

# Mô hình hệ thống truyền thông nhận thức trong lớp học tương lai

## Cognitive radio network model for future classroom

Võ Nhân Văn<sup>a,b\*</sup>, Phạm Khánh Linh<sup>a,b</sup>, Nguyễn Hữu Phúc<sup>a,b</sup>, Trần Thị Thanh Lan<sup>a,b</sup>  
Van Nhan Vo<sup>a,b\*</sup>, Pham Khanh Linh<sup>a,b</sup>, Nguyen Huu Phuc<sup>a,b</sup>, Tran Thi Thanh Lan<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup>Khoa Công nghệ Thông tin, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

<sup>a</sup>Faculty of Information Technology, Duy Tan University, 550000, Danang, Vietnam

<sup>b</sup>Viện Nghiên cứu và Phát triển Công nghệ Cao, Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

<sup>b</sup>Institute of Research and Development, Duy Tan University, 550000, Danang, Vietnam

(Ngày nhận bài: 07/10/2022, ngày phản biện xong: 30/12/2022, ngày chấp nhận đăng: 02/02/2023)

### Tóm tắt

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một mô hình giảng dạy sử dụng mạng vô tuyến nhận thức để tiết kiệm tài nguyên tần số trong bối cảnh công nghiệp 4.0. Cụ thể hơn, mạng vô tuyến nhận thức dành cho lớp học sẽ bao gồm mạng sơ cấp dùng để trình chiếu bài giảng và mạng thứ cấp dùng để truyền thông tin lời giảng từ người dạy tới người học. Ở mạng sơ cấp, thiết bị máy tính của người dạy (presenter laptop (PL)) sử dụng mạng không dây để truyền thông tin đến màn hình trình chiếu (presenter screen (PS)) trên một tần số riêng. Tại mạng thứ cấp, thiết bị thu âm của người dạy (presenter microphone (PM)) có thể sử dụng tần số của mạng sơ cấp để truyền thông tin đến thiết bị phiên dịch được hỗ trợ từ dịch vụ đám mây (cloud translator (CT)) nhằm phục vụ cho phòng học đa ngôn ngữ. Sau đó, PM sẽ chuyển tiếp thông tin đã được phiên dịch đến thiết bị nghe của người học (student headphone (SH)) theo ngôn ngữ tương ứng. Theo đó, chúng tôi đưa ra công thức dạng tường minh để đánh giá hiệu năng của hệ thống thông qua thông số thông lượng. Kết quả chỉ ra rằng, do nhiễu lẫn nhau từ hai mạng sơ cấp và thứ cấp, PM và CT phải sử dụng công suất phát dưới ngưỡng cho trước để hệ thống có thể đạt được truyền thông hiệu quả.

*Từ khóa:* Dạy và học; Vô tuyến nhận thức; Thông lượng; Xác suất dừng; Công nghiệp 4.0.

### Abstract

In this paper, we propose a teaching and learning model that adopts the cognitive radio network for saving frequency resources in the era of Industry 4.0. In particular, the cognitive radio network for a classroom includes a primary network to present slides and a secondary network to forward the translated voice from the presenter to students. In a primary network, a presenter laptop (PL) transmits its signal to a presenter screen (PS) at a specific frequency. In the secondary network, the presenter microphone (PM) senses the primary network's frequency to broadcast its signal to the cloud translator that aims to serve multiple language students. PM then forwards the translated information to student headphones (SHs). Accordingly, we derive the closed-form expression for evaluating the system performance in terms of throughput. The numerical results show that the transmit power of the PM and CT must be lower than a threshold to achieve effective communication.

*Keywords:* Teaching and learning; Cognitive radio; Throughput; Outage probability; Industry 4.0.

