ẢNH HƯỞNG CỦA KÊNH TRUYỀN KHÔNG HOÀN HẢO Lên hiệu năng của mạng chuyển tiếp Gia tăng thu thập năng lượng vô tuyến

Võ Nguyễn Quốc Bảo*, Nguyễn Anh Tuấn* *Học Viên Công Nghê Bưu Chính Viễn Thông

Học viện Công Nghệ Búu Chính viên Thống ⁺Cục Tần số vô tuyến điện

Tóm tắt: Bài báo này khảo sát ảnh hưởng của kênh truyền không hoàn hảo lên xác suất dừng hệ thống truyền gia tăng thu thập năng lượng với kỹ thuật lựa chọn nút chuyển tiếp. Chúng tôi đã đề xuất phương pháp phân tích mới cho phép đánh giá xác suất dừng của hệ thống ở kênh truyền fading Rayleigh. Kết quả mô phỏng Monte Carlo xác nhận tính chính xác của phương pháp phân tích đề xuất và mô hình đề xuất có ru điểm so với phương pháp truyền trực tiếp ở vùng tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu trung bình và cao. Đồng thời, bài báo cũng chỉ ra rằng hiệu năng của hệ thống TS và PS là như nhau nếu tỷ số chia sẻ thời gian và năng lượng là tối ưu.

Từ khóa: Truyền gia tăng, giải mã và chuyển tiếp, thu thập năng lượng, kênh truyền không hoàn hảo.

I. GIỚI THIỆU

Thu thập năng lượng và tái sử dụng năng lượng là một trong những hướng nghiên cứu trong những năm gần đây gọi là "năng lượng xanh" [1], [2], [3], [4]. Trong xu hướng này, các nhà khoa học đã đề xuất nhiều kỹ thuật để thu thập năng lượng tự nhiên từ môi trường xung quanh, ví dụ như thu thập năng lượng mặt trời, năng lượng gió, thủy triều, hoặc địa nhiệt [5]. Ưu điểm của các kỹ thuật thu thập năng lượng này là nguồn năng lượng dồi dào, nhưng

Tác giả liên hệ: Võ Nguyễn Quốc Bảo,

email: baovnq@ptithcm.edu.vn

Đến tòa soạn: 12/9/2016, chỉnh sửa: 12/10/2016, chấp nhận đăng: 12/11/2016.

nhược điểm là đòi hỏi các hệ thống và kỹ thuật thu thập phức tạp, và năng lượng thu thập không ổn định, phần nào phụ thuộc vào điều kiện thiên nhiên. Do đó, kỹ thuật thu thập năng lượng từ thiên nhiên khó có khả năng áp dụng vào trong các hệ thống thông tin đặc biệt là thông tin vô tuyến di động [5], [6], [7].

Để giải quyết những hạn chế của công nghệ thu thập năng lượng từ tự nhiên và tiến đến áp dụng cho hệ thống thông tin di động, các nhà khoa học gần đây quan tâm đến công nghệ thu thập từ tín hiệu vô tuyến với ý tưởng xuất phát từ Tesla [8], [9]. Các bài báo này đã lần đầu tiên đề xuất mô hình cho phép máy phát truyền năng lượng và tín hiệu đồng thời [10], [11]. Gần đây, Zhou đã đề xuất những mô hình cụ thể cho các máy thu vô tuyến sử dụng kỹ thuật thu thập năng lượng [12].

Tuy nhiên, một trong những nhược điểm của kỹ thuật thu thập năng lượng vô tuyến hiện nay là hiệu suất thu thập và năng lượng thu thập qua kênh truyền fading thường không cao dẫn đến vùng phủ sóng của các mang này rất han chế [13], [14], [15]. Để giải quyết bài toán này, kỹ thuật chuyển tiếp và truyền thông hợp tác thường được sử dụng để mở rông vùng phủ sóng của các mang vô tuyến sử dụng kỹ thuật thu thập năng lượng, ví dụ như [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26]. Tuy nhiên nhược điểm cố hữu của kỹ thuật chuyển tiếp và truyền thông hợp tác là hiệu suất phổ tần không cao, cần ít nhất hai khe thời gian cho một đơn vị dữ liêu, ngay cả khi kênh truyền trực tiếp từ nút nguồn đến nút đích là đủ tốt để giải điều chế đúng dữ liệu. Một trong những giải pháp cải thiện hiệu suất phổ

Nghiên cửu này được tài trợ bởi Học Viện Công Nghệ Bưu Chính trong đề tài mã số 9-HV-2016-RD-VT2.

tần cho kỹ thuật chuyển tiếp và truyền thông hợp tác là kỹ thuật truyền gia tăng [27], [28].

Để vẫn giữ ưu thế của kỹ thuật chuyển tiếp và cải thiện hiệu suất phổ tần, nghiên cứu này đề xuất áp dụng kỹ thuật truyền gia tăng (incremental relaying) cho mạng vô tuyến thu thập năng lượng. Cụ thể, mô hình mạng bao gồm nút nguồn, nút chuyển tiếp và nút đích. Nút nguồn và nút đích sử dụng năng lượng sẵn có từ pin hay từ điện lưới, trong khi nút chuyển tiếp sử dụng năng lượng thu thập [29], [30]. Tuy nhiên, kết quả phân tích của xác suất dừng hệ thống trong [29] không được biểu diễn ở dạng đóng và kết quả trong [30] được biểu diễn ở dạng chuỗi vô hạn và cả hai đều giả sử kênh truyền là hoàn hảo.

Trong bài báo này, tôi đề xuất phương pháp phân tích mới để phân tích hiệu năng của hệ thống truyền gia tăng với kỹ thuật lựa chọn nút chuyển tiếp từng phần trong điều kiện kênh truyền không lý tưởng. Cả hai mô hình chia sẻ năng lượng theo thời gian và theo công suất đều được xem xét. Kết quả phân tích số đã chỉ ra ưu điểm của hệ thống nghiên cứu ở vùng tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu trung bình đến cao.

