêu cầu. Hiệu suất quang của anten được giả định là 1 đối với trường hợp lý tưởng. Ảnh hưởng của rung động và các yếu tố khác dẫn đến sai số trở không được xét đến trong nghiên cứu này, nên sai số đồng chỉnh được bỏ qua.

C. Bộ thu

Bộ thu bao gồm một điốt quang thác APD và một bộ lọc thông thấp LPF. Điốt quang là một thiết bị tách quang thực hiện chuyển dòng photon tới thành dòng điện chạy qua mạch đầu ra. Không giống như một photodiode, APD có khả năng khuếch đại do hiện tượng quang thác. Hệ số nhân thác của APD được lựa chọn là 3dB. Do đó, không cần bộ khuếch đại bên ngoài ở đầu thu. APD là lựa chọn hoàn hảo để sử dụng trong hệ thống tách quang đối với truyền dẫn khoảng cách xa. Dòng điện tối được cố định ở giá trị mặc định là 10 nA. Tần số của điốt quang được đặt thành 193,1 THz. Chức năng của LPF là lọc ra các tín hiệu tần số cao hơn không mong muốn. Bộ lọc Bessel LPF được sử dụng với tần số cắt 0,75.

D. Ảnh hưởng của các bước sóng khác nhau trong hệ thống IsOWC.

Mô phỏng IsOWC giữa các vệ tinh LEO và GEO sử dụng các thông số trong Bảng I. Các điốt laser hoạt động ở bước sóng 850nm và 1550nm do có mật độ năng lượng thấp, có độ tin cậy cao, yêu cầu dòng hoạt động thấp, rẻ và có sẵn trong thị trường. Thấu kính phát quang và thấu kính thu quang được giả định là lý tưởng với hiệu suất quang là bằng 1 ở mỗi đầu. Diode quang APD được sử dụng như một bộ tách sóng quang ở phía máy thu, chuyển đổi tín hiệu quang thành tín hiệu điện. Tần số không mong muốn được lọc ra bằng bộ lọc Bessel thông thấp. Tín hiệu của chuỗi bit được tái tạo bằng bộ tái tạo 3R. Máy phân tích BER được sử dụng để phân tích tín hiệu nhận được.

E. Hệ thống truyền thông quang liên vệ tinh dùng nhiều anten.

Để truyền dẫn với tốc độ dữ liệu cao và khoảng cách xa cần công suất máy phát cao và kích thước an ten lớn. Vì vậy, nhiều an ten được sử dụng để nâng cao hiệu suất hệ thống. Mô hình được đề xuất sử dụng các thông số tương tự được liệt kê trong Bảng 1. Sử dụng cùng một nguồn laser CW ở bước sóng 850 nm cho bốn kênh truyền quang không dây. Đầu ra của MZM đi đến bộ chia (1: 4) để chia công suất đầu vào như nhau cho bốn kênh OWC. Tương ứng, bộ kết hợp công suất (4:1) ở phía máy thu để tổng hợp các nguồn tín hiệu nhận được như trong Hình 4.



Hình 3: Hệ thống IsOWC đơn bước sóng



Hình 4: Hệ thống IsOWC dùng MIMO

F. Hệ thống truyền thông quang liên vệ tinh sử dụng ghép kênh theo bước sóng

Sơ đồ ghép kênh phân chia theo bước sóng, được đề xuất như trong Hình 5. WDM được thực hiện tại phía máy phát sử dụng bốn nguồn phát laser CW riêng biệt bước sóng 800 nm, 830 nm, 860 nm và 900 nm, với công suất đầu vào 1 watt chia đều cho mỗi kênh, được ghép lại với khoảng cách kênh 10 GHz. Bốn bước sóng này được ghép kênh qua bộ ghép kênh (4:1). Các luồng dữ liệu đầu vào được tạo từ bộ tạo chuỗi bit giả ngẫu nhiên. Phía thu sử dụng bộ tách kênh (1:4) để tách ra 4 kênh bước sóng riêng biệt đưa đến các photo diod APD.

