

# Kỹ thuật truyền dẫn đa điểm phối hợp trong mạng truyền thông ánh sáng nhìn thấy

Khuong Thị Oanh, Nguyễn Nam Hoàng  
Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội  
{khuongoanh.1996, rumkenjp}@gmail.com

**Tóm tắt** – Truyền thông ánh sáng nhìn thấy (Visible Light Communications - VLC) được xem là một giải pháp bổ sung hiệu quả cho truyền thông vô tuyến trong nhà để thực hiện truyền dữ liệu nhanh và an toàn. Thay vì sử dụng tần số vô tuyến, VLC sử dụng ánh sáng để truyền dữ liệu. Trong các thách thức kỹ thuật của VLC, cân bằng tải là một trong những vấn đề quan trọng cần được giải quyết trong mạng truyền thông ánh sáng nhìn thấy. Trong bài báo này, chúng tôi áp dụng cơ chế lựa chọn điểm truyền động (Dynamic Point Selection - DPS) của truyền dẫn đa điểm phối hợp (Coordinated Multipoint Transmission - CoMP) vào mạng truyền thông ánh sáng nhìn thấy. Đây là cơ chế có thể giải quyết vấn đề cân bằng tải hiệu quả bằng cách thực hiện việc lựa chọn điểm truyền dựa vào chất lượng kênh truyền và lượng tải của các điểm truy cập (Access Point - AP). Khi người dùng nằm trong vùng chồng lấn giữa các AP có lượng tải chênh lệch nhau, nếu người dùng đang được phục vụ bởi AP có tải cao, chất lượng kênh truyền kém thì việc sử dụng cơ chế CoMP - DPS giúp cho người dùng được kết nối với AP có tải thấp hơn và chất lượng kênh truyền tốt hơn. Trong bài báo này, chúng tôi so sánh hiệu quả của cơ chế CoMP - DPS đề xuất so với truyền dẫn thông thường và chứng minh rằng cơ chế này giúp lượng tải của hệ thống được cân bằng, tăng thông lượng, giảm độ trễ gói tin trung bình của người dùng nằm ở vùng chồng lấn của các AP.

Từ khóa – Truyền thông ánh sáng nhìn thấy (VLC), kỹ thuật truyền dẫn đa điểm phối hợp (CoMP), lựa chọn điểm truyền động (DPS).

## I. GIỚI THIỆU

Yêu cầu về truy cập không dây băng thông rộng tốc độ cao cùng với sự gia tăng nhanh chóng về số lượng các thiết bị di động thông minh đã thúc đẩy sự tăng trưởng nhanh chóng trong lưu lượng dữ liệu di động. Bởi vì sự giới hạn băng thông trong dải tần số vô tuyến, các hệ thống không dây hiện tại khó mà có thể đáp ứng được yêu cầu này. Truyền thông sử dụng ánh sáng nhìn thấy (VLC) xuất hiện được xem là một giải pháp bổ sung hiệu quả cho truyền thông vô tuyến, đặc biệt là cho truyền thông trong nhà tốc độ cao. Đề duy trì được kết nối có chất lượng dịch vụ được đảm bảo cũng như giải quyết bài toán cân bằng tải trong mạng VLC, kỹ thuật truyền dẫn đa điểm phối hợp (Coordinated Multipoint Transmission-CoMP) và cụ thể hơn là cơ chế lựa chọn điểm truyền động (Dynamic Transmission Point-DPS) trong kỹ thuật CoMP được xem là một giải pháp hiệu quả bằng cách lựa chọn điểm truyền động

dựa vào chất lượng kênh truyền và lượng tải của các điểm truy cập trong vùng chồng lấn.

Trước đó, một số cơ chế của kỹ thuật CoMP trong mạng truyền thông vô tuyến áp dụng vào mạng truyền thông ánh sáng nhìn thấy đã được một số tác giả đề cập và nghiên cứu. Trong bài báo [1], tác giả đề cập tới việc những người dùng VLC trong nhà chịu ảnh hưởng nặng nề của nhiễu khi nằm trong vùng chồng lấn giữa các điểm truy cập. Họ đề xuất cơ chế CoMP - CB (Coordinated Beamforming - phối hợp phân chùm) để giảm thiểu nhiễu đường xuống, yêu cầu ít hơn sự phối hợp giữa các điểm truy cập. Nhưng với cơ chế này, hiệu suất có thể giảm đáng kể với việc phân bố người dùng nhất định. Trong bài báo [2], tác giả nghiên cứu về CoMP-VLC đường xuống trong đó nguồn tài nguyên tần số - thời gian được chia sẻ bởi một nhóm người dùng dựa vào đa truy cập phân chia theo không gian (Space Division Multiple Access-SDMA) bằng cách triển khai trong nhiều không gian hệ thống. Bài báo này đề xuất thuật toán RP (Random Pairing) mới trong SDMA vừa tối ưu và ít phức tạp để đạt được sự cân bằng giữa hiệu quả hệ thống và công bằng thông lượng. Trong bài báo [3], tác giả đề cập tới việc người dùng di chuyển nhanh và phân bố không đồng đều trong môi trường trong nhà. Khi người dùng di chuyển vào vùng rìa của AP, tín hiệu nhận được từ AP đang phục vụ bị suy giảm một cách nhanh chóng. Từ đó, tác giả đề xuất chuyển giao liên kết (link-switching) kết hợp với cơ chế CoMP - JT (Joint Transmission - truyền dẫn chung) trong mạng VLC nhằm tăng hiệu quả đáng kể so với chuyển giao thông thường. Với việc kết hợp cơ chế CoMP - JT này, người dùng có thể tự do di chuyển mà vẫn đảm bảo được chất lượng dịch vụ, không bị gián đoạn với độ trễ thấp và số gói tin mất mát nhỏ. Cơ chế này mang lại kết quả tốt nhưng đòi hỏi băng thông backhaul cao với độ trễ thấp và phức tạp nhất trong kỹ thuật CoMP.

