

# Đánh giá hiệu năng của các thuật toán phân bổ tài nguyên trong mạng truyền thông ánh sáng nhìn thấy sử dụng các chùm sáng định hướng

Dinh-Nguyen Nguyen  
Faculty of Electronics and  
Telecommunications, VNU - University of  
Engineering and Technology, Vietnam  
[nguyennnd.1995@gmail.com](mailto:nguyennnd.1995@gmail.com)

Duc-Quan Nguyen  
Humax Vietnam R&D Center,  
Vietnam  
[quandd57@gmail.com](mailto:quandd57@gmail.com)

Ngoc-Tan Nguyen, Nam-Hoang Nguyen  
Faculty of Electronics and  
Telecommunications, VNU - University of  
Engineering and Technology, Vietnam  
[nguyen.tan170@gmail.com](mailto:nguyen.tan170@gmail.com),  
[hoangnn@vnu.edu.vn](mailto:hoangnn@vnu.edu.vn)

**Tóm tắt** – Phân bổ tài nguyên là một trong những bài toán cấp thiết trong các hệ thống truyền thông đa truy cập. Trong bài báo này, chúng tôi sẽ đánh giá hiệu năng của ba thuật toán phân bổ tài nguyên là Round Robin, LBAA (Light Beam Allocation Algorithm) và thuật toán đề xuất i-LBAA (improved Light Beam Allocation Algorithm) sử dụng cấu hình các chùm sáng định hướng (beam). Các mô phỏng trên máy tính được thực hiện với hệ thống sử dụng thuật toán i-LBAA, LBAA và Round Robin để so sánh hiệu năng của hệ thống khi sử dụng các thuật toán thông qua các tham số tỉ lệ tín hiệu trên tạp âm SINR, thông lượng và độ trễ trung bình của các gói tin.

**Từ khóa** – Mạng truyền thông ánh sáng nhìn thấy (VLC), thuật toán phân bổ tài nguyên, OFDMA.

## I. GIỚI THIỆU

Với yêu cầu ngày càng cao về tốc độ truyền dữ liệu và chất lượng dịch vụ, cùng với đó là sự gia tăng chóng mặt các thiết bị di động không dây đã dẫn tới nhu cầu về phổ tần ngày càng tăng. Mạng truyền thông ánh sáng nhìn thấy (Visible Light Communication – VLC) được biết đến như là một công nghệ truyền thông không dây đầy hứa hẹn với khả năng giải quyết bài toán về băng thông.

Để nâng cao chất lượng dịch vụ cũng như giải quyết bài toán đa truy cập trong mạng VLC, cấu hình trạm phát sử dụng nhiều chùm sáng định hướng (multi-orientated beams) với góc bức xạ nhỏ hơn đã được sử dụng trong các nghiên cứu trước đây [1-3]. Trong bài báo [1], tác giả đã phân tích cấu hình trạm phát nhiều chùm sáng định hướng với cấu hình trạm phát một chùm sáng (single beam). Trong bài báo [3], tác giả đã sử dụng cấu hình trạm phát nhiều chùm sáng nhằm giải quyết bài toán triệt bộ nhiễu đồng kênh (CCI) giữa các trạm phát liền kề. Bộ điều chế quang không gian (SLM) được sử dụng trong bài báo [2] là một thiết bị quang có khả năng điều chế biên độ và pha của ánh sáng. SLM có thể tập trung ánh sáng theo các hướng của mục tiêu mong muốn (ví dụ, các thiết bị di động cầm tay). Tuy nhiên, phương pháp này có nhược điểm là tại một thời điểm chỉ có một beam được phép hoạt động, do đó không thể giải quyết được bài toán đa truy cập, đồng thời không đảm bảo được yêu cầu về chiếu sáng thông thường.