BÅNG 1: CÁC THAM SÔ DÙNG TRONG MÔ PHỎN	١G
--	----

Tham số	Giá trị
Đướng kính khẩu độ phát	30cm
Đướng kính khẩu độ thu	30cm
Công suất phát	1 W
Bước sóng	850nm
Tốc độ bit	5Gbp
Chuỗi bit	32 bit
Số bit trên một mẫu	64



Hình 5: Hệ thống IsOWC đa bước sóng WDM

III. MÔ HÌNH KÊNH

Truyền thông quang không dây qua không gian chịu 2 ảnh hưởng làm suy giảm tín hiệu là suy hao trong không gian tự do và suy hao do nhiễu loạn khí quyển.

Suy hao trong không gian tự do được tính theo công thức sau:

$$FSL = \frac{4\pi L}{\lambda} \tag{1}$$

với L: khoảng cách giữa vệ tinh LEO- GEO

 λ : bước sóng hoạt động của hệ thống.

Nhiễu loạn khí quyển là một hàm của tham số cấu trúc chỉ số khúc xạ C_n^2 Tham số này xác định độ lớn của sự hỗn loạn trong bầu khí quyển. C_n^2 sẽ thay đổi theo thời gian trong ngày, vị trí địa lý và độ cao. Đối với đường truyền theo phương ngang gần mặt đất, giá trị của C_n^2 gần như không đổi và giá trị tiêu biểu của nó trong trường hợp nhiễu loạn yếu là 10^{-17} m^{-3/2} và đối với nhiễu loạn mạnh nó có thể lên tới 10^{-13} m^{-3/2} hoặc lớn hơn. Đối với đường truyền theo phương thẳng, giá trị của C_n^2 thay đổi theo độ cao h (không giống như đường truyền ngang trong đó giá trị của nó được giả định là không đổi).

Khi tăng độ cao, giá trị của C_n^2 giảm theo tỷ lệ h^{-4/3}. Do đó với truyền dẫn theo phương thẳng đứng, giá trị của C_n^2 thay đổi theo độ cao của máy thu. Mô hình thực nghiệm của C_n^2 đã được đề xuất để ước tính nhiễu loạn dựa trên các phép đo thực nghiệm được thực hiện ở nhiều vị trí địa lý, thời gian trong ngày, tốc độ gió, loại địa hình, v.v.

Mô hình được sử dụng rộng rãi nhất cho đường truyền theo phương thẳng đứng là Hufnagel (HVB) được xác định theo công thức:

$$C_n^2(h) = 0.00594 \left[\left(\frac{w}{27}\right)^2 (10^{-5}h)^{10} exp\left(\frac{-h}{1000}\right) + 2.7x10^{-16} exp\left(-\frac{h}{1500}\right) + Aexp\left(\frac{-h}{100}\right)m^{\frac{-2}{3}} \right]$$
(2)

Trong đó w² là giá trị bình phương trung bình của tốc độ gió tính bằng m/s, h là độ cao tính bằng mét và A có giá trị có thể điều chỉnh được để phù hợp với các điều kiện khác nhau. Với độ cao lớn hơn 30 km, tham số cấu trúc chỉ số khúc xạ có thể được coi là bằng không . Do đó, tín hiệu từ vệ tinh LEO được truyền qua không gian tự do đến vệ tinh GEO ở độ cao trên 2000km nên nhiễu loạn khí quyển sẽ không được xem xét trong bài báo này.

IV. PHÂN TÍCH HIỆU NĂNG

Thấu kính phát quang và thấu kính thu quang được giả định là lý tưởng với hiệu suất quang là bằng 1 ở mỗi đầu nên công suất quang thu được tại GEO là:

$$P_R = \frac{P_t G_{TX} G_{RX}}{FSL} \tag{3}$$

 P_t : là công suất phát tại LEO; G_{TX} và G_{RX} lần lượt là hệ số khuếch đại của thấu kính tại LEO và GEO.