\*Tác giả liên hệ: Van Nhan Vo; Khoa Công nghệ Thông tin, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam;  
Viện Nghiên cứu và Phát triển Công nghệ Cao, Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam  
Email: vonhanvan@dtu.edu.vn

## 1. Giới thiệu

Hiện nay, công nghệ thường được xem là một phương pháp đóng góp giá trị để tăng lợi ích giáo dục và chất lượng giảng dạy [1]. Các thiết bị di động, truyền thông không dây và công nghệ mạng đã phát triển đáng kể trong cuộc cách mạng công nghiệp 4.0 và đã được tích hợp vào các môi trường học tập không dây khác nhau thu hút sự chú ý và mong đợi của nhiều người [2]. Ví dụ, nhiều nghiên cứu đã kết luận rằng môi trường học tập không dây có tiềm năng tạo ra những sáng kiến đột phá và tác động đáng kể đến giáo dục [3].

Môi trường học tập không dây cung cấp nhiều lợi ích trong giáo dục mà không dễ dàng đạt được trong các môi trường học tập khác.

Thiết bị di động cho phép cả người dạy và người học sử dụng sức mạnh tính toán mà không bị giới hạn về thời gian hoặc vị trí. Hơn nữa, internet và công nghệ không dây cho phép các thiết bị di động kết nối liền mạch với nhau hoặc với các thiết bị tính toán khác. Môi trường học tập không dây, dựa trên việc liên kết liền mạch các khả năng tính toán khác nhau với các thiết bị học tập di động, có các tính năng sau đây: nâng cao tính khả dụng và khả năng truy cập của mạng thông tin; thu hút người học tham gia các hoạt động liên quan đến học tập tại các địa điểm thực tế đa dạng; hỗ trợ làm việc nhóm trong các dự án; cải thiện giao tiếp và học tập hợp tác trong lớp học, và hỗ trợ phân phối nội dung nhanh chóng [4].

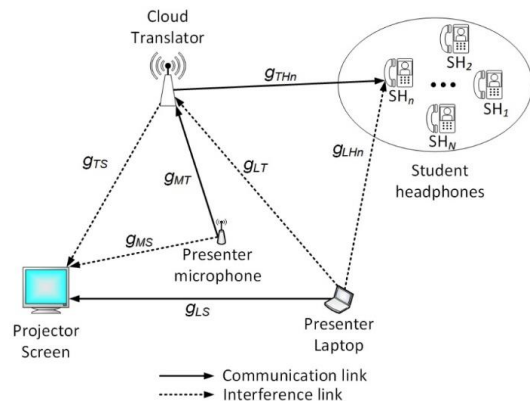
Do đó, môi trường học tập không dây được coi là phù hợp hơn các phòng học thông thường hoặc phòng học máy tính để hỗ trợ việc dạy và học dựa trên phương pháp giảng dạy lấy người học làm trung tâm, được mô tả là “phương pháp học tập tích cực, hiệu quả, sáng tạo và hợp tác” [5]. Hơn thế nữa, những tiến bộ trong kỹ thuật vô tuyến nhận thức (CR) đã giải quyết một số vấn đề trong giao tiếp không dây như khả năng tăng hiệu suất phổ và tiêu thụ điện năng. Các mạng không dây thế hệ mới (cụ thể là công

ng nghệ 5G) trong cuộc cách mạng công nghiệp 4.0 đã chấp nhận mạng vô tuyến nhận thức tiên tiến là một trong những chức năng của chúng [6]. Do đó, trong bài báo này, một hệ thống vô tuyến nhận thức dựa trên việc dạy và học được đề xuất cho mục đích truyền thông trong tương lai. Mục đích chính của nghiên cứu là đề ra mô hình hệ thống kèm với đánh giá hiệu suất hệ thống để đưa ra khuyến cáo cho người sử dụng.

