

Đánh giá hiệu năng mạng cảm biến không dây đa sự kiện sử dụng giao thức ưu tiên PMME ở lớp MAC với các tập giá trị p tuyến tính và phi tuyến

Nguyễn Chiến Trinh*

Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, 96A Trần Phú, Hà Đông, Hà Nội, Việt Nam.

*Email: trinhnc@ptit.edu.vn

Nhận bài: 06/4/2024; Hoàn thiện: 10/6/2024; Chấp nhận đăng: 12/6/2024; Xuất bản: 25/6/2024.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.96.2024.41-50>

TÓM TẮT

Trong những giao thức MAC hỗ trợ đa ưu tiên dữ liệu và tiết kiệm năng lượng cho mạng cảm biến không dây đa sự kiện thì giao thức PMME được đánh giá là vượt trội so với các giao thức tiên nhiệm. Tuy nhiên, các kịch bản mô phỏng giao thức này mới xét tới sự thay đổi của số nút mà chưa thực hiện với nhiều kịch bản giá trị p trong cơ chế CSMA/CA p -persistent tuyến tính và phi tuyến. Bài báo phân tích ảnh hưởng của các bộ giá trị p theo mức ưu tiên của dữ liệu lên hiệu năng mạng cảm biến đa ưu tiên dựa trên mô phỏng hoạt động của giao thức PMME ưu tiên dữ liệu lớp MAC. Kết quả đạt được cho thấy, giao thức PMME sử dụng bộ giá trị p tuyến tính giúp mạng duy trì được hiệu quả mạng tốt trên khía cạnh công bằng về độ trễ trong khi giá trị p phi tuyến giúp mạng đảm bảo mức ưu tiên cao nhất sẽ đạt được độ trễ tối ưu hơn trong điều kiện mô phỏng có sự thay đổi của số nút và tập giá trị p ưu tiên cho bốn loại sự kiện.

Từ khoá: Mạng cảm biến không dây; Điều khiển truy nhập môi trường; Ưu tiên dữ liệu; CSMA/CA; Hiệu năng.

1. MỞ ĐẦU

Ngày nay, các ứng dụng cảm biến khá là phổ dụng trong nhiều lĩnh vực của đời sống như nông nghiệp, dự báo thời tiết [1-6], nhà thông minh [7-9], y tế [10-12], những lĩnh vực này đang tiến tới mục tiêu tự động hóa hoàn toàn ứng dụng song sinh kỹ thuật số (Digital Twin – DT) [13, 14]. Nhiều cảm biến đồng thời có thể truyền nhiều kiểu loại dữ liệu trong thế giới IoT đã và tiếp tục đặt ra yêu cầu về độ trễ, thời gian thực và hiệu quả trong tiêu thụ nguồn pin giới hạn. Các dữ liệu có độ ưu tiên khẩn cấp thường là quan trọng bắt buộc phải được ưu tiên truyền sớm và tin cậy do tính chất khẩn cấp như cảnh báo bão lũ, hỏa hoạn hay căn bệnh đặc biệt nghiêm trọng nguy hiểm tới tính mạng như đột quỵ, nhồi máu cơ tim. Các dữ liệu ít ưu tiên thường không quan trọng sẽ được truyền song không bắt buộc ưu tiên như thông tin như nhiệt độ, độ ẩm và cường độ sáng. Giao thức điều khiển truy cập phương tiện MAC (Medium Access Control) có thể thực hiện yêu cầu này [15, 16]. Trong mạng không dây, các giao thức này có thể chia thành ba loại: Không xung đột, dựa trên xung đột và lai ghép [17]. Với mạng cảm biến hạn chế về số nút và lưu lượng thì triển khai giao thức MAC dựa trên xung đột sẽ phù hợp hơn do đặc tính ít phức tạp.