Mối quan hệ giữa đường kính anten thu phát D_R , D_T và hệ số khuếch đại G_{RX} , G_{TX} của anten như sau:

$$G_T = \left(\frac{\Pi D_T}{\lambda}\right)^2, \quad G_R = \left(\frac{\Pi D_R}{\lambda}\right)^2$$
(4)

Tại GEO, diode thu quang APD chuyển đổi tín hiệu thu thành dòng điện, với cường độ dòng điện được xác định theo công thức sau đây:

$$I_p = RMP_R \tag{5}$$

Trong đó R và M là đáp ứng và hệ số nhân tương ứng của APD. Ngoài dòng tín hiệu điện còn có dòng nhiễu xuất hiện tại bộ thu quang. Dòng nhiễu này bao gồm nhiễu nổ và nhiễu nhiệt. Các thành phần nhiễu này được tính cụ thể như sau:

$$\delta_s^2 = 2qM^2 F_A (RP_R + I_d)\Delta f \tag{6}$$

$$\delta_T^2 = \left(\frac{4k_BT}{R_L}\right) F_n \Delta f \tag{7}$$

Trong đó q là điện tích electron, FA là hệ sô nhiều trội, Δf là độ rộng băng tần nhiễu hiệu dụng, I_d là dòng tối, KB là hằng số Boltzman, T là nhiệt độ máy thu, RL là điện trở tải.

Tỉ số tín hiệu trên nhiễu của bộ thu quang tại GEO;

$$SNR = \frac{l_p^2}{\delta_s^2 + \delta_T^2} = \frac{(MRP_R)^2}{2qM^2 F_A(RP_R + I_d)\Delta f + \left(\frac{4k_BT}{R_L}\right)F_n\Delta f} \quad (8)$$

Ngoài tỉ số tín hiệu trên nhiễu SNR, Hệ số Q hoặc BER được sử dụng làm thước đo hiệu suất để phân tích hệ thống. BER là tỷ giữa số bit lỗi được phát hiện trong máy thu với số bit được truyền đi. Tín hiệu bị nhiễu dẫn đến các quyết định không chính xác được thực hiện tại hệ thống máy thu và do đó dẫn đến lỗi bit. BER giữ một mối quan hệ nghịch đảo với Q-factor có thể được biểu diễn dưới dạng:

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{-Q^2}{2}\right) \tag{9}$$

trong đó, Q là hệ số chất lượng.

V. MỘT SỐ KẾT QUẢ

A. Sử dụng bước sóng 850nm và 1550nm trong IsOWC

Hình 6 cho thấy với bước sóng phát từ 800 nm đến 1000 nm cho kết quả Q cao hơn và BER thấp hơn các bước sóng đến 1500nm. Sử dụng bước sóng 850 nm thu được tín hiệu với Q factor bằng 6,578, BER bằng 3×10^{-11} như biểu đồ mắt hình 7. Sử dụng bước sóng 1500 nm thu được tín hiệu với Q factor bằng 5,776 BER bằng 3×10^{-9} như biểu đồ mắt hình 8. BER và jitter của hệ thống IsOWC tăng dần ở phía máy thu và hệ số Q giảm đi. Từ mô phỏng này cho thấy hệ thống có hệ số Q tốt hơn trong trường hợp bước sóng 1550 nm. Vậy vùng bước sóng hoạt động 800-1000nm hoạt động hiệu quả hơn ở bước sóng từ 1000-1500nm.



Hình 6: Mối quan hệ giữa BER và bước sóng hoạt động của hệ thống IsOWC



Hình 8: Biểu đồ mắt tại bước sóng 1550nm

Hình 9 thể hiện mối quan hệ giữa kích thước anten thu phát và hệ số Q. Kết quả cho thấy với kích thước an ten nhỏ hơn 20cm không thu được tín hiệu. Vậy muốn thu được chất lượng tốt đường kính anten phải tầm 30cm.