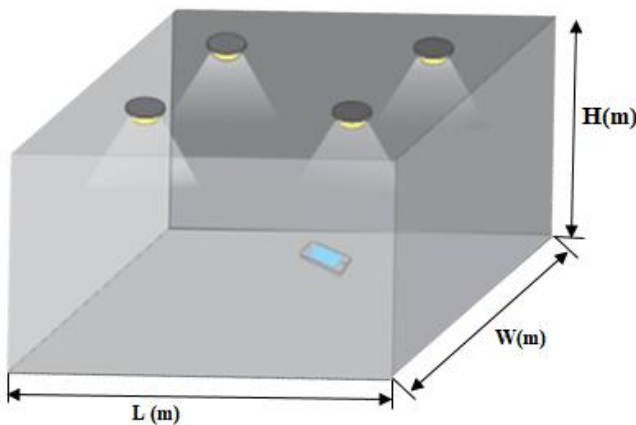
Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất sử dụng cơ chế CoMP - DPS (Dynamic Point Selection - lựa chọn điểm truyền động) đường xuống cho mạng truyền thông ánh sáng nhìn thấy, điều mà các nghiên cứu trước chưa đề cập tới. Đây là một cơ chế hiệu quả, ít phức tạp hơn bằng cách thực hiện lựa chọn điểm truyền động dựa vào chất lượng kênh truyền và lượng tải của các điểm truy cập. Với kịch bản trong bài báo này là môi trường VLC trong nhà với mật độ người dùng của các điểm truy cập là không đồng đều (như phòng nghiên cứu, thí nghiệm,...). Nếu người dùng nằm trong vùng chồng lấn

giữa các điểm truy cập và đang được phục vụ bởi AP có tải cao, chất lượng kênh truyền thấp thì việc sử dụng cơ chế CoMP – DPS sẽ giúp người dùng kết nối được với AP lân cận nằm trong vùng chồng lấn có tải thấp hơn và chất lượng dịch vụ tốt hơn. Do đó, cơ chế này giúp lượng tải của hệ thống được cân bằng, cải thiện thông lượng người dùng ở rìa vùng phủ AP và giảm thiểu được nhiều liên cell, với cell được định nghĩa là vùng phủ của một trạm phát hay điểm truy cập (mạng truyền thông không dây LTE, VLC, ...).

Bài báo này được tổ chức như sau: Mô hình hệ thống được trình bày ở mục II. Trong mục III, chúng tôi giới thiệu cơ chế lựa chọn điểm truyền động của kỹ thuật truyền dẫn đa điểm phối hợp trong mạng truyền thông không dây LTE-Advanced (Long Term Evolution-Advanced – Sự tiến hóa dài hạn của công nghệ LTE) và đề xuất áp dụng cơ chế này vào trong mạng truyền thông ánh sáng nhìn thấy cũng được trình bày chi tiết ở mục này. Trong mục IV, các kết quả mô phỏng và phân tích được trình bày. Cuối cùng, kết luận của bài báo được trình bày trong mục V.

## II. MÔ HÌNH HỆ THỐNG

Mô hình phòng thông thường với kích thước  $W$  (m)  $\times$   $L$  (m)  $\times$   $H$  (m) được giả sử để xây dựng một hệ thống kết hợp chiếu sáng và truyền thông không dây sử dụng ánh sáng nhìn thấy trong môi trường trong nhà. Mô hình truyền thông với các điểm truy cập (AP) với góc thu lớn và được bố trí đều trên trần của căn phòng. Các thiết bị đầu cuối di động (User Equipment - UE) là các UE tĩnh phân bố không đồng đều trên diện tích phòng. Theo tiêu chuẩn IEEE 802.15.7, mạng VLC có 7 kênh truyền tương đương với 7 dải màu. Giả định mỗi điểm truy cập hoạt động trên kênh truyền cố định của nó, nhưng có thể chuyển tới kênh truyền khác khi cần thiết. Với thiết kế này sẽ giúp hệ thống tối thiểu nhiễu ISI và tạp âm. AP sử dụng phương thức đa truy cập phân chia theo thời gian (Time Division Multiple Access - TDMA) [4], cho phép người dùng nhận dữ liệu từ một hoặc nhiều khe thời gian khác nhau.



Hình 1- Cấu hình mạng VLC trong phòng

Kênh truyền VLC sử dụng điều chế cường độ và tách sóng trực tiếp (Intensity Modulation/Direct Detection – IM/DD) [5]. Có 2 loại kênh truyền: kênh truyền trực tiếp (Line of Sight-LOS) và kênh truyền phản xạ (Non Line of Sight -

NLOS). Kênh LOS có hiệu quả công suất và giảm thiểu được sự biến dạng của hiện tượng đa đường.

