

HIỆU NĂNG CHUYỂN GIAO LIÊN KẾT CHỦ ĐỘNG CHO MẠNG VLC TRONG NHÀ

Hoàng Trọng Minh*

* Học Viện Công Nghệ Bưu chính Viễn thông
Khoa Viễn thông 1, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

Tóm tắt: Hệ thống truyền thông ánh sáng nhìn thấy VLC (Visible Light Communications) là một giải pháp truyền thông tốc độ cao được phát triển mạnh mẽ trong những năm gần đây. Do giới hạn vùng phủ của ánh sáng nhìn thấy, các hệ thống VLC đa điểm truy nhập đã được triển khai nhằm cung cấp tới người dùng các kết nối liên mạch trong diện rộng. Kiến trúc đa điểm truy nhập này đã hỗ trợ chất lượng kết nối và tính di động của đầu cuối. Tuy nhiên, vấn đề chuyển giao đảm bảo hiệu năng hệ thống như thông lượng hoặc độ trễ luôn là một thách thức khi tồn tại nhiều biến tham số ràng buộc. Thêm vào đó, sự biến thiên của tham số người sử dụng cũng đưa ra thêm ràng buộc cho bài toán tối ưu mạng. Bài báo này sẽ trình bày và đánh giá cơ chế lập lịch chuyển giao liên kết chủ động tương thích với các điều kiện hoạt động khác nhau của người dùng mà các nghiên cứu trước chưa đề cập. Các kết quả mô phỏng số được thực hiện để làm đối sánh giữa lược đồ của chúng tôi với các nghiên cứu khác và nhằm đưa ra các khuyến nghị hữu ích.¹

Từ khóa: VLC đa điểm truy nhập, chuyển giao liên kết, truyền dẫn phối hợp, hiệu năng.

I. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong một số năm gần đây, truyền thông không dây qua ánh sáng nhìn thấy VLC được coi là công nghệ cầu nối tới 5G do hưởng lợi rất lớn từ sự phổ biến của công nghệ LED. Với hiệu suất phổ khu vực cao và khả năng gây nhiễu thấp đối với các tần số thông thường, hệ thống VLC có ứng dụng lớn trong rất nhiều môi trường và lĩnh vực trong đời sống [1].

Sự kết hợp VLC với các giải pháp khác trong cấu hình phức hợp đã đem lại rất nhiều ứng dụng hữu ích và là tâm điểm nghiên cứu gần đây [3][4]. Hệ thống VLC đa điểm truy nhập trong nhà được xây dựng và phát triển theo nhiều cấu hình khác nhau và tùy thuộc vào các mục tiêu thiết kế riêng biệt. Trong đó, cấu hình VLC hỗn hợp điểm truy nhập AP (Access Point) gồm AP trần và AP bàn được đề xuất hướng tới mục tiêu cung cấp dịch vụ cho người dùng cả di động và cố định [5] [6]. Tuy nhiên, thách thức về chuyển giao liên kết trong cấu hình này lại được đặt ra như một mục tiêu chính về hiệu năng đối với các nhà nghiên cứu và triển khai.

Các quyết định chuyển giao là yếu tố then chốt trong vấn đề hiệu năng mạng và được nghiên cứu gần đây. Bên cạnh quyết định chuyển giao cứng, cường độ tín hiệu thu

được sử dụng để xác định đích AP chuyển giao nhằm giảm dư thừa và tăng hiệu quả chuyển giao [7] [8]. Hướng tiếp cận dựa trên vị trí sử dụng lịch sử vị trí và dự đoán chuyển động của người dùng để đưa ra quyết định chuyển giao [9] [10]. Dựa trên đặc trưng truyền thông và cấu trúc hình học, các lược đồ chuyển giao liên kết chủ động được đề xuất nhằm đảm bảo QoS của người sử dụng [11] [12]. Các kết quả đã cho thấy tính hiệu quả của các đề xuất về mặt thông lượng và độ trễ chuyển giao. Tuy nhiên, các điều kiện biến động của người dùng như lưu lượng tải hay tốc độ di chuyển của người dùng chưa được đề cập đến trong các quyết định chuyển giao trên. Vì vậy, bài báo này trình bày đề xuất và đánh giá cơ chế chuyển giao chủ động theo ngưỡng nhằm tương thích với biến tham số đầu vào của người dùng.

