

**BỘ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG
HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG**



NGUYỄN THỊ THU HẰNG

**NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP CẢI THIỆN HIỆU NĂNG
MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY ĐA SỰ KIỆN**

Chuyên ngành: Kỹ thuật Viễn thông

Mã số: 9.52.02.08

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Hà Nội - 2020

Công trình hoàn thành tại:

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG

Người hướng dẫn khoa học:

- 1. PGS.TS. Nguyễn Tiến Ban**
- 2. TS. Nguyễn Chiến Trinh**

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án được bảo vệ trước hội đồng chấm luận án cấp Học viện họp tại:

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG

vào hồi:

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- 1. Thư viện Quốc gia Việt Nam**
- 2. Thư viện Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông**

MỞ ĐẦU

TÍNH CẤP THIẾT CỦA LUẬN ÁN

Mạng cảm biến không dây (WSN) đã, đang và tiếp tục là lĩnh vực được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm và phát triển mở rộng từ những năm đầu thế kỷ 21. Tới nay cảm biến là phần không thể thiếu trong cuộc sống hơn nhiều so với các máy vi tính hiện dùng và trong thế giới IoT thì thiết bị cảm biến là một trong những thành phần thiết yếu. Những công nghệ không dây và vi cơ điện tử (MEMS) đã cho phép triển khai nhiều ứng dụng WSN trong những điều kiện mạng đặc biệt và khắc nghiệt, nó cho phép thay thế con người hay các thiết bị truyền thông thông dụng trong các lĩnh vực quân sự, giao thông, y tế, môi trường, công nông nghiệp ...

Trong giai đoạn phát triển ban đầu, với các ứng dụng cảm biến chuyên biệt, các cảm biến trong một mạng chỉ có nhiệm vụ cảm nhận những trạng thái hay quá trình vật lý/hóa học ở môi trường cần khảo sát, biến đổi chúng thành thông tin về trạng thái hay quá trình đó rồi gửi tín hiệu mang thông tin qua hạ tầng truyền thông về trung tâm để xử lý. Sau đó, trung tâm sẽ đưa ra cảnh báo/điều khiển cho mạng. Ngày nay, những yêu cầu ứng dụng đa dạng cần kết hợp nhiều kiểu loại cảm biến như ứng dụng trong cảnh báo cháy rừng, công nghiệp hầm mỏ, nông nghiệp thông minh, nhà thông minh hay y tế thông minh ..., các cảm biến cần có khả năng phân tích thông tin về nhiều loại sự kiện khác nhau rồi gửi cảnh báo về trung tâm và với mỗi sự kiện sẽ có thể có những yêu cầu truyền thông khác nhau như độ trễ, tốc độ, độ tin cậy, độ ưu tiên ... Như vậy ngoài rất nhiều thách thức trong việc thiết kế các mạng cảm biến không dây do đặc điểm khác biệt của mạng này so với mạng truyền thông truyền thống: số lượng thông tin cảm biến lớn, kích thước của nút cảm biến nhỏ, năng lượng hạn chế trong môi trường có độ tổn thất cao và phải có khả năng tự vận hành, quản lý của mạng cảm biến còn có thêm thách thức về việc thiết kế mạng sao cho có thể đáp ứng nhiều yêu cầu khác nhau về chất lượng dịch vụ (QoS) của nhiều sự kiện trong mạng.

Trong những năm gần đây, đã có nhiều nghiên cứu về mạng cảm biến không dây đa sự kiện với nhiệm vụ truyền thông của thiết bị cảm biến được thực hiện khi xuất hiện sự kiện đặc biệt trong mạng và có nhiều sự kiện cùng xuất hiện trong mạng với những yêu cầu chất lượng khác nhau. Tuy

nhiên, những nghiên cứu đi trước mới chỉ đáp ứng được một vài yêu cầu về chất lượng về trễ, độ tin cậy và/hoặc sử dụng hiệu quả năng lượng của mạng, hiếm khi giải quyết được nhiều yêu cầu khác biệt cùng xuất hiện trong mạng. Chính vì vậy, cần có thêm những nghiên cứu chuyên sâu để theo kịp và phù hợp với nhu cầu phát triển nhanh của những ứng dụng WSN đa sự kiện. Xuất phát từ các phân tích trên, nghiên cứu sinh đã quyết định chọn đề tài “Nghiên cứu giải pháp cải thiện hiệu năng mạng cảm biến không dây đa sự kiện” cho luận án nghiên cứu của mình.

MỤC TIÊU, ĐỐI TƯỢNG VÀ PHẠM VI NGHIÊN CỨU

Mục tiêu nghiên cứu của luận án là nghiên cứu, tìm kiếm và xây dựng các giải pháp cải thiện hiệu năng mạng cảm biến không dây, cụ thể là giảm được thời gian trễ truyền gói, tăng độ tin cậy và đảm bảo sử dụng năng lượng hiệu quả.

Đối tượng nghiên cứu: Luận án nghiên cứu các vấn đề liên quan tới giải pháp cải thiện hiệu năng mạng cảm biến không dây, bao gồm:

- Kỹ thuật định tuyến đa đường linh hoạt theo sự kiện và có nhận thức năng lượng trong WSN.
- Giao thức MAC ưu tiên trong WSN.

Phạm vi nghiên cứu

- Mạng cảm biến bao gồm số lượng nút hữu hạn có vị trí cố định với phân bố ngẫu nhiên trong trường cảm biến có phạm vi giới hạn.
- Nút cảm biến là đồng nhất (về cấu trúc, năng lượng, phạm vi thu phát) tại thời điểm mạng bắt đầu hoạt động. Suy hao năng lượng của cảm biến phụ thuộc vào hoạt động thu, phát ngẫu nhiên của cảm biến.
- Các sự kiện xuất hiện trong mạng cảm biến là ngẫu nhiên theo thời gian. Có những thời điểm nhiều sự kiện cùng xuất hiện.
- Các sự kiện có thể có yêu cầu chất lượng khác nhau và đã được phân loại trước khi được truyền đi.

PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Phương pháp nghiên cứu được sử dụng trong luận án là nghiên cứu lý thuyết dựa trên việc phân tích giao thức, phân tích toán học kết hợp với mô phỏng số và đối sánh với các phương pháp trước đây. Cụ thể, phương pháp nghiên cứu lý thuyết được sử dụng cho các nghiên cứu về nguyên lý hoạt

động của mạng cảm biến không dây và các giao thức định tuyến cũng như giao thức MAC. Phương pháp tính toán số kết hợp với công cụ phần mềm mô phỏng được sử dụng để kiểm chứng nghiên cứu lý thuyết và đối sánh với các phương pháp trước.

CÁC ĐÓNG GÓP CỦA LUẬN ÁN

Các kết quả đóng góp mới về khoa học của luận án có thể phân thành hai nhóm chính hướng tới đối tượng nghiên cứu mới là mạng cảm biến không dây đa sự kiện xuất hiện đồng thời:

Đóng góp thứ nhất của luận án là đề xuất 02 giải pháp cải thiện hiệu năng mạng cảm biến không dây đa sự kiện sử dụng kỹ thuật định tuyến linh hoạt là và EARPM là phiên bản cải tiến từ giải thuật DRPDS ở đề xuất thứ nhất với giải thuật định tuyến phát triển dựa trên việc nhận thức năng lượng còn lại kết hợp với tính toán khoảng cách để nâng cao hiệu quả tiêu thụ năng lượng nhằm kéo dài thời gian sống của mạng. Kết quả phân tích toán học và mô phỏng cho thấy hiệu quả của hai giải pháp là đáp ứng được yêu cầu khác nhau về trễ và độ tin cậy của ba loại sự kiện khác nhau và vẫn đảm bảo sử dụng hiệu quả năng lượng, kéo dài thời gian sống của mạng.

Đóng góp thứ hai của luận án là đề xuất giải pháp cải thiện hiệu năng mạng cảm biến không dây đa sự kiện sử dụng giao thức MAC ưu tiên PMME. Giao thức này kết hợp cơ chế CSMA p-persistent thay đổi theo mức độ ưu tiên của dữ liệu với cơ chế nhận sớm Beacon. Kết quả phân tích toán học và mô phỏng cho thấy giải pháp đã mang lại hiệu quả về mặt chất lượng mạng như giảm trễ truyền dữ liệu, đảm bảo tỷ lệ truyền gói thành công cao mà vẫn sử dụng năng lượng hiệu quả.

BỐ CỤC CỦA LUẬN ÁN

Chương 1: Tổng quan về vấn đề nghiên cứu

Chương 2: Cải thiện hiệu năng mạng cảm biến không dây đa sự kiện sử dụng giao thức định tuyến linh hoạt

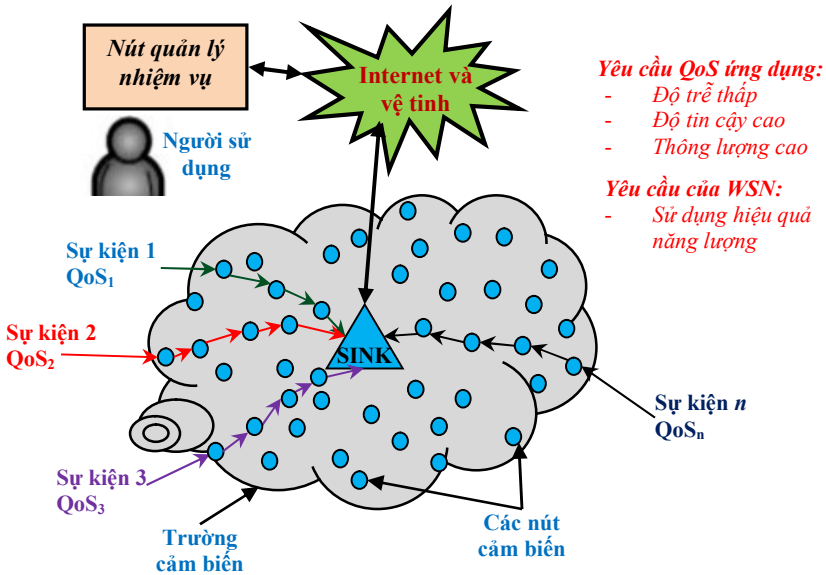
Chương 3: Cải thiện hiệu năng mạng cảm biến không dây đa sự kiện sử dụng giao thức MAC ưu tiên.