### A. Mô hình kênh truyền LOS

Kênh truyền LOS đường xuống là kênh truyền trực tiếp từ LED tới thiết bị người dùng. Trong truyền dẫn quang, hệ số kênh truyền trực tiếp (Direct Channel-DC) được định nghĩa như sau [6, 7, 8, 9]:

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

Trong đó,  $A$  là diện tích vật lý của thiết bị nhận (Photo Diode-PD),  $d$  là khoảng cách từ AP đến PD,  $\psi$  là góc tới,  $\phi$  là góc chiếu xạ,  $T_s(\psi)$  là hệ số suy hao của bộ lọc quang học,  $\psi_c$  là góc nhận ánh sáng cực đại tại máy thu,  $m$  là hệ số Lambertian, được xác định [] bằng:  $-\ln(2)/\ln(\cos(\phi_{1/2}))$ ,  $\phi_{1/2}$  là góc bức xạ nửa công suất,  $g(\psi)$  đồ lợi của bộ tập trung quang lý tưởng:

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

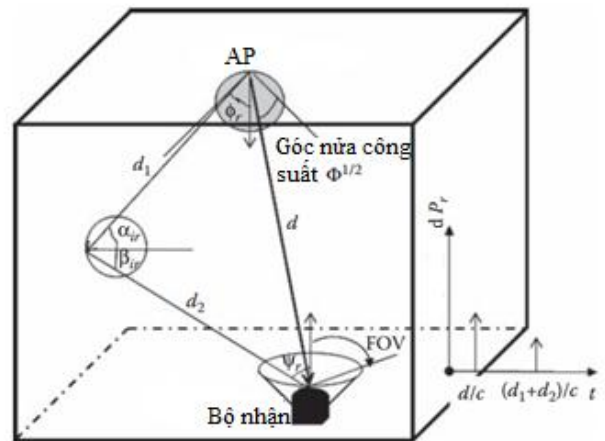
Trong đó,  $n$  là chỉ số khúc xạ.

### B. Mô hình kênh truyền NLOS

Kênh truyền NLOS đường xuống là kênh truyền mà ánh sáng bị phản xạ tại vật cản tới PD của người dùng. Trong truyền dẫn quang, hệ số DC được định nghĩa như sau [6, 7, 8, 9]:

$$H_{NLOS}(0) = \begin{cases} \frac{(m+1)A}{2(\pi d_1 d_2)^2} \rho d A_{wall} \cos^m(\phi) \cos \alpha \cos \beta T_s(\psi) g(\psi) \cos(\psi) \\ 0, & 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0, & \psi \geq \psi_c \end{cases} \quad (3)$$

Trong đó,  $d_1$  là khoảng cách từ máy phát tới điểm phản xạ,  $d_2$  là khoảng cách từ điểm phản xạ tới thiết bị nhận,  $\rho$  là hệ số phản xạ,  $d A_{wall}$  là diện tích phản xạ của một vùng nhỏ,  $\phi$  là góc chiếu xạ,  $\alpha$  là góc phản xạ tại điểm chiếu đến,  $\beta$  là góc phản xạ đối với thiết bị nhận,  $\psi$  là góc tới từ điểm phản xạ đến thiết bị nhận.



Hình 2- Mô hình kênh truyền [5]

### C. SNR của người dùng

Công suất tín hiệu quang học người dùng nhận được tại một thời điểm được xác định theo công thức như sau [9]:

$$P_r = \sum_{NLED} \{P_i H_{LOS}(0) + \int_{walls} P_i dH_{NLOS}(0)\} \quad (4)$$

Trong đó,  $P_i$  là công suất phát tín hiệu quang học.

Trong môi trường kênh truyền này, có các loại nhiễu: shot noise, nhiễu nhiệt, nhiễu giao thoa kí tự (Inter Symbol Interference-ISI).

Công thức tính nhiễu được xác định như sau [8]:

$$\sigma^2_{total\ noise} = \sigma^2_{shot\ noise} + \sigma^2_{thermal\ noise} + \gamma^2 P_r^2 I_{SI} \quad (5)$$

Trong bài báo này, chúng tôi giả sử kênh truyền NLOS không đáng kể và thành phần nhiễu giao thoa kí tự (ISI) được bỏ qua. Do vậy, nhiễu gây ra được tính bởi hai thành phần *shot-noise* và nhiễu nhiệt (thermal noise) như sau.

Shot noise gây ra bởi chính các thành phần linh kiện trong hệ thống được tính bằng công thức:

$$\sigma^2_{shot\ noise} = 2q\gamma P_r B + 2qI_{bg}I_2B \quad (6)$$

Trong đó,  $B$  là băng thông,  $q$  là điện tích electron,  $I_{bg}$  là dòng điện nền,  $P_r$  là công suất tín hiệu nhận được,  $I_2$  là hệ số băng thông nhiễu với  $I_2 = 0.562$

Nhiễu nhiệt được xác định bằng công thức sau:

$$\sigma^2_{thermal\ noise} = \frac{4kT_k}{R_f} I_2 B + \frac{16\pi^2 kT_k \Gamma}{g_m} (C_d + C_g)^2 I_3 B^3 \quad (7)$$

Trong đó,  $k$  là hằng số Boltzman,  $T_k$  là nhiệt độ tuyệt đối,  $R_f$  là điện trở phản hồi,  $g_m$  là FET transconductance,  $R_f$  là hệ số điện áp vòng hở,  $C_d$  là dung năng của PD,  $C_g$  là FET gate capacitance,  $g_m$  là FET transconductance và hệ số băng thông nhiễu với  $I_3 = 0.868$ .