## 2. Phân tích hiệu năng hệ thống của mô hình đề xuất

### 2.1. Đề xuất mô hình hệ thống cho mạng giảng dạy vô tuyến nhận thức

Chúng tôi xem xét kịch bản giảng dạy trong bối cảnh cách mạng công nghiệp 4.0 với tất cả các thiết bị đều trang bị chức năng không dây. Trong một lớp học với nhiều sinh viên đến từ nhiều quốc gia khác nhau, giảng viên sẽ trình chiếu bài giảng từ máy tính cá nhân presenter laptop (PL) lên màn hình chiếu projector screen (PS) thông qua kết nối không dây. Bên cạnh đó, giảng viên sẽ giảng bài thông qua presenter microphone (PM). Thông tin này sẽ được chuyển đến thiết bị thông dịch dựa trên dịch vụ đám mây cloud translator (CT). Sau khi dịch xong sẽ chuyển tiếp các thông tin đã được phiên dịch tới từng sinh viên student headphones (SH) sử dụng ngôn ngữ tương ứng. Dựa trên kịch bản này, chúng tôi đề xuất mô hình giảng dạy như Hình 1 dựa trên mạng vô tuyến nhận thức với mạng sơ cấp (bao gồm PL và PS) và mạng thứ cấp (bao gồm PM, CT và các SHs).



Hình 1. Mô hình mạng giảng dạy vô tuyến nhận thức

Cụ thể hơn, PL gửi thông tin từ bài giảng để trình chiếu trên PS thông qua kênh truyền  $g_{LS}$ . Đồng thời, PM phát hiện và sử dụng tần số vô tuyến của mạng sơ cấp để truyền thông tin tới CT thông qua kênh truyền  $g_{MT}$ . Sau khi nhận thông tin, CT sẽ sử dụng dịch vụ đám mây để phiên dịch thành các ngôn ngữ tương ứng với các SHs đã được đăng ký trước đó. Chúng tôi giả sử dịch vụ điện toán đám mây có thể phiên dịch với khoảng thời gian không đáng kể. Sau khi phiên dịch xong, CT sẽ chuyển tiếp thông tin đã phiên dịch đến sinh viên thứ  $n$  ( $1 \leq n \leq N$ , với  $N$  là số lượng SHs) tương ứng thông qua kênh truyền  $g_{TH_n}$ . Lưu ý, vì các thiết bị sử dụng cùng một băng tần vô tuyến nên sẽ có nhiễu diễn ra giữa PL và CT, giữa PM và SH thứ  $n$ , giữa PM và PS, và giữa CT và PS thông qua các kênh truyền  $g_{LT}$ ,  $g_{TH_n}$ ,  $g_{MT}$ , và  $g_{TS}$ . Ngoài ra, khoảng cách từ PL đến PS, từ PM đến CT, từ CT đến SH thứ  $n$ , từ CT đến PS, từ PM đến PS, từ PL đến SH thứ  $n$  lần lượt là  $d_{LS}$ ,  $d_{MT}$ ,  $d_{TH_n}$ ,  $d_{TS}$ ,  $d_{MS}$ , và  $d_{LH_n}$ . Ở đây chúng tôi giả định rằng tất cả các kênh truyền không dây là các biến ngẫu nhiên được phân bố theo mô hình Rayleigh và thông tin trạng thái kênh truyền (CSI) được cập nhật trên tất cả các thiết bị. Do đó, hàm mật độ xác suất và phân phối tích lũy được biểu diễn tương ứng là [7]:

$$f_{|g|^2}(x) = \frac{1}{\Omega_{|g|^2}} \exp\left(-\frac{x}{\Omega_{|g|^2}}\right), \quad (1)$$

$$F_{|g|^2}(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x}{\Omega_{|g|^2}}\right). \quad (2)$$

## 2.2. Giao thức truyền thông

Ý tưởng của mạng vô tuyến nhận thức trong giảng dạy này là PL sẽ truyền thông tin đến PS trên một kênh (channel) ở mạng sơ cấp. Trong lúc đó, để tiết kiệm kênh tần số, PM sẽ biết được trạng thái kênh của mạng sơ cấp để truyền thông tin tới SHs với sự hỗ trợ của CT ở mạng

thứ cấp. Cụ thể hơn, giao thức truyền thông sẽ được triển khai theo 2 pha như sau:

- *Pha thứ nhất:* PM với công suất  $P_M$  quảng bá thông tin  $x_M$  đến CT dưới sự ảnh hưởng của nhiễu  $x_L$  đến từ PL bởi vì chúng hoạt động trên cùng tần số. Do đó, tín hiệu nhận được tại CT là

$$y_T = \sqrt{\frac{P_M}{d_{MT}^2}} g_{MT} x_M + \sqrt{\frac{P_L}{d_{LT}^2}} g_{LT} x_L + n_T, \quad (3)$$

trong đó,  $n_T \sim \mathcal{CN}(0, N_0)$  và  $N_0$  là tạp âm Gaussian (additive white Gaussian noise). Do đó, tỷ số tín hiệu trên can nhiễu (SINR) tại CT là

$$\gamma_T = \frac{P_M |g_{MT}|^2}{d_{MT}^2 \left( \frac{P_L |g_{LT}|^2}{d_{LT}^2} + N_0 \right)}. \quad (4)$$

Tại mạng sơ cấp, ngoài tín hiệu  $x_L$  nhận được từ PL thì PS cũng nhận thêm tín hiệu nhiễu từ PM. Nên tín hiệu nhận được tại PS được biểu diễn như sau:

$$y_S = \sqrt{\frac{P_L}{d_{LS}^2}} g_{LS} x_L + \sqrt{\frac{P_M}{d_{MS}^2}} g_{MS} x_M + n_S, \quad (5)$$

trong đó,  $n_S \sim \mathcal{CN}(0, N_0)$ . Do đó, tỷ số tín hiệu trên nhiễu tại PS ở pha thứ nhất là

$$\gamma_S^{(1)} = \frac{P_L |g_{LS}|^2}{d_{LS}^2 \left( \frac{P_M |g_{MS}|^2}{d_{MS}^2} + N_0 \right)}. \quad (6)$$

- *Pha thứ hai:* Sau khi phiên dịch xong thì CT sẽ chuyển tiếp thông tin đến SHs. Ngoài ra, SHs cũng bị nhiễu từ PL nên tín hiệu thu được tại SH thứ  $n$  là

$$y_{H_n} = \sqrt{\frac{P_T}{d_{TH_n}^2}} g_{TH_n} x_T + \sqrt{\frac{P_L}{d_{LH_n}^2}} g_{LH_n} x_L + n_{H_n}, \quad (7)$$

trong đó,  $n_{H_n} \sim \mathcal{CN}(0, N_0)$ . Do đó, tỷ số tín hiệu trên can nhiễu tại SH thứ  $n$  được biểu diễn là

$$\gamma_{H_n} = \frac{P_T |g_{TH_n}|^2}{d_{TH_n}^2 \left( \frac{P_L |g_{LH_n}|^2}{d_{LH_n}^2} + N_0 \right)}. \quad (8)$$

Để đảm bảo được tất cả các SHs có thể nghe được thông tin, chúng tôi xem xét trường hợp kênh truyền xấu nhất từ CT đến SHs. Nói cách khác, SH thứ  $n^*$  được xem xét để tỷ số tín hiệu trên nhiễu từ CT đến SH là nhỏ nhất, tức là:  $\gamma_{H_{n^*}} = \min_{n \in \{1, \dots, N\}} \{\gamma_{H_n}\}$ . Như vậy, tỷ số tín hiệu từ PM đến SH thứ  $n^*$  được định nghĩa là  $\gamma_{E2E} = \min\{\gamma_T, \gamma_{H_{n^*}}\}$ .

Tương tự ở pha một, tại mạng sơ cấp, ngoài tín hiệu  $x_L$  nhận được từ PL thì PS cũng nhận thêm tín hiệu nhiễu từ nên tín hiệu nhận được tại PS là

$$y_S = \sqrt{\frac{P_L}{d_{LS}^2}} g_{LS} x_L + \sqrt{\frac{P_T}{d_{TS}^2}} g_{TS} x_T + n_S, \quad (9)$$

Do đó, tỷ số tín hiệu trên can nhiễu tại PS ở pha hai là

$$\gamma_S^{(2)} = \frac{P_L |g_{LS}|^2}{d_{LS}^2 \left( \frac{P_T |g_{TS}|^2}{d_{TS}^2} + N_0 \right)}. \quad (10)$$