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

1.1 MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY ĐA SỰ KIỆN

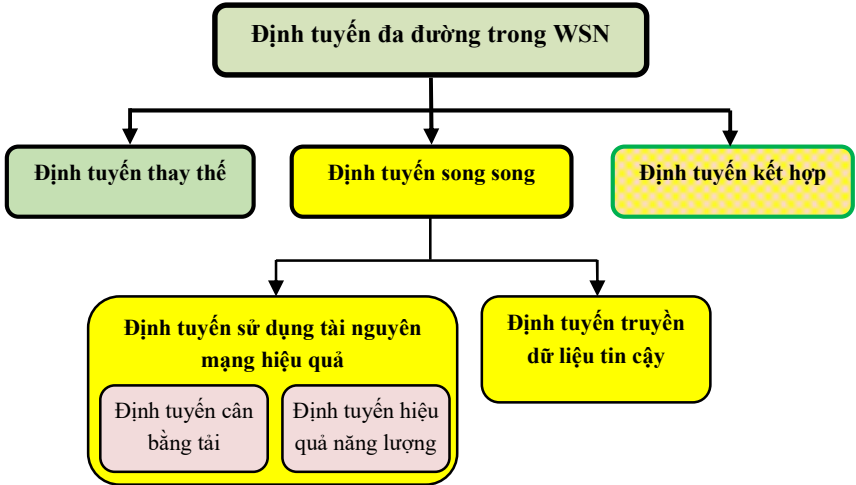
Mạng cảm biến không dây đa sự kiện (như mạng cảnh báo cháy rừng, mạng cảm biến trong nhà thông minh ...) là WSN trong đó các nút cảm biến cần chuyển tiếp thông tin cảm biến về các sự kiện tới điểm tập hợp dữ liệu (sink). Mỗi sự kiện sẽ có yêu cầu khác nhau về chất lượng dịch vụ như độ trễ, tốc độ, độ tin cậy, độ ưu tiên ... (Hình 1.1).

Các nút cảm biến nằm rải rác trong trường cảm biến và thường gồm một hoặc vài thiết bị cảm biến đơn giản, nhỏ gọn, giá thành rẻ... tạo nên sự kết hợp các khả năng cảm biến, xử lý và chuyển tiếp thông tin qua hạ tầng không dây về điểm tập hợp dữ liệu và từ đó chuyển tiếp tới người sử dụng cuối.



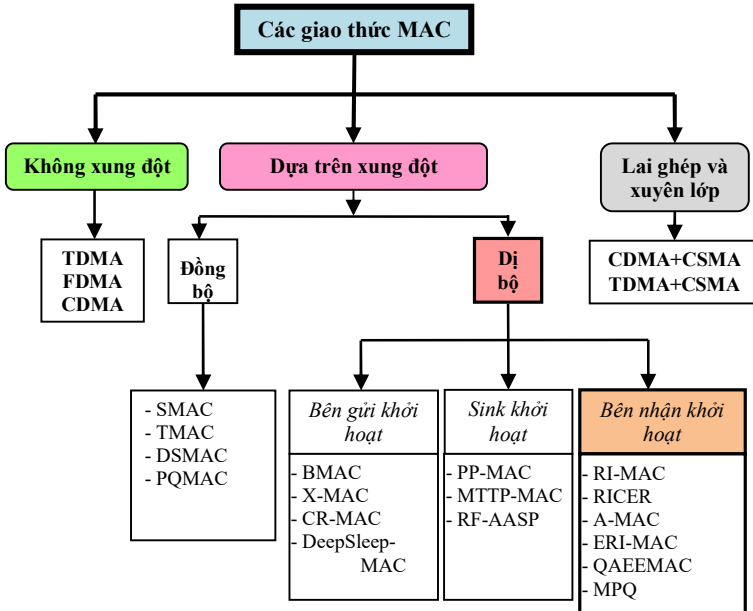
Hình 1.1: Mạng cảm biến không dây đa sự kiện với những ứng dụng yêu cầu đa dạng về chất lượng

- Nút mạng
- Mạng lưới liên kết
- Mô hình năng lượng
- Định tuyến trong mạng cảm biến không dây



Hình 1.5: Phân loại giao thức định tuyến đa đường

- Giao thức MAC trong mạng cảm biến không dây



Hình 1.6: Phân loại các giao thức MAC trong mạng cảm biến không dây

- Những yêu cầu chất lượng đặc biệt của WSN đa sự kiện

1.2 CÁC THAM SỐ ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY

- Hiệu quả sử dụng năng lượng
- Thời gian sống
- Năng lượng cho việc truyền một đơn vị dữ liệu
- Trễ gói tin
- Độ tin cậy

1.3 CÁC TIẾP CẬN LIÊN QUAN ĐẾN ĐỀ TÀI NGHIÊN CỨU

1.3.1 Phân tích, đánh giá các tiếp cận ở Việt Nam

Tại Việt Nam chưa có nghiên cứu nào đáp ứng và cải thiện đồng thời nhiều tham số hiệu năng cho WSN đa sự kiện.

1.3.2 Phân tích, đánh giá các tiếp cận trên thế giới

Trên thế giới, WSN là một lĩnh vực nghiên cứu quan trọng do khả năng sử dụng và lĩnh vực ứng dụng rộng khắp, đã có nghiên cứu nổi bật chung về mạng này và nhiều nghiên cứu liên quan tới việc cải thiện hiệu năng WSN như kéo dài thời gian sống, tiết kiệm năng lượng cũng như để đạt được những tiêu chí về mật gói, độ phủ, trễ thông tin trong mạng... Tuy nhiên, các nghiên cứu mới chỉ dừng ở việc đáp ứng một hoặc hai yêu cầu hiệu năng đơn lẻ hoặc chỉ đáp ứng được một tiêu chí về chất lượng ở nhiều cấp độ ưu tiên khác nhau như các kỹ thuật nén và tổng hợp dữ liệu, kỹ thuật phân cụm, các giao thức lớp MAC, kỹ thuật định tuyến hiệu quả năng lượng, kỹ thuật cân bằng tải, kỹ thuật định tuyến đa đường đảm bảo độ tin cậy, sử dụng kỹ thuật hàng đợi đảm bảo độ ưu tiên sự kiện trong mạng...

1.3.2.1 Hạn chế trong các nghiên cứu về giao thức định tuyến

1.3.2.2 Hạn chế trong các nghiên cứu sử dụng hàng đợi ưu tiên

1.3.2.3 Hạn chế trong các nghiên cứu về giao thức MAC

1.4 HƯỚNG NGHIÊN CỨU CỦA LUẬN ÁN

Trên cơ sở kết quả phân tích các hạn chế của các nghiên cứu liên quan, hướng nghiên cứu được đề xuất trong luận án này là (1) ***đề xuất giải pháp cải thiện hiệu năng mạng cảm biến không dây đa sự kiện sử dụng định tuyến linh hoạt*** và (2) ***đề xuất giao thức MAC ưu tiên mới đảm bảo QoS cho mạng cảm biến không dây đa sự kiện***. Trong hai hướng nghiên cứu của mình, nghiên cứu sinh nghiên cứu các giải pháp trước đây kết hợp với yêu cầu đa mức chất lượng của nhiều sự kiện trong mạng cảm biến để đưa

ra giải pháp cho luận án. Có ba mục tiêu hiệu năng hướng tới là giảm độ trễ, tăng độ tin cậy và đảm bảo sử dụng hiệu quả năng lượng cho WSN có sự phân biệt ưu tiên sự kiện.

1.4.1 Các giải pháp để làm giảm độ trễ

1.4.2 Các giải pháp làm tăng độ tin cậy

1.4.3 Các giải pháp để tăng hiệu quả sử dụng năng lượng mạng

1.4.4 Sự trả giá cho các tham số hiệu năng trong WSN

1.5 KẾT LUẬN CHƯƠNG 1

Chương 1 đã trình bày khái quát về WSN và các tham số hiệu năng WSN đa sự kiện. Ngoài ra, nghiên cứu sinh cũng phân tích, đánh giá tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước liên quan đến các mạng cảm biến nói chung và hiệu năng mạng cảm biến nói riêng trong chương này. Qua phân tích, đánh giá, nghiên cứu sinh chỉ ra các hạn chế của những nghiên cứu trước đây về WSN đa sự kiện, khảo sát và phân tích các giải pháp cải thiện hiệu năng WSN đa sự kiện. Trên cơ sở những hạn chế này, hướng nghiên cứu của luận án đã được chỉ ra là đề xuất các giải pháp cải thiện hiệu năng WSN đa sự kiện.

