

# ẢNH HƯỞNG CỦA CẤU HÌNH NÚT CHUYỂN TIẾP ĐẾN CHẤT LƯỢNG MẠNG CỦA BLUETOOTH LƯỚI ỨNG DỤNG TRONG HỆ THỐNG CHIẾU SÁNG TRONG NHÀ

*Phan Văn Hải\**, *Nguyễn Đức Thọ†*  
*Email: pvhai12@hou.edu.vn*

Ngày tòa soạn nhận được bài báo: 02/11/2023

Ngày phản biện đánh giá: 18/06/2024

Ngày bài báo được duyệt đăng: 26/06/2024

DOI: 10.59266/houjs.2024.418

**Tóm tắt:** Hiện nay, công nghệ truyền thông không dây Bluetooth lưới (Bluetooth mesh - BM) đang rất phát triển và có nhiều ứng dụng, trong đó, phổ biến là ứng dụng trong các hệ thống chiếu sáng trong nhà. Khi triển khai một mạng BM, có nhiều thông số cấu hình mà hiện tại, người dùng phải tự lựa chọn như số lần truyền lại tin nhắn, thời gian giữa các lần truyền, tính năng chuyển tiếp tin nhắn, TTL (time-to-live)... Và để cung cấp thêm cơ sở cho việc lựa chọn thông số cấu hình phù hợp, nghiên cứu này sẽ thực hiện đánh giá sự ảnh hưởng của một trong các thông số cấu hình này tới chất lượng của mạng. Cụ thể, nghiên cứu sẽ sử dụng mô phỏng để đánh giá thông số cấu hình là tính năng chuyển tiếp của nút mạng, và tiêu chí đánh giá chất lượng mạng là độ trễ điểm-tới-điểm và tỉ lệ chuyển giao gói tin với kịch bản là hệ thống chiếu sáng trong nhà.

**Từ khóa:** Bluetooth lưới, chiếu sáng thông minh, cấu hình mạng, nút chuyển tiếp, chất lượng mạng.

## I. Đặt vấn đề

Bluetooth lưới (BM) được phát hành vào năm 2017 là bước phát triển lớn của Bluetooth. BM cho phép kết nối hàng nghìn thiết bị trong một mạng, đem đến khả năng mở rộng rất lớn, đóng góp vào sự phát triển của internet vạn vật hiện nay. BM được ứng dụng trong nhiều lĩnh

vực, phổ biến là hệ thống điều khiển chiếu sáng, hệ thống giám sát, các thiết bị gắn nhãn... Theo dự báo của Bluetooth [1], tới năm 2027, có khoảng 7.6 tỷ thiết bị Bluetooth được sản xuất, trong đó, ứng dụng điều khiển chiếu sáng chiếm khoảng 27%. Hệ thống chiếu sáng thường được triển khai trong môi trường trong nhà như văn phòng, cửa hàng bán lẻ, nhà máy hay

---

\* Trường Đại học Mở Hà Nội

† Bệnh viện đa khoa tỉnh Đắk Nông

các trung tâm thương mại, nhằm tiết kiệm năng lượng, nâng cao hiệu quả vận hành và trải nghiệm người dùng [2].