Phần còn lại của bài báo được tổ chức như sau: Trong phần II và phần III, chúng tôi lần lượt trình bày mô hình và phân tích hiệu năng của hệ thống. Trong phần IV, chúng tôi sẽ kiểm chứng các kết quả phân tích bằng các kết quả mô phỏng trên phần mềm Matlab. Cuối cùng, chúng tôi kết luận bài báo trong phần V.

II. MÔ HÌNH HỆ THỐNG



Hình 1. Mô hình hệ thống truyền gia tăng thu thập năng lượng

Xem xét hệ thống truyền gia tăng thu thập năng lượng có một nút nguồn (S), một nút đích (D) và N nút chuyển tiếp thu thập năng lượng, lần lượt ký hiệu là $R_1,...,R_N$. Khác với mạng chuyển tiếp gia tăng truyền thông, các nút chuyển tiếp ở đây thu thập năng lượng từ nút nguồn và sử dụng năng lượng này để hỗ trợ đường truyền trực tiếp. Gọi h_{SRm} là hệ số kênh truyền từ nút nguồn đến nút chuyển tiếp R_m . Các nút chuyển tiếp thường sử dụng kỹ thuật điều chế hỗ trợ kỹ thuật chuỗi huấn luyện (pilot symbol assisted modulation) để ước lượng [31], [32]. Giá trị thực của hệ số kênh truyền từ S $\rightarrow R_m$ ký hiệu là \tilde{h}_{SR_m} liên hệ với h_{SR_m} thông qua mô hình sau:

$$\tilde{h}_{SR_m} = \mu h_{SR_m} + \sqrt{1 - \mu^2 \varepsilon} \tag{1}$$

với μ là hệ số tương quan kênh truyền đồng thời thể hiện chất lượng của quá trình ước lượng kênh truyền. Trong thực tế, ρ phụ thuộc vào tỷ số tín hiệu trên nhiễu trung bình và chiều dài của chuỗi ước lượng. Trong (1), ε là sai lệch trong quá trình ước lượng được mô hình hóa là biến ngẫu nhiên Gauss phức với phương sai là λ_{SR_m} .

Khi có nhiều nút chuyển tiếp, hệ thống sẽ sử dụng kỹ thuật chọn nút chuyển tiếp từng phần để chọn nút chuyển tiếp có tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu tốt nhất bằng kỹ thuật định thời được đề xuất bởi Bletsas trong [33]. Sau khi nhận tín hiệu từ nút nguồn, thời gian định thời của mỗi nút chuyển tiếp sẽ tỷ lệ nghịch với độ lợi kênh truyền từ nút nguồn đến chính nó. Nút chuyển tiếp có thời gian định thời ngắn nhất sẽ phát trước tiên và cũng là nút chuyển tiếp của hệ thống trong pha chuyển tiếp trong khi các nút khác sẽ giữ im lặng. Tuy nhiên, do ảnh hưởng của kênh truyền không hoàn hảo, nên nút chuyển tiếp được chọn, ký hiệu là R_b , ký hiệu như sau [34]:

$$\mathsf{R}_b = \arg \max_{m=1} M \tilde{\gamma}_{\mathsf{SR}_m} \tag{2}$$

$$\tilde{\gamma}_{\mathsf{SR}_m} = \frac{P_{\mathsf{S}}|\tilde{h}_{\mathsf{SR}_m}|^2}{N_0}.$$
(3)

Số 3 - 4 (CS.01) 2016 Tạp chỉ KHOA HỌC CÔNG NGHỆ **49** THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG Trong (3), P_s là công suất phát trung bình của nút nguồn và N_0 là phương sai của nhiễu trắng tại máy

thu. Cần chú ý rằng arg $\max_{m=1,\dots,M} \,\tilde{\gamma}_{\mathit{SR}_m} \neq \, \mathscr{Y}_{\mathit{SR}_m}$ với

$$\gamma_{\mathsf{SR}_m} = \frac{P_\mathsf{S} |h_{\mathsf{SR}_m}|^2}{N_0}.\tag{4}$$

nên hiệu năng của kỹ thuật lựa chọn nút chuyển tiếp từng phần sẽ bị suy giảm.

Với kỹ thuật truyền gia tăng, quá trình truyền dữ liệu từ nút nguồn đến nút đích diễn ra trong hai pha: pha truyền quảng bá và pha truyền gia tăng [27], [35], [36], [37]. Trong pha quảng bá, nút nguồn sẽ truyền quảng bá dữ liệu, dữ liệu này sẽ được nhận tai nút đích và nút chuyển tiếp. Tai cuối pha này, nút đích sẽ kiểm tra tỷ số tín hiệu trên nhiễu nhận được, nêu tỷ sô tín hiệu trên nhiều lớn hơn giá trị cho trước, nút đích sẽ thực hiện giải điều chế mà không cần pha truyền gia tăng và sau đó tiếp tục với khung dữ liệu kế tiếp. Ngược lại, nút đích sẽ gửi tín hiệu hồi tiếp yêu cầu pha chuyển tiếp từ các nút chuyển tiếp. Trong pha truyền gia tăng, nút đích sẽ sử dụng tín hiệu hồi tiếp yêu cầu nút chuyển tiếp được lựa chọn chuyển tiếp tín hiệu mà nó nhân được từ nút nguồn. Tại nút chuyển tiếp, ta xem xét hai kiến trúc thu thập năng lượng, theo thời gian và theo năng lượng [38], [39].

A. Chia sẻ năng lượng theo thời gian

Ta đặt T là khoảng thời gian truyền của một symbol và là tỷ lệ thời gian dùng để thu thập năng lượng. Quá trình truyền thông tin từ nút nguồn đến nút đích sẽ diễn ra trong hai pha: pha quảng bá và pha truyền gia tăng với tỷ lệ thời gian lần lượt là $(1 - \alpha)/2$ và $(1 + \alpha)/2$. Do bản chất của hệ thống truyền gia tăng, pha quảng bá là pha bắt buộc và pha truyền gia tăng là pha tùy chọn phụ thuộc vào chất lượng của kênh truyền trực tiếp.

