

Giao thức chuyển giao liên kết trong mạng truyền thông ánh sáng nhìn thấy

Phạm Văn Giới, Nguyễn Nam Hoàng
Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội
(gpham378@gmail.com, hoangnn@vnu.edu.vn)

Hoàng Trọng Minh
Học viện công nghệ Bưu chính Viễn thông
hoangtrongminh@ptit.edu.vn

TÓM TẮT – Truyền thông ánh sáng nhìn thấy (Visible Light Communications - VLC) là một trong những giải pháp thay thế cho truyền thông vô tuyến để giải quyết vấn đề băng thông hữu hạn. Để mạng VLC hoạt động hiệu quả, có rất nhiều vấn đề kỹ thuật cần được giải quyết, trong đó: chuyển giao liên kết (link switching) giữa các điểm truy cập VLC là một thách thức kỹ thuật cần được nghiên cứu. Trong bài báo này, chúng tôi nghiên cứu và đề xuất các giao thức chuyển giao liên kết cho mạng truyền thông ánh sáng nhìn thấy được sử dụng trong các khu vực có diện tích lớn với nhiều điểm truy cập VLC. Cụ thể, hai giao thức chuyển giao liên kết được đề xuất trong bài báo này gồm giao thức chuyển giao nội vùng và giao thức chuyển giao liên vùng. Trong đó, phương pháp chuyển giao nội vùng dựa trên ngưỡng tải của điểm truy cập VLC và. Phương pháp chuyển giao liên vùng được thực hiện dựa trên cơ chế chuyển giao chủ động. Kết quả mô phỏng số nhận được cho thấy, các giao thức chuyển giao được đề xuất đều có thể hỗ trợ hiệu quả tốt hơn mục tiêu trong việc đảm bảo chất lượng dịch vụ dịch vụ so với giải pháp truyền thống.

Từ khóa: Truyền thông ánh sáng nhìn thấy, chuyển giao liên kết, chất lượng dịch vụ, phân bổ tài nguyên.

I. GIỚI THIỆU

Sự bùng nổ của Internet di động mang đến nhu cầu về lưu lượng truy cập dữ liệu không dây ngày càng tăng nhanh. Tuy nhiên, do phổ sóng vô tuyến có đặc trưng hữu hạn tài nguyên hữu hạn [1] nên cần có các công nghệ truyền thông mới để đáp ứng nhu cầu này. Với sự phát triển của công nghệ vật liệu, đặc biệt là công nghệ LED đã dẫn tới sự quan tâm lớn đối với việc ứng dụng và nghiên cứu công nghệ truyền thông không dây sử dụng ánh sáng trong vùng nhìn thấy VLC (Visible Light Communications) [1]. Đây được xem là một hướng giải pháp khả thi cho truyền thông không dây tương lai. Vì vậy, lĩnh vực này hiện đang thu hút nhiều nhà nghiên cứu và phát triển giải pháp quan tâm.

Để các hệ thống VLC hoạt động hiệu quả, có rất nhiều vấn đề kỹ thuật cần được nghiên cứu giải quyết. Trong đó, chuyển giao liên kết sao cho đảm bảo kết nối liên tục và hỗ trợ chất lượng dịch vụ là vấn đề kỹ thuật đang được quan tâm nghiên

cứu. Trong bộ tiêu chuẩn IEEE 802.15.7 [1], thuật ngữ “link switching” (còn được gọi là “handover”) là một giao thức được sử dụng để đảm bảo kết nối khi người dùng di chuyển giữa các điểm truy cập VLC (VLC-AP). Một số phương pháp chuyển giao liên kết đã được đề xuất bởi các tác giả trước với các tiếp cận khác nhau. Giao thức chuyển giao cứng trong [2] được thực hiện bằng cách sử dụng quét tín hiệu trước và sau đó thực hiện chuyển giao liên kết. Quyết định chuyển giao liên kết dựa trên cường độ tín hiệu nhận được tới người dùng từ các điểm truy cập. Đây là phương pháp rất phổ biến trong các mạng truyền thông không dây. Phương pháp chuyển giao liên kết dựa trên thông tin vị trí người dùng để từ đó dự đoán vị trí tiếp theo của người dùng được đề xuất trong [4]. Trong [5], một giao thức chuyển giao liên kết mềm được thực hiện để cải thiện chất lượng tín hiệu người dùng.