Việc nâng cao trải nghiệm người dùng chính là nâng cao chất lượng mạng, ví dụ như độ trễ truyền tin giữa điểm-điểm (End-to-end delay – E2ED), tỉ lệ chuyển giao thành công gói tin (Packet delivery ratio – PDR)... PDR là một trong các tiêu chí quan trọng nhất để đánh giá chất lượng của mạng, và chúng ta luôn mong muốn giá trị PDR này là 100%, tức là gói tin nào gửi đi trong mạng cũng đều đến được tới đích. Ví dụ, người dùng ra yêu cầu tắt 100 đèn thì 100 đèn phải tắt, không thể chỉ có 99 đèn tắt, 1 đèn vẫn còn sáng. Tuy nhiên, trong mạng không dây, để đạt PDR 100% là điều khó, vì có nhiều yếu tố có thể dẫn đến việc gói tin truyền trong không khí bị mất như vật cản, suy hao, nhiễu, hay xung đột do cùng một thời điểm có quá nhiều thiết bị gần nhau cùng truyền... Và vì BM là một loại mạng không dây nên cũng sẽ đối mặt với những vấn đề này. Đối với E2ED, chúng ta luôn muốn giá trị càng nhỏ càng tốt. Ví dụ, người dùng ra yêu cầu bật 100 đèn, nếu E2ED lớn, thì khoảng cách thời gian giữa các bóng đèn được bật lên sẽ lớn, điều này tạo cảm giác hệ thống không chạy mượt mà; còn nếu E2ED rất nhỏ, thì các bóng đèn sẽ bật lên gần như đồng thời và tức thì, sẽ đem đến trải nghiệm tốt hơn.

Trong chuẩn BM, có nhiều cấu hình ảnh hưởng đến việc gửi đi một tin nhắn như thời gian giữa các lần gửi, số lần gửi lại một gói tin, số lượng nút tham gia chuyển tiếp gói tin, và số lượng hop hay TTL mà gói tin có thể được gửi lại trong mạng... Do vậy, cần thiết để biết được hoặc đánh giá được sự ảnh hưởng, tác động của các

cấu hình này đến chất lượng của mạng, để từ đó có cơ sở lựa chọn cấu hình phù hợp. Mặc dù có nhiều thông số cấu hình, cũng như nhiều tiêu chí về chất lượng mạng, nhưng ở nghiên cứu này, tác giả sẽ chỉ chọn một thông số cấu hình là tính năng nút chuyển tiếp để đánh giá chất lượng về hai tiêu chí là E2ED và PDR, những thông số và tiêu chí khác sẽ thử nghiệm ở các nghiên cứu sau. Và như đã nêu ở trên, BM được ứng dụng nhiều trong hệ thống chiếu sáng trong nhà, nên nghiên cứu sẽ lấy kịch bản là hệ thống chiếu sáng trong nhà để thực hiện đánh giá.

## **II. Kiến trúc và một số khái niệm của Bluetooth lưới**

BM là một giao thức mạng có kiến trúc phân lớp được xây dựng dựa trên ngăn xếp giao thức BLE (Bluetooth Low Energy) mà Bluetooth đã xây dựng trước. Theo đặc tả Mesh Profile [3], các lớp từ trên xuống dưới của BM như sau:

- Lớp mô hình: Thực hiện việc chuẩn hóa các yêu cầu của người dùng hoặc từ các lớp cao hơn khác thành các mô được quy định trong Bluetooth Mesh Model [4].

- Lớp mô hình nền tảng: Triển khai các trạng thái, tin nhắn và mô hình cần thiết để quản lý và cấu hình mạng.

- Lớp truy cập: Quy định, kiểm soát định dạng, mã hóa và giải mã dữ liệu ứng dụng.

- Lớp vận truyền trên: Cung cấp tính bảo mật của tin nhắn truy cập thông qua việc mã hóa, giải mã và xác thực dữ liệu ứng dụng.

- Lớp vận chuyển dưới: Xử lý việc phân đoạn hay lắp ráp các tin nhắn.

- Lớp mạng: Xác định xem tin nhắn có được nhận để xử lý tiếp hay chuyển tiếp tin nhắn đi hay không, đồng thời cũng mã hóa và xác thực dữ liệu.

- Lớp mang: Quy định cách trao đổi tin nhắn giữa các nút.

- Lớp đặc tả lỗi BLE: Lớp này sử dụng ngăn xếp BLE.