Trong pha truyền gia tăng, nút chuyển tiếp sẽ thực hiện thu thập năng lượng trong khoảng thời gian αT và sau đó thực hiện chuyển tiếp tín hiệu trong khoảng thời gian $\frac{1-\alpha}{2}T$. Năng lượng mà nút chuyển tiếp thu thập được như sau:

$$E_h = \eta P_{\mathsf{S}} |\tilde{h}_{\mathsf{SR}_h}|^2 \alpha T.$$
(5)

η là hệ số thu thập năng lượng0

Từ (5), ta có thể tính công suất phát của nút chuyển tiếp khi thực hiện chuyển tiếp tín hiệu như sau:

$$P_{\mathsf{R}} = \eta \frac{2\alpha}{1-\alpha} P_{\mathsf{S}} |\tilde{h}_{\mathsf{SR}_b}|^2.$$
 (6)

Giả sử nút chuyển tiếp sử dụng kỹ thuật giải mã và điều chế, tỷ số tín hiệu trên nhiễu tương đương của hệ thống như sau:

$$\gamma_{\Sigma} = \min(\tilde{\gamma}_{\mathsf{SR}_b}, \gamma_{\mathsf{R}_b}\mathsf{D}),\tag{7}$$

với $\tilde{\gamma}_{SR_b}$ và $\tilde{\gamma}_{R_bD}$ lần lượt là tỷ số tín hiệu trên nhiễu từ kênh truyền S \rightarrow R_b và R_b \rightarrow S.

Ta có thể viết $\tilde{\gamma}_{SR_b}$ và $\tilde{\gamma}_{R_bD}$ lần lượt như sau:

$$\tilde{\gamma}_{\mathsf{SR}_b} = \frac{P_\mathsf{S}}{N_0} \max_{m=1,\dots,M} \tilde{\gamma}_{\mathsf{SR}_m} \tag{8}$$

và

$$=\eta \frac{\alpha}{1-\alpha} \frac{P_{\mathsf{S}}}{N_0} |\tilde{h}_{\mathsf{SR}_b}|^2 |h_{\mathsf{R}_b}\mathsf{D}|^2.$$
(9)

B. Chia sẻ năng lượng theo năng lượng

 $\gamma_{\mathsf{R}_b\mathsf{D}} = \frac{P_\mathsf{R}|h_{\mathsf{R}_b\mathsf{D}}|^2}{N_0}$

Khác với kiểu phân chia theo thời gian, kiểu phân chia theo năng lượng sẽ cho phép chia năng lượng tín hiệu thu được thành hai thành phần: phần để giải điều chế tín hiệu và phần thu thập để chuyển tiếp tín hiệu. Khi đó, một nửa thời gian đầu T/2, nút nguồn sẽ quảng bá dữ liệu trong khi các nút chuyển tiếp được lựa chọn nhận tín hiệu và năng lượng. Năng lượng thu thập tại nút chuyển tiếp được lựa chọn là:

$$E_h = \eta \mu P_{\mathsf{S}} |\tilde{h}_{\mathsf{SR}_b}|^2 \frac{T}{2},\tag{10}$$

với µ là tỷ lệ phân chia năng lượng cho bộ thu thập. Trong khe thời gian sau T/2, nút chuyển tiếp sẽ chuyển tiếp dữ liệu với công suất.

$$P_{\mathsf{R}} = \eta \mu P_{\mathsf{S}} \left| \tilde{h}_{\mathsf{SR}_b} \right|^2 \tag{11}$$

Ta có thể viết $\tilde{\gamma}_{SR_h}$ như sau [12]:

50 Tạp chí KHOA HỌC CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG Số 3 - 4 (CS.01) 2016

$$\tilde{\gamma}_{\mathsf{SR}_b} = \frac{(1-\mu)P_{\mathsf{S}}}{(1-\mu)N_{a,0} + N_{b,0}} \max_{m=1,\dots,M} |\tilde{h}_{\mathsf{SR}_m}|^2.$$
(12)

Để đơn giản, ta giả sử rằng $N_{a,0} = N_{b,0} = N_0$ dẫn đến

$$\tilde{\gamma}_{\mathsf{SR}_b} = \frac{1-\mu}{2-\mu} \frac{P_\mathsf{S}}{N_0} \max_{m=1,\dots,M} |\tilde{h}_{\mathsf{SR}_m}|^2.$$
(13)

Với kênh truyền của chặng hai, ta có tỷ số tín hiệu trên nhiễu tức thời như sau:

$$\gamma_{\mathsf{R}_{b}\mathsf{D}} = \frac{P_{\mathsf{R}|h_{\mathsf{R}_{b}\mathsf{D}}|^{2}}}{N_{0}}$$
$$= \frac{\eta \mu \left| \tilde{h}_{\mathsf{S}\mathsf{R}_{b}} \right|^{2}}{N_{0}} \left| h_{\mathsf{R}_{b}\mathsf{D}} \right|^{2}.$$
(14)

Kết hợp (8) và (12), ta viết lại $\tilde{\gamma}_{SR_b}$ trong cả hai trường hợp TS và PS như sau:

$$\tilde{\gamma}_{\mathsf{SR}_b} = \chi_1 \frac{P_{\mathsf{S}}}{N_0} \max_{m=1,\dots,M} |\tilde{h}_{\mathsf{SR}_m}|^2.$$
(15)

với

$$\chi_1 = \begin{cases} 1, & \text{TS} \\ \frac{1-\mu}{2-\mu}, & \text{PS} \end{cases}$$
(16)

