

TỐI ƯU CƠ CHẾ TRUYỀN LẠI CHO MẠNG KHÔNG DÂY BẰNG SIÊU HẸP SỬ DỤNG KỸ THUẬT RANDOM-FTDMA

Đỗ Minh Tiên

Học viện Khoa học ứng dụng quốc gia Lyon, Cộng hòa Pháp

Tóm tắt. Công nghệ băng siêu hẹp (ultra narrow band (UNB)) rất hứa hẹn cho mạng cảm biến không dây (wireless sensor networks (WSNs)) tốc độ truyền dữ liệu thấp. Công nghệ này đã được triển khai và thương mại hóa trong thực tế cho mạng cảm biến không dây tích hợp với mạng Internet of Things (IoTs). Mặc dù kỹ thuật này chỉ cho phép truyền thông tin với tốc độ chậm nhưng bù lại có thể truyền tải dữ liệu trên đoạn đường rất xa (lên đến 40 km trong điều kiện ít vật cản như trên mặt biển hoặc vùng nông thôn) mà tiêu thụ điện năng ít và tiết kiệm chi phí điều hành. Trong hệ thống, việc truy cập vào kênh truyền dựa trên kỹ thuật đa truy cập phân chia ngẫu nhiên tần số và thời gian (random frequency and time division multiple access (R-FTDMA)). Vì độ chính xác về tần số của các dao động thạch anh trong các nút cảm biến (sensor) trong thực tế không ổn định, sự ngẫu nhiên trong thời gian và tần số của kỹ thuật R-FTDMA có khả năng dẫn đến nhiều tín hiệu tại trạm gốc. Hơn nữa, sự đụng độ giữa các gói tin là một yếu tố hạn chế trong hoạt động của hệ thống. Do đó chúng tôi đề xuất một cơ chế truyền lại cho kiểu mạng này. Thông qua việc xem xét xác suất lỗi bit (outage probability - OP), chúng tôi đánh giá hiệu suất mạng cảm biến không dây băng siêu hẹp sử dụng kỹ thuật R-FTDMA và chỉ ra rằng tồn tại số lần truyền lại tối ưu để đạt được hiệu suất hoạt động hệ thống.

Từ khóa: Mạng cảm biến không dây, kỹ thuật truyền băng siêu hẹp, kỹ thuật đa truy cập R-FTDMA, cơ chế truyền lại.