Bố cục của bài báo như sau. Phần tiếp theo sẽ trình bày về mô hình hệ thống VLC với kịch bản đa điểm truy nhập AP cùng với các đặc trưng hệ thống. Phần III sẽ khái quát lược đồ đề xuất của chúng tôi và các kết quả đối sánh với các lược đồ khác. Phần cuối cùng sẽ là kết luận và hướng phát triển tiếp theo.

II. MÔ HÌNH HỆ THỐNG VLC

A. Mô tả cấu trúc hệ thống

Ta xem xét một hệ thống VLC đa AP điển hình gồm có các thành phần cơ bản với các chỉ số định danh: điểm truy nhập trần A_i^C , $i=[1,2,\dots,N]$; truy nhập bàn A_j^D , $j=[1,2,\dots,M]$; người dùng U_u , $u=[1,2,\dots,U]$; bộ điều phối chịu trách nhiệm quản lý di động và phân bổ tài nguyên, CO (Coordinator). Khoảng cách giữa các bộ truy nhập và người dùng so với sàn lần lượt là h_c , h_d và h_u cho AP trần, bàn và người dùng tương ứng.

Thiết bị người dùng U sử dụng hai kênh truyền thông: kênh tần số vô tuyến RF (Radio Frequency) cho điều khiển liên kết và kênh VLC cho truyền tải dữ liệu [13]. Kênh đường xuống sử dụng kỹ thuật tái sử dụng tần số phân đoạn FFR (Fractional Frequency Reuse) và ghép kênh phân chia tần số trực giao quang trực tiếp DCO-OFDM (DC biased Optical-OFDM)[6]. Để phân tải, giảm nhiễu liên kênh CCI (Co-Channel Interference), 05 dải tần được sử dụng gồm 01 dải tần cho DAP và 04 dải tần còn lại cho các CAP lân cận theo bố cục hình lưới. Mỗi điểm truy nhập AP cung cấp một kênh chia sẻ sóng mang con theo phương thức đa truy nhập phân chia thời gian TDMA (Time Division Multiple Access) cho các đường xuống. Mỗi thiết bị người dùng U quét các kênh phát sóng của AP phục vụ và các AP lân cận để định kỳ đo

Tác giả liên hệ: Hoàng Trọng Minh

Email: hoangtrongminh@ptit.edu.vn

Đến tòa soạn: 2/2020, chỉnh sửa: 4/2020, chấp nhận đăng: 4/2020.

cường độ tín hiệu nhận được RSS (Received Signal Strength) và nhận dạng AP. Đồng thời, các điểm truy nhập AP ước tính tỷ số tín hiệu trên nhiễu SNR (Signal Noise Ratio) để quyết định kênh đường xuống.

B. Mô hình kênh đường xuống

Kênh đường xuống của hệ thống VLC điển hình gồm hai loại có tầm nhìn thẳng LOS (Line of Sight) và không có tầm nhìn thẳng NLOS (Non-line of Sight) [13]. Trong mô hình này, ta bỏ qua tín hiệu nhận được từ các kênh NLOS do công suất rất nhỏ so với LOS. Kênh LOS được biểu diễn qua mức tăng dòng điện một chiều [14].

$$G = \begin{cases} \frac{(m+1)A}{2\pi d^2} \cos^m(\phi) T_s(\psi) g(\psi), & 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0, & \psi \geq \psi_c \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó, A là vùng vật lý của đầu thu quang (PD); d là khoảng cách Euclide giữa AP với PD của UE; ψ là góc tới tại máy thu và cũng là độ lợi của bộ lọc quang, ϕ là góc chiếu xạ, $\psi = \phi T_s(\psi)$; m là chỉ số Lambertian, $m = -\ln(2) / \ln(\cos(\Phi_{1/2}))$ với $\Phi_{1/2}$ là góc bức xạ nửa cường độ của chip LED; ψ_c là độ rộng trường nhìn tại phía thu; độ lợi của bộ tập trung quang có thể được tính như sau:

$$g(\psi) = \begin{cases} \frac{n^2}{\sin^2(\psi_c)}, & 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0, & \psi \geq \psi_c \end{cases} \quad (2)$$

Trong đó, n là chỉ số khúc xạ của không khí.

