

# CẢI THIỆN HIỆU NĂNG HỆ THỐNG TRUYỀN THÔNG VỆ TINH BẰNG MIMO ĐA VỆ TINH

Nguyễn Việt Minh

Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông

**Tóm tắt**—Bài báo giới thiệu giải pháp mới trong việc cải thiện dung lượng của hệ thống truyền thông vệ tinh (SatCom) quỹ đạo thấp (LEO) bằng kỹ thuật MIMO (Multiple-Input Multiple-Output). Gần đây chùm vệ tinh LEO cung cấp dịch vụ dữ liệu cố định hoặc di động toàn cầu nhận được nhiều quan tâm của các nhà cung cấp dịch vụ lớn do đặc trưng nổi bật về trễ và tổn hao truyền sóng so với các quỹ đạo khác. Việc triển khai MIMO đa vệ tinh với chùm vệ tinh LEO là khả thi và hiệu năng hệ thống được cải thiện đáng kể. Bài báo đề xuất cấu hình MIMO 3 vệ tinh với hiệu năng dung lượng nhận được khá tốt trên băng tần Ku.

**Từ khóa**—LEO, MIMO, SatCom, Truyền thông vệ tinh.

## I. GIỚI THIỆU

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) 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 máy đầu cuối công kênh khiến việc thương mại hóa gặp 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 12.000 vệ tinh cung cấp kết nối internet toàn cầu, đến nay đã phóng trên 1000 vệ tinh và bắt đầu 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 mở rộng băng thông khả dụng và để tránh nhiễu đa vệ tinh, việc ấn định tần số được thực hiện riêng cho từng kênh (FDMA).

Bài báo đề xuất giải pháp MIMO đa vệ tinh cho hệ thống chùm vệ tinh LEO lớn cung cấp kết nối cho đầu cuối cố định. Các vấn đề Doppler cũng như can nhiễu đa vệ tinh được đưa vào tính toán để làm rõ mức độ cải thiện hiệu năng dung lượng của hệ thống. Sau phần giới thiệu, mô hình cơ bản của hệ thống LEO được trình bày ở phần II. Phần III đưa ra giải pháp cải thiện hiệu năng dung lượng cho hệ thống mà bài báo đề xuất. Kết quả tính toán bằng mô phỏng đánh giá mức độ cải thiện hiệu năng được trình bày trong phần IV. Cuối bài báo là Kết luận

## II. MÔ HÌNH HỆ THỐNG LEO

Hệ thống chùm vệ tinh LEO lớn bao gồm từ hàng trăm vệ tinh trở lên hoạt động trên quỹ đạo thấp. Trạm thu phát gốc (BS) được đặt trên các vệ tinh, phủ sóng xuống bề mặt trái đất. Để tránh nhiễu giữa các vệ tinh trong vùng phủ sóng thì mỗi vệ tinh được ấn định một tần số riêng. Đầu cuối mặt đất tại một thời điểm có thể thu tín hiệu từ nhiều vệ tinh, tuy nhiên kết nối đến mỗi vệ tinh chỉ tồn tại trong thời gian xác định.

Giả thiết trạm đầu cuối mặt đất biết rõ quỹ đạo của các vệ tinh và băng tần ấn định của chúng. Tín hiệu phát  $x_m(t)$  của vệ tinh thứ  $m$  được viết:

$$x_m(t) = s_m(t) \exp(j2\pi f_m t) \quad (1)$$

$s_m(t)$  là tín hiệu băng gốc phát qua vệ tinh  $m$ ,  $f_m$  là tần số sóng mang vệ tinh.

Khi tính tới dịch tần Doppler do chuyển động của vệ tinh LEO thì giá trị  $f_m$  được thiết lập theo:

$$f_m - f_{m-1} = \frac{W_m + W_{m-1}}{2} + W_{GB} \quad (2)$$

$$\text{Với } W_{GB} \geq 2 \left( \max_{1 \leq m \leq M} (\Delta f_m) \right) \quad (3)$$

$W_m$  là độ rộng băng tần của tín hiệu vệ tinh thứ  $m$ ,  $W_{GB}$  là độ rộng băng tần bảo vệ và  $\Delta f_m$  được đặt bằng 2 lần giá trị dịch tần Doppler tối đa giúp tránh nhiễu liên sóng mang.