### 2.3. Phân tích hiệu năng hệ thống

Trong phần này, chính sách phân bổ công suất cho mạng sơ cấp được đề xuất trong đó PM cần kiểm soát công suất để đáp ứng rằng: hiệu suất của giao tiếp từ PL đến PS không bị suy giảm và đảm bảo thông tin liên lạc từ PM đến SHs. Cụ thể hơn, chúng tôi xem xét xác suất dừng của mạng sơ cấp ở cả 2 pha phải được giữ dưới ngưỡng xác định trước  $\varepsilon$ , tức là

$$\mathcal{O}_S^{(1)} = \Pr\{C_S^{(1)} < R_S\} \leq \varepsilon, \quad (11)$$

$$\mathcal{O}_S^{(2)} = \Pr\{C_S^{(2)} < R_S\} \leq \varepsilon, \quad (12)$$

trong đó  $\Pr$  là hàm xác suất,  $R_S$  là ngưỡng ngừng hoạt động tại PS,  $C_S^{(1)}$  và  $C_S^{(2)}$  là dung lượng kênh truyền từ PL tới PS với băng thông  $W$  ở cả 2 pha và được định nghĩa như sau:

$$C_S^{(1)} = \frac{W}{2} \log_2(1 + \gamma_S^{(1)}), \quad (13)$$

$$C_S^{(2)} = \frac{W}{2} \log_2(1 + \gamma_S^{(2)}). \quad (14)$$

Thay công thức (6) và (10) vào công thức xác suất dừng của mạng sơ cấp ở trên và thông qua một số phép tính cơ bản, ta có

$$\mathcal{O}_S^{(1)} = \Pr\left\{ |g_{LS}|^2 < \frac{d_{LS}^2 \left( \frac{\rho_M |g_{MS}|^2}{d_{MS}^2} + 1 \right) \chi_S}{\rho_L} \right\}, \quad (15)$$

$$\mathcal{O}_S^{(2)} = \Pr\left\{ |g_{LS}|^2 < \frac{d_{LS}^2 \left( \frac{\rho_T |g_{TS}|^2}{d_{TS}^2} + 1 \right) \chi_S}{\rho_L} \right\}. \quad (16)$$

trong đó  $\rho_M = P_M / N_0$ ,  $\rho_T = P_T / N_0$  và

$$\chi_S = \left( 2^{\frac{2R_S}{W}} - 1 \right).$$

Tiếp theo, dựa trên lý thuyết xác suất cũng như các hàm phân phối tích lũy và hàm mật độ xác suất ở phần 1.2.1, chúng tôi đưa ra công thức xác suất dừng hệ thống của mạng sơ cấp ở 2 pha như sau:

$$\mathcal{O}_S^{(1)} = 1 - \frac{\exp\left[-\frac{d_{LS}^2 \chi_S}{\rho_L \Omega_{LS}}\right] \rho_L \Omega_{LS} d_{MS}^2}{d_{LS}^2 \rho_M \chi_S \Omega_{MS} + \rho_L \Omega_{LS} d_{MS}^2}, \quad (17)$$

$$\mathcal{O}_S^{(2)} = 1 - \frac{\exp\left[-\frac{d_{LS}^2 \chi_S}{\rho_L \Omega_{LS}}\right] \rho_L \Omega_{LS} d_{TS}^2}{d_{LS}^2 \rho_T \chi_S \Omega_{TS} + \rho_L \Omega_{LS} d_{TS}^2}. \quad (18)$$

Tương tự, tại mạng thứ cấp, xác suất dừng được tính là  $\mathcal{O}_H = \Pr\{C_{E2E} < R_H\}$ , trong đó