Các thiết bị thuộc một mạng BM được gọi là nút (Node) hay thiết bị đã được cấp phép, còn những thiết bị khác gọi là thiết bị không được cấp phép. Trong mỗi nút sẽ có các phần tử (Element) được định danh bởi một địa chỉ. Một nút phải có ít nhất một phần tử, và địa chỉ của phần tử đầu tiên được coi là địa chỉ của nút đó. Trong BM có 3 loại địa chỉ: đơn (Unicast), nhóm (Group) và ảo (Virtual). Khi một nút gửi tin nhắn sẽ kèm theo địa chỉ đích của tin nhắn. Nếu địa chỉ đích là loại địa chỉ đơn, thì chỉ có một nút sẽ được nhận tin nhắn đó, trong khi nếu gửi tới loại địa chỉ nhóm hoặc ảo, thì có thể có nhiều nút cùng nhận được tin nhắn đó. BM xây dựng cơ chế trao đổi tin nhắn này là cơ chế xuất bản/đăng ký (publish/subscribe). Tức là một nút muốn gửi tin nhắn đi, nó sẽ thực hiện việc xuất bản tin nhắn đó đi, và các nút nhận sẽ thực hiện đăng ký theo địa chỉ, nếu nút nào nhận được tin nhắn có địa chỉ là địa chỉ nó đã đăng ký thì nút đó sẽ xử lý tin nhắn đó. Các tin nhắn trong BM có thể chia làm 2 loại là loại tin nhắn có phản hồi (nút nhận cần gửi tin nhắn phản hồi lại cho nút gửi) và loại tin nhắn không phản hồi (nút nhận không cần gửi tin nhắn phản hồi lại cho nút gửi). Cơ chế trao đổi tin nhắn cùng với loại địa chỉ nhóm rất phù hợp cho các hệ thống chiếu sáng. Bởi vì chúng ta thường điều khiển

nhiều đèn cùng lúc, thì khi sử dụng mạng BM, chúng ta chỉ cần cài đặt các đèn đó đăng ký tới một địa chỉ nhóm nào đó, và khi muốn điều khiển cả nhóm này, chỉ cần xuất bản tin nhắn tới địa chỉ nhóm, thay vì phải xuất bản yêu cầu tới từng đèn, sẽ mất rất nhiều thời gian.

Các nút trong BM ngoài chức năng cơ bản là trao đổi tin nhắn, chúng có thể được cấu hình để có thêm một số chức năng khác gồm:

- Tính năng chuyển tiếp (Relay): nút có tính năng chuyển tiếp có thể gọi là nút chuyển tiếp (Relay node). Theo cấu hình của BM, mọi nút được đặt mặc định là nút chuyển tiếp. Nút chuyển tiếp cho phép phát lại tin nhắn nó nhận được, từ đó tin nhắn có thể lan truyền đi toàn mạng. Mỗi tin nhắn khi được xuất bản, nó sẽ được đặt một giá trị TTL (Time To Live, giá trị tối đa và mặc định là 127), giá trị này cho biết tin nhắn này có thể được chuyển tiếp bao nhiêu lần. Khi một nút chuyển tiếp nhận được một tin nhắn, nếu nút thấy tin nhắn này có thể chuyển tiếp được, và giá trị TTL vẫn còn lớn hơn 1 thì tin nhắn đó sẽ được chuyển tiếp, đồng thời TTL sẽ bị giảm đi 1. Đây là tính năng giúp hình thành nên công nghệ lưới của Bluetooth.

- Tính năng công suất thấp và tính năng bạn: nút có tính năng công suất thấp có thể gọi là nút công suất thấp (Low Power Node – LPN), nút có tính năng bạn gọi là nút bạn (Friend Node). Nút LPN sẽ thường xuyên ở trạng thái ngủ, và định kỳ sẽ thức dậy để hỏi nút bạn (đã kết bạn trước đó), kiểm tra xem có tin nhắn nào gửi tới nó không, nếu có thì nút bạn sẽ gửi lại cho nút LPN. Nút bạn có nhiệm vụ là nhận và lưu lại những tin nhắn gửi tới nút

LPN, và gửi lại nút LPN khi nút LPN đó yêu cầu. Với cơ chế này, nút LPN sẽ đảm bảo tiết kiệm được năng lượng mà không sợ bị mất tin nhắn.