Máy đầu cuối (UT) thu tín hiệu từ từng vệ tinh và nhận

Tác giả liên hệ: Nguyễn Việt Minh,

Email: minhvn@ptit.edu.vn

Đến tòa soạn: 10/2020, chỉnh sửa: 11/2020, chấp nhận đăng: 12/2020.

được thông tin điều khiển trong đó để lựa chọn vệ tinh có hiệu năng tốt nhất theo yêu cầu. Tiêu chí cơ bản cho lựa chọn thường là công suất thu tối đa trong số các vệ tinh nhìn thấy, được xác định:

$$m_d = \arg \max_{1 \leq m \leq M} |r_m|^2 \quad (4)$$

$$\text{Trong đó: } r_m(t) = (h_m * x_m)(t) + n(t) \quad (5)$$

$r_m(t)$  là tín hiệu thu và  $h_m(t)$  là đáp ứng kênh của vệ tinh  $m$ ,  $n(t)$  là tạp âm Gauss trắng tại UT. Ta giả thiết thêm hệ thống vệ tinh cung cấp một môi trường kênh truyền đơn như sau:

$$(h_m * x_m)(t) = h_m \exp(j2\pi\Delta f_m) x_m(t) \quad (6)$$

Tín hiệu giải điều chế  $s_{m_d}$  đạt được bằng cách chia cho đáp ứng kênh ước tính  $h'_m$  bởi tích vô hướng của tín hiệu thu với sóng mang kênh mong muốn cùng bù dịch tần Doppler như sau:

$$s'_{m_d} = \left\langle r_m \exp(-j2\pi(f_{m_d} + \Delta f_m)t) \right\rangle \cdot (1/h'_m) \quad (7)$$

Do hệ thống LEO sử dụng càng nhiều tín hiệu kênh khi càng nhiều vệ tinh có mặt trong vùng phủ,  $M$ , hiệu suất phổ tần của hệ thống được cấp phát bằng thông  $W$  nếu bỏ qua băng bảo vệ thì có thể được tính:

$$\rho = \frac{W - MW_{GB}}{W} \quad (8)$$

Một hạn chế dễ thấy của hệ thống LEO đó là việc ấn định tần số cố định cho mỗi vệ tinh khiến việc triển khai MIMO không linh hoạt. Với tín hiệu điều khiển thì việc cố định tần số riêng cho từng vệ tinh là cần thiết vì liên quan đến nhận dạng vệ tinh cho thông tin điều khiển của từng vệ tinh, quá trình ước tính kênh để đánh giá lựa chọn vệ tinh cũng như phục vụ quá trình mô hình kênh cho cân bằng tại máy thu. Tuy nhiên, nếu tần số cho tín hiệu số liệu cũng được cố định chung với tín hiệu điều khiển thì sẽ không khai thác hết phổ tần để cải thiện dung lượng của hệ thống.

### III. GIẢI PHÁP CÁI THIỆN HIỆU NĂNG DUNG LƯỢNG

Trong mô hình bài báo đề xuất, để cải thiện hiệu năng dung lượng, tín hiệu điều khiển và số liệu được ấn định trên những sóng mang khác nhau. Tín hiệu điều khiển ấn định trên tần số riêng cho từng vệ tinh, trong khi sóng mang của tín hiệu số liệu được lựa chọn động phù hợp với sơ đồ MIMO.

Tín hiệu băng gốc  $x_m(t)$  được phát từ vệ tinh  $m$  được biểu diễn như sau:

$$x_m(t) = C_m(t) + \sum_{n=1}^N S_{m,n}(t) \quad (9)$$

$C_m$  là tín hiệu điều khiển của vệ tinh thứ  $m$ . Giả sử độ rộng băng tần của  $C_m$  là như nhau,  $C_m$  có thể được viết:

$$C_m(t) = c_m(t) \exp(j2\pi\{m[W_c + W_{GB}] - W_{GB}/2\}t) \quad (10)$$

$W_c$  là độ rộng băng tần tín hiệu điều khiển,  $c_m(t)$  là tín hiệu điều khiển băng gốc của vệ tinh  $m$ .  $S_{m,n}(t)$  là tín hiệu băng con từ vệ tinh thứ  $m$  trong băng tần thứ  $n$ .