Trong nghiên cứu trước đây [4], chúng tôi đã đề xuất thuật toán LBAA (Light Beam Configuration Algorithm) cho phép tính toán cấu hình cho trạm phát (điểm truy cập – AP) và phân bổ trạm phát trong phòng có kích thước bất kỳ nhằm đảm bảo yêu cầu về chiếu sáng cũng như đảm bảo sự kết nối liên tục khi người dùng di chuyển trong phòng. Ngoài ra, bằng việc sử dụng phương pháp điều chế OFDMA, chúng tôi cũng đã đề xuất thuật

toán phân bổ tài nguyên LBAA (Light Beam Allocation Algorithm) cho các beam nhằm loại bỏ hoàn toàn nhiễu CCI nhằm nâng cao hiệu năng của hệ thống so với hệ thống sử dụng thuật toán Round Robin. Trong thuật toán LBAA, một danh sách các AP được tạo ra bằng cách sắp xếp các AP theo thứ tự giảm dần của số gói tin trong hàng đợi của các beam có số gói tin đến lớn nhất. Tiếp đó, các beam có số lượng gói tin trong hàng đợi lớn nhất sẽ lần lượt được cấp phát tài nguyên theo danh sách AP ở trên nếu như không gây nhiễu CCI lên beam thuộc AP được cấp phát trước đó.

Thuật toán LBAA tồn tại một nhược điểm gây ra sự suy giảm hiệu năng hệ thống. Sau khi các AP được sắp xếp vào danh sách, việc cấp phát tài nguyên được thực hiện bằng các beam thỏa mãn điều kiện về CCI. Tuy nhiên, với việc chỉ sắp xếp độ ưu tiên giữa các AP dựa vào beam có số gói tin trong hàng đợi lớn nhất của mỗi AP nên khi beam này bị loại do không thỏa mãn điều kiện về CCI thì độ ưu tiên sẽ không còn được đảm bảo giữa các AP. Vì vậy, chúng tôi đề xuất thuật toán phân bổ tài nguyên i-LBAA nhằm giúp loại bỏ nhược điểm của phương pháp LBAA bằng cách sử dụng một danh sách chứa tất cả các beam của tất cả các AP. Danh sách ưu tiên được sắp theo thứ tự giảm dần của số gói tin trong hàng đợi của tất cả các UE trong mỗi beam. Quá trình chọn các beam để truyền dữ liệu của mỗi AP sẽ được thực hiện lần lượt theo thứ tự ưu tiên của danh sách này. Do đó, các beam đang có lượng gói tin trong hàng đợi lớn được đảm bảo ưu tiên trong việc được chọn để truyền dữ liệu.

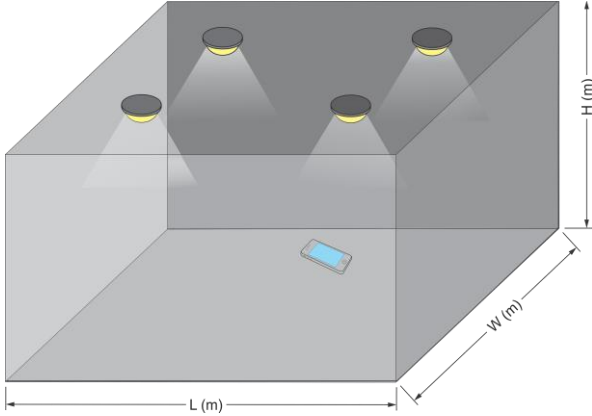
Bài báo được trình bày theo trình tự như sau: Mô hình hệ thống sẽ được mô tả trong mục II. Trong mục III, chúng tôi tóm tắt lại thuật toán phân bổ tài nguyên LBAA, đồng thời thuật toán phân bổ tài nguyên i-LBAA cũng được trình bày chi tiết trong mục này. Các kết quả mô phỏng được thực hiện và phân tích trong mục IV. Cuối cùng, kết luận của bài báo được đưa ra trong mục V.