Công suất tín hiệu điện được truyền bởi AP_i trên sóng mang con được xác định như sau [15]:

$$P_{elec,i,k} = \frac{P_{opt}^2}{(K-2)\rho^2} \quad (3)$$

$$\rho = \frac{x_{DC}}{\sqrt{\sum_{k=0}^{K-1} E[x_k^2(t)]}} \quad (4)$$

Trong đó, P_{opt} là công suất quang truyền trung bình, x_{DC} là sai lệch dòng một chiều, $x_k(t)$ là ký hiệu OFDM trên sóng mang con k , $(K-2)$ là số lượng sóng mang con mang tín hiệu và $E[\cdot]$ là toán tử kỳ vọng.

Công suất tín hiệu trung bình nhận được của U_u từ A_i trên sóng mang con k được xác định theo công thức sau.

$$P_{i,u,k} = R_{pd}^2 G_{i,u}^2 P_{elec,i,k} \quad (5)$$

Trong đó, $G_{i,u}$ là độ lợi kênh từ AP_i đến UE_u . R_{pd} là hiệu suất chuyển đổi ánh sáng thành tín hiệu điện.

Khi sử dụng kỹ thuật tái sử dụng tần số phân đoạn FFR để phân bổ phổ khác nhau cho các AP thì nhiễu đồng kênh CCI cho các U được bỏ qua. Tỷ số tín hiệu trên nhiễu SNR của U_u trên sóng mang con từ AP_i được xác định theo công thức dưới đây.

$$SNR_{i,u,k} = \frac{R_{pd}^2 G_{i,u}^2 P_{elec,i,k}}{\sigma_k^2} \quad (6)$$

Trong đó, σ_k^2 là công suất nhiễu nhận được do tác động nhiễu lên sóng mang con k , công suất nhiễu được xác định bởi [16]:

$$\sigma_k^2 = 2qI_{bg}B_{SC} + \frac{4K_B T_A B_{SC}}{R_F} \quad (7)$$

Trong đó, I_{bg} là dòng điện nền do đèn nền gây ra, $B_{SC} = W/K$ là băng thông của sóng mang con với W là tổng băng thông. Hằng số điện tích là $q = 1.6 \cdot 10^{-19} C$, K_B là hằng số Boltzmann, T_A là nhiệt độ tuyệt đối, R_F là mức tăng của tín hiệu khi đi qua bộ khuếch đại trở kháng chuyển tiếp.

Với kênh LOS, hiện tượng gián đoạn kênh có thể xảy ra do các vật thể di chuyển vào vùng truyền thông. Để mô tả hiện tượng này, 03 đặc trưng cho hiện tượng chặn kênh của một cặp (AP_i, U_u) được đưa ra gồm tỷ lệ xuất hiện $\lambda_{i,u}$, tỷ lệ chiếm đóng $\eta_{i,u}$ và mức độ tắc nghẽn $\xi_{i,u}$ [17]. Mức độ tắc nghẽn được biểu thị bằng thang đo từ [0-1], công thức (5) (6) được chuyển thành công thức (8) dưới đây. Tỷ số tín hiệu trên nhiễu được biểu diễn trong công thức (9).