Trong bài báo này, đối tượng nghiên cứu của chúng tôi là kịch bản ứng dụng mạng VLC trong nhà ở khu vực diện tích lớn, với mật độ người dùng cao (như nhà ga, sân bay,...). Đây là kịch bản mà các nghiên cứu trước đây chưa đề cập. Với yêu cầu của bài toán này, các phương pháp chuyển giao liên kết trước đây sẽ gặp phải các hạn chế như: chưa xét tới việc phân bổ tải lưu lượng không đồng nhất trong mạng VLC và chưa xét đến kịch bản ứng dụng mạng VLC ở khu vực có diện tích lớn. Để giải quyết vấn đề này, một giải pháp phân vùng sẽ được thực hiện cho vùng diện tích lớn. Kết nối liên tục và hiệu năng hệ thống sẽ được đảm bảo với các đề xuất giao thức chuyển giao liên kết nội vùng và liên vùng.

Các phần còn lại của bài báo này được tổ chức như sau: Phần 2 sẽ trình bày về mô hình kênh truyền VLC và mô hình hệ thống VLC phân vùng. Các đề xuất giao thức chuyển giao liên kết cho mô hình mạng VLC phân vùng sẽ được trình bày trong phần 3. Các kết quả mô phỏng sẽ được trình bày trong phần 4. Kết luận của bài báo và hướng phát triển tiếp theo sẽ được trình bày trong phần cuối.

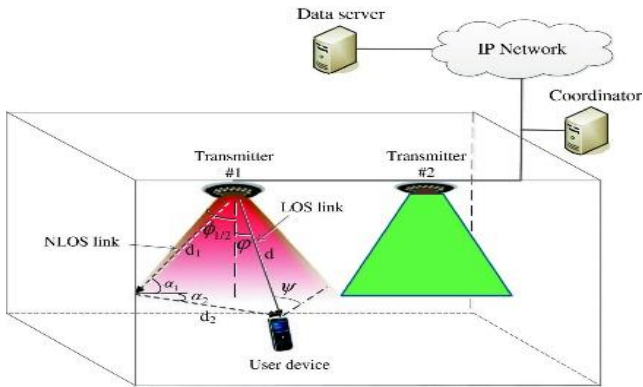
II. MÔ HÌNH HỆ THỐNG

Hình 1 dưới đây minh họa một mạng VLC điển hình. Theo tiêu chuẩn IEEE 802.15.7, một hệ thống truyền thông ánh sáng nhìn thấy sẽ có ba thành phần cơ bản: thiết bị người dùng

(User Equipment – UE), bộ phát (Transmitter) hay còn gọi là điểm truy cập (Access Point – AP) và bộ điều khiển trung tâm (Coordinator). Các UE sử dụng đường truyền quang học kết nối với các Transmitter để truyền hoặc nhận dữ liệu. Các Transmitter hoạt động dưới sự quản lý bởi các Coordinator. Trong mô hình theo chuẩn IEEE 802.15.7 này, thiết bị đầu cuối VLC (VLC-UE) sử dụng bộ thu phát ánh sáng cùng với cơ chế điều khiển độ sáng để kết hợp việc sử dụng ánh sáng trong chiếu sáng với việc truyền thông tin. Sau đây, chúng tôi sẽ trình bày mô hình kênh truyền VLC và mô hình hệ thống VLC phân vùng được sử dụng để làm cơ sở cho việc thiết kế các giao thức chuyển giao liên kết được trình bày ở phần III.