Thành phần  $S$  được tính bởi công thức sau [8]:

$$S = \gamma^2 P_r^2 \quad (8)$$

Với công suất tín hiệu nhận được mong muốn  $P_r$  được xác định bởi công thức sau:

$$P_r = \int_T \left( \sum_{i=1}^{LEDS} h_i(t) \otimes X(t) \right) dt \quad (9)$$

Tỉ lệ tín hiệu trên tạp âm (SNR) là tỉ lệ tín hiệu nhận được từ đường truyền trực tiếp và nhiễu đường phản xạ trên tín hiệu tạp âm được tính toán theo công thức sau [8, 9]:

$$SNR = \frac{S}{N} = \frac{\gamma^2 P_r^2}{\sigma^2_{total\ noise}} \quad (10)$$

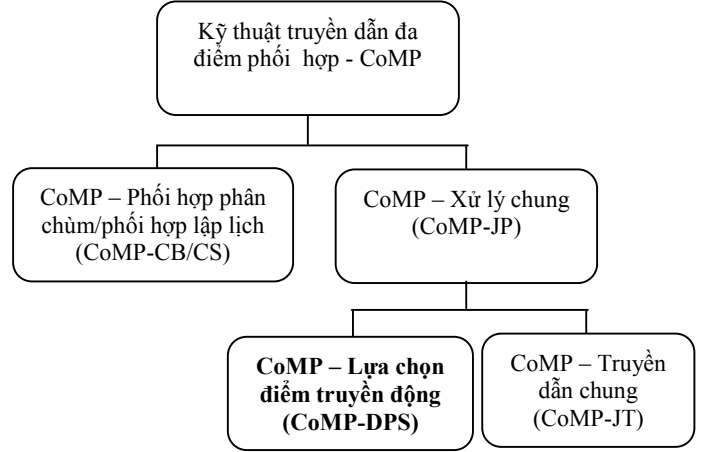
Với  $\gamma$  là hệ số đáp ứng của PD.

### III. CƠ CHẾ LỰA CHỌN ĐIỂM TRUYỀN ĐỘNG

#### A. Kỹ thuật CoMP trong mạng truyền thông LTE-A

Kỹ thuật truyền dẫn đa điểm phối hợp (CoMP) được đề xuất đầu tiên cho mạng LTE-A, cho phép người dùng có thể được phục vụ bởi nhiều hơn một trạm thu phát và người dùng cũng có thể truyền dữ liệu cho nhiều hơn một trạm thu phát cùng lúc. CoMP nhằm mục đích nâng cao thông lượng

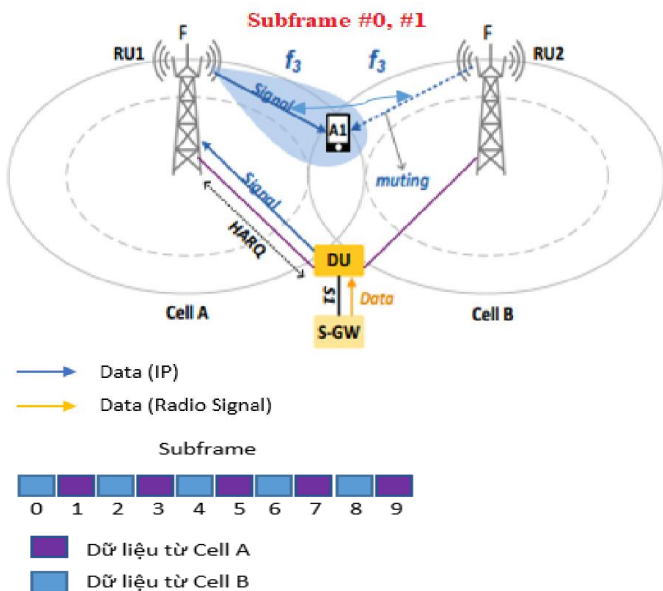
UE ở rìa vùng phủ của trạm di động, cải thiện tốc độ dữ liệu, giảm thiểu nhiễu liên cell. Truyền dẫn CoMP đường xuống được chia thành 3 loại [10] sau: CoMP phối hợp phân chùm/phối hợp lập lịch (Coordinated Beamforming/Coordinated Scheduling-CB/CS), CoMP truyền dẫn chung (Joint Transmission-JT) và CoMP lựa chọn điểm truyền động (Dynamic Transmission Point-DPS). Bài báo này chúng tôi đề xuất áp dụng cơ chế CoMP – DPS trong mạng LTE-A vào mạng VLC.



