

GIAO THỨC LỰA CHỌN NÚT CHUYỂN TIẾP THU NĂNG LƯỢNG CỰC ĐẠI TRONG MẠNG SONG CÔNG GIẢI MÃ CHUYỂN TIẾP

THE MAXIMUM HARVESTED ENERGY RELAY SELECTION IN DECODE-AND-FORWARD AND FULL-DUPLEX NETWORKS

Phạm Thị Mỹ Linh¹, Đỗ Đình Thuấn², Trần Thu Hà²

¹Trường đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM

²Khoa Điện-Điện tử, Trường đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM

TÓM TẮT

Bài báo này thực hiện phân tích thông lượng của mô hình mạng hợp tác chuyển tiếp song công, một trong những mô hình mạng được quan tâm nhiều trong thời gian gần đây. Để thực hiện mục đích trên, bài báo này sử dụng phương thức lựa chọn nút chuyển tiếp, mạng chuyển tiếp hai chiều kiểu khuếch đại và chuyển tiếp dùng kênh Rayleigh fading, sử dụng giao thức thu năng lượng vô tuyến dựa trên chuyển đổi thời gian. Bài báo này tập trung vào đến việc lựa chọn nút chuyển tiếp để thu năng lượng tối ưu, tính toán xác suất dừng sử dụng các công thức tính xác suất. Các kết quả phân tích tính toán trên sẽ được kiểm chứng bằng phương pháp mô phỏng Monte-Carlo.

Từ khóa: Giải mã và chuyển tiếp; thu năng lượng; chuyển mạch theo thời gian TSR; lựa chọn chuyển tiếp.

ABSTRACT

In this paper, we investigate relay selection for decode-and-forward (DF) Full-duplex (FD) wireless energy harvesting relaying networks. Considering time-switching based relaying (TSR) protocol, we are concerned with the performance of maximum harvested energy relay selection (MHE-RS) scheme. We analyze the system performance in terms of outage probability (OP) and throughput over Rayleigh fading channels. We derive the integral-form for exact expression and closed-form for approximal expression. This analytical expressions are validated by the Monte-Carlo simulation.

Keywords: Decode and forward, energy harvesting, time switching based relaying, relay selection

1. GIỚI THIỆU

Ngày nay với hệ thống truyền thông không dây có nguồn năng lượng không đổi, nó có một thời gian hoạt động nhất định và để duy trì các kết nối thì phải thực hiện thay thế nguồn pin là vấn đề bất tiện và đôi khi không thể. Từ đó việc tự thu gom năng lượng cũng như sử dụng các nguồn năng lượng sạch có từ các nguồn tài nguyên thiên nhiên bên ngoài như năng lượng mặt trời, gió... đã nhận được rất nhiều sự quan tâm. Vì nó cung cấp một giải pháp hiệu quả để kéo dài hoạt động một cách liên tục cho các thiết bị truyền thông không dây [1].

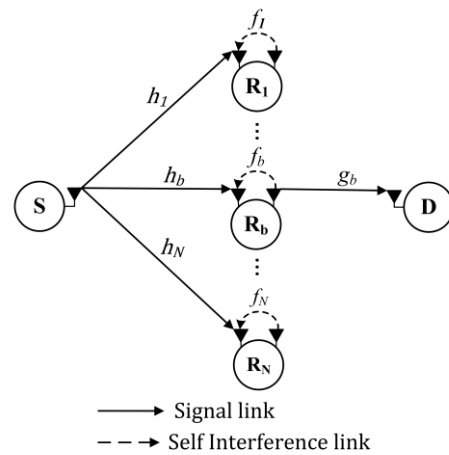
Phương thức truyền tín hiệu song công FD cải thiện hiệu quả phổ mạng vô tuyến [2, 3]. Cùng tiếp cận với những nghiên cứu mới để bắt kịp xu hướng chung của thế giới, bài viết này giới thiệu một mô hình mạng truyền đồng thời năng lượng và thông tin (SWIPT) [5,6]. Ở đây, chúng tôi nghiên cứu mạng sử dụng phương pháp lựa chọn nút chuyển tiếp tối ưu, mạng chuyển tiếp hai chiều kiểu khuếch đại và chuyển tiếp dùng kênh fading Rayleigh, sử dụng giao thức dựa trên chuyển đổi thời gian. Phân tích và tính toán xác suất dừng cũng như thông lượng của mạng. Đặc biệt, trong bài báo này, chúng tôi tập trung vào hệ thống lựa chọn nút chuyển tiếp và sử dụng mô hình truyền song công. Trong hệ thống, có rất nhiều tín hiệu truyền từ nguồn đến nút chuyển tiếp sau đó nút chuyển tiếp sẽ thực hiện so sánh và chọn ra nút nào là tốt nhất để thực hiện truyền tín hiệu tới đích. Đóng góp chính của bài viết này được trình bày như bên dưới