## II. MÔ HÌNH HỆ THỐNG

### A. Cấu hình điểm truy cập sử dụng các chùm sáng định hướng

Mô hình phòng thông thường với kích thước  $W \times L \times H$  m<sup>3</sup> được giả sử để xây dựng một hệ thống kết hợp chiếu sáng và truyền thông không dây sử dụng ánh sáng nhìn thấy (VLC) trong môi trường trong nhà (xem Hình 1). Mô hình truyền thông với các điểm truy cập (AP) sử dụng các chùm sáng định hướng được bố trí đều trên trần của căn phòng. Các thiết bị đầu cuối di động (UE) gồm hai loại: các UE tĩnh được phân bố đều trong phòng và các UE di động được sinh ra ngẫu nhiên (tại thời điểm, vị trí bất kỳ) với vận tốc tối đa  $V_{max}$ . Các thiết bị đầu cuối được giả sử

nằm trên mặt phẳng thu nhận tín hiệu nằm ngang có góc nhìn (Field of View-FOV)  $\psi_c$ . Mỗi AP là một mảng đèn LED dùng cho việc chiếu sáng và truyền dữ liệu, được thiết kế đặc biệt bao gồm  $N_b$  chùm sáng định hướng (beam), trong đó, một beam ở chính giữa với góc định hướng vuông góc với trần nhà, ( $N_b-1$ ) beam còn lại được đặt xung quanh beam chính giữa với góc định hướng  $\theta$  khác nhau sao cho mỗi AP phủ được một vùng có diện tích cố định trong phòng (xem Hình 2). Mỗi một beam phát ra một chùm tia sáng (light beam) với góc nửa công suất  $half_{beam}$ . Một bộ điều khiển trung tâm (Coordinator) được sử dụng để điều khiển hoạt động của các AP trong phòng.

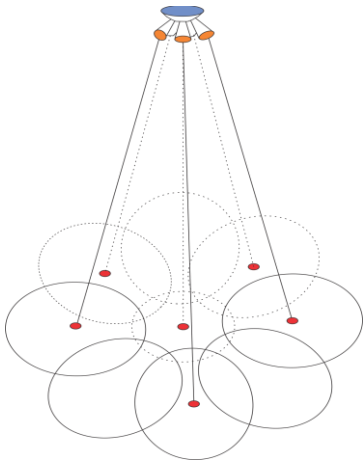


Hình 1. Cấu tạo của phòng

Với cấu hình của AP như vậy, để duy trì được việc truyền dữ liệu một cách liên tục, đồng thời đảm bảo được yêu cầu chiếu sáng đồng đều trong cả phòng thì có hai vấn đề cần đặt ra trong việc thiết kế, đó là:

1. Đảm bảo không có vùng mù giữa các vùng phủ của các beam trong cùng một AP.
2. Đảm bảo không có vùng mù giữa các vùng phủ của các AP với nhau.

Trước tiên, điều kiện thiết kế các beam được xem xét sao cho không có vùng mù trong cùng một điểm truy cập. Đèn LED YZ-WS5N40N được sử dụng với góc nửa công suất  $half_{beam} = 20^\circ$ . Dựa trên thuật toán LBC trong bài báo [4], chúng ta có thể tính được số beam tối ưu là 9 và góc định hướng beam là  $\theta \leq 37,25^\circ$ .



Hình 2. Cấu hình trạm phát (AP) sử dụng  $N_b$  beam và vùng phủ của chúng trên mặt phẳng nhận tín hiệu.

Ngoài ra, thuật toán LBC còn cho phép tính toán được số AP và vị trí của chúng cho việc lắp đặt chúng nhằm thỏa mãn điều kiện thứ hai đó là không có vùng giữa các AP lân cận.

## B. Kênh truyền quang không dây đường xuống

Kênh truyền sử dụng ánh sáng nhìn thấy được dùng cho kênh đường xuống với hệ số kênh được cho bởi [5] như sau:

$$G = \begin{cases} \frac{(m+1).A}{2\pi D_d^2} \cos^m(\phi) T_s(\psi) g_s(\psi) \cos(\psi), & 0 \leq \psi \leq FOV \\ 0, & \psi > FOV \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó,  $A$  là diện tích vùng thu ánh sáng vật lý của Photo-detector (PD),  $D_d$  là khoảng cách giữa máy phát và máy thu,  $\psi$  là góc tới tại máy thu,  $T_s(\psi)$  là độ lợi của bộ lọc quang,  $FOV$  là góc nhận ánh sáng cực đại tại máy thu,  $g(\psi)$  là độ lợi của bộ tập trung quang được cho bởi [5]:

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

trong đó,  $n$  là chỉ số khúc xạ.