CHƯƠNG 2: CẢI THIỆN HIỆU NĂNG MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY ĐA SỰ KIỆN SỬ DỤNG GIAO THỨC ĐỊNH TUYẾN LINH HOẠT

2.1 ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong một số WSN, có nhiều loại sự kiện được phân biệt theo mức độ quan trọng. Sự kiện quan trọng thường dành cho những tình huống bất thường. Những thông số đo đạc môi trường theo chu kỳ như độ ẩm, nhiệt độ, áp suất khí quyển, cường độ ánh sáng có thể được coi là sự kiện bình thường (không nghiêm trọng).

Với những WSN cho các tòa nhà thông minh, các hệ thống giám sát môi trường và xử lý công nghiệp thông minh, nhiều sự kiện có mức độ quan trọng khác nhau có thể xuất hiện trong mạng. Như đã giới thiệu ở mục 1.1, với ứng dụng là mạng cảm biến cháy rừng thì có thể có nhiều cấp độ cảnh báo khác nhau, mỗi cấp độ lại yêu cầu một mức độ ưu tiên khác nhau về độ trễ và độ tin cậy. Các điểm cháy có thể đồng thời xuất hiện ở nhiều địa điểm với nhiều cấp độ khác nhau và lúc này mạng cảm biến cho cảnh báo cháy rừng trở thành mạng cảm biến đa sự kiện đa yêu cầu về chất lượng.

Yêu cầu tiết kiệm năng lượng là yêu cầu sống còn với các mạng cảm biến vì các cảm biến thường bị giới hạn về kích thước, năng lượng, dung lượng và khả năng xử lý. Thời gian sống của nút cảm biến phụ thuộc rất nhiều vào thời gian sống của pin mà nó có. Vì thế đã có rất nhiều nghiên cứu tập trung vào thiết kế các giao thức và giải thuật nhận thức năng lượng cho mạng cảm biến.

Để đáp ứng được nhiều yêu cầu chất lượng cho sự kiện và đảm bảo mạng sử dụng năng lượng hiệu quả, có ba hướng tiếp cận chính sử dụng giao thức định tuyến.

Một là để đảm bảo yêu cầu về độ tin cậy, đã có nhiều nghiên cứu dựa trên định tuyến đơn đường và đa đường. Mặc dù việc tìm đơn đường là đơn giản và có độ phức tạp thấp và sử dụng tài nguyên tối thiểu song khi mạng có thay đổi (lỗi nút hoặc kênh) thì nó lại phản ứng chậm và không đảm bảo được độ tin cậy theo yêu cầu do giới hạn của việc truyền trên một đường. Vì thế nhiều nghiên cứu về giao thức định tuyến đa đường được thực hiện để khắc phục nhược điểm này. Tuy nhiên độ phức tạp cho tìm đa đường sẽ cao hơn và năng lượng tiêu thụ cho việc truyền dữ liệu sao chép trên nhiều đường sẽ tăng tỷ lệ với số lần sao chép.

Thứ hai, việc tách lưu lượng và gửi trên nhiều đường có thể hỗ trợ yêu cầu về băng thông và giảm nghẽn cho nhiều loại ứng dụng khác nhau dẫn tới giảm trễ truyền thông. Tuy nhiên việc này sẽ kéo theo việc gia tăng độ phức tạp và độ trễ cho việc tách và hợp lưu lượng.

Thứ ba, rất nhiều giao thức định tuyến hiệu quả năng lượng đã được đề xuất hướng tới việc tiêu thụ năng lượng hiệu quả và kéo dài thời gian sống cho mạng.

Tuy nhiên, theo những kiến thức mà nghiên cứu sinh đã khảo sát và tổng hợp, những giải pháp trên mới chỉ dành cho mạng cảm biến có một hoặc hai loại sự kiện có yêu cầu khác biệt về chất lượng như độ tin cậy và/hoặc độ trễ, một vài nghiên cứu đã xem xét sử dụng năng lượng hiệu quả song vẫn chưa khảo sát trong trường hợp đa sự kiện xuất hiện đồng thời. Đã có một nghiên cứu đưa ra vấn đề đa sự kiện, song trong tình huống xuất hiện nhiều sự kiện đồng thời thì giải pháp không hiệu quả và thời gian sống của mạng giảm đi, nguyên nhân là vì nếu chỉ có một nguồn dữ liệu (đơn sự kiện) thì khi tách lưu lượng lên đa đường làm cho năng lượng tiêu thụ được san đều, tuy nhiên khi có nhiều sự kiện đồng thời thì các lưu

lượng san ra lại có thể chập lại trên một đường và gây hồ sâu năng lượng dẫn đến nút chết sớm. Cho tới nay, chưa có nghiên cứu về định tuyến nào hỗ trợ được nhiều mức độ yêu cầu về chất lượng và vẫn đáp ứng yêu cầu sử dụng năng lượng hiệu quả.

2.2 CÁC GIAO THỨC ĐỊNH TUYẾN ĐỊNH HƯỚNG SỰ KIỆN

2.2.1 Giao thức định tuyến GPSR

Giao thức định tuyến GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) là giao thức định tuyến kiểu cục bộ, quyết định chuyển tiếp chỉ phụ thuộc vào thông tin về các lân cận trong mạng. Khi nút có dữ liệu cần truyền, nó sẽ tìm trong các nút lân cận con đường về đích. Theo nghiên cứu của nhóm tác giả này, giả định là các nút biết vị trí của chính nó thông qua thiết bị GPS hoặc cách thức nào đó và nút chỉ cần thông tin về vị trí của các nút lân cận và vị trí của nút đích (sink) là đủ để quyết định chọn đường mà không cần những thông tin về hình trạng khác của mạng.

2.2.2 Giao thức định tuyến đa đường linh hoạt hướng theo sự kiện

2.2.3 Định tuyến đa đường nâng cao độ tin cậy và đảm bảo băng thông

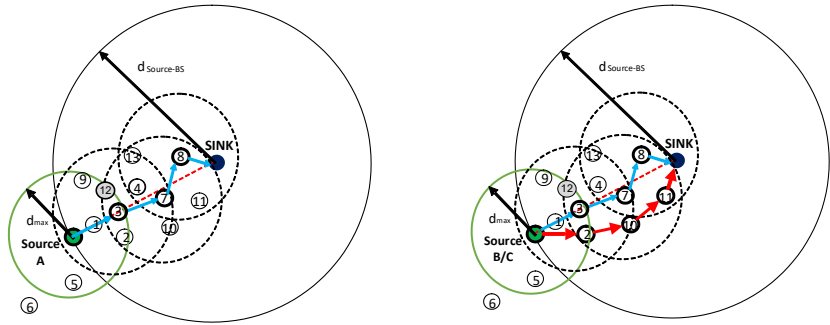
2.3 GIẢI PHÁP DRPDS KẾT HỢP ĐỊNH TUYẾN ĐỘNG VỚI CƠ CHẾ TRUYỀN GÓI LINH HOẠT

Dựa trên những yêu cầu đa dạng của WSN đa sự kiện và qua phân tích những ưu điểm là có khả năng đáp ứng độ tin cậy cao và trễ thấp của các giải pháp định tuyến đa đường đã phân tích ở mục 1.1 và 2.2, nghiên cứu sinh đề xuất xây dựng giao thức định tuyến động kết hợp giải thuật định tuyến đa đường linh hoạt với cơ chế phân tải linh hoạt có tên là DRPDS cho WSN đa sự kiện với ba loại sự kiện yêu cầu chất lượng khác nhau.

2.3.1 Phân tích giải pháp chọn tuyến và cơ chế phân tải linh hoạt

Giải pháp đề xuất được xây dựng dựa trên giao thức định tuyến đơn đường GPSR cho WSN định tuyến định hướng sự kiện. Có hai sự thay đổi từ giao thức này.

Nút nguồn chọn số lượng đường để truyền gói tin sự kiện khác nhau dựa trên kiểu loại sự kiện: sự kiện A (bình thường, không yêu cầu cao về độ tin cậy cũng như độ trễ) cần 1 đường, sự kiện B (yêu cầu độ tin cậy cao) cần 2 đường và dữ liệu sẽ được sao chép và truyền dữ liệu trên cả hai đường và sự kiện C (yêu cầu trễ nhỏ với mức độ nghiêm trọng cao của sự kiện) cần 2 đường, dữ liệu được san đều trên cả hai đường.



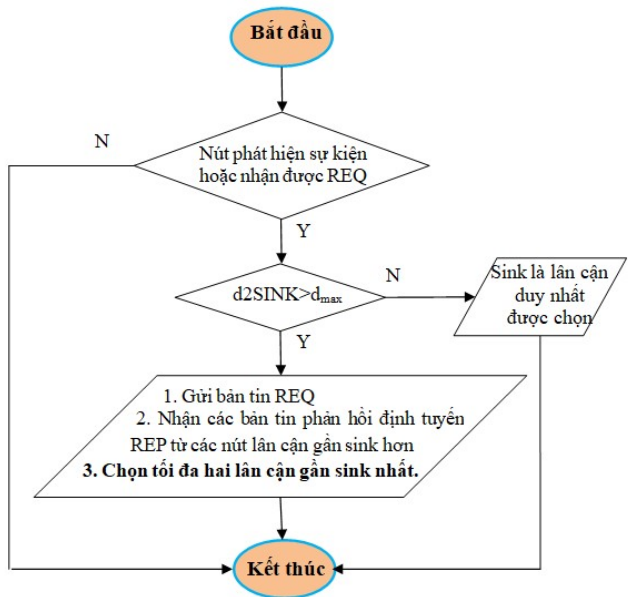
a) Định tuyến GPSR đơn đường b) Định tuyến DRPDS

Hình 2.2: Mô tả cơ chế định tuyến kết hợp đơn đường, đa đường

Hình 2.2 mô tả cơ chế định tuyến linh hoạt đề xuất cho WSN đa sự kiện. Nút nguồn cần tìm một hoặc hai nút lân cận trong số các nút lân cận có khoảng cách tới sink gần hơn để truyền gói dữ liệu mà nó cảm nhận được, các nút chuyển tiếp này cũng cần tìm một lân cận tốt nhất trong số các lân cận của nó để chuyển tiếp gói dữ liệu tới đích là sink. Có 5 nút lân cận còn sống (1, 2, 3, 5, 9) và một nút đã chết (12) của nút nguồn, trong đó chỉ có 4 nút là gần sink hơn (1, 2, 3, 9).