II.1 Mô hình kênh truyền VLC

Hệ thống VLC thông thường sử dụng phương pháp điều chế cường độ và tách sóng trực tiếp IM/DD (Intensity Modulation with Direct Detection) [1]. Như đã biết, ánh sáng có thể truyền trực tiếp giữa trạm phát và thiết bị VLC hoặc truyền nhờ phản xạ bởi vật thể khác. Tương ứng như vậy, chúng ta sẽ có loại kênh truyền trực tiếp LOS (Line of Sight) và kênh truyền gián tiếp NLOS (Non Line of Sight). Với hệ thống VLC sử dụng ở môi trường trong nhà, ta thường áp dụng kênh LOS với biểu diễn toán học như sau [2]:



Hình 1. Mô hình hệ thống VLC theo chuẩn IEEE 802.15.7 với một bộ điều phối - Coordinator

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

Trong đó: ϕ là góc bức xạ; ψ là góc tới; A là diện tích vùng thu nhận được ánh sáng; d là khoảng cách giữa LED và bộ thu PD (photodetector), $T_s(\psi)$ là hệ số truyền dẫn của bộ lọc quang học, ψ_c là trường nhìn thấy FOV (Field of View) của PD; m là hằng số phát xạ Lambertian được xác định trong công thức dưới đây [1].

$$m = \frac{\ln 2}{\ln(\cos \phi_{1/2})} \quad (2)$$

Trong đó, $\phi_{1/2}$ là góc bức xạ nửa công suất của LED. Độ lợi bộ tập trung quang học $g(\psi)$ được định nghĩa như sau:

$$g(\psi) = \begin{cases} \frac{n^2}{\sin^2(\psi_c)} & , 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0 & , \psi \geq \psi_c \end{cases} \quad (3)$$

Với n là chiết suất của môi trường, ψ_c là góc chiếu lớn nhất của LED.

Công suất tín hiệu nhận được tại phía thiết bị người dùng UE được tính theo công thức (4), với giá trị P_r là công suất quang của mỗi LED [2].

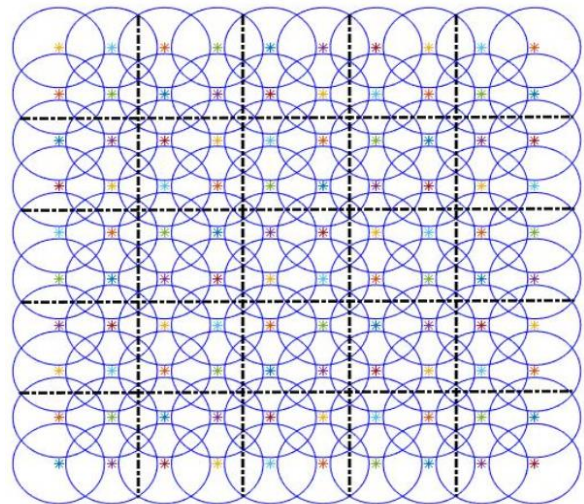
$$P_r = \sum_{N_{LED}} \left\{ P_i H_{LOS}(0) + \int_{Walls} P_i dH_{NLOS}(0) \right\} \quad (4)$$

Do hệ thống VLC trong nhà có thể bỏ qua phản xạ từ các bức tường nên theo giả thiết từ [9], ta có giá trị $H_{NLOS} = 0$.

II.2 Mô hình mạng VLC phân vùng

Với giả thiết hệ thống VLC được triển khai trên một diện tích lớn nhằm cung cấp các dịch vụ tại nơi công cộng, kiến trúc sử dụng đơn AP (Access Point) không thể đáp ứng vùng phủ. Vì vậy, giải pháp đưa ra là sử dụng các nhóm AP để đáp ứng mục tiêu này. Tuy nhiên, để đảm bảo tính liên tục trong kết nối giữa các AP khi UE di chuyển và sử dụng hiệu quả tài nguyên hệ thống thì chúng ta cần có một thiết kế hợp lý và khả thi.

Cấu hình đề xuất dựa trên các mạng con VLC theo mô hình tiêu chuẩn. Mỗi mạng con sẽ đảm nhiệm cung cấp dịch vụ cho UE trên các khu vực địa lý nhất định. Sự phối hợp các mạng con được thực hiện bởi bộ điều phối coordinator. Hình 2 biểu diễn cấu trúc mạng VLC diện rộng gồm 25 vùng và mỗi vùng gồm 04 AP. Các vòng tròn biểu thị vùng phủ của các AP tương tự như trên hình 1.



Hình 2. Mô hình mạng VLC phân vùng

Để đảm bảo kết nối liên tục và hiệu quả sử dụng tài nguyên, ta cần thiết kế các giao thức chuyển giao liên kết nội vùng và liên vùng. Các vấn đề này sẽ được trình bày dưới đây.