- i) Đề xuất giao thức lựa chọn chuyển tiếp, ở đó nó sẽ đưa ra một nút chuyển tiếp thích hợp để hỗ trợ quá trình truyền tải tín hiệu từ nguồn tới đích sử dụng mạng chuyển tiếp 2 chặng với nhiều nút chuyển tiếp thu năng lượng không dây.
- ii) Tính toán, phân tích xác suất dừng dựa trên tỷ số tín hiệu trên nhiễu cũng như sử dụng tính xấp xỉ trong trường hợp nhiễu cao. Dựa trên các biểu thức này, thời gian thu năng lượng và xác suất dừng tối ưu được đưa ra.

Nội dung của bài viết gồm những phần như sau. Trong phần 2, trình bày về mô hình hệ thống và đề ra cấu hình lựa chọn nút chuyển tiếp. Phần 3 có nội dung là các biểu thức tính toán để đưa ra xác suất dừng và thông lượng, phần 4 là phần trình bày kết quả mô phỏng, phần cuối cùng là phần kết luận của bài viết.

2. MÔ HÌNH HỆ THỐNG

2.1 Cấu hình mạng



Hình 1 Mô hình hệ thống

Trong bài báo này, chúng tôi trình bày mạng lựa chọn chuyển tiếp thu năng lượng song công một chiều với cấu hình mạng giải mã và chuyển (DF) như hình 1. Hệ thống bao gồm một nút nguồn một nút đích được kí hiệu là S, D tương ứng và N nút chuyển tiếp được kí hiệu là $R_i, i=1, \dots, N$. Giả sử rằng, ở nút nguồn và nút đích mỗi nút được trang bị một anten và nút chuyển tiếp được trang bị 2 anten. Khi được trang bị 2 anten thì chính bản thân nó sẽ gây ra nhiễu tại nút đó gọi là tự nhiễu. Kênh giảm tự nhiễu tại R_i được kí hiệu là f_i , giảm tự nhiễu và giới hạn hiệu suất truyền là một điểm chính của bài này.

Mô hình chuyển tiếp: Được giả sử rằng, ở nút chuyển tiếp có nguồn năng lượng cung cấp bị hạn chế và tại đó nó có thể thu năng lượng từ các nguồn tín hiệu cao tần RF truyền dẫn từ các trạm phát sóng [6, 7]. Thêm vào đó nút chuyển tiếp có thể xem như là một bộ đệm để truyền thông tin đến trạm đích.

2.2 Cấu hình lựa chọn nút chuyển tiếp

Lựa chọn chuyển tiếp là một phương thức hiệu quả để nâng cao hiệu suất của hệ thống truyền thông đa chuyển tiếp với độ phức tạp thấp, so với mô hình có một nút chuyển tiếp được trình bày trong [5]. Trong bài này, chúng tôi đề xuất mô hình mạng thu năng lượng chuyển tiếp song công một chiều với mô hình lựa chọn nút chuyển tiếp thu năng lượng tối ưu (MHE-RS). Ở đó, nút chuyển tiếp nào có năng lượng lớn nhất sẽ được chọn để thực hiện quá trình truyền thông và được thể hiện như biểu thức bên dưới

$$b = \arg \max_{i=1,\dots,N} (E_i) \quad (1)$$

2.3 Phân tích mô hình tín hiệu và tỷ số tín hiệu trên nhiễu (SINR)

Trong một khoảng thời gian thu năng lượng, nguồn S truyền một công suất đến nút chuyển tiếp R thông qua tín hiệu RF, vì vậy tín hiệu nhận được tại R là

$$y_i = \frac{\sqrt{p_s}}{\sqrt{d_{1i}^m}} \times h_i \times x_s(t) + n_{r_i}(t) \quad (2)$$