2.3.2 Giải thuật định tuyến và cơ chế truyền gói linh hoạt DRPDS

Khi nút cảm biến phát hiện ra sự kiện, nó sẽ gửi trước yêu cầu định tuyến REQ tới các lân cận, sau đó các lân cận gần còn sống sẽ gửi yêu cầu định tuyến tới các lân cận của nó và cứ thế yêu cầu tìm đường chuyển tiếp lan đi trong mạng.



Hình 2.4: Chọn nút chuyển tiếp trong DRPDS

Cũng trong thời gian chuyển tiếp REQ này, nguồn và các nút lân cận sẽ nhận được bản tin phản hồi REP từ những lân cận còn sống của nó và biết được những lân cận nào còn hoạt động. Trên cơ sở đó, nút sẽ xác định lân cận nào được lựa chọn làm nút chuyển tiếp trên đường chuyển gói dữ liệu tới đích (Hình 2.4).

2.3.3 Phân tích hiệu năng WSN đa sự kiện khi truyền đa đường

2.3.3.1 Phân tích về độ tin cậy

Phần này tính toán mức độ tin cậy cho định tuyến đơn và đa đường. Kết quả cho thấy là chuyển gói sao chép trên đa đường làm tăng mức độ tin cậy.

2.3.3.2 Phân tích tính trễ gói

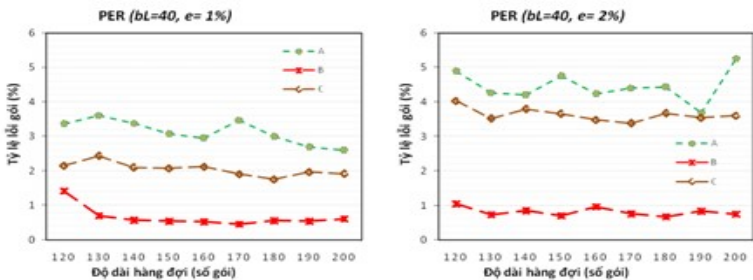
2.3.3.3 Một số trường hợp đặc biệt làm ảnh hưởng tới lợi thế trễ và độ tin cậy của định tuyến đa đường

2.3.4. Đánh giá hiệu năng WSN đa sự kiện sử dụng DRPDS

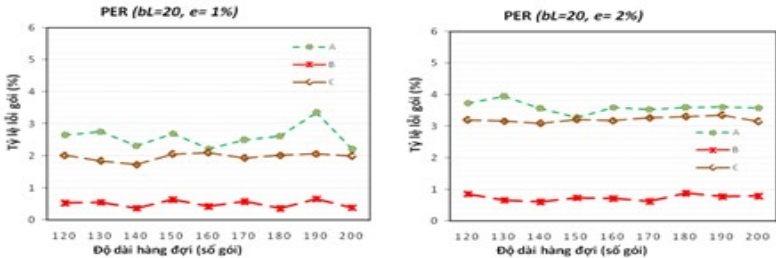
2.3.4.1 Kịch bản mô phỏng

2.3.4.2 Kết quả mô phỏng và đánh giá

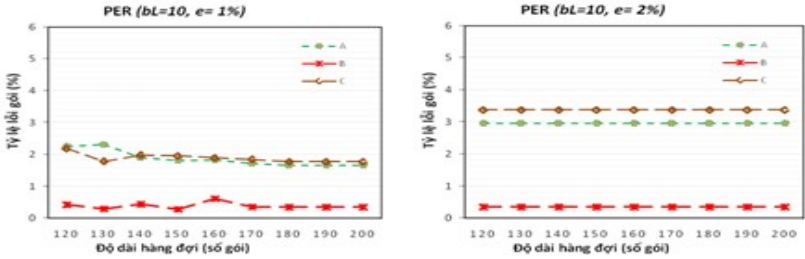
a) Tỷ lệ lỗi gói



a) burstLength =40 gói, round=0,64 giây



a) burstLength =20 gói, round=0,32 giây



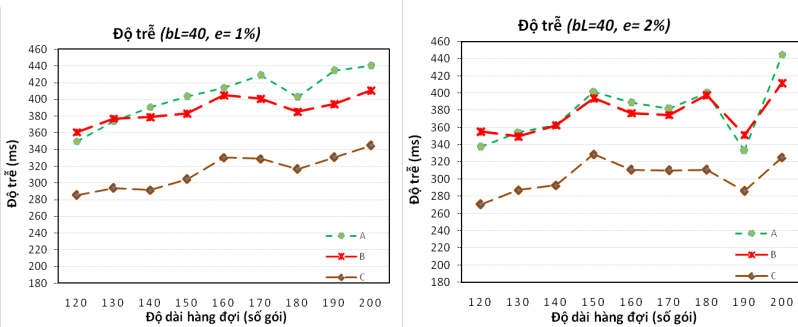
b) $burstLength = 10$ gói, $round = 0,16$ giây

Hình 2.11: Đánh giá tỷ lệ lỗi gói của ba loại gói dữ liệu của ba loại gói sự kiện (A, B và C) trong các điều kiện WSN đa sự kiện khác nhau sử dụng DRPDS

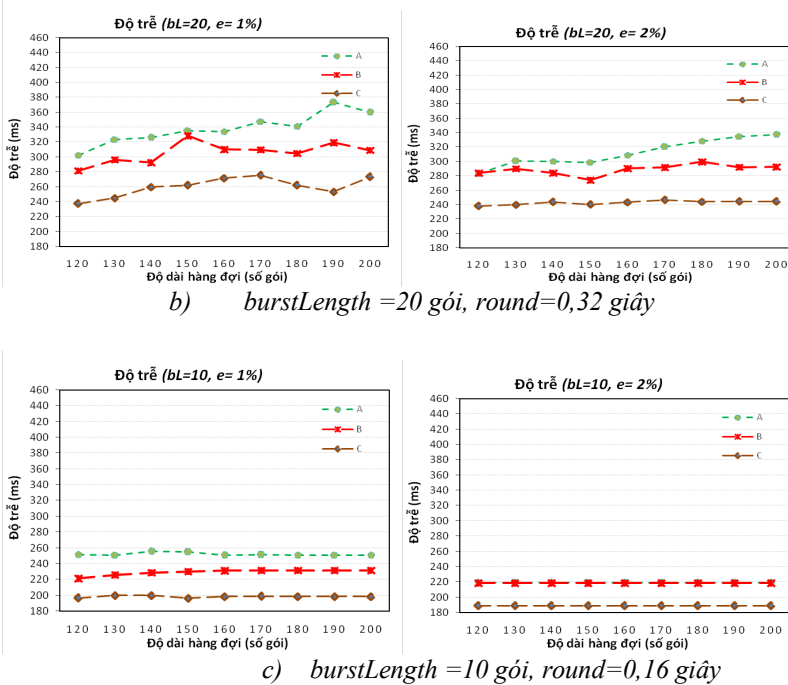
Hình 2.11 là kết quả mô phỏng với trường hợp 20 sự kiện/vòng (các sự kiện xuất hiện ngẫu nhiên trong vòng). Khi tỷ lệ lỗi kênh cao thì PER của cả 3 loại sự kiện đều tăng. Có thể thấy PER của gói tin sự kiện B cải thiện đáng kể so với PER của gói tin sự kiện A và C. Cụ thể là PER của sự kiện B giảm nhỏ dưới 1% khi kích thước hàng đợi khá lớn (trên 120 gói) trong khi PER của sự kiện A và C ở khoảng 2 đến 5% khi tỷ lệ lỗi kênh truyền trên từng chặng tương ứng là 1 và 2%.

b) **Thời gian trễ và hiệu quả trễ của gói loại C so với A và B**

Hình 2.12 là kết quả đo trễ gói trong mô phỏng. Có thể thấy gói của sự kiện loại C có độ trễ trung bình là nhỏ và tốt nhất. Trễ của gói sự kiện loại C được cải thiện hơn hẳn so với sự kiện loại A và B (từ 15-30%). Vì các gói của sự kiện loại C được san ra trên hai đường nên lưu lượng trên mỗi đường sẽ giảm đi và C ít gây nghẽn hơn so với A và B.



a) $burstLength = 40$ gói, $round = 0,64$ giây



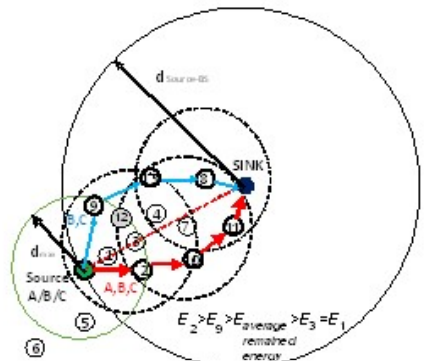
Hình 2.12: Đánh giá độ trễ của ba loại gói dữ liệu của ba loại gói sự kiện (A, B và C) trong WSN với các điều kiện khác nhau sử dụng DRPDS

2.4 GIẢI THUẬT ĐỊNH TUYẾN NHẬN THỨC NĂNG LƯỢNG EARPМ

Dựa trên đề xuất ở DRPDS, nghiên cứu sinh tiếp tục cải tiến giải thuật định tuyến linh hoạt có nhận thức năng lượng có tên là EARPМ để đáp ứng yêu cầu sử dụng hiệu quả năng lượng của WSN đa sự kiện.