$$S_{n,m}(t) = s_{n,m}(t) \exp(j2\pi\{f_n^{(data)} + \dots\}) \quad (11)$$

$$\left( \left\{ \dots + \left[ f_{n-1}^{(data)} + \left[ W_{n-1}^{(data)} + W_n^{(data)} \right] / 2 + W_{GB} \right] \right\} t \right)$$

Trong đó:

$$f_1^{(data)} = M(W_c + W_{GB}) + W_{GB} + W_1^{data} / 2 \quad (12)$$

$s_{n,m}$  là tín hiệu băng gốc từ vệ tinh thứ  $m$  ở băng thứ  $n$ ,  $f_n^{(data)}$  là tần số băng con của tín hiệu số liệu thứ  $n$ ,  $W_n^{(data)}$  là độ rộng băng tần tín hiệu số và  $M$  là số vệ tinh trong vùng dịch vụ. Tín hiệu thu từ anten thứ  $k$  của đầu cuối người dùng được biểu diễn như sau:

$$r_k(t) = \sum_{m=1}^M h_{km} \exp(j2\pi\Delta f_m) \left\{ C_m(t + \Delta t_{d_m}) + \dots \right\} \quad (13)$$

$$\left\{ \dots + \sum_{n=1}^N S_{m,n}(t + \Delta t_{d_m}) \right\} + n_k(t)$$

Với  $h_{km}$  là thành phần kênh được tạo giữa vệ tinh thứ  $m$  và anten thứ  $k$  của người dùng, và  $\Delta t_{d_m}$  là trễ thời gian giữa thời gian chuẩn ( $\Delta t_{d_1} = 0$ ) và thời gian thu thứ  $m$ .

Trong hệ thống LEO-MIMO đề xuất, như đã có trong công thức (13), các thành phần kênh  $h_{km}$  và tần số Doppler  $\Delta f_m$  có thể được ước tính thậm chí nếu tín hiệu số được ghép trên cùng băng tần với từng dịch Doppler riêng do tín hiệu điều khiển cho việc đánh giá được ấn định ở băng riêng cố định. Để ước tính ma trận kênh cho giải điều chế tín hiệu MIMO, các thành phần kênh sau phải được ước tính tại thiết bị đầu cuối:

$$h_{km} = h_{km} \exp(j2\pi W_c \Delta t_{d_m}) \quad (14)$$

Với  $h_{km}$  là thành phần kênh phức liên quan đến hệ số biên độ và pha khi không có chênh lệch trễ từ vệ tinh tham chuẩn (vệ tinh số 1). Với giả thiết kênh đơn đường, đặc tính tần số của kênh phụ thuộc vào thành phần kênh và trễ giữa các vệ tinh, có thể được biểu diễn tuyến tính như ở trên. Nghĩa là tương quan kênh có thể được tính toán thông qua ước tính  $\tilde{h}_{km}$ . Tham số  $\Delta t_{d_m}$  có thể ước tính nếu xác định được thời gian trễ và lượng dịch tần. Thời gian trễ được ước tính bằng cách tách thời gian thu của từ duy nhất trong tín hiệu điều khiển. Lượng dịch tần xác định thông qua thông tin về tần số của tín hiệu điều khiển. Trong hệ thống đề xuất, sự tương quan được tính toán sử dụng giá trị ước tính kênh có được để lựa chọn vệ tinh MIMO cụ thể.

$$m_d = \arg \max_{1 \leq l \leq L} |\det(\tilde{\mathbf{H}}_l)| \quad (15)$$

$$\text{Với } L = \begin{pmatrix} M \\ K \end{pmatrix} \quad (16)$$

$K$  là số anten của máy đầu cuối.  $\tilde{\mathbf{H}}_l (1 \leq l \leq L)$  là ma trận kênh tạo ra từ  $K$  kết hợp tùy ý các vec tơ cột  $\tilde{h}_m$  của thành phần kênh hàng  $K$  thuộc vệ tinh thứ  $m$  và anten thu.

$$\tilde{\mathbf{h}}_m = \begin{pmatrix} \tilde{h}_{1m} \\ \vdots \\ \tilde{h}_{km} \end{pmatrix} \quad (17)$$