Với $i=1,\dots,N$ là số lượng nút chuyển tiếp.

Vì thế, chúng ta có thể tính được tổng năng lượng thu được trong suốt trạng thái thu năng lượng như trong [3]

$$E_i = \eta \frac{p_s}{d_{1i}^m} |h_i|^2 \alpha T \quad (3)$$

Với $0 \leq \eta \leq 1$ là khoảng thời gian phân chia giai đoạn thu năng lượng và thông tin.

Như trong bài [3, 4], chúng ta giả sử rằng năng lượng thu được trong suốt khoảng thời gian thu năng lượng được lưu trữ trong bộ tụ lớn và nguồn năng lượng sau đó sẽ được tiêu thụ bởi quá trình chuyển tiếp thông tin từ nguồn tới đích. Vì vậy, công suất truyền tại nút chuyển tiếp được tính như sau

$$p_{r_i} = \frac{E_i}{(1-\alpha)T} = \mu \frac{p_s}{d_{1i}^m} |h_i|^2 \quad (4)$$

Với $\mu \leq \eta \alpha / (1-\alpha)$

Trong giai đoạn truyền thông tin (IT), tại nguồn S, tín hiệu truyền được kí hiệu là $x_s(t)$ đến R_i . Tương tự như vậy ở nút chuyển tiếp sẽ phát tín hiệu $x_{r_i}(t)$ đến nút đích là D. Vì vậy tín hiệu tại R_i được tính như sau

$$y_{r_i}(t) = \frac{\sqrt{p_s}}{\sqrt{d_{1i}^m}} \times h_i \times x_s(t) + \sqrt{p_r} \times f_i \times x_{r_i}(t) + n_{r_i}(t) \quad (5)$$

Trong cấu hình chuyển tiếp DF, tại R_i , $x_{r_i}(t)$ được mã hóa của giai đoạn nhận tín hiệu

$$x_{r_i}(t) = \bar{x}_s(t) \quad (6)$$

Và ở nút đích D, tín hiệu nhận được là $y_d(t)$, được biểu diễn như sau

$$y_d(t) = \frac{\sqrt{p_{r_i}}}{\sqrt{d_{2i}^m}} g_i x_{r_i}(t) + n_d(t) \quad (7)$$

với $n_d(t)$ là phân nhiễu trắng Gaussian AWGN có trung bình là 0 và phương sai là N_0 . Theo công thức (5) và sau một số phép biến đổi, tỷ số tín hiệu trên nhiễu tức thời SINR của chặng $S \rightarrow R$

$$\gamma_{s,r}^i = \frac{\gamma_s |h_i|^2}{\mu \gamma_s |h_i|^2 |f_{r_i}|^2 + 1} \quad (8)$$

Tương tự, dựa trên (7) tỷ số tín hiệu trên nhiễu tức thời SNR của $R \rightarrow D$

$$\gamma_{r,d}^i = \mu \gamma_s |h_i|^2 |g_i|^2 \quad (9)$$

với $\gamma_s = p_s / N_0$

Trong trường hợp thông số SNR ở khoảng giá trị lớn, cụ thể, $\gamma_s \rightarrow \infty$, cụ thể $\gamma_s \gg 1$, công thức(8), (9) có thể được viết lại

$$\gamma_{s,r}^{\gamma_s \rightarrow \infty, i} = \frac{1}{\mu |f_i|^2} \quad (10)$$

và

$$\gamma_{r,d}^{\gamma_s \rightarrow \infty, i} = \mu \gamma_s |h_i|^2 |g_i|^2 \quad (11)$$