Trong bài báo này, kỹ thuật điều chế OFDMA cho kênh đường xuống. Các biểu tượng trong băng thông góc được điều chế thành các biểu tượng OFDM bằng việc sử dụng biến đổi Fourier nhanh ngược (IFFT). Tín hiệu đầu ra tại LED là tín hiệu thực, do đó khối Hermertian đối xứng được thêm vào để chuyển thành tín hiệu thực mong muốn. Sau đó, tín hiệu được chuyển đổi từ tín hiệu số sang tín hiệu tương tự bằng bộ biến đổi D/A. Biểu tượng OFDM trong miền thời gian thực được biểu diễn như sau:

$$x_m = \frac{1}{\sqrt{N_{sc}}} \sum_{k=0}^{N_{sc}-1} X_k \exp\left(\frac{j2\pi km}{N_{sc}}\right) \quad (3)$$

trong đó,  $X_k$  là biểu tượng dữ liệu được truyền trên sóng mang con  $k$ ,  $m$  là hệ số lấy mẫu hay hệ số thời gian.

Băng thông của hệ thống được chia ra thành  $N_{sc}$  sóng mang con. Những sóng mang con OFDMA được nhóm lại thành những khối liên kế với  $n_{sc}$  sóng mang con và  $n_{os}$  symbol OFDM [6], những khối này được gọi là các đơn vị tài nguyên RU. Giả sử, trong mỗi AP có một nhóm RU:

$$RU = \{RU_x\}, \quad x \in \{1, \dots, N_{ru}\}$$

trong đó,  $N_{ru}$  là số RU dành cho một AP.

Để đánh giá tỉ lệ tín hiệu trên nhiễu (SINR), công suất tín hiệu nhận được và tín hiệu nhiễu trên một đơn vị tài nguyên của  $UE_\mu$  được tính lần lượt như sau [4]:

$$R_\mu^{\alpha i} = E\left[|Y^{des}|^2\right] = E\left[\left|R_F R_{pd} G_{\alpha^i, \mu} X_{\alpha^i}\right|^2\right] \quad (4)$$

$$I_\mu = \sum E\left[|Y^{inf}|^2\right] = \sum_{\beta^j \in P} E\left[\left|R_F R_{pd} G_{\beta^j, \mu} X_{\beta^j}\right|^2\right] \quad (5)$$

trong đó, hệ số gain kênh  $G_{\alpha^i, \mu}$  với chỉ số dưới thứ nhất biểu thị AP và chỉ số dưới thứ hai biểu thị UE.  $X_{\alpha^i}$  biểu diễn symbol được truyền bởi AP  $\alpha$  trong beam thứ  $i$ .  $P$  là tập hợp các beam

sử dụng cùng đơn vị tài nguyên tác động đến UE  $\mu$  từ các AP lân cận.

Tỉ lệ tín hiệu trên nhiễu (SINR) tại  $UE_\mu$  được cho bởi:

$$\zeta_\mu^{\alpha^i} = \frac{\left(R_F R_{pd} G_{\alpha^i, \mu} \rho\right)^2}{\sum_{\beta^j \in P} \left(R_F R_{pd} G_{\beta^j, \mu} \rho\right)^2 + N} \quad (6)$$

trong đó,  $\rho^2$  là công suất điện trên mỗi sóng mang con.  $N$  là công suất nhiễu thu được trên mỗi sóng mang con được biểu diễn như sau:

$$N = 2qR_{pd}P_{am}B_{sc} + \frac{4k_B T B_{sc}}{R_F} \quad (7)$$

$P_{am}$  là cường độ ánh sáng bên ngoài nhận được bởi Photodetector,  $B_{sc}$  là băng thông của một sóng mang con,  $q = 1.6 \times 10^{-19} C$ ,  $k_B$  là hằng số Boltzmann.  $T$  là nhiệt độ tuyệt đối (°K).