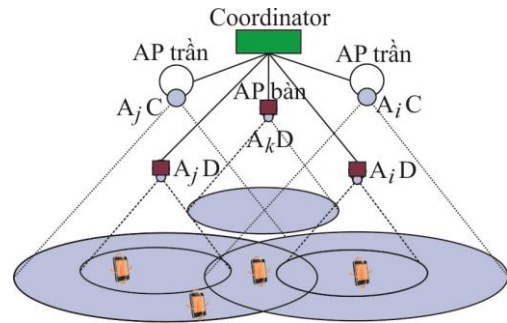
$$P_{i,u,k} = (1 - \xi_{i,u}) R_{pd}^2 G_{i,u}^2 P_{elec,i,k} \quad (8)$$

$$SNR_{i,u,k} = (1 - \xi_{i,u}) \frac{R_{pd}^2 G_{i,u}^2 P_{elec,i,k}}{\sigma_k^2} \quad (9)$$

III. ĐỀ XUẤT VÀ ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG

A. Nguyên tắc chuyển giao liên kết chủ động

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã đề xuất cơ chế chuyển giao liên kết chủ động kết hợp truyền dẫn đa điểm truy nhập hợp tác cho mạng VLC, gọi là cơ chế CMcT-HO (Combination of the coordinated Multi-channel Transmission – HandOver). Các điểm chính của cơ chế CMcT-HO được tóm tắt như sau.



Hình 1: Lược đồ chuyển giao liên kết chủ động

Cơ chế chuyển giao được thực hiện khi U di chuyển ngẫu nhiên vào vùng phủ chồng lấn giữa hai AP. Thông qua cơ chế đo lường tải, CMcT-HO cho phép chia tải giữa các AP có lượng tải khác nhau và quyết định chuyển giao nhằm đảm bảo kết nối liên mạch cho U di chuyển hoặc bị chặn kênh. Để thực hiện điều này, CMcT-HO gồm ba quá trình: Quyết định chuyển giao, truyền dữ liệu và quyết định chọn lại.

(i) Quyết định chuyển giao

Dựa trên thông tin mức tín hiệu nhận được từ U , bộ điều phối kiểm tra tập hợp các AP, (AP-set) nhằm xác định sự khả dụng tài nguyên từ các AP để cho phép truyền đa kênh phối hợp. Khi tồn tại AP khả dụng, bộ điều phối thực hiện các thủ tục sau:

Xây dựng một danh sách AP dự phòng cho U_u , List-AP_{*u*}; một A_j thỏa mãn điều kiện $SNR_{j,u} \geq SNR_{\min,j}$ với $SNR_{\min,j}$ là giá trị SNR truyền dữ liệu tại mức điều chế thấp nhất thì sẽ nằm trong danh sách, thực nghiệm cho thấy $SNR_{\min,k} = 13.4$ dB [11].

Bộ điều phối chọn A_k để chuyển tiếp dựa trên cặp hai bộ tham số: $SNR_{k,u}$ và $R_{k,load}$ tỷ lệ tải của A_k . Tỷ số tín hiệu trên nhiễu được xác định qua công thức (9) trên đây và tỷ lệ tải của A_k được xác định thông qua số lượng U trong vùng phủ chuyển tiếp theo công thức dưới đây.

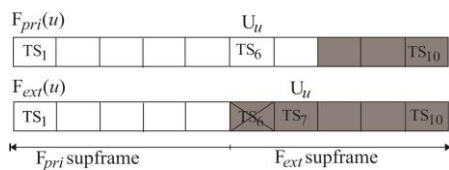
$$R_{k,load} = \frac{N_u(A_i) + N_u(A_k)}{N_{TS,max}} \quad (10)$$

Trong đó, $N_u(A_i)$ và $N_u(A_k)$ là số lượng các U nằm trong tập AP chính và AP chuyển giao tương ứng. $N_{TS,max}$ là số lượng tối đa các khe thời gian phân bổ cho các U trong một khung thời gian.

Khi đó, A_k được chọn thỏa mãn hai điều kiện đồng thời sau: Tỷ lệ tải được xác định nhỏ nhất trong tập và có tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu cao nhất.