2.4.1 Phân tích giải pháp chọn tuyến EARPМ

Hình 2.13 mô tả cơ chế định tuyến linh hoạt đề xuất cho WSN đa sự kiện. Nút nguồn cần tìm một (cho sự kiện loại A) hoặc hai nút lân cận

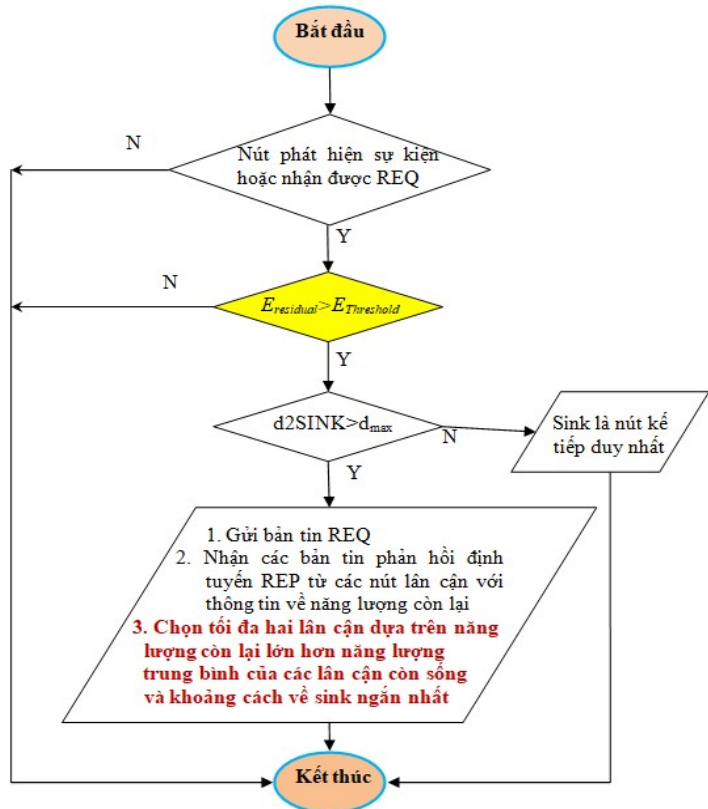


Hình 2.13: Mô tả cơ chế định tuyến kết hợp đơn đường, đa đường và nhận thức năng lượng

(cho sự kiện loại B và C) trong số các nút lân cận có khoảng cách tới sink gần hơn để truyền gói tin mà nó cảm nhận được, các nút chuyển tiếp này cũng cần tìm một lân cận tốt nhất trong số các lân cận của nó để chuyển tiếp gói tin tới đích là sink. Giao thức đề xuất EARPM xem xét chọn đường dựa trên hai tiêu chí theo lựa chọn ưu tiên: (1) năng lượng còn lại của nút lân cận, (2) khoảng cách từ lân cận tới sink.

2.4.2 Giải thuật định tuyến EARPM

Hình 2.14 mô tả ngắn gọn hoạt động của giao thức EARPM khi nút phát hiện sự kiện hoặc khi nó nhận được yêu cầu định tuyến từ nút lân cận, khi đó nút sẽ phải lựa chọn một hoặc hai lân cận để chuyển tiếp gói dữ liệu đi tới đích. Chỉ có nút nguồn là phải xác định số lượng đường để gửi gói tin theo loại gói tin, còn các nút chuyển tiếp chỉ cần lựa chọn một nút lân cận tốt nhất theo hai tiêu chí (1) năng lượng còn lại lớn hơn năng lượng trung bình của các lân cận và (2) có khoảng cách ngắn nhất về sink.



Hình 2.14: Mô tả hoạt động và giải thuật định tuyến EARPM

2.4.3 Đánh giá hiệu năng WSN đa sự kiện sử dụng EARPM

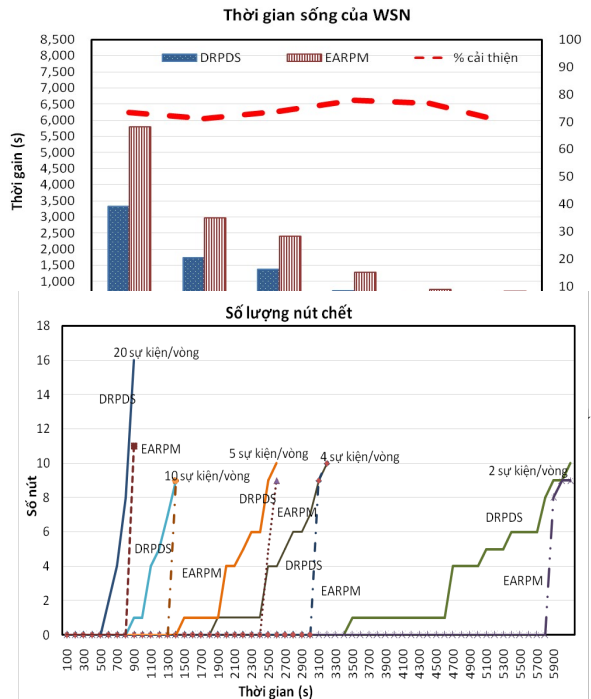
2.4.3.1 Kích bản mô phỏng

2.4.3.2 Kết quả mô phỏng và đánh giá

a) Thời gian sống và số lượng nút chết

Hình 2.15 là kết quả so sánh giữa thời gian sống của mạng cảm biến không dây đa sự kiện chạy giao thức EARPM so với thời gian sống khi chạy giao thức định tuyến DRPDS dựa trên khoảng cách. EARPM sử dụng thêm tiêu chí năng lượng còn lại kết hợp tiêu chí khoảng cách nên thời gian sống trong cả 6 kịch bản khác nhau về tốc độ gửi gói đều được kéo dài (khoảng 70%), mặc dù EARPM có yêu cầu phức tạp hơn trong giải thuật định tuyến so với DRPDS, đó là cơ chế phản hồi bản tin yêu cầu định tuyến có thêm thông tin về mức năng lượng còn lại dẫn đến nhược điểm là tăng thêm độ trễ tính toán và tăng năng lượng cho việc truyền thêm và xử lý thông tin này.

Hình 2.16 cho thấy số lượng nút chết theo thời gian của WSN. Trong giải pháp đề xuất EARPM, nút chết đầu tiên xuất hiện muộn hơn so với giải pháp định tuyến DRPDS, nguyên nhân là vì EARPM xem xét năng lượng còn lại so với năng lượng còn lại trung bình và chọn luân phiên nút chuyển tiếp theo giá trị động này, vì thế việc tiêu hao năng lượng trên mạng được dàn đều hơn, nút sẽ hết năng lượng chậm hơn và chết muộn hơn. Tuy nhiên sau khi bắt đầu có nút chết ở EARPM thì số

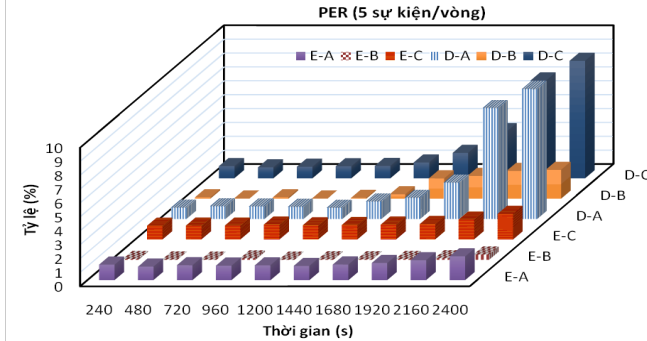


Hình 2.16: Số lượng nút chết và thời gian sống của mạng WSN đa sự kiện sử dụng EARPM so với DRPDS

nút chết sẽ gia tăng rất nhanh.

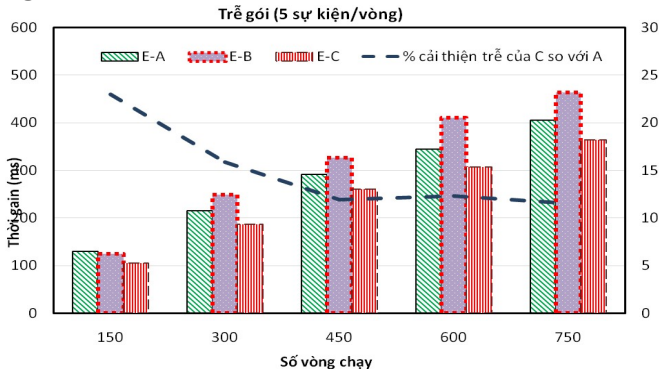
b) Tỷ lệ lỗi gói

Hình 2.17 là kết quả mô phỏng với trường hợp 5 sự kiện/vòng (các trường hợp khác cũng có kết quả so sánh tương tự). Có thể thấy PER của gói tin sự kiện B cải thiện đáng kể so với PER của gói tin sự kiện A và B.