Ví dụ khi máy đầu cuối có 3 anten thu ( $K=3$ ) và có thể thông tin với 5 vệ tinh LEO ( $m=5$ ). Nó chọn 3 vệ tinh cho

truyền dẫn MIMO để cực đại  $|\det(\tilde{\mathbf{H}}_l)|$  trong đó  $\tilde{\mathbf{H}}_l$  có

$$L = \binom{5}{3} = 10 \text{ mẫu gồm:}$$

$$\tilde{\mathbf{H}}_1 = (\tilde{\mathbf{h}}_1 \tilde{\mathbf{h}}_2 \tilde{\mathbf{h}}_3); \quad \tilde{\mathbf{H}}_2 = (\tilde{\mathbf{h}}_1 \tilde{\mathbf{h}}_2 \tilde{\mathbf{h}}_4); \dots; \tilde{\mathbf{H}}_{10} = (\tilde{\mathbf{h}}_3 \tilde{\mathbf{h}}_4 \tilde{\mathbf{h}}_5).$$

Có thể đạt được dung lượng kênh cao bằng cách lấy giá trị lớn nhất của định thức trong phương trình (15) từ các kết hợp  $L$ . Véc tơ tín hiệu giải điều chế  $s'$  được rút ra từ biến đổi tuyến tính:

$$s' = \mathbf{W} r_{n_d} \begin{pmatrix} e^{-j2\pi(f_{n_d}^{(data)} + \Delta f_{m_1})t} & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & e^{-j2\pi(f_{n_d}^{(data)} + \Delta f_{m_K})t} \end{pmatrix} \quad (18)$$

Với  $r_{n_d}$  là véc tơ tín hiệu thu tần số thứ  $n_d$  có kích thước  $K$ .  $n_d$  là số tần số được chọn từ  $1 \sim n \sim N$  của tín hiệu số liệu được thông báo từ trạm gốc. Bù tần số  $\Delta f_{m_1}, \dots, \Delta f_{m_K}$  là tần số Doppler của  $K$  vệ tinh, được ước tính và loại trừ như ở trên. Nếu ma trận trọng số máy thu  $\mathbf{W}$  được tính toán bằng giải thuật Cưỡng bức về Không (ZF),  $\mathbf{W}$  được rút ra như sau:

$$\mathbf{W} = (\tilde{\mathbf{H}}_{m_d}^H \tilde{\mathbf{H}}_{m_d}')^{-1} \tilde{\mathbf{H}}_{m_d}^H \quad (19)$$

$\tilde{\mathbf{H}}_{m_d}'$  là ma trận kênh ước tính của  $\tilde{\mathbf{H}}_{m_d}$  được chọn ở phương trình (15).

Từ đó ta xây dựng giải thuật ấn định độ rộng băng tần SISO/MIMO dựa trên thông tin yêu cầu của thiết bị đầu cuối.

#### Giải thuật:

*Bước 1. Nhận dạng vệ tinh:* Trạm gốc nhận dạng vệ tinh có thể kết nối trong từng vùng dịch vụ dựa trên thông tin quỹ đạo vệ tinh.

*Bước 2. Thông báo tín hiệu điều khiển:* Với từng vùng dịch vụ, trạm gốc gửi tín hiệu điều khiển tới băng tần của mỗi vệ tinh

*Bước 3. Đồng bộ tín hiệu điều khiển:* Đầu cuối người dùng đồng bộ tín hiệu điều khiển của tất cả vệ tinh thu được.

*Bước 4. Ước tính kênh dựa trên tín hiệu điều khiển:* Đầu cuối người dùng thực hiện ước tính kênh, sau đó thông báo cho trạm gốc về vệ tinh yêu cầu.

*Bước 5. Ấn định băng thông truyền dẫn MIMO:* Độ rộng băng tần cho truyền dẫn MIMO của tín hiệu số liệu được trạm gốc ấn định dựa trên thông tin của vệ tinh được yêu cầu từ tất cả các đầu cuối.

*Bước 6. Thực hiện truyền dẫn số liệu:* Trạm gốc tạo ra và phát tín hiệu số liệu tới đầu cuối qua từng vệ tinh.

*Bước 7. Thu số liệu:* Máy đầu cuối tiến hành cân bằng thu sử dụng tín hiệu điều khiển của vệ tinh và giải điều chế tín hiệu số liệu của mình.

*Bước 8 Xác định vệ tinh MIMO:* Máy đầu cuối xác định có cần thay đổi vệ tinh yêu cầu hay không, nếu không thì lặp lại bước 7, nếu có thì quay về bước 4.