III. CHUYỂN GIAO LIÊN KẾT

Khi UE di chuyển giữa các vùng phủ của các AP thuộc cùng một Coordinator quản lý, giao thức chuyển giao nội vùng sẽ được thực hiện cho chuyển giao giữa hai AP. Khi UE di chuyển giữa các vùng phủ của các AP thuộc hai Coordinator quản lý, giao thức chuyển giao liên vùng được thực hiện cho chuyển giao giữa hai Coordinator.

III.1 Giao thức chuyển giao nội vùng

Trong phần này, chúng tôi tóm tắt ba giao thức chuyển giao nội vùng hiện có và đề xuất giao thức chuyển giao nội vùng có tên gọi là giao thức sử dụng thông tin về hàng đợi được cải tiến IQOI (Improved Queue Occupancy Information link switching protocol). Định nghĩa $AP_{current}$ là điểm truy nhập đang phục vụ thiết bị người dùng UE và AP_{target} là điểm truy nhập mà UE sẽ chuyển giao liên kết tới đó. Trước hết, ta khái quát lại nguyên lý của các giao thức chuyển giao liên kết liên quan.

i) Giao thức chuyển giao dựa trên thông tin vị trí (Location Aware link switching protocol) [4]

Trong giao thức chuyển giao này, thông tin vị trí của UE được sử dụng để $AP_{current}$ quyết định chuyển giao sang AP_{target} thông qua dự đoán vị trí kế tiếp từ các vị trí cũ bằng phương pháp đệ quy. Vì vậy, nếu chuyển động của UE mang tính ngẫu nhiên cao thì độ chính xác của bài toán dự đoán giảm đi rõ rệt.

ii) Giao thức chuyển giao sử dụng thông tin về hàng đợi (QOI – Queue Occupancy Information protocol) [3]

Khi áp dụng giao thức này, UE cũng thực hiện việc quét tín hiệu của các AP và lập danh sách AP theo cường độ tín hiệu thu RSS (Received Signal Strength). Tuy nhiên, khi UE cần chuyển giao, $AP_{current}$ sẽ chọn AP_{target} là AP có mức tải thấp nhất. Tỷ lệ tải (loadRatio) của mỗi AP được tính theo công thức sau:

$$loadRatio = \frac{TotalNumberOfPacketInQueue}{MaximumQueueSize} \quad (5)$$

trong đó $TotalNumberOfPacketInQueue$ là tổng số gói tin dữ liệu đang được lưu trữ tại điểm truy cập. $MaximumQueueSize$ là số gói tin dữ liệu lớn nhất mà AP có thể lưu trữ.

iii) Giao thức chuyển giao dựa trên RSS [8]

Trong khi thực hiện quá trình truyền dữ liệu từ $AP_{current}$ tới UE, UE đo cường độ tín hiệu của tất cả các AP mà UE nhận được. Nếu tín hiệu từ một AP lớn hơn mức ngưỡng công suất nhận cho phép đảm bảo kết nối (HO threshold), UE sẽ đưa AP này vào danh sách các AP dành cho chuyển giao. Danh sách này sẽ được cập nhật định kỳ cho $AP_{current}$. Khi cường độ tín hiệu từ điểm $AP_{current}$ nhỏ hơn giá trị ngưỡng trên, UE sẽ gửi

yêu cầu chuyển giao tới $AP_{current}$ và $AP_{current}$ sẽ tìm chọn AP_{target} có cường độ tín hiệu mạnh nhất.

iv) Giao thức chuyển giao dựa trên thông tin hàng đợi cải tiến IQOI

Trên cơ sở của các khảo sát, chúng tôi đề xuất giao thức chuyển giao dựa trên thông tin hàng đợi cải tiến IQOI. Sự cải tiến của giao thức đề xuất khác biệt với giao thức OQI ở điểm sau. AP hiện tại có thể thực hiện cho phép UE chuyển giao sang AP khác ngay cả khi chất lượng tín hiệu của $AP_{current}$ vẫn tốt nhưng tải của $AP_{current}$ lại quá cao (ảnh hưởng chất lượng dịch vụ). Hoạt động của giao thức IQOI gồm các bước như sau:

Bước 1: Mỗi UE thực hiện việc quét tín hiệu của các AP mà UE nhận được. Nếu tín hiệu của AP nào lớn hơn mức ngưỡng tín hiệu cho phép duy trì chất lượng kết nối (HO threshold) thì đưa AP đó vào danh sách các AP có thể nhận chuyển giao.