Hình 3- Phân loại CoMP [10]

Trong mạng LTE-A, DPS là trường hợp đặc biệt của JT, nơi mà dữ liệu người dùng được truyền từ chỉ một điểm truy cập và điểm truy cập phục vụ được thay đổi động trong mỗi khung con (subframe) dựa vào nguồn tài nguyên có sẵn, trạng thái của các cell và điều kiện kênh truyền. CoMP-DPS cung cấp sự cân bằng tốt giữa sự phức tạp của thuật toán truyền dẫn, hiệu năng hệ thống và chi phí backaul so với cơ chế CoMP – JT và CoMP – CB/CS [11]. Trong cơ chế này, dữ liệu của mỗi người dùng có sẵn tại tất cả các trạm cơ sở nên có thể dễ dàng lựa chọn điểm truyền. Thêm vào đó, chức năng tạo chùm (beamforming) vẫn cần thiết để phối hợp truyền dẫn qua trạm cơ sở để điều khiển nhiễu. Trên thực tế, khi liên kết giữa người dùng và trạm cơ sở được xác định thì cơ chế CoMP-DPS trở thành cơ chế CoMP-CB/CS. So với cơ chế CoMP-CB/CS thì cơ chế này mang lại nhiều lợi thế về sự đa dạng trạm lựa chọn, bởi vì nó có thể cung cấp một giải pháp “soft-handoff” cho các điểm truyền phối hợp để nhanh chóng chuyển tới điểm truyền tốt nhất cho liên kết tới UE [12].

Trong giai đoạn chuẩn bị kết nối, CoMP-DPS hoạt động giống như CoMP-JT, tức là nhiều cell chia sẻ cùng dữ liệu người dùng. Tại giai đoạn truyền dẫn, nó hoạt động khác với CoMP-JT, đầu tiên chất lượng kênh truyền của các người dùng trong vùng phủ của các trạm phát được kiểm tra trong mỗi khung con. Sau đó, dữ liệu được gửi bởi một trạm phát có chất lượng tín hiệu tốt nhất còn các trạm phát khác dừng truyền tín hiệu cho người dùng. Bởi dữ liệu người dùng được gửi từ các trạm phát với chất lượng kênh truyền tốt hơn nên chất lượng dịch vụ của người dùng có thể được cải thiện một cách hiệu quả [13].



Hình 4- Cơ chế CoMP – DPS trong mạng truyền thông tiến hóa dài hạn LTE- A [13]

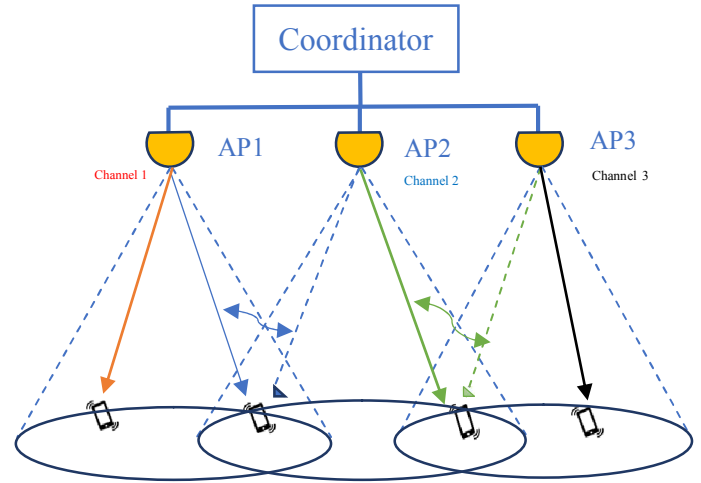
Hình 4 minh họa hoạt động của CoMP–DPS. Không giống như cơ chế CoMP–JT, cơ chế này không yêu cầu đồng bộ chặt chẽ và HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) được thực hiện tại cell đang truyền dữ liệu. Theo cơ chế CoMP – DPS, cell A và cell B phối hợp với nhau để cấp phát cùng nguồn tài nguyên tần số ( $f_3$ ) tới người dùng AI nằm trong vùng chồng lấn giữa hai cell, chúng chia sẻ cùng dữ liệu tới người dùng và thay đổi việc truyền dữ liệu động trong mỗi khung con. Như ví dụ minh họa trên hình 4, tại khe thời gian thứ nhất, người dùng AI nhận dữ liệu từ cell A, ở khe thời gian thứ hai người dùng AI được nhận dữ liệu từ cell B, nơi mà có chất lượng kênh truyền, chất lượng nhận tốt hơn.

#### B. Đề xuất cơ chế CoMP–DPS cho mạng VLC

Theo tiêu chuẩn IEEE 802.15.7, một hệ thống VLC bao gồm ba thành phần chính: bộ điều phối (Coordinator), điểm truy cập (AP) và thiết bị người dùng (UE). Trong bài báo này, một hệ thống VLC có một Coordinator kết nối với mạng lưới bên ngoài như Internet đồng thời chịu trách nhiệm về quản lý hoạt động của các AP. Tức là, khi người dùng nằm trong vùng phủ của các điểm truy cập, Coordinator sẽ chịu trách nhiệm tính toán, quyết định các quá trình lập lịch và phân bổ tài nguyên cho UE. Bài báo này chúng tôi đề xuất đặt bộ đệm của UE ở Coordinator để giảm bớt quá trình chuyển gói tin của UE từ AP này sang AP khác. Các điểm truy cập biến đổi tín hiệu điện thành tín hiệu quang để truyền dữ liệu từ Coordinator tới thiết bị người dùng trong vùng phủ của nó.

Trong mô hình hệ thống VLC, chúng tôi áp dụng cơ chế lựa chọn điểm truyền động trong kỹ thuật truyền dẫn đa điểm phối hợp vào mạng truyền thông VLC hay còn gọi với thuật ngữ cân bằng tải “Load Balancing”. Với cơ chế này, một UE được phục vụ chỉ với một AP và liên kết giữa UE với AP có thể được thay đổi động trong mỗi khung con tùy theo điều kiện kênh truyền và lượng tải của các AP trong vùng chồng

lấn. Từ đó, UE sẽ có thể nhận được tín hiệu từ AP khác có chất lượng kênh truyền, chất lượng nhận được tốt hơn so với việc chỉ kết nối duy nhất với một AP như trong truyền dẫn trước đây.