(ii) Truyền dữ liệu

Truyền dữ liệu từ các AP xuống U được thực hiện theo khung phân bổ tài nguyên. Khung $F_{pri,u}$ dành cho AP chính sử dụng trong kết nối hiện thời và khung $F_{ext,u}$ dành cho AP hỗ trợ. Thuật toán thực hiện quét các kênh khả dụng chính trước khi tới các khung hỗ trợ theo các khe thời gian lần lượt.



Hình 2: Phân bổ khe thời gian chuyển giao

(iii) Quyết định chọn lại

Khi người dùng U di chuyển, chất lượng của kênh hỗ trợ có thể thay đổi hoặc tắc nghẽn. Trường hợp U di chuyển khỏi vùng hiện tại mà không có ứng viên AP hỗ trợ thì bộ điều phối ra quyết định chọn lại trong tập AP. Để tránh việc thiết lập AP hỗ trợ bị lặp đi lặp lại, một hàm thời gian cập nhật t_{update} được đưa ra để quyết định có nên cập nhật kênh hỗ trợ hay không. Giả sử U_u hiện kết nối tới A_k và bộ điều phối tìm thấy A_m là ứng viên tốt hơn trong tập danh sách chờ. Hàm thời gian thực hiện trì hoãn một khoảng thời gian cho đến khi $t_c > t_{update}$ thì quyết định chuyển giao. Nếu bộ điều phối không có ứng viên tốt hơn, kênh hỗ trợ cũ vẫn sẽ được duy trì.

B. Đề xuất chuyển giao dựa trên ngưỡng

Do kiến trúc mạng VCL đa điểm truy nhập chứa hai tập AP khác nhau về đặc tính, các điều kiện chuyển giao và tái phân bổ tài nguyên mới xuất hiện và cần được giải quyết. Điều kiện chuyển giao liên kết chủ động được xác định bởi hai tình huống liên quan tới khả năng chặn của kênh chính đang liên lạc (bị chặn hoặc không bị chặn).

Đối với trường hợp kênh chính bị chặn, ngưỡng chuyển giao quyết định bởi sai lệch tín hiệu thu RSS quá khứ và

hiện thời. giá trị ngưỡng này được xác định theo biên độ trễ ρ [17].

$$P_{prev} - P_{curr} \geq \rho \quad (11)$$

Tuy nhiên, các vật chắn ngẫu nhiên thời gian ngắn sẽ ảnh hưởng tới hiệu quả chuyển giao. Chúng tôi sử dụng thời gian trễ quyết định chuyển giao t_{HO} để giảm thiểu hậu quả của hiệu ứng này.

Đối với trường hợp kênh chính không bị chặn, các kịch bản chuyển giao A_i sang A_j theo ngưỡng được xác định gồm:

- Chuyển giao từ AP trần sang AP trần dựa trên ngưỡng công suất δ .

$$P_j - P_i \geq \delta \quad (12)$$

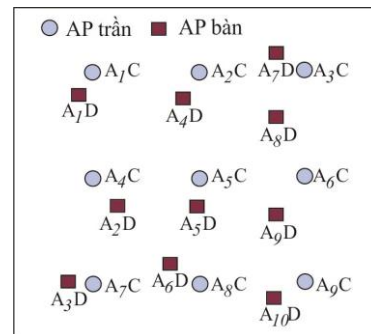
- Chuyển giao từ AP trần sang AP bàn dựa theo ngưỡng thời gian chuyển giao t_{HO} .

- Chuyển giao từ AP bàn sang AP trần, ngưỡng chuyển giao dựa trên công suất tối thiểu và ngưỡng chênh lệch.

$$P_j \leq P_{\min,i} + \delta \quad (13)$$

C. Đánh giá hiệu năng

Chúng tôi sử dụng một kịch bản VLC trong nhà điển hình với không gian $(12 \times 12 \times 2.5)$ m. Với $N=9$, $M=10$ các AP trần và AP bàn được bố trí như hình 3, mô hình chuyển động của U là ngẫu nhiên. Các sự kiện tắc nghẽn kênh đường xuống cho U được tạo theo tiến trình Poisson với tỷ lệ đến trung bình là tỷ lệ kênh bị chặn như trong [17].