Hình 9: Mối quan hệ giữa Q và kích thước anten thu phát

B. Kỹ thuật MIMO trong IsOWC

Hệ thống IsOWC với bốn an ten ở cả đầu phát và đầu thu được thực hiện bằng phần mềm OptiSystem. Kết quả thu được từ mô hình hệ thống có nhiều anten thu phát được so sánh với kết quả của hệ thống SISO. Hình 10 cho thấy kết quả khi sử dụng MIMO 4 anten với hệ thống sử dụng 1 anten có kết quả gần giống nhau. Kết quả này cho thấy với độ cao của vệ tinh LEO, GEO không bị ảnh hưởng của nhiễu loạn khí quyển nên việc sử dụng MIMO là không hiệu quả. Ngoài ra, hệ thống MIMO nhu cầu về diện tích đặt của an ten đã làm tăng kích thước của trọng tải. Vì vậy, việc tăng số lượng an ten vượt quá giới hạn không được khuyến khích.



Hình 10: Hệ thống IsOWC sử dụng 1 anten và 4 anten

C. Hệ thống IsOWC sử dụng kỹ thuật WDM

Kỹ thuật WDM cho hệ số Q tốt hơn, BER thấp hơn và nâng cao hiệu năng đường truyền IsOWC trong phạm vi bước sóng 800–900 nm, như được thể hiện trong hình 11. Hình 11 cũng cho thấy có thể đạt được khoảng cách tối đa giữa các vệ tinh với hệ số Q và BER có thể chấp nhận được với quãng đường truyền cho trước là 45000 km. Từ kết quả này có thể nhận thấy sử dụng ghép kênh theo bước sóng WDM đã tăng được Q và giảm BER so với sử dụng hệ thống đơn kênh.



Hình 11: Hệ thống IsOWC đơn kênh và đa kênh WDM

VI. KẾT LUẬN

Bài báo đã thực hiện nghiên cứu hệ thống thông tin quang không dây liên vệ tinh giữa LEO và GEO và đánh giá hiệu năng hệ thống qua phần mềm mô phỏng OptiSystem. Để giải quyết vấn đề duy trì đường truyền thẳng giữa hai vệ tinh tại hai quỹ đạo khác nhau là LEO và GEO, chúng tôi đã đề xuất sử dụng hai giải pháp gồm: (1) sử dụng kỹ thuật đa đầu vào đa đầu ra (MIMO) và (2) áp dụng kỹ thuật ghép kênh theo bước sóng WDM. Các kết quả cho thấy có thể thực hiện được đường truyền liên vệ tinh giữa LEO và GEO với khoảng cách 45000km và tốc độ 5Gb/s. Qua khảo sát cũng cho thấy hệ thống hoạt động tốt với vùng bước sóng từ 800-1000nm và với anten kích thước khoảng 30cm. Nếu sử dụng kỹ thuật ghép kênh theo bước sóng WDM sẽ đạt được BER thấp hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

 U. N. O. of Outer Space Affairs, "Online index of objects launched into outer space." Accessed: May 24, 2022.
[Online]. Available:

https://www.unoosa.org/oosa/osoindex/search-ng.jspx.

- [2] U. of Concerned Scientists (UCS), "Ucs satellite database." Accessed: May 24, 2022. [Online]. Available: https://www.ucsusa.org/resources/satellite- database.
- [3] A. Murtaza, S. J. H. Pirzada, T. Xu, and L. Jianwei, "Orbital debris threat for space sustainability and way forward (review article)," IEEE Access, vol. 8, pp. 61000–61019, 2020.
- [4] G. MARAL, M. BOUSQUET, and Z. SUN, Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology. John Wiley & Sons Ltd., 6th ed., 2020.
- [5] O. Kodheli, E. Lagunas, N. Maturo, S. K. Sharma, B. Shankar, J. F. M. Mon- toya, J. C. M. Duncan, D. Spano, S. Chatzinotas, S. Kisseleff, J. Querol, L. Lei, T. X. Vu, and G. Goussetis, "Satellite communications in the new space era: A survey and future challenges," IEEE Communications Surveys Tutorials, vol. 23, no. 1, pp. 70–109, 2021.
- [6] Cisco, "Cisco global cloud index: Forecast and methodology, 2015-2020." White paper, 2016.
- [7] K.-C. Chen, T. Zhang, R. D. Gitlin, and G. Fettweis, "Ultralow latency mobile networking," IEEE Network, vol. 33, no. 2, pp. 181–187, 2019.
- [8] Mini Rani, "Analysis of Inter-Satellite Optical Wireless Channel for Improved Transmission and Data Rate," ISSN:

2321-9653; IC Value: 45.98; SJ Impact Factor:6.887 Volume 5 Issue X, October 2017.