1. GIỚI THIỆU

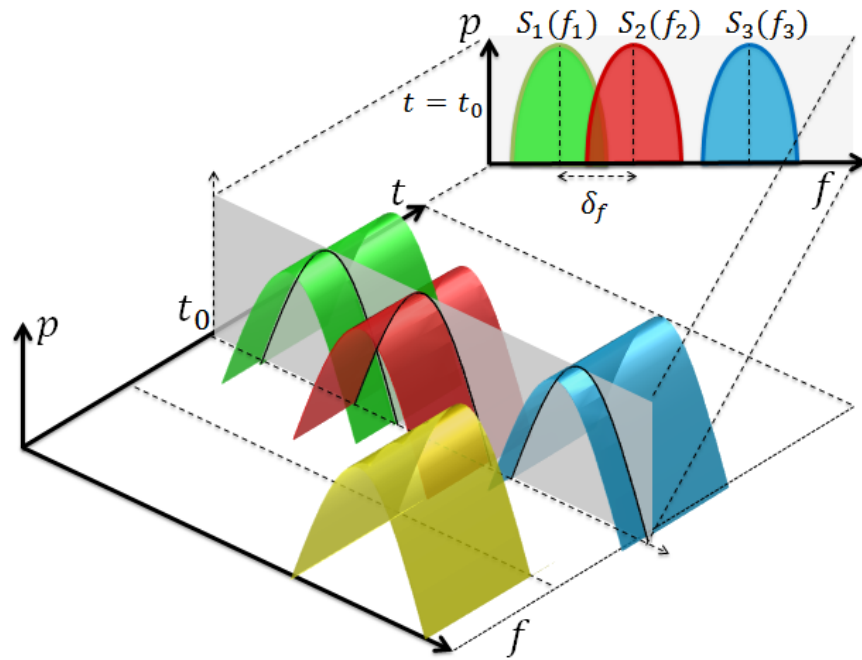
Công nghệ UNB trong lớp Vật lý đã được nghiên cứu và thương mại hóa trong khoa học và công nghiệp. Công nghệ này đã chứng minh hiệu quả cao cho truyền dẫn điểm-đến-điểm (point-to-point communication). Cụ thể, mỗi sensor truyền dữ liệu bằng cách sử dụng một băng thông rất hẹp (khoảng 200 Hz). Ưu điểm của kỹ thuật này là hạn chế đáng kể mức độ nhiễu nhiệt tác động lên hệ thống. Do đó, các mạng cảm biến không dây tốc độ truyền dữ liệu thấp (những ứng dụng để theo dõi nhiệt độ, đồng hồ điện, ...) rất phù hợp với kỹ thuật này. Kỹ thuật UNB đáp ứng được đòi hỏi vùng phủ sóng rộng và khả năng kết nối đến một số lượng lớn các sensor. Bên cạnh đó, kỹ thuật R-FTDMA sử dụng cho mạng cảm biến không dây UNB đã được nghiên cứu trong [1]. Hơn nữa, kỹ thuật đa truy cập cho phép loại bỏ chi phí vượt trội cho việc triển khai và quản lý mạng lưới nhưng lại dẫn đến nhiều giằng co giữa các tín hiệu gây hạn chế cho hiệu suất hệ thống [2]. Vì vậy, để nâng cao độ tin cậy của việc truyền tải trong kiểu mạng này, cơ chế truyền lại có thể được tái sử dụng [3, 4]. Trong bài viết, chúng tôi trình bày nghiên cứu hiệu suất hệ

thống thông qua việc đánh giá kỹ thuật đa truy cập phân chia ngẫu nhiên không những tần số mà còn thời gian (tức là R-FTDMA). Hiệu suất hệ thống được phân tích với việc ứng dụng cơ chế truyền cho mạng lưới. Kết quả mô phỏng sử dụng phần mềm Matlab được đưa ra để chứng minh kết quả lý thuyết.

2. KỸ THUẬT R-FTDMA: GIỚI THIỆU VÀ ĐỀ XUẤT

2.1. Nguyên lý của kỹ thuật R-FTDMA

Trong một mạng lưới sử dụng kỹ thuật R-FTDMA, đặc điểm chính là sự ngẫu nhiên trong thời gian và tần số. Hình 1 mô tả ví dụ về việc sử dụng nguồn tài nguyên thời gian và tần số của 4 tín hiệu gửi bởi 4 sensor.



Hình 1. Ví dụ về việc sử dụng nguồn tài nguyên thời gian và tần số của 4 tín hiệu.

Tính chất ngẫu nhiên trong tần số có ảnh hưởng đến vị trí của tần số sóng mang của mỗi sensor đang hoạt động trong toàn bộ băng tần. Sự lựa chọn tần số sóng mang được thực hiện hoàn toàn ngẫu nhiên theo 2 cách: rời rạc hoặc liên tục mà không màng đến tình trạng băng tần đang bị chiếm dụng [1]. Trong trường hợp rời rạc, gần giống với các kỹ thuật đa truy cập hiện nay, các tần số sóng mang được lựa chọn ngẫu nhiên từ một tập hợp rời rạc được xác định trước. Tuy nhiên, do hiện tượng jitter của dao động thạch anh trong thực tế (tần số dao động của thạch anh bị thay đổi sau một thời gian hoạt động), sự sai lệch về tần số sóng mang ít nhất là 400 Hz, vượt quá băng thông sử dụng của mỗi sensor cho việc truyền tải thông tin trong kỹ thuật băng siêu hẹp, làm cho việc chọn lựa ngẫu nhiên tần số không thể thực hiện được. Do đó, chúng tôi chỉ nghiên cứu kỹ thuật đa truy cập phân chia ngẫu nhiên liên tục tần số, nơi mà tần số sóng mang