- Proxy: nút có tính năng Proxy có thể gọi là nút Proxy. Tính năng này cho phép 1 nút có thể trao đổi các tin nhắn trong mạng BM tới các thiết bị Bluetooth khác không hỗ trợ BM.

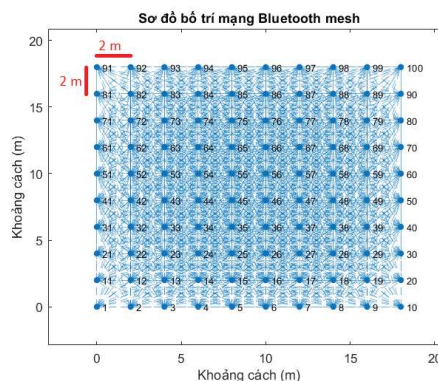
### III. Kịch bản thử nghiệm và thông số đánh giá

#### 3.1. Kịch bản thử nghiệm

Như đã nêu ở trên, tác giả sẽ thử nghiệm đánh giá một hệ thống chiếu sáng trong nhà. Hệ thống chiếu sáng trong nhà thường có các thiết bị như đèn (thường bố trí dạng lưới và cách nhau khoảng 2-3m), các cảm biến (cảm biến chuyển động, ánh sáng...), công tắc và thiết bị điều khiển trung tâm. Các thiết bị đều được cấp phép tham gia chung một mạng BM để chúng có thể giao tiếp với nhau. Thiết bị điều khiển trung tâm hay còn gọi là Gateway, là thiết bị có kết nối internet, giúp giao tiếp được với máy chủ/ đám mây, từ đó người dùng có thể tương tác, điều khiển từ xa; đồng thời có khả năng giao tiếp với các thiết bị trong mạng BM. Với hệ thống có Gateway, các tương tác giữa người dùng và các hệ thống đèn, cảm biến đều gián tiếp thông qua Gateway: nhận các yêu cầu bật/tắt, cấu hình đèn/cảm biến từ người dùng và gửi tới các thiết bị tương ứng; thu thập các dữ liệu gửi từ cảm biến để xử lý tại chỗ hoặc đẩy lên máy chủ/ đám mây tới người dùng... Do có vai trò là thiết

bị trung gian và tương tác với mọi thiết bị trong mạng BM, nên Gateway thường được đặt ở vị trí giữa hệ thống để dễ dàng kết nối.

Từ các đặc điểm của hệ thống chiếu sáng trong nhà nêu trên, tác giả thực hiện mô phỏng một mạng như sau: mạng gồm 100 thiết bị (nút mạng) được bố trí dạng lưới, cách nhau 2m như Hình 1; chỉ xét các nút thường (tức chỉ có tính năng chuyển tiếp hoặc không có tính năng chuyển tiếp, không xét tính năng LPN); có 4 nút phát dữ liệu (với tần số phát dữ liệu là 4 Hz), trong đó có 3 nút đóng vai trò như các cảm biến, 1 nút đóng vai trò như Gateway, dữ liệu được gửi bởi các cảm biến tới Gateway bằng cách đặt địa chỉ cho gói tin là địa chỉ đơn của Gateway, trong khi đó, Gateway sẽ gửi yêu cầu tới toàn bộ nút trong mạng bằng cách gửi tới địa chỉ nhóm đặc biệt là 0xFFFF (do BM quy định). Các giá trị về thời gian, số lần truyền lại sẽ sử dụng giá trị mặc định theo đặt tả của BM. Tổng hợp các thông số mô phỏng ở trong Bảng 1. Thông số mô phỏng Bảng 1.