Như vậy, trong hệ thống đề xuất, ở bước 1 và 2 tần số tín hiệu điều khiển duy nhất của vệ tinh được trạm gốc ấn định cho vùng dịch vụ, máy đầu cuối thu và đồng bộ tín

hiệu điều khiển cho bởi phương trình (10).

Trong các bước 3 và 4, sau khi máy đầu cuối thu và đồng bộ tín hiệu điều khiển ở phương trình (10), xác định vệ tinh MIMO cụ thể trong phương trình (15) dựa trên thông tin ước tính kênh, nó thông báo cho trạm gốc vệ tinh cụ thể qua đường lên.

Trong bước 5, trạm gốc ấn định tài nguyên tần số cho từng tín hiệu số liệu của vệ tinh dựa trên thông tin được thông báo từ máy đầu cuối và phát tín hiệu số liệu đường xuống. Đồng thời phương pháp ấn định độ rộng băng tần thứ  $n$   $\mathbf{W}_n^{(data)}$  được điều khiển bởi trạm gốc căn cứ số vệ tinh được xác định bởi các máy đầu cuối tích cực trong vùng dịch vụ.

Trong bước 7, máy đầu cuối được thông báo thông tin về tần số qua tín hiệu điều khiển từ BS và thực hiện việc cân bằng dựa trên thông tin ước tính để giải điều chế tín hiệu MIMO.

#### Hiệu suất phổ tần

Hiệu suất phổ tần đạt được bằng việc loại bỏ tổng độ rộng các băng bảo vệ giữa  $M$  tín hiệu điều khiển và  $N$  tín hiệu số liệu.

$$R = \frac{W - MW_c - (N + M + 1)W_{GB}}{W} \quad (20)$$

So với các hệ thống truyền thông, hiệu suất phổ tần xác định theo (20) giảm đi do tài nguyên được ấn định cho các tín hiệu điều khiển dành riêng và băng bảo vệ giữa chúng. Tuy nhiên việc ấn định động băng tần truyền tín hiệu số liệu giúp triển khai linh hoạt sơ đồ MIMO và tác động đến việc cải thiện dung lượng của hệ thống.

#### IV. KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG

Bây giờ ta đánh giá dung lượng truyền dẫn đạt được trong hệ thống MIMO-LEO đề xuất. Để đánh giá các đặc tính cơ bản, giả sử rằng tất cả các máy đầu cuối có cùng số lượng anten cũng như là số lượng vệ tinh, tức  $K = M$ . Cũng như vậy, ta xem xét tất cả các máy đầu cuối thực hiện truyền dẫn MIMO với tất cả anten, nghĩa là số băng tín hiệu số liệu  $N = I$ .

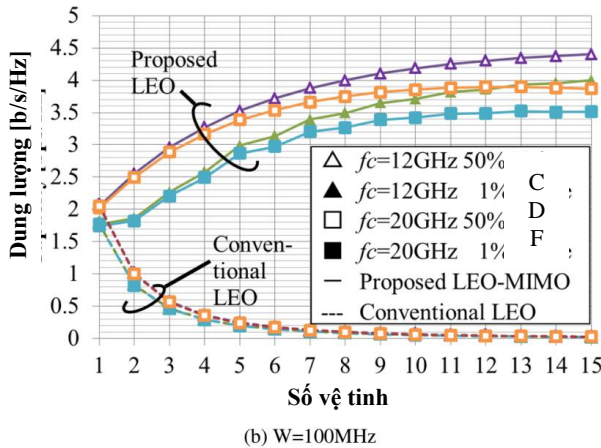
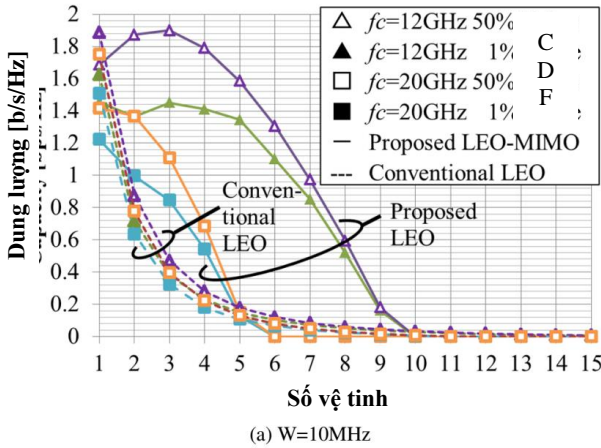
Ta sử dụng phương trình dưới để phân tích đặc tính cơ bản của hệ thống đề xuất:

$$Capacity = R \cdot \log(\det(\mathbf{H}^H \mathbf{H}(\gamma_0 / (N_t N_r))) + I_{N_r}) \quad (21)$$