Dựa trên cấu hình chuyển tiếp DF, SINR 2 đầu cuối của hệ thống được xác định là giá trị nhỏ hơn của SINR tại từng chặng. Khi đó chúng ta có thể mô hình thông số SINR từ phía nguồn đến phía đích này theo toán học như sau

$$\gamma_{e2e}^i = \min(\gamma_{s,r}^i, \gamma_{r,d}^i) \quad (12)$$

3. PHÂN TÍCH HIỆU NĂNG

Trong phần này, chúng tôi sẽ đưa ra xác suất dừng và thông lượng của hệ thống sử dụng kênh Rayleigh fading. Xác suất dừng được kí hiệu là “OP” và “ τ ” là thông lượng.

3.1 Phân tích xác suất dừng

Trong chế độ truyền trễ giới hạn (delay-limit), chất lượng của hệ thống được đánh giá dựa trên xác suất dừng. Do đó, trong phần này chúng tôi phân tích xác suất dừng của mô hình, một trong các thông số quan trọng để đánh giá chất lượng hệ thống truyền thông.

Xác suất dừng của hệ thống được định nghĩa là xác suất mà khi giá trị tỷ số tín hiệu trên tổng nhiễu nhận được tại nút chuyển tiếp SINR nhỏ hơn ngưỡng SNR γ_0 cho trước.

$$OP = \Pr\{\gamma_{e2e}^b < \gamma_0\} \quad (13)$$

Thay (12) vào (13), xác suất dừng được viết lại như sau

$$\begin{aligned} OP &= \Pr\{\min(\gamma_{s,r}^b, \gamma_{r,d}^b) < \gamma_0\} \\ &= \Pr\{\gamma_{r,d}^b < \gamma_0\} + \Pr\{\gamma_{r,d}^b > \gamma_0, \gamma_{s,r}^b < \gamma_0\} = OP_1 + OP_2 \end{aligned} \quad (14)$$

Kế đến, thay (3) vào (1) để đưa ra chỉ số lựa chọn tốt nhất ở nút chuyển tiếp

$$b = \arg \max_{i=1, \dots, N} (|h_i|^2) \quad (15)$$

Mệnh đề 1: Đối với hệ thống chuyển tiếp lựa chọn tối ưu MHE-RS thì xác suất dừng được viết lại là

$$\begin{aligned} OP_{MHE-RS} &= \sum_{k=1}^N \binom{N}{k} (-1)^{k-1} \frac{k}{\Omega_h} \left\{ 1 - S\left(\frac{\gamma_0}{\mu\gamma_s\Omega_g}, \frac{k}{\Omega_h}\right) \right. \\ &\left. + \exp\left(-\frac{1}{\mu\gamma_0\Omega_f}\right) S\left(\frac{\gamma_0}{\mu\gamma_s\Omega_g} - \frac{1}{\mu\gamma_s\Omega_f}, \frac{k}{\Omega_h}\right) \right\} \end{aligned} \quad (16)$$

với $S(u, v) = \int_{\gamma_0/\gamma_s}^{\infty} \exp(-u/x - vx) dx$, xem chứng minh ở phần phụ lục A

Mệnh đề 2: Khi SNR cao, tương đương với $\gamma_{s,r}^{\gamma_s \rightarrow \infty}$ và $\gamma_{r,d}^{\gamma_s \rightarrow \infty}$ xác suất dừng được viết lại

$$\begin{aligned} OP_{MHE-RS}^{\gamma_s \rightarrow \infty} &= 1 - 2 \left\{ 1 - \exp\left(\frac{-1}{\mu\Omega_f\gamma_0}\right) \right\} \\ &\sum_{k=1}^N \binom{N}{k} (-1)^{k-1} \sqrt{\frac{k\gamma_0}{\mu\gamma_s\Omega_g\Omega_h}} K_1\left(2\sqrt{\frac{k\gamma_0}{\mu\gamma_s\Omega_g\Omega_h}}\right) \end{aligned} \quad (17)$$