Hình 1. Sơ đồ bố trí mạng BM trong thử nghiệm

Bảng 1. Thông số mô phỏng

| Thông số               | Giá trị                          |
|------------------------|----------------------------------|
| Tổng số nút            | 100                              |
| Các cặp nút nguồn-đích | 45-mọi nút; 10-45; 91-45; 100-45 |

| Thông số                                                  | Giá trị        |
|-----------------------------------------------------------|----------------|
| Số lượng tin nhắn mỗi nút nguồn gửi                       | 30             |
| Tốc độ nút nguồn gửi                                      | 4 gói tin/giây |
| Khoảng thời gian truyền ở lớp mạng và gói tin chuyển tiếp | 60 ms          |
| Khoảng thời gian quảng bá và quét                         | 20 ms và 30 ms |
| Hệ số tạp âm và công suất truyền                          | 0 dB và 0 dBm  |
| Khoảng cách giữa các nút và phạm vi nhận dữ liệu          | 2 m và 9 m     |

Vì nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của cấu hình nút chuyển tiếp, nên tác giả sẽ thử nghiệm mạng trên ở các kịch bản khác nhau về cấu hình nút chuyển tiếp trong mạng. Cụ thể, nghiên cứu sẽ thử nghiệm 4 kịch bản tương ứng với việc chọn ngẫu nhiên các nút làm nút chuyển tiếp theo khoảng 25%, 50%, 75% và 100% tổng nút, các nút còn lại là nút không chuyển tiếp. Đối với mỗi kịch bản, nghiên cứu sẽ mô phỏng lặp lại 10 lần, mỗi lần sẽ khác nhau về thời điểm bắt đầu truyền tin của 4 nút (ngẫu nhiên trong 200 ms), tức là 4 nút có thể sẽ không bắt đầu gửi cùng một thời điểm nhằm tạo sự bất đồng bộ. tăng tính khách quan cho việc mô phỏng hơn.

Từ năm 2019 đến nay, MATLAB đã phát hành công cụ Bluetooth cho phép mô phỏng mạng BM với triển khai đầy đủ các lớp trong kiến trúc của BM [5]. Do vậy, tác giả sẽ sử dụng công cụ này để mô phỏng các kịch bản.

### 3.2. Thông số đánh giá

Gọi  $N$  là tổng số nút trong mạng,  $N(i)$  biểu diễn nút thứ  $i$  trong mạng và  $iGW$  là chỉ số của nút gateway. Khi thực hiện mô phỏng thuật toán lần thứ  $isim$ , với  $i$ , sẽ thu thập các tham số sau:

-  $recv(i)$ : là tổng các tin nhắn được nhận bởi nút thứ  $i$ .

-  $trans(i)$ : là tổng các tin nhắn được gửi tới nút thứ  $i$ .

-  $e2ed(i)$ : là tổng trễ của các tin nhắn được nhận bởi nút thứ  $i$ .

Từ các tham số này, sẽ tính toán hai thông số:

- Trung bình PDR của mạng ở lần mô phỏng thứ  $isim$ :

$$PDR_{isim} = \frac{\sum_{i=1}^N recv(i)}{\sum_{i=1}^N trans(i)} \quad (1)$$

Trung bình E2ED của các tin nhắn gửi bởi Gateway tới toàn bộ mạng ở lần mô phỏng thứ  $isim$ :

$$E2ED_{isim} = \frac{\sum_{i=1, i \neq iGW}^N \frac{e2ed(i)}{recv(i)}}{N - 1} \quad (2)$$

( $N-1$  là tổng số nút không phải nút gateway)

Từ các thông số  $PDR_i$  và  $E2ED_i$ , sẽ tính toán và thu được hai thông số:

$$PDR_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^{Nsum} PDR_i}{Nsim} \quad (3)$$

$$E2ED_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^{Nsum} E2ED_i}{Nsim} \quad (4)$$