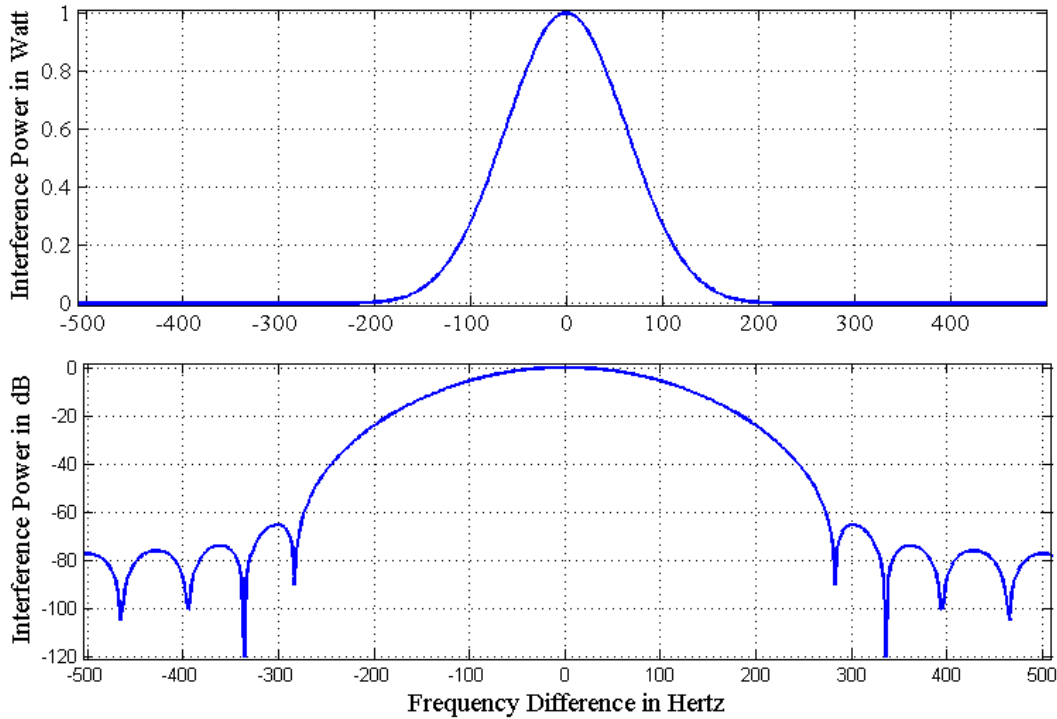
có thể được lựa chọn ngẫu nhiên và liên tục trên toàn bộ băng tần. Ngoài ra, *tính ngẫu nhiên về thời gian* có ảnh hưởng đến thời khắc truyền tín hiệu của sensor và hiển nhiên có tác động đến sự đụng độ các gói tin.

Một lợi thế của kỹ thuật R-FTDMA là việc loại bỏ tình trạng quá tải lưu lượng cần thiết cho đồng bộ hóa và quản lý mạng, đặc biệt, cho một mạng mà dữ liệu ngắn được truyền đi thường xuyên. Bên cạnh đó, sự hạn chế về tính chính xác của tần số dao động thạch anh được loại bỏ. Nhờ đó, chi phí và độ phức tạp của các sensor có thể được giảm.

2.2. Nhiễu trong kỹ thuật R-FTDMA

Việc thiếu các giao thức điều khiển trong miền thời gian và tần số có thể dẫn đến sự chồng chéo phổ tín hiệu giữa các sensor đang truyền đồng thời trong miền tần số. Đối với một tín hiệu gây nhiễu và ở một thời điểm cho trước, công suất nhiễu đạt được bằng cách nhân đáp ứng tần số của tín hiệu hữu ích và tín hiệu gây nhiễu [2]. Bỏ qua sự suy giảm tín hiệu trên kênh truyền dẫn, chúng tôi giả thiết là công suất nhận được ở trạm gốc giống hệt nhau. Vì vậy, trong trường hợp phát tín hiệu đồng thời, công suất nhiễu chỉ phụ thuộc vào khoảng cách giữa hai tần số sóng mang $\delta_f = |f_1 - f_2|$ của tín hiệu mong muốn f_1 và tín hiệu nhiễu f_2 :

$$P_I(t) = P(\delta_f, t). \quad (1)$$



Hình 2. Biểu diễn công suất nhiễu P_I theo khoảng cách tần số sóng mang δ_f .