### III. QUẢN LÝ PHÂN BỐ TÀI NGUYÊN

#### A. Thuật toán phân bố tài nguyên LBAA

Trong mô hình hệ thống trong bài báo [4], một bộ điều khiển trung tâm (Coordinator) được sử dụng để kết nối tất cả các AP. Coordinator được sử dụng để điều khiển và quyết định beam nào được chọn để thực hiện truyền dữ liệu của mỗi AP trong mỗi khe thời gian của một khung truyền dữ liệu dựa trên thông tin về số lượng gói tin trong hàng đợi của các UE và ảnh hưởng CCI của các beam thuộc các AP lân cận có vùng chồng lấn với beam đó, gọi là điều kiện CCI (xem Bảng III – các beam chồng lấn trong [4]). Để thỏa mãn điều kiện CCI cho beam được xét thì các beam thuộc AP lân cận có chồng lấn với beam được xét phải đang không hoạt động. Tại mỗi khe thời gian, chỉ có duy nhất một beam thuộc mỗi AP được cấp phép truyền dữ liệu. Sau khi Coordinator tìm ra được beam thích hợp thuộc AP đang xét để tiến hành truyền dữ liệu, thông tin này được gửi về AP đang xét và nó sẽ quyết định phân bố các đơn vị tài nguyên (RU) cho các UE nằm trong beam được chọn. Mỗi RU được cấp phát lần lượt cho UE có lượng gói tin lớn nhất trong hàng đợi của beam được chọn.

Việc sắp xếp thứ tự ưu tiên trong danh sách các AP và danh sách các beam của mỗi AP được thực hiện như sau:

1. Sắp xếp các danh sách các beam thuộc mỗi AP theo thứ tự giảm dần của tổng số gói tin  $Q_{total}$  có trong hàng đợi của tất cả các UE thuộc cùng một beam. Gọi beam đang có tổng số gói tin trong hàng đợi lớn nhất thuộc mỗi AP là  $b_{max}$ .
2. Sắp xếp danh sách các AP theo thứ tự giảm dần của  $Q_{total}$  beam  $b_{max}$  thuộc mỗi AP.

#### B. Thuật toán phân bố tài nguyên i-LBAA

Trong quá trình xét chọn beam của thuật toán LBAA, danh sách AP chỉ được sắp xếp một lần duy nhất dựa theo  $b_{max}$  trong mỗi một khe thời gian. Trong trường hợp beam  $b_{max}$  thuộc một AP nào đó bị nhiễu CCI, các beam tiếp theo trong danh sách

beam của AP đó sẽ lần lượt được kiểm tra điều kiện CCI, beam nào thỏa mãn điều kiện CCI thì sẽ được chọn để truyền dữ liệu. Tuy nhiên, việc lựa chọn beam như vậy sẽ có thể làm giảm hiệu năng của hệ thống. Thứ nhất, beam được chọn có thể có  $Q_{total}$  thấp hơn các beam thuộc các AP được xét sau đó. Thứ hai, các beam đang có  $Q_{total}$  lớn thuộc các AP liền sau AP đang xét có khả năng bị loại do có thể có vùng chồng lấn với beam được chọn thuộc AP đang xét. Vì vậy, chúng tôi đề xuất thuật toán quản lý tài nguyên i-LBAA để các đảm bảo các beam đang có lượng gói tin trong hàng đợi lớn sẽ được ưu tiên truyền trước.

Giả sử, ta có một danh sách bao gồm các beam của tất cả các AP ( $listAllbeam$ ). Các bước chọn beam được truyền dữ liệu của thuật toán i-LBAA được mô tả như sau:

#### Thuật toán i-LBAA

1. **Bước 1:** Sắp xếp thứ tự danh sách ưu tiên các beam của tất cả các AP ( $listAllbeam$ ) theo thứ tự giảm dần tổng lượng gói tin trong hàng đợi của tất cả các UE trong mỗi beam ( $Q_{total}$ ).
2. **Bước 2:** Xét điều kiện CCI lần lượt các beam trong danh sách  $listAllbeam$  với các beam đã được chọn để truyền dữ liệu trước đó :

- *Trường hợp 1:* Nếu beam đang xét không thỏa mãn điều kiện CCI thì beam này sẽ được xóa khỏi danh sách  $listAllbeam$ . Quay lại Bước 2 để xét các beam còn lại.
- *Trường hợp 2:* Nếu beam đang xét thỏa mãn điều kiện CCI thì beam này sẽ là beam được chọn để truyền dữ liệu. Tất cả các beam thuộc cùng AP với beam này sẽ được xóa khỏi danh sách  $listAllBeam$  (do tại mỗi khe thời gian chỉ có một beam thuộc mỗi AP được truyền dữ liệu). Quay lại Bước 2 để xét các beam còn lại.