Chứng minh: Ở chế độ SNR cao, với $\gamma_{s,r}^{\gamma_s \rightarrow \infty}$ và $\gamma_{r,d}^{\gamma_s \rightarrow \infty}$ xác suất dừng được viết lại như sau

$$\begin{aligned} OP^{\gamma_s \rightarrow \infty} &= 1 - \left(1 - \Pr\left\{ \underbrace{\gamma_{s,r}^{\gamma_s \rightarrow \infty, b} < \gamma_0}_{OP_1^{\gamma_s \rightarrow \infty}} \right\} \right) \\ &\times \left(1 - \Pr\left\{ \underbrace{\gamma_{r,d}^{\gamma_s \rightarrow \infty, b} < \gamma_0}_{OP_2^{\gamma_s \rightarrow \infty}} \right\} \right) \end{aligned} \quad (18)$$

Với phần OP_1 được xác định như sau

$$\begin{aligned} OP_1^{\gamma_s \rightarrow \infty} &= \Pr\left\{ |f_i|^2 > \frac{1}{\mu\gamma_0} \right\} \\ &= 1 - F_{|f_i|^2}\left(\frac{1}{\mu\gamma_0}\right) = \exp\left(-\frac{1}{\mu\Omega_f\gamma_0}\right) \end{aligned} \quad (19)$$

Và OP_2 là

$$\begin{aligned} OP_2^{\gamma_s \rightarrow \infty} &= 1 - 2 \sum_{k=1}^N \binom{N}{k} (-1)^{k-1} \\ &\sqrt{\frac{k\gamma_0}{\mu\gamma_s\Omega_g\Omega_h}} K_1\left(2\sqrt{\frac{k\gamma_0}{\mu\gamma_s\Omega_g\Omega_h}}\right) \end{aligned} \quad (20)$$

Cuối cùng là thay (19) và (20) vào (18).

3.2 Phân tích thông lượng

Trong bài đề tài này, thông lượng của mô hình được đánh giá thông qua đại lượng xác suất dừng. Xác suất dừng tại nút đích với năng lượng thu được tại nút chuyển tiếp từ tín hiệu nguồn và sau đó sử dụng nó để chuyển tín hiệu nguồn tới đích. Xác suất dừng trong công thức là một hàm theo thời gian thu năng lượng α và α tăng giảm trong khoảng từ 0 đến 1. Với tốc độ truyền dẫn là R (bits/sec/Hz) và thời gian một lần truyền từ nút nguồn đến nút đích là T (s). Ta có thể tính được thông lượng ngõ ra

$$\tau_{MHE-RS} = (1-\alpha) \times (1-OP_{MHE-RS}) \times R_c \quad (21)$$

Trong trường hợp SNR cao, tương đương với $\gamma_{s,r}^{\gamma_s \rightarrow \infty}$ và $\gamma_{r,d}^{\gamma_s \rightarrow \infty}$ xác suất dừng thông lượng của hệ thống được xác định như sau

$$\tau_{MHE-RS}^{\gamma_s \rightarrow \infty} = (1-\alpha) (1-OP_{MHE-RS}^{\gamma_s \rightarrow \infty}) R_c \quad (22)$$