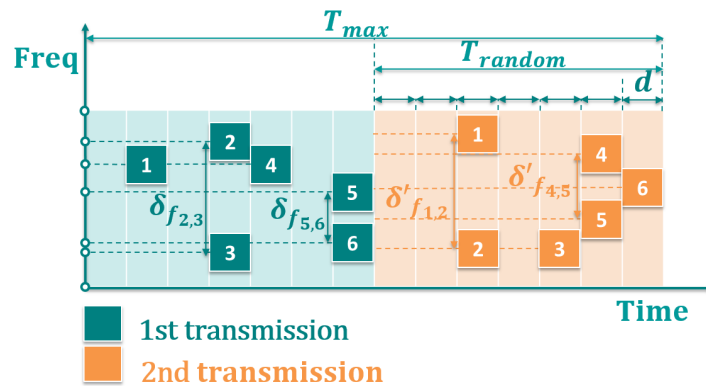
Trong Hình 2, chúng ta có thể thấy rằng công suất nhiễu ở mức thấp nếu khoảng cách tần số sóng mang δ_f là đủ lớn. Ngược lại, với một tín hiệu gây nhiễu duy nhất cũng có

thể tạo ra một mức độ nhiễu lớn đáng kể nếu như khoảng cách tần số sóng mang δ_f là rất nhỏ. Đặc biệt, chúng tôi xác định rằng với ngưỡng tỷ lệ lỗi bit (bit-error-rate (BER)) 10^{-3} (đồng nghĩa với việc tỷ số tín hiệu trên nhiễu (signal-to-noise ratio (SNR)) là 6,8 dB) đạt được khi khoảng cách tần số sóng mang trong khoảng $|\delta_f| > 113$ Hz [1].

2.3. Cơ chế truyền lại

Xem xét N sensor hoạt động đồng thời sử dụng kỹ thuật R-FTDMA, mỗi sensor i , $i \in [1, \dots, N]$ sẽ chọn ngẫu nhiên một tần số sóng mang f_i và thời điểm truyền. Vì vậy, sự va chạm xảy ra khi hai sensor truyền tín hiệu đồng thời và khoảng cách giữa hai tần số sóng mang của họ δ_f rơi vào khoảng $[-113; 113]$ Hz.

Giả thiết rằng mỗi gói tin (hoặc tin nhắn) có thời gian truyền d được truyền chính xác là n_r lần trong khoảng thời gian tồn tại của gói tin T_{max} , không phụ thuộc vào sự thành công của lần truyền trước (Hình 3). Chiều dài của cửa sổ được phép truyền lại sẽ là $T_{random} = \frac{T_{max}}{n_r}$. Mỗi máy phát sẽ chọn ngẫu nhiên một khe thời gian trong cửa sổ này để truyền lại gói tin của mình. Các gói tin được truyền tải thành công khi có ít nhất một trong n_r lần nỗ lực truyền thành công (BER $< 10^{-3}$). Ngược lại, các gói tin được xem là bị thất lạc. Xác suất lỗi bit (outage probability - OP) được định nghĩa là xác suất mà các BER vượt quá ngưỡng 10^{-3} và tương ứng với sự thất lạc gói tin. Việc kiểm soát lỗi (ví dụ, phát hiện và sửa lỗi: Automatic repeat request (ARQ) hay Forward error correction (FEC)) không được đánh giá trong mô hình này. Ngoài ra, vì tập trung vào các lớp MAC nên chúng tôi không xem xét hiệu quả tiêu thụ năng lượng của mạng lưới trong nghiên cứu này.