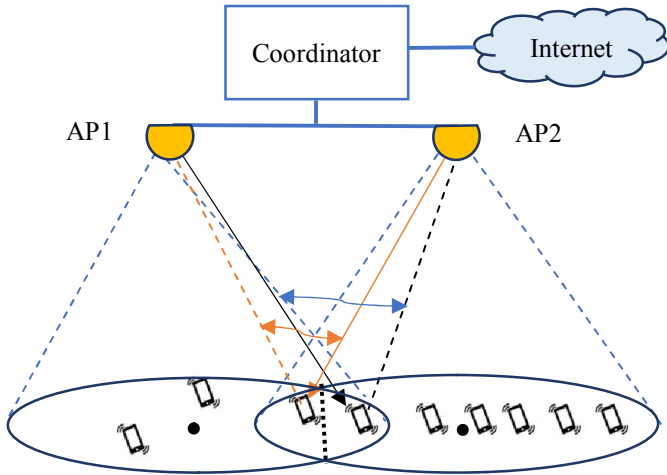


Hình 5- Mô hình hệ thống VLC

Ưu điểm khi áp dụng cơ chế này vào trong truyền thông ánh sáng nhìn thấy so với trong LTE-A, đó là VLC thường hoạt động trong nhà, phạm vi nhỏ nên việc thực hiện việc truyền dẫn không bị gián đoạn, bảo mật tốt hơn và không bị ảnh hưởng của nhiễu điện từ. Ngoài ra, VLC sử dụng ánh sáng để truyền dữ liệu nên ít gây nhiễu với sóng vô tuyến bên ngoài, từ đó người dùng giảm được vấn đề về nhiễu đồng thời tốc độ cao hơn rất nhiều so với truyền dẫn vô tuyến. Bên cạnh những ưu điểm mà VLC mang lại thì vẫn còn một số hạn chế cần giải quyết. Tức là, khi người dùng nằm trong vùng chồng lấn giữa các AP có lượng tải khác nhau nên cường độ tín hiệu mà người dùng nhận được ở bộ nhận là thấp và không đồng đều đồng thời chịu ảnh hưởng của nhiễu giao thoa kí tự (ISI) giữa các AP nên người dùng sẽ được kết nối tín hiệu với AP là tương đối kém và có thể bị ngắt kết nối. Do vậy, chúng tôi cần tìm đến một giải pháp hiệu quả để giải quyết vấn đề trên.

Trong mô hình này, chúng tôi giả sử rằng mật độ người dùng phân bố không đồng đều trong căn phòng vì thế nên các AP có lượng tải khác nhau. Để giải quyết vấn đề không cân bằng tải này, ý tưởng chính của cơ chế CoMP này là chuyển những người dùng nằm trong vùng chồng lấn của AP có tải cao sang những AP lân cận có tải thấp hơn đồng thời cường độ tín hiệu của AP lân cận tốt hơn, từ đó giúp người dùng đó nhận được chất lượng tín hiệu tốt hơn. Cơ chế CoMP–DPS được thực hiện khi người dùng nằm trong vùng chồng lấn thỏa mãn hai thông tin về cường độ tín hiệu nhận được của người dùng và lượng tải của các AP, từ đó giúp quá trình cân bằng tải hiệu quả và cải thiện được thông lượng của những người dùng ở rìa vùng phủ AP. Tức là khi người dùng nhận tín hiệu kém từ AP có tải cao và cường độ tín hiệu nhận được nhỏ hơn so với ngưỡng CoMP đặt ra thì chúng sẽ thực hiện cơ chế CoMP – DPS để kết nối với AP lân cận có lượng tải ít hơn và cường độ tín hiệu nhận được tốt hơn so với ngưỡng CoMP. Vì

vậy, người dùng trong vùng chồng lấn sẽ nhận được tín hiệu từ AP tốt nhất có thể trong danh sách các AP lân cận.



Hình 6- Cơ chế hoạt động của CoMP-DPS

Cơ chế CoMP – DPS trong mạng truyền thông VLC được thực hiện theo các bước sau đây:

**Bước 1:**

Khởi tạo một  $UE_i$  và kết nối  $UE_i$  này với AP có cường độ tín hiệu đường xuống lớn nhất gọi là  $AP_{current}$ . Nếu  $UE_i$  nằm trong vùng chồng lấn của các AP,  $UE_i$  đo cường độ tín hiệu quang học của các AP mà nó nhận được và gửi các thông tin này cho Coordinator để lập ra danh sách  $ListAP_{UE_i}$  gồm các AP mà  $UE_i$  nhận được tín hiệu.