Thời gian chuyển mạch tối ưu có thể tính toán để giải quyết vấn đề trên

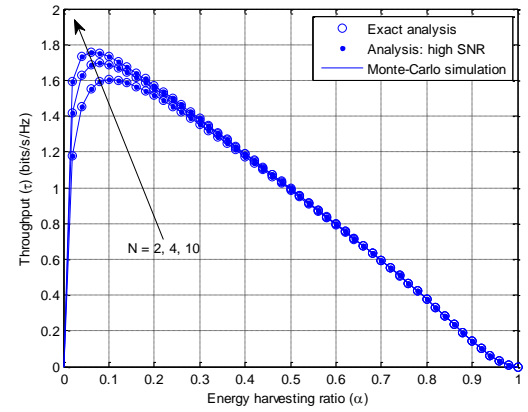
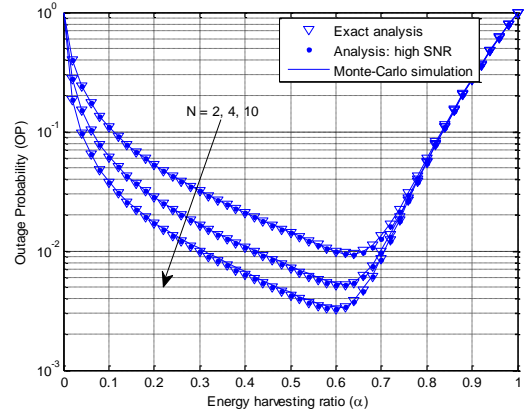
$$\alpha_{MHE-RS}^{opt} = \arg \max_{0 < \alpha < 1} \{ \tau_{MHE-RS}(\alpha) \} \quad (23)$$

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Trong phần này sẽ trình bày kết quả tính toán bằng đồ hình minh họa cho các giải pháp cho các vấn đề tối ưu hóa thông lượng của cấu hình thu năng lượng. Thông qua phương pháp tính toán số học, thông lượng tối ưu tỷ lệ với thời gian thu năng lượng trong giao thức TSR. Trong mô phỏng này, chúng tôi thiết lập thông số như sau $\gamma_s = 25$ (dB), $d_1 = d_2 = 1$, suy hao đường truyền $m = 3$, hiệu suất thu năng lượng $\eta = 0.9$, tốc độ truyền cố định $R_c = 2$, suy ra $\gamma_0 = 2^2 - 1 = 3$. Trong tất cả mô phỏng Ω_h và Ω_g được xác định là giá trị trung bình của các biến ngẫu nhiên theo phân bố hàm mũ $|h_i|^2$ and $|g_i|^2$, tương ứng, $\Omega_h = d_1^{-m}$

và $\Omega_g = d_2^{-m}$.

4.1 Tác động của thời gian thu năng lượng



Hình 2 Xác suất dừng (hình trên), thông lượng (hình dưới) theo thời gian thu năng lượng với số lượng nút chuyển tiếp $N = 2, 4, 10$, $\lambda_f = -15$ (dB).

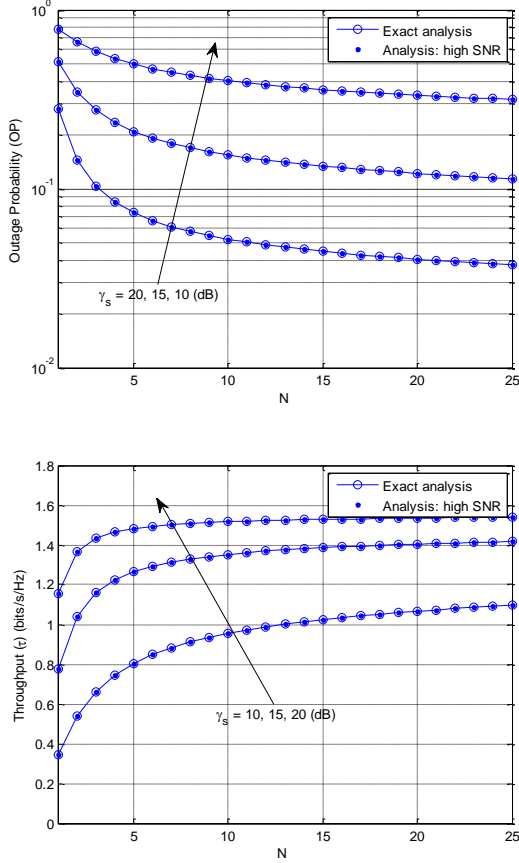
Xác suất dừng thay đổi theo thời gian thu năng lượng. Với thời gian dùng để thu năng lượng $\alpha=0.4$ đến $\alpha=0.7$ thì xác suất dừng gần như không xảy ra.