Quan sát (9) và (14), ta thấy $R_b D$ có cùng dạng như sau

$$\gamma_{\mathsf{R}_{b}\mathsf{D}} = \chi_{2}\tilde{\gamma}_{\mathsf{S}\mathsf{R}_{b}} \left|h_{\mathsf{R}_{b}\mathsf{D}}\right|^{2} \tag{17}$$

với

$$\chi_2 = \begin{cases} \eta \frac{2\alpha}{1-\alpha}, & \text{TS} \\ \eta \mu, & \text{PS} \end{cases}$$
(18)

Tiếp theo, tôi sẽ phân tích xác suất dừng của hệ thống. Ta bắt đầu với hàm độ phân bố xác suất kết hợp giữa $\tilde{\gamma}_{\text{SR}_b}$ và γ_{SR_b} với $\gamma_{\text{SR}_m} = \chi_1 \frac{P_{\text{S}} |h_{\text{SR}_m}|^2}{N_0}$ ở kênh fading Rayleigh có dạng như sau

$$f_{\tilde{\gamma}_{\mathsf{SR}_m},\gamma_{\mathsf{SR}_m}}(x,y) = \frac{e^{-\frac{x+y}{(1-\rho^2)\bar{\gamma}_{\mathsf{SR}}}}}{(1-\rho^2)\bar{\gamma}_{\mathsf{SR}}^2} I_0\left(\frac{2\rho\sqrt{xy}}{(1-\rho^2)\bar{\gamma}_{\mathsf{SR}}}\right),\tag{19}$$

 $I_0(x) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} e^x \cos \theta d\theta$ là hàm Bessel điều chỉnh bậc một của loại một (the zeroth-order modified Bessel function of the first kind) [40].

Ở đây, giả sử rằng các nút chuyển tiếp do quá trình gom nhóm (cluster) nên có khoảng cách đối với nút nguồn là như nhau, cụ thể là $\bar{\gamma}_{SR_m} = \frac{\chi_1 P_S \lambda_{SR_m}}{N_0} = \bar{\gamma}_{SR} \forall m.$

Áp dụng nguyên tắc thống kê quy nạp, ta có hàm PDF của $\tilde{\gamma}_{SR_b}$, ký hiệu là $f_{\tilde{\gamma}_{SR_b}}(\gamma)$, được viết như sau [41]:

$$f_{\tilde{\gamma}_{\mathsf{SR}_b}}(x) = \int_0^\infty f_{\tilde{\gamma}_{\mathsf{SR}_b}|\gamma_{\mathsf{SR}_b}}(x|y) f_{\tilde{\gamma}_{\mathsf{SR}_b}}(y) dy, \quad (20)$$

với $f_{\tilde{\gamma}_{SR_b}|\gamma_{SR_b}}(x|y)$ là hàm PDF điều kiện của $\tilde{\gamma}_{SR_b}$ trên γ_{SR_b} , được viết lại như sau:

$$f_{\tilde{\gamma}_{\mathsf{SR}_b}|\gamma_{\mathsf{SR}_b}}(x|y) = \frac{f_{\tilde{\gamma}_{\mathsf{SR}_b},\gamma_{\mathsf{SR}_b}}(x|y)}{f_{\gamma_{\mathsf{SR}_m}}(y)}.$$
 (21)

Thay thế (21) vào (20), ta viết lại hàm PDF của $f_{\tilde{\gamma}_{\text{SR}_b}}(x)$ như sau:

$$f_{\tilde{\gamma}_{\mathrm{SR}_b}}(x) = \int_0^\infty \frac{f_{\tilde{\gamma}_{\mathrm{SR}_m}, \gamma_{\mathrm{SR}_m}}(x, y) f_{\gamma_{\mathrm{SR}_b}}(y)}{f_{\gamma_{\mathrm{SR}_m}}(y)} dy,$$
(22)

Khi đó, ta có hàm PDF của γ_{SR_b} có dạng như sau

$$f_{\gamma_{\mathsf{SR}_b}}(\gamma) = M \big[F_{\gamma_{\mathsf{SR}_m}}(\gamma) \big]^{M-1} f_{\gamma_{\mathsf{SR}_m}}(\gamma), \quad (23)$$

với $F_{\gamma_{SR}}(\gamma)$ và $f_{\gamma_{SR}}(\gamma)$ lần lượt là hàm CDF và PDF của γ_{SR_m} . Xem xét kênh truyền fading Rayleigh, ta có

$$F_{\gamma_{\mathsf{SR}_m}}(\gamma) = 1 - \exp\left(\frac{\gamma}{\gamma_{\mathsf{SR}}}\right)$$
 (24)

$$f_{\gamma_{\mathsf{SR}_m}}(\gamma) = \frac{1}{\bar{\gamma}_{\mathsf{SR}}} \exp\left(-\frac{\gamma}{\bar{\gamma}_{\mathsf{SR}}}\right) \qquad (25)$$

Thay thế (24) và (25) vào (23), sau đó sử dụng biểu thức nhị phân Newton, ta có

$$f_{\gamma_{\mathsf{SR}_b}}(\gamma) = \sum_{m=1}^M \binom{M}{m} (-1)^{m-1} \frac{m}{\bar{\gamma}_{\mathsf{SR}}} \exp\left(-\frac{m\gamma}{\bar{\gamma}_{\mathsf{SR}}}\right)$$
(26)

Thay thế (19), (25), và (26) vào (22) và thực hiện tích phân theo γ , ta tìm được hàm PDF của $\tilde{\gamma}_{SR_b}$ như sau:

$$f_{\tilde{\gamma}_{\mathsf{SR}_m}}(\gamma) = \sum_{m=1}^M \binom{M}{m} (-1)^{m-1}$$

$$\frac{m}{\bar{\gamma}_{\mathrm{SR}} \left[1 + (m-1)(1-\rho^2)\right]}$$
(27)

$$\times \exp\left(-\frac{m\gamma}{\bar{\gamma}_{\mathrm{SR}} \left[1 + (m-1)(1-\rho^2)\right]}\right)$$