$(.)^H$  ký hiệu cho chuyển vị Hermitian.  $\gamma_0$  biểu diễn SNR thu từ vệ tinh khi có một anten thu.  $N_t$  là số vệ tinh phát và  $N_r$  là số anten thu. Lý do phải chia cho  $N_r$  là để duy trì sự công bằng trong trường hợp so sánh giữa các trường hợp lượng anten thu khác nhau.  $I_{N_r}$  là ma trận đơn vị với các phần tử đường chéo  $N_r$ .

Các thông số mô phỏng theo các chỉ tiêu của các hệ thống đang khai thác, ta khảo sát hai tần số trung tâm 12GHz và 20GHz tương ứng cho đường xuống băng Ku và Ka. Giả sử tần số Doppler là hàm của tần số trung tâm,  $f_c \times 2 \times 10^{-5}$ , nó được đặt hơi cao hơn tần số Doppler cực đại. Ngoài ra, để thu tín hiệu điều khiển và tránh nhiễu giữa các sóng mang, độ rộng băng tần của tín hiệu điều khiển  $W_c$  và độ rộng băng bảo vệ  $W_{GB}$  được đặt bằng hai lần tần số Doppler. Số vệ tinh khảo sát thay đổi  $1 \div 15$ , mức CNR cho từng anten đạt  $7 \div 10$ dB.

Hình 1 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  $R$  giảm khi số vệ tinh tăng, có thể thấy rằng có một sự đánh đổi giữa số lượng vệ tinh và dung lượng kênh ở trường hợp  $W = 10MHz$  trong hình (a). Tại 12GHz, giá trị tối đa đạt được với 3 vệ tinh tại cả hai giá trị CDF 1% và 50%.



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

Ngược lại, tại 20GHz mặc dù đặc tính dung lượng đơn điệu giảm, lượng cải thiện đạt được với 2 đến 4 vệ tinh so với hệ thống thông thường.

Trong trường hợp hình (b)  $W = 100MHz$ , có thể thấy hệ thống đề xuất cho độ cải thiện dung lượng khá lớn so với hệ thống thông thường. Do phần độ rộng băng tần kênh điều khiển là cố định trong khi có thể ấn định thêm băng thông cho tín hiệu số liệu, bất cứ sự tăng băng thông nào của hệ thống MIMO-LEO đều ảnh hưởng tích cực đến dung lượng hệ thống. Điều này giúp khắc phục nhược điểm của hệ thống LEO thông thường, khi băng tần cho tín hiệu điều khiển và số liệu được ấn định cố định, việc tăng số vệ tinh kết nối lại làm giảm dung lượng hệ thống do ảnh hưởng của can nhiễu. Lưu ý sự cải thiện dung lượng truyền dẫn dần dần bão hòa khi số lượng vệ tinh lớn.

Mình chứng nêu trên cho thấy dung lượng hệ thống có thể được cải thiện đáng kể so với hệ thống thông thường bằng việc thiết lập phù hợp độ rộng băng tần và số vệ tinh. Hơn nữa, chắc chắn rằng khi độ rộng băng tần được

thiết lập đủ lớn so với dịch tần Doppler, có thể kỳ vọng hiệu ứng cải thiện dung lượng truyền dẫn đáng kể mà không cần xét đến số vệ tinh.

Lưu ý các kết quả mô phỏng trên với giả thiết tất cả các máy đầu cuối có khả năng thiết lập truyền dẫn MIMO với cùng số lượng vệ tinh, trong khi thực tế thì số lượng vệ tinh tùy thuộc vị trí của máy đầu cuối và tình hình vùng dịch vụ. Việc tạo chùm vệ tinh nhìn thấy là cần thiết để đảm bảo rằng tất cả máy đầu cuối có thể đạt được dung lượng truyền dẫn cao trong băng tần hạn chế. Các quỹ đạo vệ tinh trong mô phỏng được đặt ngẫu nhiên trong khi dung lượng truyền dẫn MIMO cũng phụ thuộc vào quỹ đạo vệ tinh, do đó việc khảo sát thêm với thông tin quỹ đạo vệ tinh cụ thể là cần thiết.