Hình 2.17: Phân tích tỷ lệ lỗi gói của ba loại gói dữ liệu trong mạng WSN đa sự kiện sử dụng EARPM và DRPDS

c) Thời gian trễ



Hình 2.18: Phân tích độ trễ của ba loại gói dữ liệu trong mạng WSN đa sự kiện sử dụng EARPM

Theo kết quả mô phỏng, giải pháp định tuyến EARPM với việc chọn tuyến động dựa trên loại sự kiện và năng lượng còn lại mang tới ba lợi ích đồng thời: giảm PER cho sự kiện loại B, giảm trễ cho sự kiện loại C và kéo dài tuổi thọ cho toàn mạng.

2.5 KẾT LUẬN CHƯƠNG 2

Nội dung Chương 2 tập trung nghiên cứu giải pháp đề xuất giải thuật định tuyến đa đường trong WSN đảm bảo QoS cho WSN đa sự kiện. Nghiên cứu sinh đề xuất hai giải pháp định tuyến mới là DRPDS và EARPM. Kết quả là DRPDS giúp mạng đáp ứng được yêu cầu đồng thời của ba loại sự kiện khác nhau trong điều kiện khác nhau về tỷ lệ lỗi gói với sự kiện loại C yêu cầu trễ thấp giảm được 20% thời gian trễ so với các loại sự kiện còn lại, sự kiện loại B yêu cầu độ tin cậy cao đáp ứng được yêu cầu tỷ lệ mất gói nhỏ hơn nhiều lần so với tỷ lệ lỗi gói của một chặng và nhỏ hơn so với những sự kiện khác dù truyền thông đa chặng. Kết quả mô phỏng EARPM cho thấy mạng sử dụng năng lượng hiệu quả hơn thể hiện ở việc thời gian sống của toàn mạng kéo dài thêm khoảng 70%, độ tin cậy của gói tin loại sự kiện B vẫn đảm bảo cao hơn so với gói của các loại sự kiện khác, độ trễ của gói tin loại sự kiện C được cải thiện trong điều kiện mạng có nghẽn song không giảm được nhiều như DRPDS. Kết quả này phản ánh đúng thực trạng khó giải quyết của bài toán đa ràng buộc: đảm bảo được tiêu chí hiệu năng này sẽ ảnh hưởng tới tiêu chí hiệu năng khác.

CHƯƠNG 3: CẢI THIỆN HIỆU NĂNG MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY ĐA SỰ KIỆN SỬ DỤNG GIAO THỨC MAC ƯU TIÊN

3.1 ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong các WSN đa sự kiện, nhiều sự kiện có thể đồng thời xuất hiện và yêu cầu nhiều mức độ ưu tiên trong truyền thông khác nhau trong khi vẫn phải đảm bảo sử dụng năng lượng hiệu quả. Mới chỉ có một vài nghiên cứu sử dụng giao thức lớp MAC để đảm bảo ưu tiên. Những giải pháp này có ưu điểm là đã đảm bảo ưu tiên về chất lượng cho những sự kiện khác nhau trong mạng cảm biến, song vẫn còn hạn chế trong việc giới hạn số mức ưu tiên và còn bị động theo số nút gửi đồng thời, vẫn còn để thời gian trễ truy nhập kéo dài với những sự kiện có mức ưu tiên không phải là cao nhất.

Để vừa giải quyết được vấn đề ưu tiên cho nhiều kiểu sự kiện có yêu cầu chất lượng khác nhau, vừa khắc phục được các hạn chế của các nghiên cứu trên, nghiên cứu sinh đề xuất giao thức MAC có tên là PMME dựa trên hai giao thức đã có ưu tiên là QAEE và MPQ. Trên cơ sở kết hợp cơ chế CSMA p -persistent với giá trị p thay đổi theo mức độ ưu tiên của dữ liệu với cơ chế nhận sớm Tx-Beacon, PMME đã tự động và linh hoạt hơn trong

việc xử lý ưu tiên dữ liệu theo yêu cầu, đồng thời vẫn đảm bảo những tiêu chí hiệu năng quan trọng cho mạng cảm biến.

3.2 GIAO THỨC MAC ƯU TIÊN

3.2.1 Giao thức QAEE

QAEE xem xét hai mức ưu tiên của gói tin là cao và thấp, cho phép gói tin có độ ưu tiên cao được truyền nhanh hơn. QAEE có hai nhược điểm: nó chỉ xét hai mức ưu tiên gói là cao (1) và thấp (0); nút nhận phải chờ tới khi nhận toàn bộ Tx-Beacon từ các nút gửi trong thời gian T_w thì mới tiến hành gửi Rx-Beacon. Điều này có nghĩa là ngay cả khi bên nhận đã nhận được Tx-Beacon có mức ưu tiên cao nhất rồi thì vẫn phải chờ tới khi hết T_w . Vì vậy nút gửi dù có mức ưu tiên cao vẫn phải chờ đợi và các nút đều phải tiêu tốn thời gian và năng lượng khi chờ nhận được Rx-Beacon.

3.2.2 Giao thức MPQ

MPQ đã cải tiến QAEE ở hai điểm: xét bốn mức ưu tiên khác nhau và giảm trễ đáng kể cho gói tin có độ ưu tiên cao nhất bằng cách bên nhận khi đã nhận được Tx-Beacon có mức ưu tiên cao nhất thì gửi luôn Rx-Beacon để cho bên gửi truyền khung dữ liệu luôn mà không phải chờ hết thời gian T_w . Giao thức MPQ sử dụng cơ chế CSMA p-persistent với giá trị p được gán bằng tỷ lệ nghịch của số nút gửi n , để có thể dàn đều việc gửi gói giúp giảm bớt xung đột.

Tuy nhiên MPQ vẫn còn có hai hạn chế: chỉ khung dữ liệu có độ ưu tiên cao nhất mới được xử lý sớm và việc gán giá trị p khá cứng nhắc và không thực tế khi phải biết chính xác số nút gửi tại một thời điểm, điều này không phù hợp với WSN đa sự kiện có thể có số sự kiện là ngẫu nhiên.

Để cải thiện những tồn tại của hai giao thức QAEE và MPQ, nghiên cứu sinh tiếp tục cải tiến giao thức MAC để cải thiện hơn nữa hiệu năng của mạng, cụ thể là giảm được trễ chờ nhận được Rx-Beacon và sử dụng giá trị p linh hoạt theo mức độ ưu tiên của dữ liệu chứ không cứng nhắc theo số nút gửi dữ liệu đồng thời như trong hai giao thức kể trên.

3.3 ĐỀ XUẤT GIAO THỨC MAC ƯU TIÊN PMME

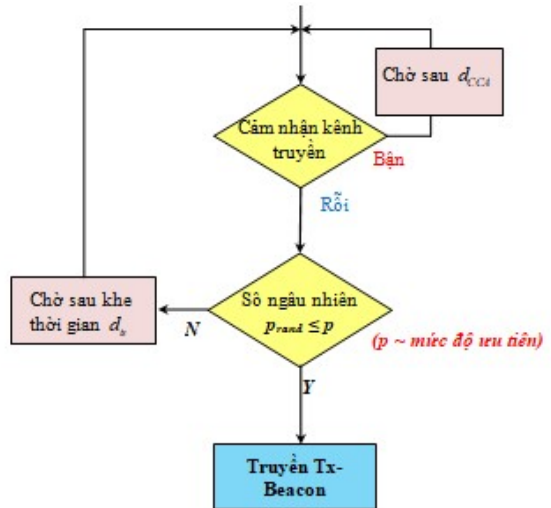
3.3.1 Giao thức MAC ưu tiên PMME

Giao thức đề xuất PMME có hai thay đổi chính so với QAEE và MPQ là thời gian nút gửi gửi Tx-Beacon sau khi nhận được Wakeup-Beacon và thời gian nút nhận gửi phản hồi Rx-Beacon.

3.3.1.1 Cơ chế CSMA p-persistent thay đổi theo mức độ ưu tiên của gói tin

Hình 3.4 cho thấy sự thay đổi cơ chế CSMA p-persistent cho việc gửi Tx-Beacon với p thay đổi theo mức độ ưu tiên của dữ liệu cần truyền. Nếu nút gửi nhận được Wakeup-Beacon, nó cảm nhận kênh truyền để quyết định việc gửi Tx-Beacon. Nếu cảm nhận là bận thì nút gửi sẽ quay lại cảm nhận kênh truyền. Nếu kênh truyền là rỗi thì nó sẽ thực hiện các bước sau :

- i. Gieo ngẫu nhiên p_{rand} và so nó với giá trị xác suất p (p thay đổi theo mức độ ưu tiên của dữ liệu). Trong đề xuất, có thể gán hai kiểu giá trị p khác nhau: tuyến tính và phi tuyến.
- ii. Nếu p_{rand} nhỏ hơn hoặc bằng giá trị p , nút sẽ truyền khung dữ liệu.
- iii. Nếu p_{rand} lớn hơn giá trị p thì chờ sau một khe thời gian rồi lại cảm nhận lại kênh truyền.



Hình 3.4: Cơ chế CSMA p-persistent cho việc gửi Tx-Beacon theo mức độ ưu tiên dữ liệu trong PMME

3.3.1.2 Cơ chế chấp nhận Tx-Beacon sớm nhất

Giao thức PMME sử dụng cơ chế gửi phản hồi chấp nhận nút gửi Tx-Beacon sớm nhất bằng việc gửi bản tin Rx-Beacon ngay sau đó. Việc này không những giúp giảm trễ truy nhập môi trường của các khung dữ liệu mà còn giúp tiết kiệm năng lượng cho toàn mạng so với QAEE và MPQ.