Giả sử nút chuyển tiếp sử dụng kỹ thuật giải mã và chuyển tiếp, tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu của kênh truyền chuyển tiếp là như sau [42], [43], [44]

$$\gamma_{\mathcal{R}} = \min(\tilde{\gamma}_{\mathsf{SR}_b}, \gamma_{\mathsf{R}_b}\mathsf{D}). \tag{28}$$

III. PHÂN TÍCH XÁC SUẤT DỪNG HỆ THỐNG

Trong phần này, tôi sẽ phân tích xác suất dừng hệ thống trong hai trường hợp: phân chia năng lượng theo thời gian và phân chia năng lượng theo công suất. Trong trường hợp đầu tiên, khi $\frac{1-\alpha}{2}$ phần thời gian sử dụng để truyền dữ liệu, áp dụng định lý tổng xác xuất, ta có thể viết xác suất dừng của hệ thống như công thức (29) Với trường hợp thứ hai, xác suất dừng của hệ thống được viết như sau:

$$OP = \Pr\left[\frac{1-\alpha}{2}\log_2(1+\gamma_{SD}) < \mathcal{R}_t\right]$$
$$\times \Pr\left(\frac{1-\alpha}{2}\log_2(1+\gamma_{R}) < \mathcal{R}_t | \frac{1-\alpha}{2}\log_2(1+\gamma_{SD}) < \mathcal{R}\right)$$
$$= \Pr\left[\frac{1-\alpha}{2}\log_2(1+\gamma_{SD}) < \mathcal{R}_t\right] \Pr\left[\frac{1-\alpha}{2}\log_2(1+\gamma_{R}) < \mathcal{R}_t\right]$$
$$= F_{\gamma_{SD}}\left(2^{\frac{2\mathcal{R}_t}{1-\alpha}} - 1\right) F_{\gamma_{\mathcal{R}}}\left(2^{\frac{2\mathcal{R}_t}{1-\alpha}} - 1\right)$$
(29)

$$OP = \Pr\left[\frac{1}{2}\log_2(1+\gamma_{SD}) < \mathcal{R}_t\right]$$
$$\times \Pr\left[\frac{1}{2}\log_2(1+\gamma_{\mathcal{R}}) < \mathcal{R}_t\right]$$
$$= F_{\gamma_{SD}}\left(2^{2\mathcal{R}_t} - 1\right)F_{\gamma_{\mathcal{R}}}\left(2^{2\mathcal{R}_t} - 1\right). \quad (30)$$

Để tính được (29) và (30), ta dễ dàng tính được

 $F_{\gamma_{\rm SD}}(\gamma) = 1 - \exp\left(-\frac{\gamma}{\bar{\gamma}_{\rm SD}}\right). \label{eq:sdef}$

 $=1-\Pr\left[\tilde{\gamma}_{\mathsf{SR}_b} > \gamma, \Gamma\tilde{\gamma}_{\mathsf{SR}_b} |h_{\mathsf{R}_b\mathsf{D}}|^2 > \gamma\right]$

 $F_{\gamma_{\mathcal{R}}}(\gamma) = \Pr\left[\min(\tilde{\gamma}_{\mathsf{SR}_{b}}, \gamma_{\mathsf{R}_{b}\mathsf{D}}) < \gamma\right]$

Với $F_{\gamma_{\mathcal{R}}}(\gamma)$, ta có

$$=1-\int_{\gamma}^{\infty} \left[1-F_{\left|h_{\mathsf{R}_{b}\mathsf{D}}\right|^{2}}\left(\frac{\gamma}{\Gamma x}\right)\right] f_{\tilde{\gamma}_{\mathsf{S}\mathsf{R}_{b}}}(x)dx$$
(32)

Khi $F_{\left|h_{R_bD}\right|^2}(\gamma)$ có cùng dạng với $F_{\gamma_{SD}}(\gamma)$, thay thế (27) vào (32), ta có

$$F_{\gamma_{\mathcal{R}}}(\gamma) = 1 - \sum_{m=1}^{M} \binom{M}{m} (-1)^{m-1}$$

$$\times \frac{1}{\bar{\gamma}_{\mathsf{SR}} \left[1 + (m-1)(1-\rho^2)\right]}$$

$$\times \int_{\gamma}^{\infty} \exp\left(-\frac{\gamma}{\Gamma \lambda_{\mathsf{RD}} x} - \frac{mx}{\bar{\gamma}_{\mathsf{SR}} \left[1 + (m-1)(1-\rho^2)\right]}\right) dx$$
(33)

$$F_{\gamma_{\mathcal{R}}}(\gamma) = 1 - \sum_{m=1}^{M} \binom{M}{m} \frac{m}{\bar{\gamma}_{\mathsf{SR}} \left[1 + (m-1)(1-\rho^2)\right]} 2\sqrt{\frac{\gamma \bar{\gamma}_{\mathsf{SR}} \left[1 + (m-1)(1-\rho^2)\right]}{\chi \lambda_{\mathsf{RD}} m}}$$
$$\times \operatorname{BesselK}\left[1, 2\sqrt{\frac{\gamma m}{\chi \lambda_{\mathsf{RD}} \bar{\gamma}_{\mathsf{SR}} \left[1 + (m-1)(1-\rho^2)\right]}}\right]$$
(34)

(31)

52 Táp chí KHOA HỌC CÔNG NGHỆ Số 3 - 4 (CS.01) 2016 THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

Cần chú ý rằng tích phân (33) không tồn tại ở dạng đóng. Khi ở vùng tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu cao, nên ta có thể xấp xỉ $F_{\gamma R}$ (γ) như (34) ở đầu trang tiếp theo với BesselK[.,.] là hàm Bessel điều chỉnh của loại hai [40].

Cuối cùng, thay (31) và (34) lần lượt vào (29) vào (30), ta có được dạng tường minh mong muốn của xác suất dừng hệ thống cho hai trường hợp TS và PS.