Song song đó, khoảng thời gian dùng để thu năng lượng ảnh hưởng rất nhiều đến thông lượng của hệ thống Cụ thể là khi $\alpha = 0$ hoặc $\alpha = 1$ thì thông lượng là bằng 1 và như vậy thì quá trình truyền không thể xảy ra đó là điều hiển nhiên vì khi $\alpha = 0$ thì không có quá trình thu năng lượng xảy ra hoặc khi $\alpha = 1$ thì toàn khoảng thời gian sử dụng để thu năng lượng mà không có thời gian để truyền thông tin.

Bên cạnh đó, xác suất dừng và thông

lượng còn phụ thuộc vào số lượng nút chuyển tiếp. Khi số lượng nút chuyển tiếp nhiều nhất trong một mô hình thì thông lượng của hệ thống là tốt nhất.

4.2 Hiệu suất của hệ thống thay đổi theo số lượng nút chuyển tiếp



Hình 3 Xác suất dừng (hình trên), thông

PHỤ LỤC A

Dựa trên cấu hình lựa chọn nút chuyển tiếp (15), cdf của kênh $|h_b|^2$ là như sau

$$f_{|h_b|^2}(x) = \sum_{k=1}^N \binom{N}{k} (-1)^{k-1} \frac{k}{\Omega_h} \exp\left(\frac{-kx}{\Omega_h}\right) \quad (24)$$

Với, giá trị đầu tiên(14) được xác định như sau

$$OP_1 = \Pr\left\{\mu\gamma_s |h_b|^2 |g_b|^2 < \gamma_0\right\} = \int_0^{\infty} F_{|g_b|^2}\left(\frac{\gamma_0}{\mu\gamma_s x}\right) f_{|h_b|^2}(x) dx \quad (25)$$

Thay thế pdf của $|h_b|^2$ trong (24) và cdf của $|g_b|^2$ vào (25). Kết quả thu được là

$$OP_1 = 1 - \sum_{k=1}^N \binom{N}{k} (-1)^{k-1} \frac{k}{\Omega_h} \int_0^{\infty} \exp\left(\frac{-\gamma_0}{\mu\gamma_s \Omega_g x} - \frac{kx}{\Omega_h}\right) dx \quad (26)$$

lượng (hình dưới) theo số lượng nút chuyển tiếp với $\alpha = 0.2$, $\lambda_f = -15$ (dB)

Cũng tương tự như vậy, khi càng nhiều nút chuyển tiếp thì thông lượng càng tốt. Tuy nhiên chúng ta có thể thấy rằng, khi số lượng nút chuyển tiếp đạt được khoảng $N=15$ trở lên thì thông lượng gần như không có thay đổi nhiều. Nên để tối ưu và tiết kiệm chi phí cho nút chuyển tiếp chỉ cần dùng tối đa 15 nút chuyển tiếp là đảm bảo thông lượng tốt đối với mô hình này.

5. KẾT LUẬN

Trong bài viết này, chúng tôi đề xuất cấu hình lựa chọn nút chuyển tiếp cho mô hình mạng truyền thông chuyển tiếp không dây 2 chặng và phân tích hiệu suất hệ thống với giao thức FD-DF. Đây là một trong những yếu tố được quan hàng đầu của mô hình mạng chuyển tiếp để đạt được thông lượng tốt.

Kết quả mô phỏng thể hiện rằng, có càng nhiều nút chuyển tiếp trong quá trình truyền thì chất lượng càng được nâng cao lên.

Tương tự như vậy, ta tính được thành phần thứ 2

$$\begin{aligned}
OP_2 &= \Pr \left\{ |g_b|^2 > \frac{\gamma_0}{\mu\gamma_s |h_b|^2}, |f_i|^2 > \frac{1}{\mu\gamma_0} - \frac{1}{\mu\gamma_s |h_b|^2} \right\} \\
&= \int_0^{\gamma_0/\gamma_s} \left(1 - F_{|g_b|^2} \left(\frac{\gamma_0}{\mu\gamma_s \Omega_g x} \right) \right) f_{|h_b|^2}(x) dx \\
&+ \int_{\gamma_0/\gamma_s}^{\infty} \left(1 - F_{|g_b|^2} \left(\frac{\gamma_0}{\mu\gamma_s \Omega_g x} \right) \right) \times \left(1 - F_{|f_i|^2} \left(\frac{1}{\mu\gamma_0} - \frac{1}{\mu\gamma_s x} \right) \right) \times f_{|h_b|^2}(x) dx
\end{aligned} \tag{27}$$