Tùy theo cấu hình bố trí các AP và thông số hệ thống, cần xác định ngưỡng công suất tín hiệu nhận được khi cần áp dụng cơ chế CoMP – DPS. Ngưỡng tín hiệu này được chọn bằng giá trị công suất tín hiệu quang học nhận được tại vị trí trên đường biên giao nhau giữa hai vùng phủ của hai AP liền kề.

$$P_r^{CoMP} = P_r^{edge} \tag{11}$$

**Bước 2:**

Coordinator nhận thông tin về cường độ tín hiệu của các UE. Khi  $UE_i$  có cường độ tín hiệu  $P_{r-UE_i} < P_r^{CoMP}$ , Coordinator thực hiện cơ chế CoMP – DPS để chọn  $AP_{comp}$  thỏa mãn hai điều kiện sau:

- 1)  $P_r^{AP_{comp}} > P_r - UE_i$
- 2)  $LoadRatio_{AP_{comp}} < LoadRatio_{AP_{current}}$

Trong đó,  $P_r^{AP_{comp}}$  là công suất tín hiệu quang  $UE_i$  nhận được từ  $AP_{comp}$ ,  $LoadRatio$  là tỉ lệ tải của mỗi AP và được định nghĩa theo công thức sau:

$$Load\ Ratio = \frac{Tổng\ số\ gói\ tin\ trong\ bộ\ đệm}{Kích\ thước\ bộ\ đệm\ lớn\ nhất} \tag{12}$$

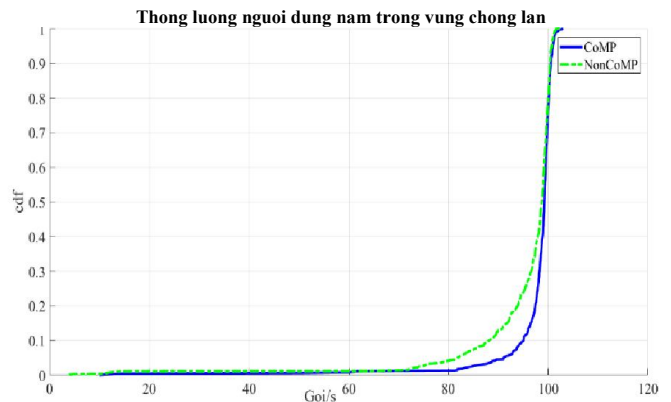
Sau khi đã chọn được  $AP_{comp}$ , Coordinator gửi dữ liệu cho  $UE_i$  qua đường xuống của  $AP_{comp}$ .

IV. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Mô hình mô phỏng được giả định trong một căn phòng có kích thước 12m x 12m x 2.5m với 16 AP là các bóng đèn LED mảng: mỗi cụm LED gồm 60\*60 bóng đèn LED, mỗi LED có công suất 20 mW. Giả sử, các UE tĩnh có bộ nhận nằm trên mặt phẳng có độ cao 1 m và có góc thu hướng lên trần nhà. Các UE tĩnh phân bố không đồng đều nằm trong vùng chồng lấn của các điểm truy cập. Cụ thể, các AP bên trong có tải cao là những AP có số lượng UE nhỏ hơn 30, các AP bên trong có tải thấp là những AP có số lượng UE nhỏ hơn 6. Bài báo này chúng tôi thực hiện mô phỏng một hệ thống truyền thông ánh sáng nhìn thấy ở lớp 2 (lớp liên kết dữ liệu), điều đó giúp quá trình mô phỏng sẽ đơn giản hóa hơn bằng cách sử dụng đơn vị dữ liệu là gói tin thay là bit ở lớp 1 (lớp vật lý). Trong kịch bản mô phỏng, thời gian tồn tại của mỗi người dùng được phân bố theo hàm số mũ với giá trị trung bình là 180s. Các tham số hệ thống được liệt kê trong Bảng 1 [5].

Bảng 1 . THÔNG SỐ MÔ PHỎNG

Các thông số mô phỏng	Giá trị
Thời gian mô phỏng	3600 (s)
Khoảng cách giữa các AP	3 (m)
Công suất phát quang trên một AP	72 (W)
Công suất phát của một LED	20 (mW)
Số LED trên một cụm đèn trên một AP	60×60 (LED)
Góc nửa công suất của LED	60°
Băng thông hệ thống	10 (Mbps)
Độ rộng 1 khe thời gian	1 (ms)
Kích thước gói tin	10 (kb/packet)
Số khe thời gian trên 1 khung truyền	10 (timeslot/frame)
Hệ số đáp ứng của Phototector	0.53
Ngưỡng công suất tín hiệu COMP	0.77 (mW)



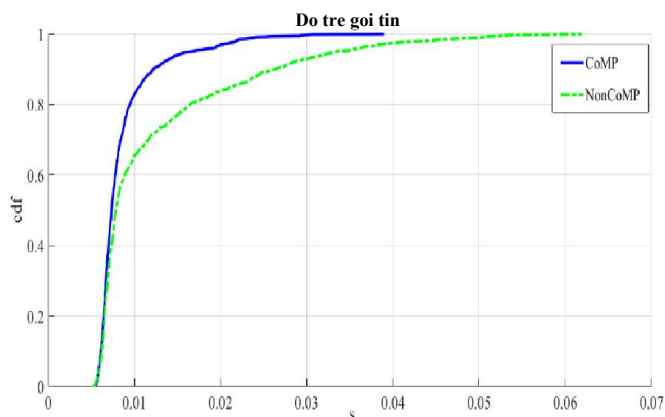
Hình 7- Thông lượng người dùng nằm trong vùng chồng lấn

Để đánh giá hiệu năng của hệ thống, chúng tôi sẽ đánh giá trên các tham số hiệu năng như thông lượng người dùng trong vùng chồng lấn của các AP và độ trễ gói tin trung bình được thực hiện đối với hệ thống sử dụng CoMP – DPS và truyền



dẫn thông thường. Thông qua việc so sánh kết quả mô phỏng đối với các trường hợp trên, khi áp dụng cơ chế CoMP – DPS vào mạng truyền thông VLC giúp cho hiệu năng của hệ thống cải thiện hơn so với việc truyền dẫn thông thường.