$C_{E2E}$  là dung lượng kênh truyền từ PM tới SH thứ  $n^*$  và được định nghĩa là:  $C_{E2E} = \frac{W}{2} \log_2(1 + \gamma_{E2E})$ . Dựa trên đặc tính của xác suất và thông qua một số phép tính toán tương tự như (17) và (18), xác suất dừng của mạng thứ cấp được tính theo công thức dưới đây

$$\mathcal{O}_H = 1 - \underbrace{\Pr\left\{\gamma_T > 2^{\frac{2R_H}{W}} - 1\right\}}_{\mathcal{O}_H^{(1)}} \times \underbrace{\prod_{n=1}^N \Pr\left\{\gamma_{H_n} > 2^{\frac{2R_H}{W}} - 1\right\}}_{\mathcal{O}_H^{(2)}} \quad (19)$$

trong đó,  $\mathcal{O}_H^{(1)}$  và  $\mathcal{O}_H^{(2)}$  được định nghĩa như sau:

$$\mathcal{O}_H^{(1)} = \frac{\exp\left[-\frac{d_{MT}^2 \chi_H}{\rho_M \Omega_{MT}}\right] \rho_M \Omega_{MT} d_{LT}^2}{d_{MT}^2 \rho_L \chi_H \Omega_{LT} + \rho_M \Omega_{MT} d_{LT}^2}, \quad (20)$$

$$\mathcal{O}_H^{(2)} = \frac{\exp\left[-\frac{d_{TH_n}^2 \chi_H}{\rho_T \Omega_{TH_n}}\right] \rho_T \Omega_{TH_n} d_{LH_n}^2}{d_{TH_n}^2 \rho_L \chi_H \Omega_{LH_n} + \rho_T \Omega_{TH_n} d_{LH_n}^2}, \quad (21)$$

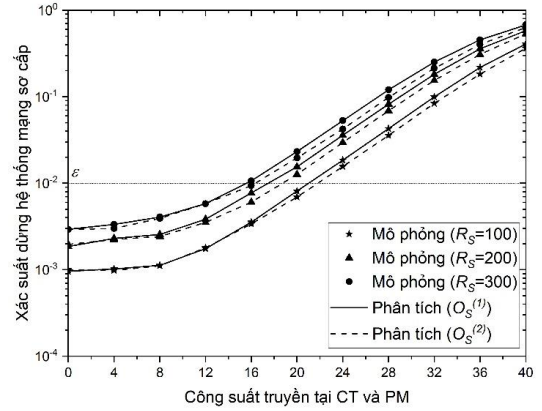
trong đó,  $\rho_T = P_T / N_0$  và  $\chi_H = \left(2^{\frac{2R_H}{W}} - 1\right)$ . Do đó, thông lượng của mạng thứ cấp được tính là

$$T_H = (1 - \mathcal{O}_H) R_H. \quad (22)$$

### 3. Phân tích kết quả

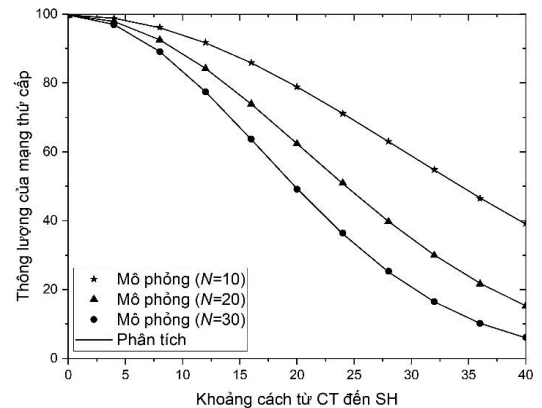
Trong phần này xác suất dừng hệ thống của mạng sơ cấp và thông lượng của mạng thứ cấp được phân tích. Ở Hình 2, chúng tôi xem xét tác động của công suất phát tại CT và PM cũng như ngưỡng dừng  $R_S$  lên xác suất dừng hệ thống của mạng sơ cấp. Có thể thấy rằng khi tăng công suất phát tại microphone của người dạy cũng như tại thiết bị thông dịch đám mây thì khả năng máy tính truyền hình ảnh tới màn chiếu sẽ bị giảm xuống. Do đó, chúng tôi đặt một ngưỡng  $\varepsilon = 0.01$  và điều chỉnh công suất phát tại CT và PM sao cho xác suất dừng hệ thống phải nhỏ hơn ngưỡng đó. Dựa trên hình

về chúng ta có thể thấy rằng nếu công suất phát của CT và PM nhỏ hơn 23 (dB) thì việc trình chiếu từ PL đến PS được đảm bảo chất lượng.