Để mô tả chi tiết thuật toán i-LBAA, ta sử dụng danh sách  $listAllBeam$  đã được sắp xếp theo thứ tự ưu tiên như minh họa ở Hình 3.

Các phần tử trong danh sách trên là các beam  $b_x^y$ , trong đó,  $x$  là chỉ số của beam trong AP thứ  $y$ . Đầu tiên, beam  $b_8^1$  được chọn để truyền dữ liệu của AP1 (vì beam này được xét đầu tiên nên sẽ thỏa mãn điều kiện CCI). Lúc này, các beam thuộc AP1 sẽ được xóa khỏi danh sách  $listAllBeam$ . Bước tiếp theo, điều kiện CCI được tiến hành kiểm tra với beam  $b_4^2$ . Dựa vào bảng III trong [4] thì beam  $b_4^2$  là beam có vùng chồng lấn với beam  $b_8^1$  đã được chọn truyền dữ liệu trước đó. Vì vậy, nó không thỏa mãn điều kiện CCI nên nó bị xóa khỏi danh sách  $listAllBeam$ . Tiếp tục xét điều kiện với CCI beam  $b_2^{15}$ , do nó không có vùng chồng lấn với beam  $b_8^1$  nên nó thỏa mãn điều kiện CCI và được chọn để truyền dữ liệu của AP15. Đồng thời, các beam thuộc AP15 được xóa khỏi danh sách  $listAllBeam$ . Cứ tương tự như thế ta sẽ tiến hành xét điều kiện CCI lần lượt các beam tiếp theo trong danh sách  $listAllBeam$  để tìm ra các beam được chọn để truyền dữ liệu của mỗi AP.

Sau khi chọn được các beam để thực hiện truyền dữ liệu của mỗi AP, quá trình phân bố các đơn vị tài nguyên cho UE thuộc các beam được thực hiện tương tự thuật toán LBAA.



Hình 3. Danh sách *listAllBeam*.

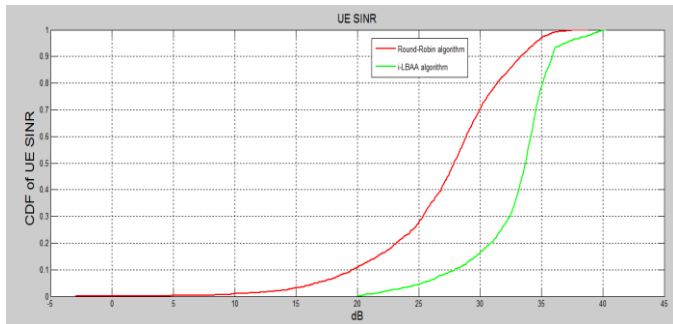
#### IV. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Mô hình phòng với kích thước  $10 \times 10 \times 3$  (m) với 16 AP được sử dụng để tiến hành mô phỏng các hệ thống khác nhau: i-LBAA, LBAA và Round-Robin. Giả sử, các UE tĩnh và động có bộ nhận nằm trên mặt phẳng ở độ cao 1 (m) và có góc FOV hướng lên trần. Các UE tĩnh được phân bố đều trong phòng, trong khi các UE động được sinh ra ngẫu nhiên với vận tốc di chuyển tối đa là 0.3 (m/s). Các tham số hệ thống được liệt kê chi tiết trong bảng IV.