Hình 3: Vị trí lắp đặt điểm truy nhập

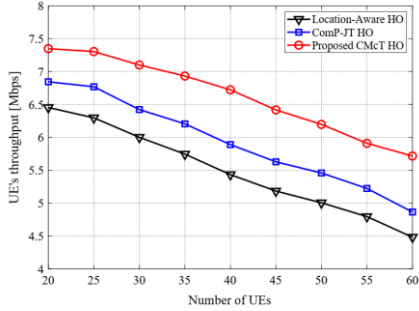
Các tham số mô phỏng được trình bày trong bảng 1 dưới đây.

Bảng 1: Các tham số mô phỏng

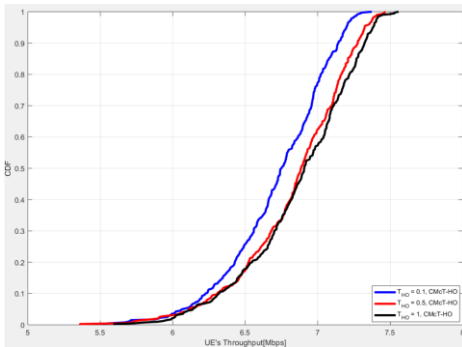
Tham số	Giá trị
Thời gian mô phỏng	4000 s
Khe thời gian (t_s)	0.001 s
Khung thời gian F	10 t_s
Diện tích PD (A)	1 cm^2
Góc FOV (ψ_c)	70°
Hiệu suất biến đổi o/E	0.53 A/W
Độ lợi lọc quang $T_s(\psi)$	1
Công suất AP trần	50W
Công suất AP bàn	25W
Số sóng mạng con AP	300
Băng thông sóng con	15kHz
Ngưỡng SNR	13.4dB
Ngưỡng tải	0.2- 0.6
Biên độ chuyển giao δ	3 dB
Thời gian cập nhật t_{update}	0.1 s
Thời gian trễ t_{HO}	0.5-1.0 s

Ngưỡng RSS ρ	7 dB
Công suất tối thiểu $P_{min,i}$	0.263 W
Tỷ lệ nghẽn λ	0.16

Để đánh giá hiệu quả của đề xuất, chúng tôi sử dụng đối sách với các lược đồ chuyển tiếp của các tác giả trước gồm: Location Aware HO [9] và ComP-JT HO [11]. Kết quả trong hình 4 dưới đây cho thấy thông lượng của người dùng U tốt nhất khi sử dụng lược đồ đề xuất.

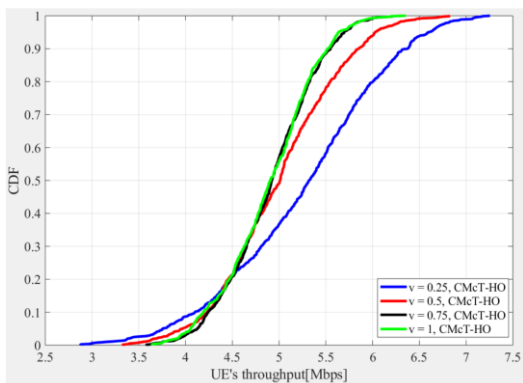


Hình 4: Số lượng và thông lượng của người dùng



Hình 5: Thông lượng phụ thuộc thời gian ngưỡng trễ

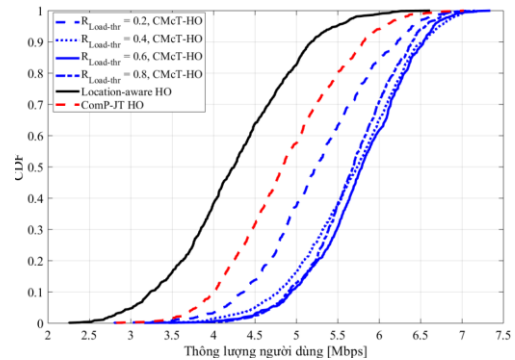
Hình 5 biểu diễn thông lượng của người dùng U theo cơ chế CMcT-HO với các giá trị ngưỡng thời gian chuyển giao t_{HO} khác nhau. Các giá trị ngưỡng t_{HO} tăng lên đồng nghĩa độ trễ chuyển giao tăng và kéo theo khả năng bị mất kết nối tăng và dẫn tới thông lượng của UE bị giảm đi. Tuy nhiên, mức thông lượng chỉ giảm mạnh khi t_{HO} lân cận thời gian cập nhật.