Bước 2: UE lựa chọn điểm truy nhập đích theo hai tình huống sau:

a) Khi tín hiệu nhận được từ $AP_{current}$ vẫn tốt nhưng $AP_{current}$ có tỷ lệ tải lớn hơn tỷ lệ tải của AP_i liền kề, $AP_{current}$ sẽ chọn AP_{target} là AP_i thỏa mãn hai điều kiện: Có cường độ tín hiệu đủ để đảm bảo chất lượng kết nối; và có tỷ lệ tải nhỏ nhất.

b) Nếu tín hiệu của $AP_{current}$ dưới ngưỡng tín hiệu nhận cần thiết đảm bảo kết nối (HO threshold) thì $AP_{current}$ sẽ chọn AP_{target} là AP trong danh sách và có tỷ lệ tải nhỏ nhất.

III.2 Giao thức chuyển giao liên vùng

Khi UE nằm trong vùng chồng lấn của các AP thuộc hai bộ điều phối, ta cần xử lý chuyển giao liên kết liên vùng. Gọi $AP_{current}$ và $Coordinator_{current}$ là điểm truy nhập và bộ điều phối đang phục vụ UE. Gọi AP_{target} và $Coordinator_{target}$ là AP và Coordinator mà UE sẽ cần chuyển giao liên kết. Giả thiết khi áp dụng cơ chế chuyển giao cứng, giao thức chuyển giao liên kết liên vùng truyền thống sẽ được thực hiện với các bước sau:

Bước 1: UE định kỳ quét tín hiệu của các AP thuộc vùng chồng lấn và gửi cho $AP_{current}$ danh sách các AP có cường độ tín hiệu lớn hơn ngưỡng tín hiệu nhận (HO threshold)

Bước 2: Khi cường độ tín hiệu của $AP_{current}$ xuống dưới mức ngưỡng yêu cầu (HO threshold), $AP_{current}$ chọn AP_{target} để thực hiện chuyển giao liên kết (giả thiết AP_{target} này thuộc về $Coordinator_{target}$).

Bước 3: $AP_{current}$ trao đổi các bản tin báo hiệu với AP_{target} để thực hiện chuyển giao. Sau khi chuyển giao liên kết thành công, $Coordinator_{current}$ sẽ chuyển tiếp dữ liệu của UE hiện đang lưu ở đó sang $Coordinator_{target}$ để tiếp tục truyền cho UE nhằm tránh mất mát dữ liệu.

Như vậy có thể thấy là việc chuyển giao liên vùng sẽ cần quá trình chuyển tiếp dữ liệu giữa hai Coordinator để UE không bị mất dữ liệu. Giao thức chuyển giao liên kết truyền thống khi áp dụng cho chuyển giao liên vùng như trên sẽ gây ra độ trễ dữ liệu tăng lên và thông lượng người dùng sẽ giảm đi.

Để khắc phục vấn đề nêu trên khi thực hiện chuyển giao liên kết liên vùng, chúng tôi đề xuất giao thức chuyển giao liên vùng chủ động (Proactive inter-coordinator link switching protocol). Quyết định chuyển giao dựa trên chênh lệch cường độ tín hiệu giữa các AP thay vì sử dụng ngưỡng cố định. Dự đoán xu hướng chuyển giao sẽ được thực hiện trước khi quá trình chuyển giao thực sự xảy ra nên rút ngắn trễ chuyển giao. Các bước thủ tục như sau:

Bước 1: UE định kỳ quét tín hiệu của các AP thuộc vùng chồng lấn và gửi cho $AP_{current}$ danh sách các AP có cường độ tín hiệu lớn hơn mức ngưỡng yêu cầu (HO threshold).