Hình 7 biểu diễn hàm phân bố tích lũy giá trị thông lượng người dùng đạt được của các UE nằm trong vùng chồng lấn của các AP trong hệ thống VLC. Kết quả cho thấy với phương pháp CoMP đề xuất mang lại thông lượng người dùng nằm trong vùng chồng lấn của các AP hiệu quả hơn so với truyền dữ liệu thông thường. Cụ thể là khi áp dụng CoMP – DPS có khoảng 5% thiết bị người dùng có thông lượng nhỏ hơn 90 gói tin/s, trong khi đó, truyền dữ liệu thông thường có khoảng 15% thiết bị người dùng có thông lượng nhỏ hơn 90 gói tin/s.



Hình 8- Độ trễ trung bình các gói tin

Hàm phân bố tích lũy độ trễ trung bình các gói tin được chỉ ra trên hình 8. Như dự đoán, hệ thống sử dụng CoMP – DPS cho giá trị độ trễ trung bình là thấp hơn so với hệ thống truyền dẫn thông thường. Cụ thể là, thiết bị người dùng trong hệ thống sử dụng CoMP–DPS có khoảng 98% gói tin có độ trễ nhỏ hơn 20 ms và không có gói tin nào có độ trễ lớn hơn 40 ms. Đối với hệ thống truyền dẫn thông thường, chỉ có khoảng 82% thiết bị người dùng có độ trễ nhỏ hơn 20 ms và lên tới 65 ms.

## V. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng tôi đã đề xuất áp dụng cơ chế CoMP–DPS vào mạng truyền thông ánh sáng nhìn thấy. Chúng tôi đánh giá hiệu năng của hệ thống khi sử dụng CoMP–DPS so với truyền dẫn thông thường thông qua các thông số như thông lượng người dùng và độ trễ gói tin trung bình của UE ở rìa vùng phủ của VLC's AP. Cơ chế CoMP–DPS đã giải quyết được vấn đề cân bằng tải và dẫn đến thông lượng của những UE ở rìa vùng phủ được tăng lên đồng thời cũng làm giảm độ trễ gói tin trung bình so với truyền dẫn thông thường trong mạng truyền thông ánh sáng nhìn thấy.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Hao Ma, Ayman Mostafa, Lutz Lampe and Steve Hranilovic, "Coordinated Beamforming for Downlink Visible Light

Communication Networks", IEEE Transactions on Communications, Vol. 66, No. 8, pp: 3571-3582, 2018.

[2] Liang Yin, Xiping Wu, Harald Haas and Lajos Hanzo, "Low-Complexity SDMA User-Grouping for the CoMP-VLC Downlink", IEEE Global Communications Conference, pp: 1-6, 2015.

[3] Thanh-Tung Nguyen, "Link-Switching Scheme Using Multi Cooperative Access Points in Visible Light Communications", Bachelor thesis, University of Engineering and Technology, Vietnam National University Hanoi, 2017.

[4] A. Akbari, "Electromagnetic exposure from wireless communicational systems", Master of Science Thesis in Biomedical Engineering, Department of Signal and System, Chalmers University of Technology, Sweden, pp:10, 2012.

[5] Z.Ghassemlooy, W.Popoola, S.Rajbhandari, "Optical Wireless Communications: System and Channel Modelling with MATLAB", pp: 460, 2013.

[6] J. M. Kahn, J. R. Barry, "Wireless Infrared Communications," Proc. IEEE Journals & Magazines, Vol. 85, pp: 265-298, 1997.

[7] F. R. Gfeller, U. Bapst, "Wireless in-house data communication via diffuse infrared radiation," Proc. IEEE, Vol. 67, No. 11, pp: 1474-1486, 1979.

[8] T. Komine, M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights", IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol. 50, No. 1, pp: 100-107, Feb. 2004.

[9] T. Komine, "Visible Wireless Communication and Its Fundamental Study", Ph. D Dissertation, Keio University, Tokyo, Japan, pp: 21-22, 2005.

[10] Karavolos Michail, Vasileios Tatsis, Drakatos Panagiotis, Chondropilas Georgios, Nikolaos Nomikos, Dimitrios N. Skoutas, Demosthenes Vouyioukas and Charalabos Skianis, "A Load and Channel Aware Dynamic Point Selection Algorithm for LTE-A CoMP Networks", Department of Information & Communication Systems Engineering University of the Aegean, Greece Karlovassi, Samos Island, GR83200, 2016 International Conference on Telecommunications and Multimedia (TEMU), IEEE, 2016.

[11] Selcuk Bassooy, Hasan Farooq, Muhammad A. Imran, "Coordinated Multi-Point Clustering Schemes: A Survey", Senior Member, IEEE, and Ali Imran, Member, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 19, No. 2, 2017.

[12] Duy H. N. Nguyen, Long B. Le, Tho Le-Ngoc "Optimal Dynamic Point Selection for Power Minimization in Multiuser Downlink CoMP", IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 16, No. 1, 2017.

[13] Dr. Michelle M.Do, Dr. Harrison J. Son, "CoMP (1): CoMP Types – CS, CB, JT and DPS", Netmanias, tech-blog, Dec. 2014.