Hình 6: Thông lượng phụ thuộc tốc độ di chuyển U

Nhằm đánh giá khả năng tương thích của CMcT-HO với tốc độ di chuyển của người dùng, hình 6 chỉ ra kết quả mô phỏng về sự biến thiên thông lượng của người dùng U . Kết quả cho thấy khi tốc độ di chuyển tăng, thông lượng

người dùng giảm đi do số lần chuyển giao tăng lên. Tuy nhiên, khả năng hợp tác chuyển giao theo ngưỡng cho thấy sự khác biệt rõ ràng chỉ giữa các chỉ số cận biên. Vì vậy, hiệu năng hệ thống ổn định trong một dải tốc độ di chuyển của người dùng.



Hình 7: Thông lượng phụ thuộc ngưỡng tải

Ngưỡng tải trong chuyển giao hợp tác đóng vai trò quan trọng tới hiệu năng người dùng. Hình 7 chỉ ra kết quả đối sánh với các kết quả nghiên cứu trước. Khi giá trị ngưỡng tải thấp, cơ hội truyền dẫn hợp tác CMcT-HO sẽ được thực hiện nhiều hơn. Đồng thời, xác suất chọn lại các AP khác thấp đi đáng kể đã dẫn tới thông lượng tăng. Với các điều kiện mức tải khác nhau, CMcT-HO luôn có thông lượng vượt trội so với các lược đồ khác.

IV. KẾT LUẬN

Chuyển giao đảm bảo chất lượng cho mạng VLC đa điểm truy nhập phức hợp là một trong các giải pháp nâng cao hiệu năng mạng. Thông qua cơ chế lập lịch và phối hợp các điều kiện chuyển giao, cơ chế CMcT-HO đề xuất đã đem lại hiệu quả tốt hơn so với các phương pháp đề xuất trước đây và minh chứng bằng mô phỏng số. Thêm vào đó, các điều kiện của người sử dụng liên quan tới tốc độ di chuyển cũng đã được bổ sung trong nghiên cứu này. Để hỗ trợ nhanh các quyết định chuyển giao trong các môi trường ứng dụng khác, hướng nghiên cứu tiếp theo sẽ tập trung vào các hỗ trợ quyết định dựa trên tiếp cận kinh nghiệm nhằm giảm độ phức tạp tính toán, nâng cao hiệu quả chuyển giao và có được các quyết định nhanh trong cấu trúc mạng phân tán.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] L. E. M. Matheus, A. B. Vieira, L. F. M. Vieira, M. A. M. Vieira and O. Gnawali, "Visible Light Communication: Concepts, Applications and Challenges," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 21, no. 4, pp. 3204-3237, 2019.
- [2] M. Obeed, A. M. Salhab, M. Alouini and S. A. Zummo, "On Optimizing VLC Networks for Downlink Multi-User Transmission: A Survey," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 21, no. 3, pp. 2947-2976, 2019.
- [3] S. U. Rehman, S. Ullah, P. H. J. Chong, S. Yongchareon, and D. Komosny, "Visible light communication: A system perspective—Overview and challenges," Sensors (Switzerland), vol. 19, no. 5, pp. 1–22, 2019.
- [4] I. Ahmed, H. Karvonen, T. Kumpulainen, and M. Katz, "Wireless Communications for the Hospital of the Future: Requirements, Challenges and Solutions," Int. J. Wirel. Inf. Networks, vol. 27, no. 1, pp. 4–17, 2020.
- [5] Chen C, Tsonev D, Haas H "Joint transmission in indoor visible light communication downlink cellular networks," Proc Globecom Workshops (GC Wkshps), 1127-32, 2013.