Bước 2: Gọi AP_{target} là AP trong danh sách thuộc Coordinator lân cận và có cường độ tín hiệu lớn nhất. Khi chênh lệch giữa cường độ tín hiệu của AP_{target} và $AP_{current}$ nhỏ hơn ngưỡng chuyển giao (HOM), nghĩa là:

$$0 < P(AP_{target}) - P(AP_{current}) < HOM \quad (6)$$

Khi đó, $AP_{current}$ yêu cầu Coordinator_{current} sao chép và chuyển tiếp dữ liệu của UE sang Coordinator_{target} để chuẩn bị cho quá trình chuyển giao liên vùng sắp xảy ra.

Bước 3: Khi sự chênh lệch giữa công suất tín hiệu nhận được từ AP_{target} và $AP_{current}$ lớn hơn giá trị ngưỡng chuyển giao (HOM), nghĩa là

$$P(AP_{target}) - P(AP_{current}) \geq HOM \quad (7)$$

$AP_{current}$ yêu cầu Coordinator_{current} thực hiện chuyển giao liên kết của UE tới AP_{target} thuộc Coordinator_{target}.

Do dữ liệu của UE đã được sao chép và chuyển tiếp từ Coordinator_{current} sang Coordinator_{target} trước nên việc truyền dữ liệu được tiếp tục thực hiện ngay khi UE kết nối với AP_{target} thành công.

IV. ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG CỦA CÁC GIAO THỨC CHUYỂN GIAO

Mô hình mô phỏng sử dụng Transmitter là LED mảng: mỗi cụm LED này gồm 60*60 LED, mỗi LED có công suất 20mW. Việc bố trí cấu hình của các Transmitter sao cho không có khoảng trống giữa các vùng phủ được xác định theo [7]. Mô hình có tất cả 100 cụm LED tương đương với 100 Transmitter và được chia làm 25 vùng, mỗi vùng sẽ có 4 Transmitter do một Coordinator quản lý. Giả thiết các Coordinator cạnh nhau có đường kết nối trực tiếp. Các thông số mô phỏng được tham khảo trong tài liệu [1]. Bảng 1 mô tả một số thông số mô phỏng chính:

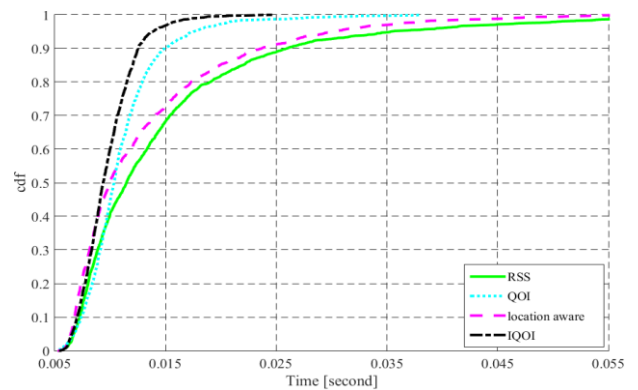
Bảng 1. Thông số mô phỏng

HO threshold (Ngưỡng công suất nhận)	0.24 mW
HOM	2.7dB
Băng thông đường xuống VLC	100 Mbps
Kích thước bộ đệm của mỗi Transmitter	1.5 Mbytes
Kích thước bộ nhớ nhỏ nhất yêu cầu cho mỗi UE	50 kbytes

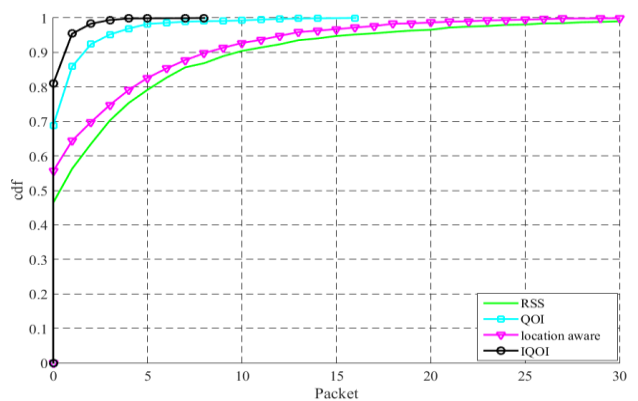
Góc nửa công suất của LED (semi-angle half power)	60°
Vận tốc UE	0.3 m/s
Băng thông kết nối giữa hai Coordinator	10 Mbps
Kích thước gói tin	10 kbytes

Mô phỏng được thực hiện với hai kịch bản gồm có: Mô phỏng một hệ thống mạng VLC có một vùng (kịch bản 1) và mô phỏng hệ thống VLC có nhiều vùng (kịch bản 2). Thời gian mô phỏng là 2 giờ đối với mỗi kịch bản.