IV. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Trong phần này, tôi sẽ thực hiện mô phỏng hệ thống TS và PS trên phần mềm Matlab nhằm kiểm chứng phương pháp phân tích đề xuất và chứng minh ưu điểm của mô hình đề xuất trong trường hợp kênh truyền không hoàn hảo. Kênh truyền xem xét là kênh truyền fading Rayleigh với độ lợi trung bình của các kênh truyền lần lượt là: $\lambda_{SD} = 1$, $\lambda_{SD} = 1$, $\lambda_{SD} = 2$ và $\lambda_{SD} = 3$. Các tham số của hệ thống được chọn như sau: $R_t = 1$, $\eta = 0,6$, $\alpha = 0,3$, $\mu = 0,5$, và $\rho = 0,7$.

Trong Hình 2, chúng tôi khảo sát xác suất dừng của hệ thống TS và PS khi số lượng nút chuyển tiếp thay đổi từ 1 đến 3. Chúng ta có thể thấy rằng hiệu năng của hệ thống được cải thiện khi số lượng nút chuyển tiếp tăng lên trong cả hai trường hợp. Tuy nhiên, mức độ cải thiện sẽ giảm khi số lượng nút càng tăng. Để tham chiếu, chúng tôi cũng vẽ xác suất dừng của hệ thống truyền trực tiếp. Lưu ý rằng nút nguồn trong cả hai trường hợp đều sử dụng cùng một mức công suất phát và tốc độ truyền dữ liệu mong muốn . Hình 2 chỉ ra rằng mô hình truyền gia tăng đề xuất chỉ hiệu quả ở vùng tỷ số tín hiệu trên nhiễu trung bình đến cao, nghĩa là không hiệu quả ở vùng nhiễu thấp. Cụ thể, mô hình TS và PS sẽ tốt hơn mô hình truyền trực tiếp lần lượt ở xấp xỉ 12 và 14 dB. Kết quả này được lý giải là do mô hình truyền gia tăng sử dụng nhiều hơn một pha truyền khi mà kênh truyền trực tiếp không đảm bảo tốc độ truyền mong muốn.

Trong hình 3 và hình 4, tôi khảo sát ảnh hưởng của kênh truyền không hoàn hảo lên hệ thống TS và PS bằng cách thay đổi giá trị ρ từ 0 đến 1. Trường hợp $\rho = 0$ và $\rho = 1$ tương ứng với trường hợp kênh truyền ước lượng hoàn toàn khác với kênh truyền thực tế và kênh truyền ước lượng là kênh truyền thực tế. Ta thấy khoảng cách giữa hai trường hợp này là 3 dB và ảnh hưởng của kênh truyền không hoàn hảo lên hiệu năng hệ thống TS và PS là tương tư như nhau.

Hình 5 khảo sát giá trị tối ưu của α cho hệ thống TS và giá trị tối ưu μ cho hệ thống PS. Tôi xem xét hai trường hợp tỷ số tín hiệu trên nhiễu trung bình của nút nguồn đó là 10 dB và 20 dB. Hình 5 chỉ ra rằng giá trị tối ưu của α và μ là không giống nhau. Cụ thể, trong cùng một điều kiện kênh truyền, giá trị tối ưu của α là 0.21 và giá trị tối ưu của μ là 0.59 và đặc biệt là không phụ thuộc vào tỷ số tín hiệu trên nhiễu của nút nguồn.

Hình 6 so sánh xác suất dừng hệ thống TS và PS trong cùng điều kiện kênh truyền với giá trị tối ưu của α và μ . Ta thấy rằng xác suất dừng của hệ thống trong cả hai trường hợp với số lượng nút chuyển tiếp là 3 là hoàn toàn bằng nhau.



Hình 2. Xác suất dừng hệ thống theo tỷ số tín hiệu trên nhiễu.



Hình 3. Ảnh hưởng của kênh truyền không hoàn hảo lên hệ thống TS.



Hình 4. Ảnh hưởng của kênh truyền không hoàn hảo lên hệ thống PS.



Hình 5. Giá tri tối ưu của α và μ .



Hình 6. So sánh TS và PS.

54 *Tạp chi* **KHOA HỌC CÔNG NGHỆ** Số 3 - 4 (CS.01) 2016 THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

V. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, tôi đã đề xuất phương pháp phân tích hiệu năng hệ thống truyền gia tăng thu thập năng lượng vô tuyến với kỹ thuật lựa chọn nút chuyển tiếp và kênh truyền không hoàn hảo ở kênh truyền fading Rayleigh. Cả hai trường hợp TS và PS đều được xem xét. Kết quả phân tích chỉ ra rằng hệ thống đề xuất tốt hơn hệ thống truyền trực tiếp ở vùng tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu trung bình và cao và giá trị tối ưu của α và μ là khác nhau trong cùng điều kiện kênh truyền. Và xác suất dừng hệ thống với giá trị tối ưu của α và μ là giống nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Y. Zou, J. Zhu, and R. Zhang, "Exploiting network cooperation in green wireless communication," Com- munications, IEEE Transactions on, vol. PP, no. 99, pp. 1–12, 2013.
- [2] X. Huang, T. Han, and N. Ansari, "On green energy powered cognitive radio networks," Communications Surveys & Tutorials, IEEE, vol. PP, no. 99, pp. 1–1, 2015.
- [3] X. Jie, D. Lingjie, and Z. Rui, "Cost-aware green cellular networks with energy and communication co-operation," Communications Magazine, IEEE, vol. 53, no. 5, pp. 257–263, 2015.
- [4] M. Zhang and Y. Liu, "Energy harvesting for physicallayer security in ofdma networks," Information Foren-sics and Security, IEEE Transactions on, vol. 11, no. 1, pp. 154–162, 2016.
- [5] C. R. Valenta and G. D. Durgin, "Harvesting wireless power: Survey of energy-harvester conversion ef-f ciency in far-f eld, wireless power transfer systems,". Microwave Magazine, IEEE, vol. 15, no. 4, pp. 108–120, 2014.
- [6] S. A. Raza Zaidi, A. Afzal, M. Hafeez, M. Ghogho, D. C. McLernon, and A. Swami, "Solar energy empowered 5g cognitive metro-cellular networks," Communications Magazine, IEEE, vol. 53, no. 7, pp. 70–77, 2015.
- [7] D. Mishra, S. De, S. Jana, S. Basagni, K. Chowdhury, and W. Heinzelman, "Smart rf energy harvesting communications: challenges and opportunities," Communications Magazine, IEEE, vol. 53, no. 4, pp. 70–78, 2015.
- [8] L. R. Varshney, "Transporting information and energy

simultaneously," in IEEE International Symposium on Information Theory 2008 (ISIT'08), Conference Proceedings, pp. 1612–1616.