3.3.2 Phân tích hiệu năng WSN đa sự kiện khi sử dụng PMME

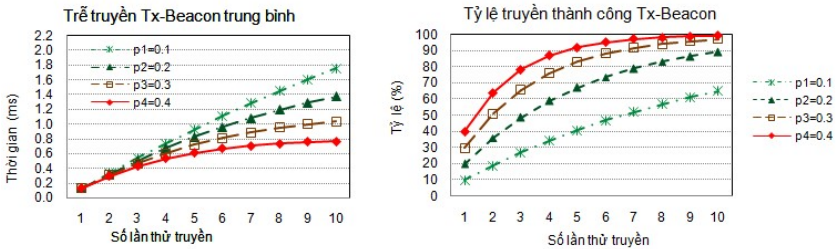
Phần này phân tích trễ gói và tính toán mức độ tin cậy cho việc truyền thông ở lớp MAC khi sử dụng PMME.

3.3.2.1 Phân tích ảnh hưởng của mức độ ưu tiên tới trễ gói sử dụng giao thức PMME

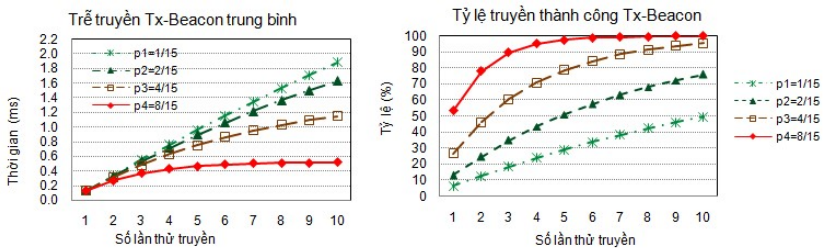
Chương này tập trung nghiên cứu về d_{MAC} là trễ truy nhập môi trường của một khung tin, giá trị trễ này ảnh hưởng trực tiếp tới trễ gói truyền tin. Giả sử chỉ có một nút yêu cầu truyền một khung dữ liệu với giá trị p_i thay đổi theo mức ưu tiên, nếu số lần gửi lại lên tới giá trị m thì ta có :

$$\begin{aligned}
 d_{TxB,m} &= \frac{\left(d_{TxB,m-1} \times \left(p_i + p_i \times (1-p_i) + \dots + p_i \times (1-p_i)^{m-2} \right) \right. \\
 &\quad \left. + \left((m-1)d_{is} + m \times d_{CCA} \right) \times p_i \times (1-p_i)^{m-1} \right)}{p_i + p_i \times (1-p_i) + \dots + p_i \times (1-p_i)^{m-1}} \\
 &= \frac{\left(d_{CCA} \times p_i + (d_{is} + 2d_{CCA}) \times p_i \times (1-p_i) \right. \\
 &\quad \left. + \dots + \left((m-1)d_{is} + m \times d_{CCA} \right) \times p_i \times (1-p_i)^{m-1} \right)}{p_i + p_i \times (1-p_i) + \dots + p_i \times (1-p_i)^{m-1}} \\
 &= \frac{\left(d_{CCA} \times p_i + (d_{is} + 2d_{CCA}) \times p_i \times (1-p_i) \right. \\
 &\quad \left. + \dots + \left((m-1)d_{is} + m \times d_{CCA} \right) \times p_i \times (1-p_i)^{m-1} \right)}{1 - (1-p_i)^m}
 \end{aligned} \tag{3.6}$$

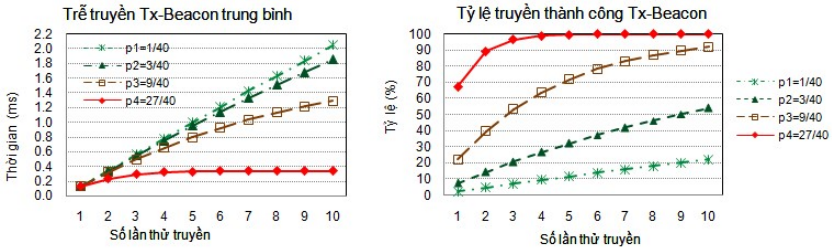
3.3.2.2 Phân tích ảnh hưởng của mức độ ưu tiên tới độ tin cậy sử dụng giao thức PMME



a) p tuyến tính



b) p phi tuyến, $a=2$



c) p phi tuyến, $a=3$

Hình 3.5: Đánh giá trễ truyền và tỷ lệ truyền thành công Tx-Beacon của một nút gửi với các tham số khác nhau

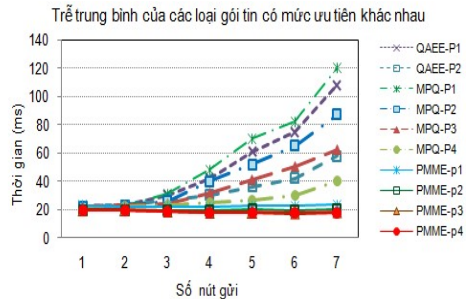
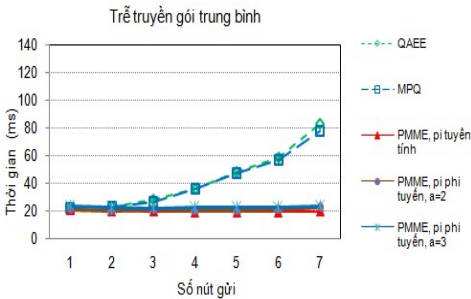
3.3.3 Đánh giá hiệu năng WSN đa sự kiện sử dụng PMME

Phần này phân tích kết quả mô phỏng PMME dựa trên phần mềm Castalia 3.3 và OMNeT++4.6 sử dụng chuẩn thiết bị thu phát CC2420.

3.3.3.1 Kích bản mô phỏng

3.3.3.2 Kết quả mô phỏng và đánh giá

a) Trễ gói trung bình

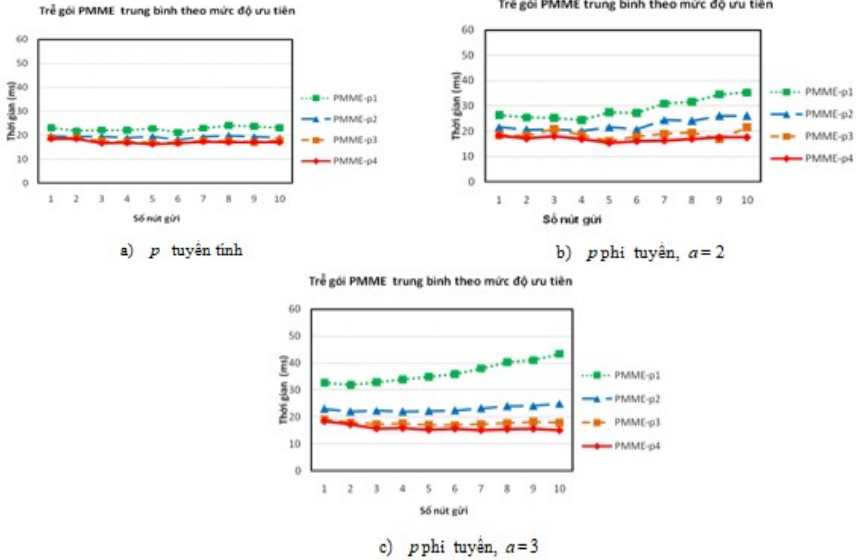


a) Trễ gói trung bình b) Trễ từng loại gói ưu tiên (p tuyến tính)

Hình 3.6: Thời gian trễ trung bình của gói tin sử dụng giao thức PMME so với sử dụng giao thức QAE và MPQ

b) Trễ gói PMME theo mức độ ưu tiên của gói tin

Trễ gói theo mức độ ưu tiên của gói tin PMME thể hiện trong Hình 3.7. Khi số nút gửi cạnh tranh càng cao thì độ phân biệt sẽ càng rõ nét.



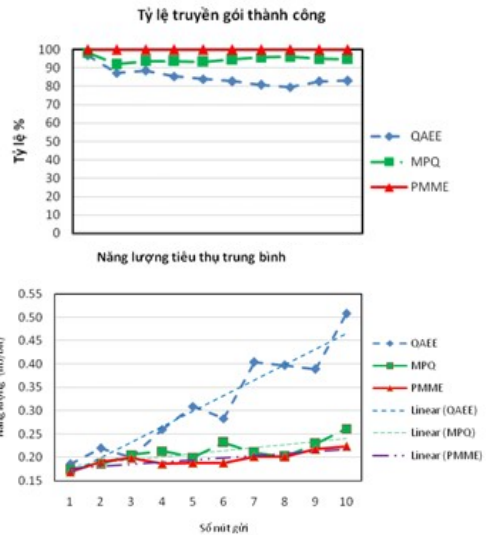
Hình 3.7: Thời gian trễ trung bình của gói tin PMME với 4 mức ưu tiên khác nhau và với hai kiểu p khác nhau

c) Tỷ lệ truyền gói thành công

Hình 3.8: Tỷ lệ truyền gói thành công của mạng sử dụng các giao thức QAEE, MPQ và PMME với $\max TxRetries = 10$

d) Hiệu quả tiêu thụ năng lượng

Hình 3.9: Năng lượng tiêu thụ trung bình (mj/bit)



3.4 KẾT LUẬN CHƯƠNG 3

Chương 3 đã trình bày nguyên lý hoạt động của hai giao thức MAC có xét tới mức độ ưu tiên của dữ liệu là QAEE và MPQ và đề xuất thiết kế giao thức MAC mới có xét 4 mức ưu tiên dữ liệu có tên là PMME. Giao thức đề xuất kết hợp hai cơ chế: (1) cơ chế CSMA p-persistent linh hoạt theo mức độ ưu tiên của dữ liệu với hai kiểu gán giá trị

p khác nhau là tuyến tính và phi tuyến và (2) cơ chế nhận sớm Tx-Beacon. Dựa trên nghiên cứu lý thuyết, ảnh hưởng của các tham số như số lần thử truyền tối đa ở lớp MAC, thời gian cảm nhận chính xác môi trường truyền d_{CCA} và khe thời gian d_{ts} sau mỗi lần gieo xác suất để gửi yêu cầu Tx-Beacon tới trễ và độ tin cậy của việc truyền tin có thể được định lượng một cách cụ thể. Các kết quả mô phỏng thực hiện đã chứng minh tính hiệu quả của giải là giảm được trễ truyền tin, hiệu quả sử dụng năng lượng tăng trong khi vẫn đạt được tỷ lệ truyền tin thành công cao.