Kết quả mô phỏng được đánh giá bởi đồ thị thống kê phân bố tích lũy CDF (Cumulative Distribution Function) với các thông số chất lượng dịch vụ người dùng bao gồm độ trễ gói tin, số gói tin bị mất và thông lượng người dùng.



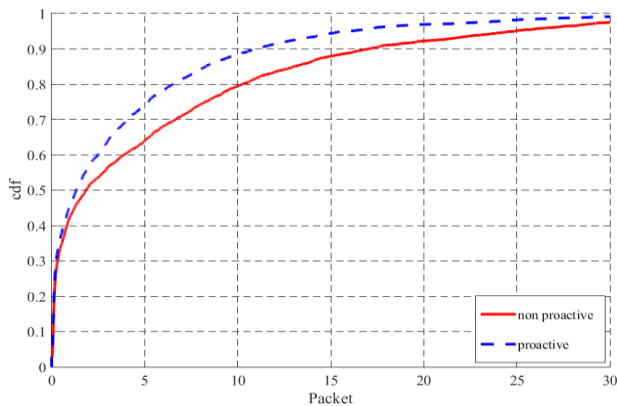
Hình 5. Độ trễ người dùng



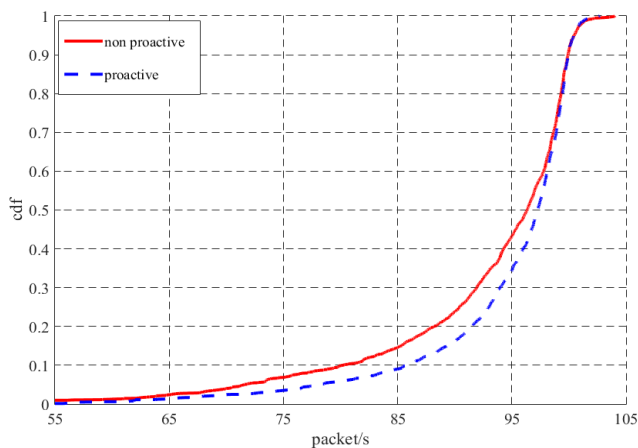
Hình 6. Số gói tin bị mất

Kết quả mô phỏng chuyển giao nội vùng (kịch bản 1) trình bày trong Hình 5 và Hình 6 cho thấy trong các phương pháp chuyển giao nội vùng, phương pháp IQOI đề xuất trong bài báo này cung cấp chất lượng dịch vụ người dùng tốt hơn các phương pháp đã có. Phương pháp IQOI cải thiện hơn so với QOI nhờ có cơ chế chuyển giao có hỗ trợ cân bằng tải giữa các AP khi có các dự đoán. Hình 5 cho thấy phương pháp IQOI mang lại kết quả lượng người dùng có độ trễ nhỏ hơn 0.02s khoảng 97%. Trong khi đó, phương pháp chuyển giao dựa vào thông tin vị trí (location aware) chỉ có khoảng 80% lượng người dùng có độ trễ nhỏ hơn 0.02s. Hình 6 cho thấy khi áp dụng phương pháp IQOI, không có người dùng nào bị mất trên 10 gói tin. Trong khi đó, với phương pháp QOI có

người dùng bị mất 15 gói tin. Các phương pháp chuyển giao còn lại có thể gây ra sự mất mát gói tin cao hơn tới 20 gói tin/1 người dùng. Việc chủ động thực hiện chuyển giao khi AP hiện tại có tỷ lệ tải cao sang AP lân cận có tỷ lệ tải thấp mang lại lợi ích về cả độ trễ thấp và số gói tin mất mát giảm.