- [9] P. Grover and A. Sahai, "Shannon meets tesla: Wireless information and power transfer," in Proc. of the 2010 IEEE International Symposium on Information Theory Proceedings (ISIT), Conference Proceedings, pp. 2363–2367.
- [10] S. Sudevalayam and P. Kulkarni, "Energy harvesting sensor nodes: Survey and implications," Communications Surveys & Tutorials, IEEE, vol. PP, no. 99, pp. 1–19, 2010.
- [11] R. J. M. Vullers, R. V. Schaijk, H. J. Visser, J. Penders, and C. V. Hoof, "Energy harvesting for autonomous wireless sensor networks," Solid-State Circuits Magazine, IEEE, vol. 2, no. 2, pp. 29–38, 2010.
- [12] X. Zhou, R. Zhang, and C. K. Ho, "Wireless information and power transfer: Architecture design and rate energy tradeoff," IEEE Transactions on Communications, vol. 61, no. 11, pp. 4754–4767, 2013.
- [13] A. A. Nasir, Z. Xiangyun, S. Durrani, and R. A. Kennedy, "Wireless-powered relays in cooperative communications: Time-switching relaying protocols and throughput analysis," Communications, IEEE Transactions on, vol. 63, no. 5, pp. 1607–1622, 2015.
- [14] L. Xiao, P. Wang, D. Niyato, D. Kim, and Z. Han, "Wireless networks with rf energy harvesting: A contemporary survey," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. PP, no. 99, pp. 1–1, 2015.
- [15] S. Ulukus, A. Yener, E. Erkip, O. Simeone, M. Zorzi, P. Grover, and K. Huang, "Energy harvesting wireless communications: A review of recent advances," Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, vol. PP, no. 99, pp. 1–1, 2015.
- [16] M. Tacca, P. Monti, and A. Fumagalli, "Cooperative and reliable arq protocols for energy harvesting wireless sensor nodes," Wireless Communications, IEEE Transactions on, vol. 6, no. 7, pp. 2519–2529, 2007.
- [17] Y. Dong, M. Hossain, and J. Cheng, "Performance of wireless powered amplify and forward relaying over nakagami-m fading channels with nonlinear energy harvester," Communications Letters, IEEE, vol. PP, no. 99, pp. 1–1, 2016.

- [18] G. Zhu, C. Zhong, H. Suraweera, G. Karagiannidis, Z. Zhang, and T. Tsiftsis, "Wireless information and power transfer in relay systems with multiple antennas and interference," Communications, IEEE Transactions on, vol. PP, no. 99, pp. 1–1, 2015.
- [19] Z. Zheng, P. Mugen, Z. Zhongyuan, and L. Yong, "Joint power splitting and antenna selection in energy harvesting relay channels," Signal Processing Letters, IEEE, vol. 22, no. 7, pp. 823–827, 2015.
- [20] Z. Yong and Z. Rui, "Full-duplex wirelesspowered relay with self-energy recycling," Wireless Communications Letters, IEEE, vol. 4, no. 2, pp. 201–204, 2015.
- [21] Z. Yang, Z. Ding, P. Fan, and G. Karagiannidis, "Outage performance of cognitive relay networks with wireless information and power transfer," Vehicular Technology, IEEE Transactions on, vol. PP, no. 99, pp. 1–1, 2015.
- [22] P. Liu, S. Gazor, I.-M. Kim, and D. I. Kim, "Noncoherent relaying in energy harvesting communication systems," Wireless Communications, IEEE Transactions on, vol. PP, no. 99, pp. 1–1, 2015.
- [23] T. Li, P. Fan, and K. Letaief, "Outage probability of energy harvesting relay-aided cooperative networks over rayleigh fading channel," Vehicular Technology, IEEE Transactions on, vol. PP, no. 99, pp. 1–1, 2015.
- [24] M. Jinjin, G. Jianhua, Z. Chensi, and L. Juan, "Joint optimal power allocation and relay selection scheme in energy harvesting asymmetric two-way relaying system," Communications, IET, vol. 9, no. 11, pp. 1421–1426, 2015.
- [25] Y. Gu and S. Aissa, "Rf-based energy harvesting in decode-and-forward relaying systems: Ergodic and outage capacities," Wireless Communications, IEEE Transactions on, vol. PP, no. 99, pp. 1–1, 2015.
- [26] Y. Dingcheng, Z. Xiaoxiao, X. Lin, and W. Fahui, "Energy cooperation in multi-user wireless-wered relay networks," Communications, IET, vol. 9, no.11, pp. 1412–1420, 2015.
- [27] V. N. Q. Bao and H. Y. Kong, "Incremental relaying for partial relay selection," IEICE Trans. Commun., vol. E93-B, no. 5, pp. 1317–1321, 2010.
- [28] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: Eff cient protocols and outage behavior," IEEE

Transactions on Information Theory, vol. 50, no. 12, pp. 3062–3080, 2004.