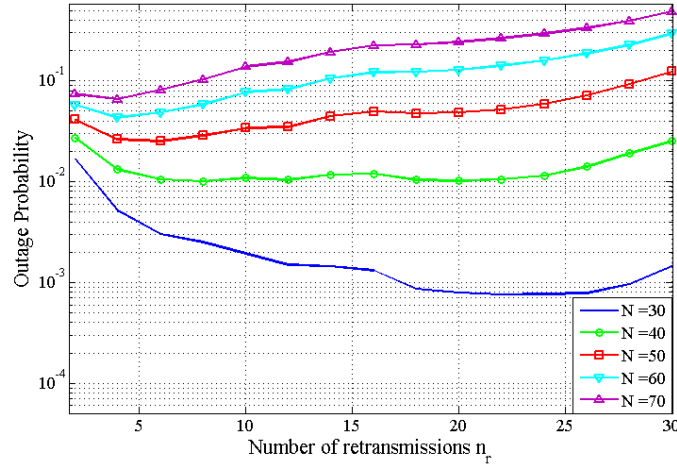


Hình 3. Minh họa cơ chế truyền lại: số lần truyền lại $n_r = 2$, số lượng sensor truyền đồng thời $N = 6$ và thời gian tồn tại của gói tin T_{max} .

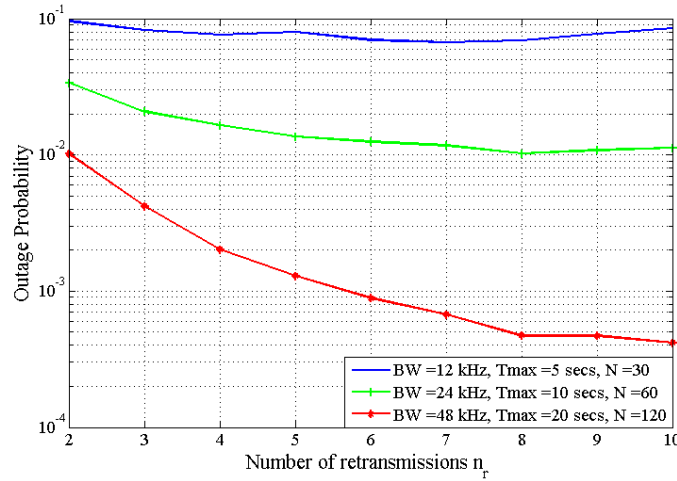
3. KẾT QUẢ VÀ ĐÁNH GIÁ HIỆU SUẤT

Hiệu suất hệ thống sử dụng kỹ thuật R-FTDMA được trình bày và đánh giá thông qua OP; OP được đánh giá dựa trên các thông số: số lần truyền lại (number of retransmission)

n_r , số lượng người dùng N , chiều dài băng thông BW và thời gian tồn tại của gói tin T_{max} . Thời gian truyền hết gói tin của mỗi sensor được xem xét như nhau và có giá trị $d = 0,5$ s.

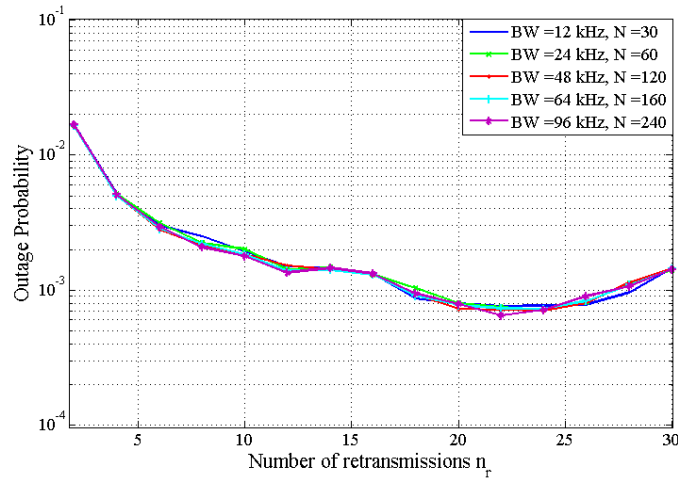


Hình 4. Đồ thị OP theo số lần truyền lại n_r cho $BW = 12$ kHz và $T_{max} = 15$ secs.