BẢNG IV: THÔNG SỐ MÔ PHỎNG

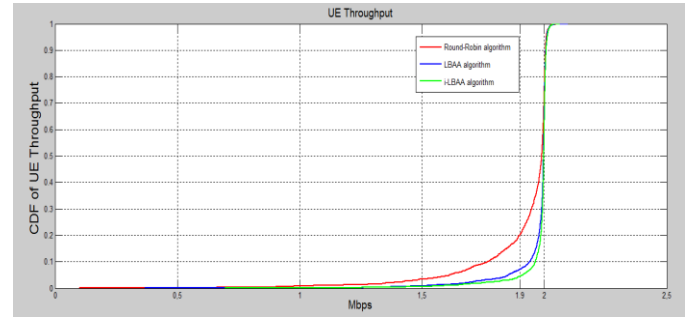
|  |                   |
|--|-------------------|
| Thời gian mô phỏng $T_g$                 | 3600 (giây)       |
| Vận tốc tối đa của UE $v_{max}$          | 0.3 (m/s)         |
| Thời gian một khe thời gian $t_{ts}$     | 0.001 (giây)      |
| Frame                                    | 4 (khe thời gian) |
| Băng thông $B_{bw}$                      | 20 (Mb)           |
| Kích thước gói tin $Packet_{size}$       | 2 (Kb)            |
| Tỉ lệ kết nối mới xuất hiện              | 3 (kết nối/phút)  |
| Số lượng AP $N_{AP}$                     | 16                |
| Góc nửa công suất của beam $half_{beam}$ | $20^0$            |
| Góc hướng beam $\theta$                  | $37^0$            |
| Số lượng beam của mỗi AP $N_b$           | 9                 |
| Chiều dài của phòng $L$                  | 10 (m)            |
| Chiều rộng của phòng $W$                 | 10 (m)            |
| Chiều cao của phòng $H$                  | 3 (m)             |
| Chiều cao của UE $h_{user}$              | 1 (m)             |

Để đánh giá hiệu năng của các thuật toán, các mô phỏng về các tham số hiệu năng như tỉ số tín hiệu trên tạp âm SINR, thông lượng, và độ trễ trung bình của các gói tin được thực hiện đối với cả ba thuật toán: i-LBAA, LBAA và Round-Robin. Thông qua việc so sánh kết quả mô phỏng giữa các thuật toán, thuật toán cấp phát tài nguyên i-LBAA được chứng minh là giúp hệ thống có hiệu năng tốt hơn so với các thuật toán khác.



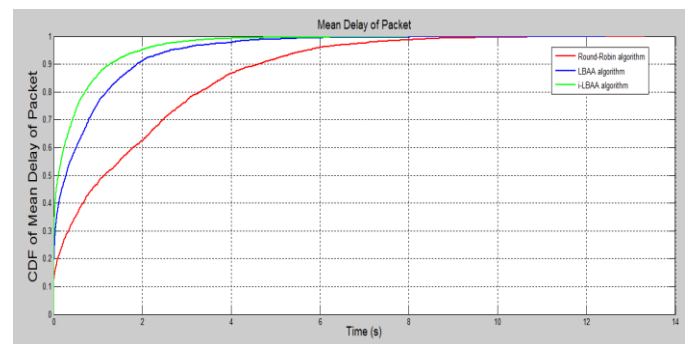
Hình 4. Hàm phân bố tích lũy tỉ số tín hiệu trên nhiễu (SINR).

Hình 4 biểu diễn hàm phân bố tích lũy CDF của tỉ số tín hiệu trên nhiễu SINR tại bộ nhận của các UE. Kết quả mô phỏng cho thấy khi áp dụng thuật toán i-LBAA, tất cả các UE đều có thông số SINR lớn hơn 20dB, trong khi, hơn 10% tổng số UE khi áp dụng thuật toán Round-Robin có SINR nhỏ hơn 20dB. Tại mức 33dB, 90% UE thuộc hệ thống sử dụng Round-Robin đạt mức SINR này, trong khi đó, con số này ở hệ thống áp dụng thuật toán i-LBAA, chỉ xấp xỉ 50%. Như vậy, ta dễ dàng nhận thấy nhờ việc loại bỏ hoàn toàn CCI, các hệ thống VLC sử dụng thuật toán i-LBAA cho tỉ lệ SINR nhận được ở các UE tốt hơn nhiều so với các hệ thống áp dụng thuật toán Round-Robin.



Hình 5. Hàm phân bố tích lũy thông lượng của UE.