**Hình 2.** Ảnh hưởng của công suất truyền tại CT và PM và ngưỡng dừng  $R_S$  lên xác suất dừng hệ thống của mạng sơ cấp

Dựa trên thông số công suất phát đó, khoảng cách từ CT đến SH được khuyến cáo để đảm bảo người nghe có thể nhận được thông tin có chất lượng từ thiết bị thông dịch đám mây ở Hình 3. Có thể thấy rằng ở khoảng cách từ CT đến SH trong đoạn 0-15m thì thông lượng của mạng thứ cấp ổn định. Khi tăng khoảng cách từ 15-40m thì thông lượng giảm xuống đáng kể. Điều này cũng dễ hiểu bởi vì khi khoảng cách tăng thì suy hao đường truyền cũng tăng theo. Như vậy, ngoài việc tiết kiệm tần số hoạt động với mỗi phòng học chỉ sử dụng một băng tần, thì bài báo còn đưa ra các công thức tường minh để người sử dụng có thể thiết kế một phòng học không dây hiệu quả cao mà không cần qua quá trình giả lập để xác minh các thông số cho hệ thống.



**Hình 3.** Ảnh hưởng của khoảng cách từ CT đến SH và số lượng SHs lên thông lượng của mạng thứ cấp

#### 4. Kết luận

Trong bài báo này, chúng tôi đã đề xuất một mô hình vô tuyến nhận thức áp dụng cho việc giảng dạy trong môi trường đa ngôn ngữ. Mô hình gồm hai mạng sơ cấp và thứ cấp, trong đó mạng sơ cấp được sử dụng để truyền thông tin hình ảnh từ máy tính của người dạy PL đến màn hình trình chiếu PS và mạng thứ cấp được sử dụng để truyền thông tin giảng dạy của người dạy PM đến các thiết bị nghe của người học SHs với sự hỗ trợ của thiết bị thông dịch đám mây CT. Từ đó, chúng tôi đã đưa ra được điều kiện về công suất phát của các thiết bị của mạng sơ cấp để đảm bảo được việc truyền thông của mạng sơ cấp. Ngoài ra chúng tôi đưa ra khuyến cáo về việc bố trí vị trí các thiết bị của mạng sơ cấp để người học có thể nhận được thông tin hiệu quả từ người dạy.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] Dexter, S. L., Anderson, R. E., and Becker, H. J. (1999). Teachers' views of computers as catalysts for changes in their teaching practice. *Journal of Research on Computing in Education*, 31 (3), pp. 221-239.
- [2] Roschelle, J., and Pea, R. (2002). A walk on the WILD side: How wireless handhelds may change computer-supported collaborative learning. *International Journal of Cognition and Technology*, 1 (1), pp. 145-168.
- [3] Penuel, W. R., Tatar, D. G., and Roschelle, J. (2004). The role of research on contexts of teaching practice in informing the design of handheld learning technologies. *Journal of Educational Computing Research*, 30 (4), pp. 353- 370.
- [4] Zurita, G., and Nussbaum, M. (2004). A constructivist mobile learning environment supported by a wireless handheld network. *Journal of Computer Assisted Learning*, 20 (4), pp. 235-243.
- [5] Hoppe, H. U., Joiner, R., Milrad, M., and Sharples, M. (2003). Guest editorial: Wireless and mobile technologies in education. *Journal of Computer Assisted Learning*, 19 (3), pp. 255-259.
- [6] V. Subba Ramaiah, B. Singh, A. Ratna Raju, G. Nagi Reddy, K. Saikumar and D. Ratnayake, (2021). Teaching and Learning based 5G cognitive radio application for future application. *2021 International Conference on Computational Intelligence and Knowledge Economy (ICCIKE)*, pp. 31-36.
- [7] C. Li, F. Zeng, A. Zhen and J. Sun, (2017). Impact of Rayleigh fading channel on connectivity in wireless sensor networks. *International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, pp. 158-162.