Hình 7. Số gói tin bị mất



Hình 8. Thông lượng người dùng

Kết quả mô phỏng chuyển giao liên vùng (kịch bản 2) được biểu diễn trong hình 7 và hình 8. Biểu diễn tỷ lệ tổn thất gói trong hình 7 cho thấy khi áp dụng giao thức chuyển giao liên vùng chủ động đã giảm đi rõ rệt khi so sánh với các phương pháp chuyển giao truyền thống. Thông lượng người dùng được thể hiện trên hình 8 theo tốc độ gói tin và hàm phân bố tích lũy được so sánh giữa giao thức đề xuất và giao thức truyền thống. Ta nhận thấy, xấp xỉ 15% lượng người dùng có thông lượng nhỏ hơn 90 packet/s với giao thức chuyển giao liên vùng truyền thống và khoảng 22% lượng người dùng có thông lượng nhỏ hơn 90 packet/s. Như vậy, qua kiểm chứng bằng kết quả mô phỏng, chuyển giao liên kết chủ động đem lại hiệu suất mạng tốt hơn so với phương pháp truyền thống. Điều này đặc biệt cần thiết trong các môi trường động, khi UE di chuyển nhanh và không định hướng.

V. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng tôi thực hiện nghiên cứu các phương pháp chuyển giao liên kết cho mạng truyền thông ánh sáng nhìn thấy cho phạm vi lớn. Trong bài báo này, các phương pháp chuyển giao cho chuyển giao liên kết nội vùng IQOI và

chuyển giao liên kết liên vùng chủ động đã được đề xuất. Bằng phương pháp mô phỏng số, giao thức đề xuất đã được kiểm chứng và cho thấy sự cải thiện đáng kể về hiệu năng hệ thống so với các phương pháp đã có như giảm độ trễ, giảm gói tin mất mát trong chuyển giao và tăng thông lượng người dùng. Trên cơ sở nghiên cứu này, chúng tôi sẽ tiếp tục với mục tiêu mở rộng kịch bản khi có các UE chuyển động ngẫu nhiên và kết nối mạng VLC hỗn tạp với nhiều loại Transmitter khác nhau.

Tài liệu tham khảo

- [1] Ghassemlooy Z, Popoola W and Rajbhandari S 2012 Optical Wireless Communications: System and Channel Modelling with Matlab® (Boca Raton, FL: CRC Press)
- [2] T. Nguyen, M. Z. Chowdhury, and Y. M. Jang, "A novel link switching scheme using pre-scanning and RSS prediction in visible light communication networks," *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2013, article 293, pp 1-17.
- [3] Van-Dinh Hoang, "Link-switching decision scheme using queue occupancy information in neighbor accesspoint in visible light communication network", *Trường Đại học công nghệ, ĐHQGHN*, 2016
- [4] Tuan Nguyen, M. Z. Chowdhury, Y. M. Jang, "Location-Aware Fast Link Switching scheme for Visible Light Communication Networks", *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol 37C, Issue 10, 2012, pp.888-893.
- [5] E. Dinc, O. Ergul, and O. B. Akan, "Soft handover in OFDMA based visible light communication networks," in *Proc. IEEE 82nd Vehicular Technology Conference (VTC Fall)*, 2015, Sep. 2015, pp. 1-5.
- [6] M. S. Demir et al., "Handover in VLC Networks with Coordinated Multipoint Transmission" in *2017 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom)*, June 2017, pp. 1-5.
- [7] Thai-Chien Bui, S. Kiravittaya, N. H. Nguyen, N. T. Nguyen, K. Spirinmanwat, "LEDs configuration method for supporting handover in visible light communication", *Proc. IEEE Region 10 Conf. TENCON*, Oct. 2014, pp. 1-6
- [8] M. Anas et al., "Performance evaluation of received signal strength based hard handover for UTRAN LTE", In *IEEE 65th Vehicular technology conference (VTC2007-Spring)*, 22-25 April 2007, pp 1046-1050.
- [9] S. Prince and A.M. Vibin, "Optical Wireless Audio Communication Using LED Lighting System", in *Wireless Personal Communications*, Vol. 86, Issue 3, Feb. 2016, pp: 1159-1168.