V. KẾT LUẬN

Bài báo đã phân tích dung lượng của hệ thống truyền thông vệ tinh quỹ đạo thấp sử dụng kỹ thuật MIMO. Do có tổn hao truyền lan thấp và thời gian trễ nhỏ nên các chùm vệ tinh LEO lớn được triển khai nhiều gần đây. 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. Vấn đề chính của hệ thống MIMO-LEO là dịch Doppler do chuyển động của vệ tinh ảnh hưởng đến hiệu năng hệ thống.

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.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R.T. Schwarz, A. Knopp, D. Ogermann, C.A. Hofmann, B. Lankl, "Optimum-capacity MIMO satellite link for fixed and mobile services," in Int. ITG Work. Smart Antennas, WSA 2008, pp. 209-216, Feb. 2008.
- [2] R.T. Schwarz, A. Knopp, B. Lankl, D. Ogermann, C.A. Hofmann, "Optimum-capacity MIMO satellite broadcast system: Conceptual design for LOS channels," in 4th Advan. Satell. Mobile Syst., ASMS 2008, pp. 60-65, Bologna, Italy, Aug. 2008.
- [3] Jukka Kyröläinen, Ari Hulkkonen, Juha Ylitalo, Aaron Byman, Bhavani Shankar, Pantelis-Daniel Arapoglou and Joel Grotz, "Applicability of MIMO to satellite communications," Int. J. Satell. Commun. Network. 2014.
- [4] Jing Qingfeng, Liu Danmei, Liu Xin, "Capacity of the Broadband Dual-orthogonal Polarized MIMO Land Mobile Satellite (LMS) Channel: Channel Modeling and Influenced Factors Analysis," International Journal of Electronics and Communications, 2017.
- [5] K.P. Liolis, A.D. Panagopoulos, P.G. Cottis, "Multi-satellite MIMO communications at Ku-band and above: Investigations on spatial multiplexing for capacity improvement and selection diversity for interference mitigation," EURASIP J. Wirel. Commun. Netw., vol. 2007.
- [6] R.T. Schwarz, A. Knopp, B. Lankl, "The channel capacity of MIMO satellite links in a fading environment: A probabilistic analysis," in Int. Work. Satell. Space Commun., IWSSC 2009, pp. 78-82, Tuscany, Italy, Sept. 2009.

- [7] Ana Pérez-Neria, Miguel A. Lagunas, and Miguel A. Vázquez, " High throughput satellites in 5G and MIMO interference limited communications," CSCC. 2016.
- [8] Robert T. Schwarz, and Andreas Knopp, " MIMO Capacity of Co-Located Satellites in Longitude Separation," 978-1-5386-8088-9/19/©2019 IEEE.
- [9] Shree Krishna Sharma, Symeon Chatzinotas and Pantelis-Daniel Arapoglou, " Satellite Communications in the 5G Era," © The Institution of Engineering and Technology 2018.

### IMPROVING CAPACITY PERFORMANCE OF SATELLITE COMMUNICATIONS SYSTEM BY MULTI-SATELLITE MIMO

**Abstract**—the paper introduces a new method of capacity improvement in LEO SatCom based on MIMO techniques. Nowadays, LEO satellites providing fix and mobile data services have attracted much attention from many researchers and providers due to the unique low latency and propagation loss comparing to other orbits. The deployment of multisatellite MIMO is possible with LEO and system performance increases significantly. In this paper, we propose a 3 satellite MIMO configuration with better capacity on Ku band.

**Keywords**—LEO, MIMO, SatCom, Satellite communications.



**Nguyễn Việt Minh** tốt nghiệp đại học ngành điện tử truyền thông tại Học viện công nghệ Bưu chính Viễn thông năm 2004, tốt nghiệp thạc sỹ ngành kỹ thuật điện tử năm 2010 tại cùng Học viện. Nhận bằng tiến sỹ kỹ thuật chuyên ngành viễn thông năm 2019. Hướng nghiên cứu chính: Anten truyền sóng, truyền thông vệ tinh, kỹ thuật MIMO.