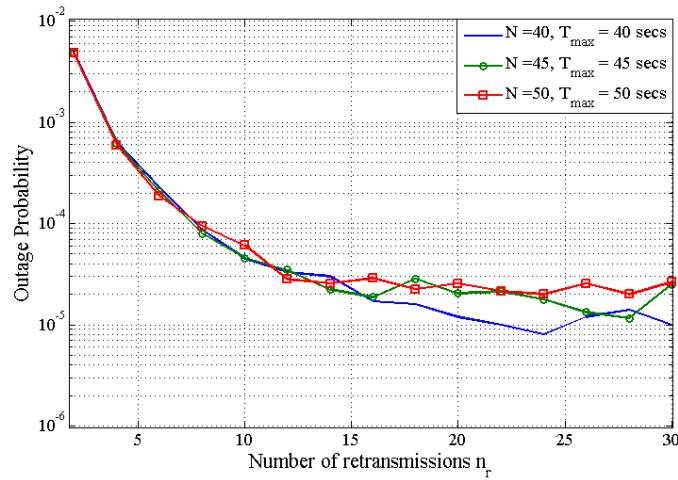


Hình 5. Đồ thị OP theo số lần truyền lại n_r cho BW khác nhau, T_{max} và N .

Hình 4 và 5 cho thấy rằng cơ chế truyền lại có thể cải thiện đáng kể xác suất truyền tải thành công một gói. Thật vậy, sự tăng số lần truyền lại n_r cho phép, trong thời gian đầu, giảm đáng kể OP. Tuy nhiên, cơ chế này làm gia tăng một cách nhanh chóng bởi số các gói tin được gửi bởi sensor trong một khoảng thời gian cố định. Như vậy, đối với số lần truyền lại n_r càng lớn, nguồn tài nguyên nhanh chóng bị cạn kiệt và lợi ích của việc gửi thêm các gói tin bị vô hiệu hóa do sự gia tăng xác suất đụng độ các gói tin. Vì vậy, tồn tại số lần truyền lại tối ưu và phụ thuộc vào các thông số: chiều dài băng thông BW , thời gian tồn tại của gói tin T_{max} và số lượng sensor đang truyền đồng thời N . Để mô tả sự phụ thuộc này, đường đồ thị OP được biểu diễn theo số lần truyền lại cho những trường hợp cụ thể ($\frac{N}{BW} = constant$ và $\frac{N}{T_{max}} = constant$), trên Hình 6 và 7.



Hình 6. Đồ thị OP theo số lần truyền lại n_r với $\frac{N}{BW} = 0.0025$, $T_{max} = 15$ secs.

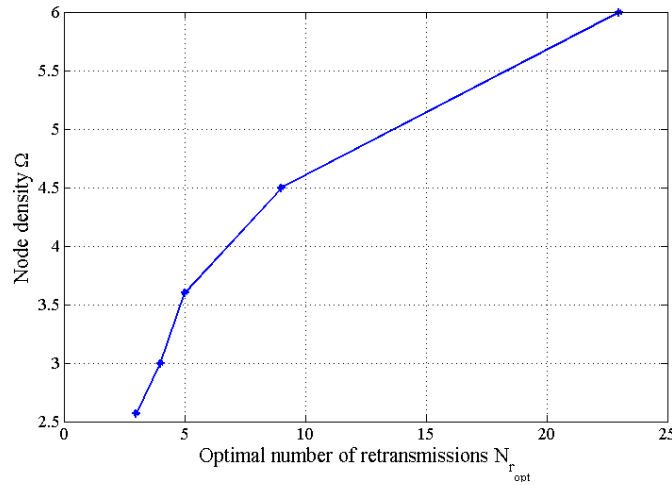


Hình 7. Đồ thị OP theo số lần truyền lại n_r cho $BW = 12$ kHz, $\frac{N}{t_{max}} = 1$.

Kết quả thể hiện rằng khi các thông số BW và T_{max} phát triển tỷ lệ với N , đường biểu diễn của OP theo số lần truyền lại là không thay đổi. Do đó, có thể đơn giản hóa sự phụ thuộc này bằng cách giảm số lượng các thông số ban đầu từ 3 xuống 2 thông số: $\frac{N}{BW}$ và $\frac{N}{T_{max}}$. Nhưng, khi quan sát hai thông số này, ta phát hiện ra rằng điểm chung của hai thông số này là số lượng sensor. Vì vậy, có thể đi xa hơn bằng cách xác định một tham số duy nhất: mật độ sensor (node density) Ω . Thông số này được xác định bằng tỷ số giữa các số lượng sensor đang hoạt động đồng thời và nguồn tài nguyên thời gian và tần số $\Omega = \frac{N}{BW \times T_{max}}$.