- [9] YUKIZANE Masakazu, YOKOTA Yusuke, KURII Toshihiro "Optical Inter-satellite Communication Technology for High-Speed, Large-Capacity Data Communications", NEC Technical Journal/Vol.16 No.1/Special Issue on Social Infrastructure that Guarantees Safety, Security, Fairness, and Efficiency
- [10] Vinod Kiran K, Sarath V S, Vikram Kumar, Ashok K Turuk, Santos K Das "Performance Analysis of Inter-Satellite Optical Wireless Communication", I. J. Computer Network and Information Security, 2017, 4, 22-28 Published Online April 2017 in MECS
- [11] V. W. S. Chan, "Optical Satellite Networks," Journal of Lightwave Technology, Vol. 21, No. 11, pp. 2811-2827, 2003
- [12] N. H. M. Noor, A. W. Naji and W. Al-Khateeb, -Theoretical analysis of multiple transmitters and receivers on the performance of free-space optics (FSO) Link, International Conference on Space Science and Communication (IconSpace), IEEE, pp. 291-295, 2011.
- [13] B. Patnaik and P. K. Sahu, Inter-satellite optical wireless communication system design and simulation, IET Communications, Vol. 6, No. 16, pp. 2561-2567, 2012.
- [14] B. Patnaik and P. K. Sahu, Novel QPSK Modulation for DWDM Free Space Optical Communication System, Wireless Advanced (WiAd), IEEE, pp. 170-175, 2012.
- [15] Rani, Michael, and Shanthi Prince. "A study on intersatellite optical wireless communication and its performance analysis," International Conference on Devices, Circuits and Systems, IEEE, 2012.
- [16] Kaushal, Hemani, and Georges Kaddoum. "Optical communication in space: Challenges and mitigation techniques," Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 2016.
- [17] Z. Sodnik, B. Furc and H. Lutz, Optical inter-satellite communication, J. Sel. Top. Quantum Electron, IEEE, Vol. 16, No. 5, pp. 1051–1057, 2010.
- [18] Z. Sodnik, B. Furch and H. Lutz, Free-space laser communication activities in Europe: SILEX and beyond, Lasers and Electro-Optics Society, IEEE, pp. 78–79, 2006.

PERFORMANCE ANALYSIS AND EVALUATION OF INTER-SATELLITE OPTICAL WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM (ISOWC) FROM LEO TO GEO

Abstract: This paper focuses on studying the possibility of performing inter-satellite wireless optical communication (Is-OWC), specifically in LEO and GEO orbits. The purpose of this activity is to demonstrate the capability of high-speed optical links, between LEO and GEO terminals. This implementation will allow high system time performance to be achieved in an operational cost-saving approach. However, the Is-OWC system has strict requirements on the line of sight (LOS), which is difficult to achieve using a point-to-point system. Therefore, two proposed solutions to improve LOS retention and reduce bit error rate (BER) include: (1) using multiple input multiple output (MIMO) technique and (2) applying using wavelength-based multiplexing (WDM). By implementing system simulation on OptiSystem software, the results of the study proved the feasibility of proposing the above two solutions.



Nguyễn Thị Thu Nga nhận được bằng kỹ sư Điện tử và Viễn thông tại Đại học Bách Khoa Hà Nội, Việt Nam năm 1999 và bằng Thạc sĩ tại Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Việt Nam năm 2005, nhận bằng tiến sĩ năm 2021 tại Học viện công nghệ Bưu chính Viễn Thông (PTIT). Từ năm 1999 đến nay, tác giả công tác tại PTIT với vai trò là giảng viên Bộ môn Tín hiệu Hệ thống. Mối quan tâm

nghiên cứu hiện tại của tác giả là trong lĩnh vực truyền thông quang, thiết kế và đánh giá hiệu suất của các hệ thống truyền thông quang không dây.