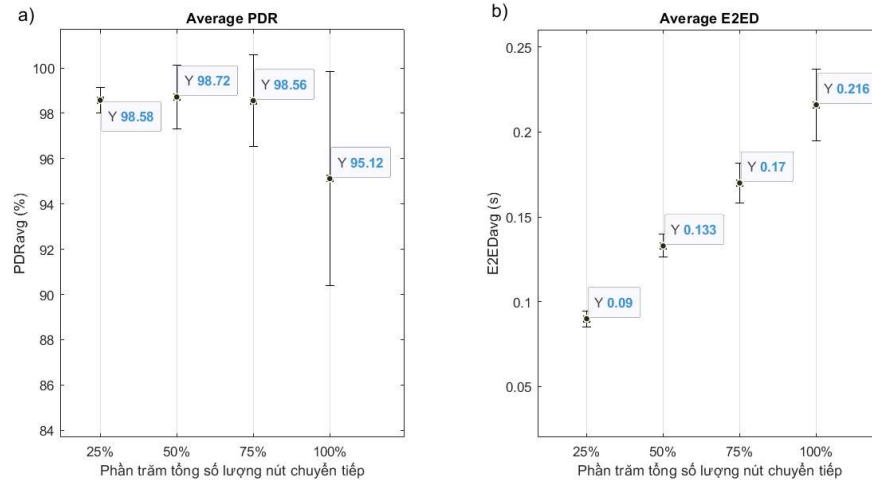
Hai thông số này sẽ được dùng để đánh giá. Trong đó,  $PDR_{avg}$  là trung bình của tỉ lệ chuyển giao gói tin trong mạng và sẽ được dùng để đánh giá chất lượng về tỉ lệ chuyển giao gói tin (PDR) của mạng. Như đã nói ở phần trước, các yêu cầu của người dùng sẽ được gửi tới các nút trong mạng thông qua nút gateway. Do đó, nghiên cứu sẽ sử dụng  $E2ED_{avg}$  là độ trễ trung bình của các gói tin gửi từ nút gateway tới toàn bộ mạng để đánh giá chất lượng chung về độ trễ (E2ED) của các tin nhắn yêu cầu từ người dùng.

Ngoài ra, nghiên cứu cũng tính đến độ lệch chuẩn của PDR và E2ED để cung cấp thêm thông tin khi đánh giá. Công thức tính độ lệch chuẩn  $s$  của tập dữ liệu  $x$  ( $x$  ở đây có thể là PDR và E2ED) có  $N$  phần tử như sau:

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x})^2} \quad (5)$$

$$\text{Trong đó: } \hat{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (6)$$

#### IV. Kết quả



Hình 2. Kết quả chất lượng mạng ở các kịch bản khác nhau:

a) Theo giá trị PDR b) Theo giá trị E2ED

Hình 2 là kết quả mô phỏng. Nhìn vào kết quả, ta có thể nhận xét được ngay rằng cấu hình nút chuyển tiếp ảnh hưởng rất nhiều đến PDR và E2ED. Cụ thể ở Hình 2.a, ở trường hợp tất cả nút đều là nút chuyển tiếp, PDR trung bình đạt 95.12%, với độ lệch chuẩn lớn, trong khi ở các trường hợp 25%, 50%, 75% tổng số nút làm nút chuyển tiếp, đều có PDR lớn hơn 98% với độ lệch chuẩn nhỏ, trong đó, cao nhất là 98.72%, cao hơn trường hợp 100% nút chuyển tiếp là 3.6%. Đây được coi là giá trị lớn. Ngoài ra, kết quả cũng cho thấy rằng không phải càng nhiều nút hay càng ít nút chuyển tiếp sẽ càng thu được PDR tốt. Còn đối với E2ED ở Hình 2.b, có thể thấy rõ rằng ở trường hợp 25% có độ trễ trung bình nhỏ hơn rất nhiều so với trường hợp 100% nút chuyển tiếp (0.09s so với 0.216s). Hơn nữa, kết quả đang cho thấy mối quan hệ rằng càng ít nút chuyển tiếp thì E2ED càng nhỏ, nhưng vẫn cần phải thử nghiệm, nghiên cứu

thêm để có thể kết luận được về mối quan hệ này có chính xác hay không.