Do các đường biểu diễn OP là lồi, chúng tôi trích ra các giá trị tối ưu của số lần truyền lại (optimal number of retransmissions) $N_{r_{opt}}$ cho từng mật độ sensor Ω tương ứng. Mỗi tương quan của cặp đôi $(N_{r_{opt}}, \Omega)$ được biểu diễn trong Hình 8. Quan sát cho thấy, một cách lý tưởng, mật độ sensor Ω cao đòi hỏi một số lần truyền lại lớn (mặc dù nó cũng làm tăng nguy cơ của nhiễu). Kết quả này cho phép cấu hình mạng lưới dễ dàng

hơn khi dựa trên tham số chung duy nhất là mật độ sensor Ω .



Hình 8. Mật độ máy phát Ω vs số lần truyền lại tối ưu $N_{r_{opt}}$.

4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở mô hình mới về đa truy nhập: kỹ thuật R-FTDMA cho mạng cảm biến không dây băng siêu hẹp, một cơ chế truyền lại được đề xuất và phân tích cho kiểu mạng này. Đặc biệt, hiệu quả hoạt động của hệ thống được đánh giá thông qua xác suất lỗi bit. Kết quả đã chỉ ra rằng xác suất lỗi bit chỉ phụ thuộc vào mật độ sensor trên nguồn tài nguyên thời gian và tần số, và đối với mỗi mật độ sensor, tồn tại số lần truyền lại tối ưu. Kết quả này cũng cho phép cấu hình số lần truyền lại sao cho đáp ứng nhanh chóng đặc tính của mạng lưới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M.-T. Do, C. Goursaud, and J.-M. Gorce, "On the benefits of random fdma schemes in ultra narrow band networks," in *Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks (WiOpt), 2014 12th International Symposium on*, pp. 672–677, IEEE, 2014.
- [2] M.-T. Do, C. Goursaud, and J.-M. Gorce, "Interference modelling and analysis of random fdma scheme in ultra narrowband networks," in *AICT 2014*, 2014.
- [3] H. She, Z. Lu, A. Jantsch, D. Zhou, and L.-R. Zheng, "Analytical evaluation of retransmission schemes in wireless sensor networks," in *Vehicular Technology Conference, 2009. VTC Spring 2009. IEEE 69th*, pp. 1–5, IEEE, 2009.
- [4] H. Wen, C. Lin, F. Ren, Y. Yue, and X. Huang, "Retransmission or redundancy: Transmission reliability in wireless sensor networks," in *Mobile Adhoc and Sensor Systems, 2007. MASS 2007. IEEE International Conference on*, pp. 1–7, 2007.

OPTIMIZING RETRANSMISSION MECHANISM IN UNB NETWORK USING RANDOM-FDMA SCHEME

Abstract. *Ultra narrow band technology (UNB) is very promising for low-throughput wireless sensor networks (WSNs). Already deployed and commercialized for WSNs dedicated to the Internet of Things (IoTs) in the industry, it enables transfer information at low throughput, but an extremely long-range connectivity (up to 40 km in free-space) with a low-power consumption and a low network cost. Access to the medium of active sensor nodes is intrinsically (owing to the imprecision in frequency of the crystal oscillators in practice) by random frequency and time division multiple access (Random-FTDMA) schemes. The randomness in time and frequency domains of Random-FTDMA potentially lead to an interference impact. Collision between packets is a limiting factor in the system performance. Therefore, we propose in this paper to analyze a retransmission mechanism for such network. Considering the outage probability (OP), we evaluate the system performance and show that there is an optimal number of retransmissions.*

Keywords: *Wireless sensor networks, UNB transmission, Random-FTDMA, retransmission mechanism.*