Hàm phân phối tích lũy giá trị thông lượng đạt được của các UE trong các hệ thống VLC khác nhau được đưa ra trong Hình 5. Đối với các hệ thống VLC sử dụng thuật toán đề xuất i-LBAA, trên 95% UE đạt được thông lượng lớn hơn 1.9Mbps. Trong khi đó, chỉ có 80% UE đạt được thông lượng lớn hơn 1.9Mbps trong hệ thống VLC sử dụng Round-Robin và con số này tốt hơn đối với các hệ thống sử dụng thuật toán LBAA là 92%. Kết quả mô phỏng thông lượng của UE cho thấy cơ chế ưu tiên chọn các beam có  $Q_{total}$  lớn hơn được truyền dữ liệu trước của thuật toán i-LBAA giúp nâng cao thông lượng cho các UE hơn hệ thống sử dụng thuật toán Round-Robin và LBAA.



Hình 6. Hàm phân bố tích lũy thời gian trễ trung bình các gói tin.

Bằng việc ưu tiên các beam có  $Q_{total}$  lớn của các AP, hệ thống sử dụng thuật toán i-LBAA cho giá trị trễ trung bình của các gói tin thấp hơn tương đối so với các hệ thống áp dụng thuật toán LBAA và thấp hơn nhiều so với thuật toán Round-Robin. Cụ

thể, hơn 50% UE trong hệ thống sử dụng i-LBAA có thời gian trễ trung bình trong quá trình truyền gói tin nhỏ hơn 0.1 giây, trong khi đó, chỉ có 20% số UE đạt được độ trễ này đối với các hệ thống sử dụng Round-Robin và 40% đối với các hệ thống sử dụng LBAA (xem Hình 6). Khi độ trễ trung bình của các gói tin lên đến 2 giây, chỉ có 5% số UE của hệ thống sử dụng thuật toán i-LBAA có độ trễ này so với 9% số UE trong hệ thống sử dụng thuật toán LBAA và 37% số UE trong hệ thống dùng thuật toán Round Robin cổ điển.

## V. KẾT LUẬN

Bài báo này đã đánh giá hiệu năng của các thuật toán phân bổ tài nguyên khác nhau thông qua các thông số như SINR, độ trễ, thông lượng. Thuật toán i-LBAA đã giải quyết hạn chế của thuật toán LBAA trong quá trình xét chọn các beam thuộc các AP. Bằng cách sử dụng một danh sách chứa các beam của tất cả các AP và sắp xếp thứ tự ưu tiên theo tổng lượng gói tin trong hàng đợi của tất cả các UE trong mỗi beam đã đảm bảo cho các beam đang có lưu lượng phục vụ lớn luôn được ưu tiên để truyền dữ liệu. Điều này dẫn đến thông lượng đạt được của các UE trong hệ thống sử dụng thuật toán i-LBAA tăng lên, đồng thời cũng làm giảm độ trễ trung bình của các gói tin trong quá trình truyền tin so với hệ thống sử dụng thuật toán LBAA và hệ thống VLC thông thường.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Y. S. Eroglu, A. Sahin, I. Guvenc, N. Pala, and M. Yuksel, "Multi-Element Transmitter Design and Performance Evaluation for Visible Light Communication," IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), 2015.
- [2] Kim, Sung-Man, and Seong-Min Kim. "Performance improvement of visible light communications using optical beamforming." Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), 2013 Fifth International Conference on. IEEE, 2013.
- [3] Chen, Cheng, Dobroslav Tsonev, and Harald Haas. "Joint transmission in indoor visible light communication downlink cellular networks." Globecom Workshops (GC Wkshps), 2013 IEEE. IEEE, 2013.
- [4] Duc-Quan Nguyen, Ngoc-Tan Nguyen, and Nam-Hoang Nguyen, "Light Beam Allocation Algorithm for Eliminating Interference in Visible Light Communications," Accepted paper at IEEE ATC'2016, Hanoi.
- [5] T. Komine and Masao Nakagawa. "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights." Consumer Electronics, IEEE Transactions on 50.1 (2004): 100-107.
- [6] Ghimire, Birendra, and Harald Haas. "Self-organising interference coordination in optical wireless networks." EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking 2012.1 (2012): 1-15.