- [29] P. N. Son, H. Y. Kong, and A. Anpalagan, "Exact outage analysis of a decode-and-forward cooperative communication network with n t h best energy harvesting relay selection," Annals of Telecommunications, vol. 71, no. 5-6, pp. 251–263, 2016.
- [30] N. T. Van, H. M. Tan, T. M. Hoang, T. T. Duy, and V. N. Q. Bao, "Exact outage probability of energy harvesting incremental relaying networks with mrc receiver," in Proc. of The 2016 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC'16), Conference Proceedings, pp. 120–125.
- [31] S. Kotz and J. Adams, "Distribution of sum of identically distributed exponentially correlated gamma variables," vol. vol. 35, no. Annals Math. Stat., 1964.
- [32] V. Bao, T. Duong, and C. Tellambura, "On the performance of cognitive underlay multihop networks with imperfect channel state information," Communications, IEEE Transactions on, vol. PP, no. 99, pp. 1–10, 2013.
- [33] A. Bletsas, A. Khisti, D. P. Reed, and A. Lippman, "A simple cooperative diversity method based on network path selection," IEEE Journal on Select Areas in Communications, vol. 24, no. 3, pp. 659– 672, 2006.
- [34] I. Krikidis, J. Thompson, S. McLaughlin, and N. goertz, "Amplify-and-forward with partial relay selection," IEEE Communications Letters, vol. 12, no. 4, pp. 235–237, 2008.
- [35] S. Ikki and M. H. Ahmed, "Phy 50-5 performance analysis of incremental relaying cooperative diversity networks over rayleigh fading channels," in Wireless Communications and Networking Conference, 2008. WCNC 2008. IEEE, Conference Proceedings, pp. 1311–1315.
- [36] V. N. Q. Bao and K. Hyung Yun, "Performance analysis of incremental selection decode-andforward relaying over rayleigh fading channels," in IEEE International Conference on Communications Workshops, 2009 (ICC Workshops 2009), Conference Proceedings, pp. 1–5.
- [37] V. N. Q. Bao, N. T. Duc, and H. D. Chien, "Incremental cooperative diversity for wireless

networks under opportunistic spectrum access," in The 2011 International Conference on Advanced Technologies for Communications. IEEE, Conference Proceedings, pp. 121–125.

- [38] L. Liang, Z. Rui, and C. Kee-Chaing, "Wireless in formation and power transfer: A dynamic power splitting approach," IEEE Transactions on Communications, vol. 61, no. 9, pp. 3990–4001, 2013.
- [39] A. A. Nasir, Z. Xiangyun, S. Durrani, and R. A. Kennedy, "Relaying protocols for wireless energy har vesting and information processing," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 12, no. 7, pp. 3622-3636, 2013.
- [40] M. Abramowitz and I. A. Stegun, Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables, 10th ed. Washington: U.S. Govt. Print. Off., 1972. [Online]. Available: http:// www.knovel.com/knovel2/Toc.jsp?BookID=528
- [41] A. Papoulis and S. U. Pillai, Probability, random variables, and stochastic processes, 4th ed. Boston: McGraw-Hill, 2002.
- [42] S. I. Hussain, M. O. Hasna, and M.-S. Alouini, "Performance analysis of selective cooperation with f xed gain relays in nakagami-m channels," Physical Communication, no. 0. [Online]. Available: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/ S1874490712000316?v=s5
- [43] M. O. Hasna and M.-S. Alouini, "End-to-end performance of transmission system with relays over rayleigh fading channels," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 2, no. 6, pp. 1126–1131, 2003.
- [44] "Outage probability of multihop transmission over nakagami fading channels," IEEE Communications Letters, vol. 7, no. 5, pp. 216–218, 2003.

EFFECT OF IMPERFECT CSI ON WIRELESSLY POWERED TRANSFER INCREMENTAL RELAYING NETWORKS

Abstract: This paper is to investigate effect of imperfect channel state information on the system outage probability of wirelessly powered transfer incremental relaying networks with partial relay selection. We propose a novel derivation approach, which allows to derive the closed-form expression

for the system outage probability over Rayleigh fading channels. Monte-Carlo simulation is used to verify the correctness of the derivation approach and the advantages of the proposed protocol as compared with the direct transmission system over the medium-to-high SNR regime. In additions, this paper also conf rms that the time splitting (TS) or the power splitting (PS) provide the same outage performance if the time or power slitting ratio is selected optimally.

Keywords: Incremental relaying, decode-and-forward, energy harvesting, imperfect CSI



Võ Nguyễn Quốc Bảo tốt nghiệp Tiến sĩ chuyên ngành vô tuyến tại Đại học Ulsan, Hàn Quốc vào năm 2010. Hiện nay, PGS. TS. Võ Nguyễn Quốc Bảo là trưởng khoa Viễn Thông, Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông Cơ Sở Thành Phố Hồ Chí Minh và đồng thời là giám đốc của phòng thí nghiệm nghiên

cứu vô tuyến (WCOMM). Hướng nghiên cứu hiện tại đang quan tâm bao gồm: vô tuyến nhận thức, truyền thông hợp tác, truyền song công, bảo mật lớp vật lý và thu thập năng lượng vô tuyến.TS. Bảo hiện là thành viên chủ chốt (senior member) của IEEE, là biên tập viên (editor) của nhiều tạp chí khoa học chuyên ngành uy tín trong và ngoài nước, ví dụ: Transactions on Emerging Telecommunications Technologies (Wiley ETT), VNU Journal of Computer Science and Communication Engineering, và REV Journal on Electronics and Communications. TS. Bảo đồng thời tham gia tổ chức nhiều hội nghị quốc gia và quốc tế, ví dụ: ATC (2013, 2014), NAFOSTED-NICS (2014, 2015, 2016), REV-ECIT 2015, ComManTel (2014, 2015), and SigComTel 2017.



Nguyễn Anh Tuấn nhận bằng kỹ sư Điện tử viễn thông và Thạc sĩ Điện tử viễn thông tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội vào năm 2002 và năm 2006. Thạc sĩ Tuấn hiện đang công tác tại Cục Tần số vô tuyến điện - Bộ Thông tin và Truyền thông, đồng thời là nghiên cứu sinh tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn

thông. Hướng nghiên cứu hiện tại là nâng cao hiệu năng mạng thông tin vô tuyến thu thập năng lượng.