KẾT LUẬN

Với mục tiêu cải thiện hiệu năng WSN đa sự kiện qua giao thức định tuyến linh hoạt và giao thức MAC ưu tiên, luận án đã đạt được mục tiêu đề ra là đề xuất các giải pháp cải thiện hiệu năng WSN đa sự kiện có thể đáp ứng đồng thời nhiều yêu cầu hiệu năng khác nhau cho các sự kiện xuất hiện trong mạng mà vẫn đảm bảo sử dụng hiệu quả năng lượng. Những kiến thức nền tảng và các kết quả nghiên cứu đã được trình bày trong luận án với bố cục ba chương như sau: **(1) Tổng quan về vấn đề nghiên cứu, (2) Cải thiện hiệu năng mạng cảm biến không dây đa sự kiện sử dụng giao thức định tuyến linh hoạt và (3) Cải thiện hiệu năng mạng cảm biến không dây đa sự kiện sử dụng giao thức MAC ưu tiên.** Các kết quả đóng góp mới về khoa học của luận án có thể phân thành hai nhóm lớn:

1. Đề xuất giải pháp cải thiện hiệu năng mạng cảm biến không dây đa sự kiện sử dụng định tuyến linh hoạt

Đề xuất 02 giải pháp cải thiện hiệu năng WSN đa sự kiện sử dụng kỹ thuật định tuyến linh hoạt là DRPDS và EARPM.

Giao thức định tuyến DRPDS linh hoạt kết hợp định tuyến đơn và đa đường cùng với cơ chế phân tải lưu lượng linh hoạt theo sự kiện. Kết quả mô phỏng cho thấy DRPDS giúp mạng đáp ứng được yêu cầu đồng thời của nhiều sự kiện khác loại trong điều kiện khác nhau về tỷ lệ lỗi gói, (a) sự kiện yêu cầu trễ thấp giảm được 20% thời gian trễ so với các loại sự kiện còn lại, (b) sự kiện yêu cầu độ tin cậy cao đáp ứng được yêu cầu tỷ lệ mất gói nhỏ hơn nhiều lần so với tỷ lệ lỗi gói của một chặng và nhỏ hơn so với những sự kiện khác dù truyền thông đa chặng;

Giải thuật EARPM tiếp tục phát triển dựa trên DRPDS kết hợp với việc nhận thức năng lượng còn lại để nâng cao hiệu quả tiêu thụ năng lượng

nhằm kéo dài thời gian sống của mạng và vẫn đáp ứng những yêu cầu QoS khác biệt của các sự kiện có mức ưu tiên khác nhau. Kết quả mô phỏng đã kiểm chứng khả năng đáp ứng yêu cầu hiệu năng khác biệt cho WSN đa sự kiện, cụ thể là giảm độ trễ cho sự kiện cần ưu tiên về thời gian, tăng độ tin cậy với gói tin cần độ tin cậy cao và sử dụng hiệu quả năng lượng, kéo dài thời gian sống của toàn mạng lên khoảng 70% so với việc sử dụng DRPDS.

2. Đề xuất giao thức MAC ưu tiên đảm bảo QoS cho mạng cảm biến không dây đa sự kiện

Giao thức PMME đề xuất trên cơ sở hai giao thức MAC có xét mức ưu tiên gói khác nhau là QAEE và MPQ. Cụ thể là giao thức đề xuất kết hợp cơ chế CSMA p -persistent linh hoạt theo mức độ ưu tiên của dữ liệu cảm biến với hai kiểu gán giá trị p khác nhau là tuyến tính và phi tuyến với cơ chế nhận Tx-Beacon sớm nhất. Giá trị p đề xuất được gán linh hoạt theo mức ưu tiên của sự kiện làm thay đổi tần suất gửi khung mang dữ liệu sự kiện ở mức ưu tiên khác nhau, khi đó không cần giới hạn T_w ở bên thu như hai giao thức tiền nhiệm. Việc phân tích tính toán các tham số hiệu năng trễ, độ tổn thất của cơ chế đề xuất cũng như kiểm nghiệm đánh giá bằng mô phỏng đã cho thấy được hiệu quả của giải pháp đề xuất. Kết quả mô phỏng cho thấy PMME đã cải thiện đáng kể hiệu năng cho WSN đa sự kiện so với hai giao thức tiền nhiệm: (1) thời gian trễ truyền gói giảm với tất cả 4 mức ưu tiên khác nhau, khi số lượng nút gửi cạnh tranh tăng từ 1 đến 10 thì trễ gói PMME chỉ tăng rất chậm, giảm hơn so với QAEE và MPQ; (2) hiệu quả sử dụng năng lượng tốt hơn so với QAEE cũng như so với MPQ và (3) tỷ lệ truyền gói thành công cao hơn.

Hướng nghiên cứu tiếp theo của luận án sẽ tập trung vào các giải pháp xuyên lớp để cải thiện hơn nữa hiệu năng WSN đa sự kiện có xét tới khả năng nạp lại năng lượng. Cụ thể đề xuất giải pháp kết hợp ưu tiên gói tin ở lớp MAC với định tuyến nhận thức năng lượng.

CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ

BÀI BÁO KHOA HỌC

- [J1] Nguyễn Thi Thu Hằng, Nguyễn Chiến Trinh, Nguyễn Tiến Ban (2016), “Khảo sát một số giao thức định tuyến đa đường trong mạng cảm biến không dây và đề xuất xây dựng giao thức định tuyến đa đường định hướng đa sự kiện trong mạng”, Tạp chí Khoa học công nghệ thông tin và truyền thông (JSTIC), ISSN 2525-2224, số 2 (CS.01) 2016, tr. 41-49.
- [J2] Nguyen Thi Thu Hang, Nguyen Chien Trinh, Nguyen Tien Ban (2017), “Dynamic Routing Protocol and Delivering Scheme for MultiEvent Wireless Sensor Network”, Tạp chí Khoa học công nghệ thông tin và truyền thông (JSTIC), ISSN 2525-2224, số 02&03 (CS.01) 2017, tr. 30-39.
- [J3] Nguyen Thi Thu Hang, Nguyen Chien Trinh, Nguyen Tien Ban (2018), “Novel Energy Aware Routing Protocol for MultiEvent Wireless Sensor Network”, Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ Quân sự, ISSN 1859 - 1043, số 55, 06-2018, tr. 52-68.
- [J4] Nguyen Thi Thu Hang, Nguyen Chien Trinh, Nguyen Tien Ban (2019), “PPME – Priority MAC protocol for MultiEvent Wireless Sensor Network”, Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ Quân sự, ISSN 1859 - 1043, số 59, 02-2019, tr. 12-25.

HỘI NGHỊ KHOA HỌC

- [C1] Nguyen Thi Thu-Hang, Nguyen Tien Ban (2017), “Hybrid Routing Protocol and Dynamic Delivering Scheme for MultiEvent Wireless Sensor Network”, The Eighth International Symposium on Information and Communication Technology (SoICT 2017), 7-8 December 2017, Nha Trang, Viet Nam, pp. 286-292.
DOI:10.1145/3155133.3155192
- [C2] Nguyen Thi Thu-Hang, Nguyen Chien Trinh, Nguyen Tien Ban (2018), “Energy Aware Event Driven Routing Protocol and Dynamic Delivering Scheme for MultiEvent Wireless Sensor Network”, IEEE 2nd International Conference on Recent Advances in Signal Processing, Telecommunications & Computing (SigTelCom2018), January 29th-31st, 2018, Ho Chi Minh, Vietnam, pp. 224-229.
DOI:10.1109/SIGTELCOM.2018.8325795
- [C3] Nguyễn Thị Thu Hằng, Nguyễn Chiến Trinh, Nguyễn Tiến Ban (2018), “Đề xuất giao thức MAC ưu tiên mới đảm bảo QoS cho mạng cảm biến không dây đa sự kiện”, Kỷ yếu Hội nghị Quốc gia lần thứ XXI về Điện tử, Truyền thông và Công nghệ thông tin, (REV-ECIT 2018), 14-15/12/2018, Hà Nội, tr.123-128.
- [C4] Nguyen Thi Thu-Hang, Nguyen Chien Trinh, Nguyen Tien Ban (2019), “Delay and Reliability Analysis of p-persistent Carrier Sense Multiple Access for MultiEvent Wireless Sensor Network”, in Proc. IEEE 26th International Conference on Telecommunications (ICT-2019), April 8-10, Hanoi, Vietnam, pp. 426-430.
DOI:10.1109/ICT.2019.8798849