- [6] M. D. Soltani, H. Kazemi, M. Safari, and H. Haas, "Handover modeling for indoor Li-Fi cellular networks: The effects of receiver mobility and rotation," IEEE Wirel. Commun. Netw. Conf. WCNC, pp. 1–6, 2017.
- [7] Nguyen T, Chowdhury MZ, Jang YM. "A novel link switching scheme using pre-scanning and RSS prediction in visible light communication networks." EURASIP J Wirel Commun Netw., pp 293–309, 2013.
- [8] [14] Wu X, Haas H "Handover skipping for LiFi," IEEE Access, Vol 7: pp 38369–78, 2019.
- [9] Nguyen T, Chowdhury MZ, Jang YM. "Location-aware fast link switching scheme for visible light communication networks," The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences. 37C(10): 888-93, 2012.
- [10] Xiong J, Huang Z, Zhuang K, Ji Y. "A cooperative positioning with kalmanfilters and handover mechanism for indoor microcellular visible light communication network," Opt Rev. 23(4): 683–688, 2016.
- [11] Demir MS, Miramirkhani F, Uysal M., "Handover in VLC networks with coordinated multipoint transmission," Proc IEEE Int Black Sea Conf Commun Netw (BlackSeaCom), pp 1–5, 2017.
- [12] Chen C, Haas H., "Performance evaluation of downlink cooperative multipoint joint transmission in LiFi systems," IEEE Globecom Workshops (GCWkshps), pp 1–6, 2017.
- [13] Shao S, Khreishah A, Rahaim MB, Elgala H, Ayyash M, Little T., "An indoor hybrid WIFI-VLC internet access system," Proceedings IEEE 11th International Conference MASS, 569–74, otc 2014.
- [14] Komine T, Nakagawa M., "Fundamental analysis for visible light communication system using LED lights," IEEE Trans Consum Electron., 50(1):100–107, 2004.
- [15] Cheng C, Ijaz M, Tsonev D, Haas H., "Analysis of downlink transmission in DCOOFDM-based optical attocell networks," 2014 IEEE Global Communications Conference, 2072-77, 2014.
- [16] Ghimire B, Haas H., "Self-organising interference coordination in optical wireless networks," EURASIP J Wirel Commun Netw, 1(1): pp 1–15, 2012.
- [17] Wu X, Haas H., "Access point assignment in hybrid LiFi and WiFi networks in consideration of LiFi channel blockage," IEEE SPAWC. 1–5, 2017.

proposes a novel proactive link handover scheme to enhance the multiple-access points VLC network performance in varied user conditions which have not mentioned in previous studies. The numerical simulation results will be provided to compare with other studies and to provide useful recommendations.

Keywords— Multiple-access Points VLC, link handover scheme, coordinated transmission, network performance.



Hoàng Trọng Minh tốt nghiệp đại học Bách khoa Hà Nội (1994), tiến sĩ chuyên ngành Kỹ thuật viễn thông tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông (2014). Hiện đang là giảng viên tại Khoa Viễn thông 1, Học Viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông. Các lĩnh vực nghiên cứu liên quan bao gồm: tối ưu, điều khiển và bảo mật mạng truyền

thông.

Email: Hoangtrongminh@ptit.edu.vn

THE PERFORMANCE OF A NOVEL PROACTIVE LINK HANDOVER FOR INDOOR VLC NETWORKS

Abstract—Visible Light Communication (VLC) is a high-speed communication solution that has been strongly developed in recent years. Due to the limited coverage of visible light communication, multiple access points VLC systems have been deployed to provide users with seamless connections over a wide area. This multiple-access points VLC architecture has supported end-users utilities such as end-to-end connectivity and mobility. However, ensuring network performance in the handover process is a remained challenge to researchers when there are existed many constrained parameter variables. In addition, the variation of user parameters also adds more constraints to the network optimization problem. This paper