Với $|f_i|^2$ cũng có dạng hàm phân bố mũ, vì thế (27) có thể viết lại

$$\begin{aligned}
OP_2 &= \sum_{k=1}^N \binom{N}{k} (-1)^{k-1} \frac{k}{\Omega_h} \int_0^{\gamma_0/\gamma_s} \exp \left(\frac{-kx}{\Omega_h} - \frac{\gamma_0}{\mu\gamma_s \Omega_g x} \right) dx + \exp \left(-\frac{1}{\mu\gamma_0 \Omega_f} \right) \\
&\times \sum_{k=1}^N \binom{N}{k} (-1)^{k-1} \frac{k}{\Omega_h} \times \int_{\gamma_0/\gamma_s}^{\infty} \exp \left(\frac{1}{x\mu\gamma_s \Omega_f} - \frac{\gamma_0}{x\mu\gamma_s \Omega_g} - \frac{kx}{\Omega_h} \right) dx
\end{aligned} \tag{28}$$

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Z. Ding, S. M. Perlaza, I. Esnaola, and H. V. Poor, Power allocation strategies in energy harvesting wireless cooperative networks, *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 13, no. 2, pp. 846–860, 2014.
- [2] B. Debaillie et al., “Analog/RF solutions enabling compact full-duplex radios,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 32, no. 9, pp. 1662–1673, Sept. 2014.
- [3] Z. Zhang, X. Chai, K. Long, A. V. Vasilakos, and L. Hanzo, “Full duplex techniques for 5G networks: Self-interference cancellation, protocol design, and relay selection,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 5, pp. 128–137, May 2015.
- [4] A. A. Nasir et al, “Relaying protocols for wireless energy harvesting and information processing,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 12, no. 7, pp. 3622–3636, Jul. 2013.
- [5] I. Krikidis, J. Thompson, S. McLaughlin, and N. goertz, “Amplify-and-forward with partial relay selection,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 12, no. 4, pp. 235–237, Apr. 2008.
- [6] Z. Chen, B. Wang, B. Xia, et al, “Wireless Information and Power Transfer in Two-Way Amplify-and-Forward Relaying Channels,” arXiv preprint arXiv:1307.7447, 2013.
- [7] Zhong, Caijun, Himal A. Suraweera, Gan Zheng, Ioannis Krikidis, and Zhaoyang Zhang. "Wireless information and power transfer with full duplex relaying." , *IEEE Transactions on Communications* 62, no. 10 (2014): 3447-3461.

Thông tin liên hệ tác giả chính (người chịu trách nhiệm bài viết):

Họ tên: TS. ĐỖ ĐÌNH THUẤN

Đơn vị: KHOA ĐIỆN- ĐIỆN TỬ

Điện thoại: 0918095094

Email: dodinhthuan@gmail.com

BÀI BÁO KHOA HỌC

THỰC HIỆN CÔNG BỐ THEO QUY CHẾ ĐÀO TẠO THẠC SỸ

Bài báo khoa học của học viên

có xác nhận và đề xuất cho đăng của Giảng viên hướng dẫn



Bản tiếng Việt ©, TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP. HỒ CHÍ MINH và TÁC GIẢ

Bản quyền tác phẩm đã được bảo hộ bởi Luật xuất bản và Luật Sở hữu trí tuệ Việt Nam. Nghiêm cấm mọi hình thức xuất bản, sao chụp, phát tán nội dung khi chưa có sự đồng ý của tác giả và Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh.

ĐỂ CÓ BÀI BÁO KHOA HỌC TỐT, CẦN CHUNG TAY BẢO VỆ TÁC QUYỀN!

Thực hiện theo MTCL & KHTHMTCL Năm học 2017-2018 của Thư viện Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. Hồ Chí Minh.