Tóm lại, từ các kết quả này, ta có thể rút ra được 2 kết luận như sau:

1. Cấu hình nút chuyển tiếp có ảnh hưởng nhiều đến chất lượng mạng về PDR và E2ED.

2. Cấu hình mặc định (100% nút làm nút chuyển tiếp) sẽ không đảm bảo luôn có được chất lượng mạng tốt nhất về PDR và E2ED.

Ngoài ra, việc lựa chọn cấu hình nút chuyển tiếp phù hợp hoàn toàn có thể giúp nâng cao thêm chất lượng mạng. Điều này là cơ sở để mở ra các bài toán nghiên cứu đó là làm sao để lựa chọn được cấu hình nút chuyển tiếp phù hợp, hay nói cách khác, cần nghiên cứu thuật toán giúp lựa chọn được nút nào là nút chuyển tiếp, nút

nào không là nút chuyển tiếp để nâng cao chất lượng mạng về một hoặc cả hai tiêu chí PDR và E2ED.

### V. Kết luận

Nghiên cứu đã sử dụng công cụ MATLAB để thực hiện mô phỏng một hệ thống chiếu sáng trong nhà sử dụng mạng BM, nhằm đánh giá sự ảnh hưởng của cấu hình nút chuyển tiếp đến chất lượng của mạng, cụ thể về tiêu chí tỉ lệ chuyển giao gói tin (PDR) và độ trễ điểm-tới-điểm (End-to-end delay). Từ kết quả thu được, cho thấy rằng: cấu hình mọi nút là nút chuyển tiếp (cấu hình mặc định) của BM sẽ không đảm bảo có PDR và E2ED tốt nhất; cấu hình nút chuyển tiếp ảnh hưởng nhiều tới PDR và E2ED, do đó cần lựa chọn các cấu hình này thận trọng và phù hợp khi triển khai hệ thống.

### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Bluetooth, “2023 Bluetooth®Market Update.” [Online]. Available: <https://www.bluetooth.com/2023-market-update/>
- [2]. Bluetooth, “New Five-Year Forecasts for Bluetooth Device Networks.” [Online]. Available: <https://www.bluetooth.com/blog/new-five-year-forecasts-for-bluetooth-device-networks/>
- [3]. Bluetooth, “Mesh Profile 1.0.1.” [Online]. Available: <https://www.bluetooth.com/specifications/specs/mesh-profile-1-0-1/>
- [4]. “Mesh Model 1.0.1.” [Online]. Available: <https://www.bluetooth.com/specifications/specs/mesh-model-1-0-1/>
- [5]. MATLAB, “Bluetooth Toolbox.” [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/products/bluetooth.html>

## THE IMPACT OF RELAY NODE CONFIGURATION ON BLUETOOTH MESH NETWORK QUALITY IN INDOOR LIGHTING SYSTEMS

*Phan Van Hai<sup>‡</sup>, Nguyen Duc Tho<sup>§</sup>*

**Abstract:** *In the contemporary world, Bluetooth mesh (Bluetooth mesh - BM) wireless communication technology has made significant strides and is widely used, particularly in indoor lighting systems. When setting up a BM network, users are presented with a range of configuration parameters to choose from, such as the number of message retransmissions, time between transmissions, message relay feature, TTL (time-to-live),... This study, which aims to provide a more robust basis for choosing appropriate configuration parameters, will rigorously evaluate the impact of one of these parameters on network quality. Specifically, the study will use simulation to assess the relay node configuration of network nodes, with the network quality being evaluated based on end-to-end delay and packet delivery ratio in the context of an indoor lighting system. The methodological rigor of this research ensures the trustworthiness of its findings.*

**Keywords:** *Bluetooth mesh, smart lighting, network configuration, relay nodes, network quality*

---

<sup>‡</sup> Hanoi Open University

<sup>§</sup> Dak Nong Provincial General Hospital