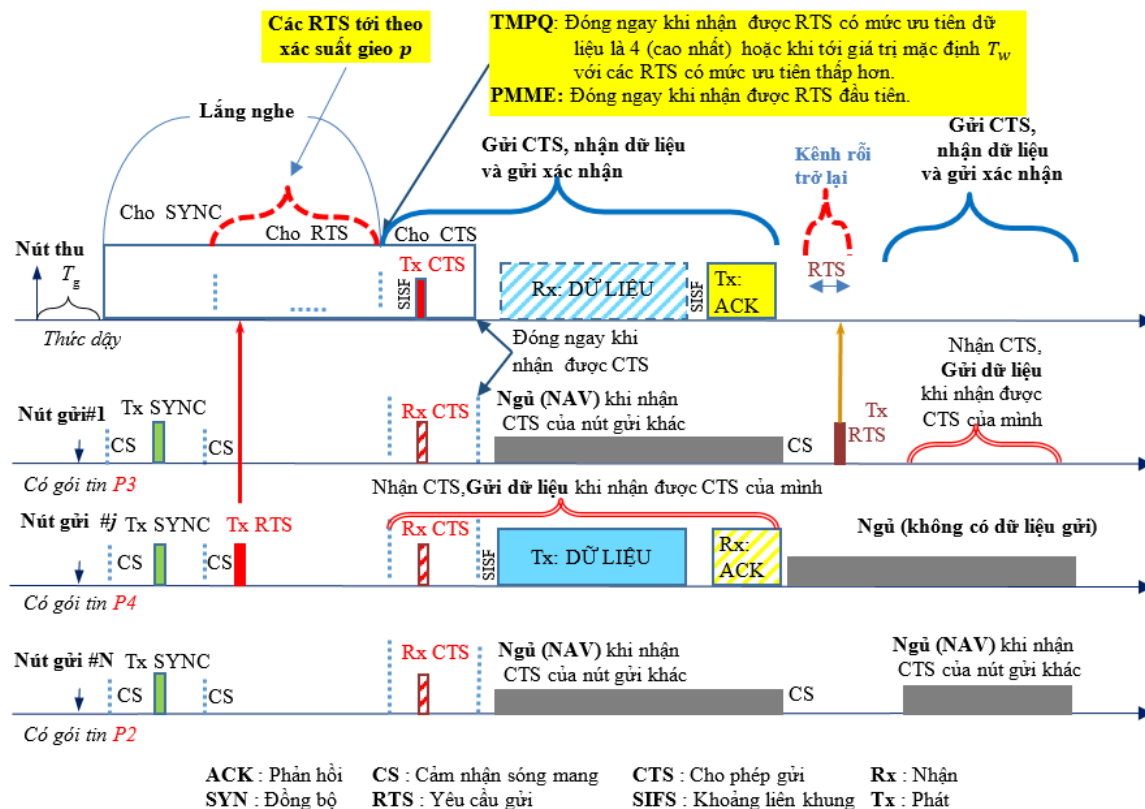
Để cải thiện giao thức MAC có xét tới mức độ ưu tiên, đã có nhiều nghiên cứu được thực hiện [16- 20]. Giao thức PMME [21] được đề xuất dựa trên cơ chế p -persistent với giá trị p thay đổi theo mức độ ưu tiên đã cho thấy ưu thế vượt trội so với giao thức TMPQ [16] sử dụng p -persistent với giá trị p tỷ lệ nghịch với số nút và xem xét QoS và bốn mức độ ưu tiên gói khác nhau. Một số giao thức khác như ECM, RPM và BoP [17, 18, 22] sử dụng cửa sổ backoff để phân loại ưu tiên [17, 18] hoặc xét tới độ ưu tiên của dữ liệu [22] song các giao thức này có cơ chế hoạt động phức tạp. Những đánh giá về PMME trong [21, 23, 24] đã có những đánh giá sơ bộ về hiệu năng mạng cảm biến khi giá trị p thay đổi song mới chỉ dừng ở ba tập giá trị [21, 24] và hiệu quả cải thiện chưa cao khi sử dụng nhiều tập giá trị [23].

Bài báo này phân tích ảnh hưởng của việc lựa chọn tập xác suất p lên hiệu năng mạng cảm biến đa ưu tiên dựa trên mô phỏng hoạt động của các giao thức ưu tiên nhiều mức dữ liệu lớp MAC là TMPQ và PMME dựa trên sự thay đổi của số nút cạnh tranh và các tập giá trị p . Phần còn lại của

bài báo được tổ chức như sau. Phần 2 tóm lược cơ bản về giao thức TMPQ, PMME và đề xuất các tập giá trị p tuyến tính và phi tuyến. Phần 3 là mô phỏng đối sánh nhằm so sánh hiệu năng của PMME trên nhiều tập giá trị p với TMPQ. Cuối cùng là kết luận của bài báo.

2. GIAO THỨC TMPQ, PMME VÀ CÁC TẬP GIÁ TRỊ p ĐỀ XUẤT

Hình 1 mô tả hoạt động của giao thức MAC ưu tiên TMPQ và PMME. Hai giao thức này hoạt động trên nền tảng đồng bộ SYNC kết hợp RTS/CTS (Request-To-Send /Clear-To-Send là khung yêu cầu được phép gửi dữ liệu/khung xác nhận nút gửi được phép gửi dữ liệu) và việc gửi RTS tuân theo CSMA/CA p-persistent nghĩa là khi cảm nhận sóng mang là rỗi thì nút sẽ gieo một giá trị xác suất, nếu giá trị này nhỏ hơn hoặc bằng một ngưỡng giá trị p cho trước thì nút sẽ gửi RTS, còn nếu giá trị này lớn hơn thì nó lại quay lại cảm nhận sóng mang; nếu cảm nhận sóng mang là bận thì nó lại kiên trì quay lại cảm nhận sóng mang. Tiến trình này lại tiếp tục lặp lại cho tới khi nút gửi được RTS.



Hình 1. Mô tả hoạt động cơ bản của giao thức MAC PMME.

Giao thức TMPQ chỉ sử dụng p-persistent thuần túy là giá trị p thay đổi theo tỷ lệ nghịch của số nút gửi đồng thời, không khác nhau giữa các mức ưu tiên. Tính ưu tiên dữ liệu được thực hiện dựa trên phụ thuộc vào cửa sổ T_w , cửa sổ này được tính là thời gian cho RTS gửi tới nút nhận tới khi nút nhận phản hồi CTS. Trong TMPQ, việc gửi RTS là theo CSMA/CA p-persistent, song việc phản hồi CTS thì phụ thuộc vào RTS của loại dữ liệu ưu tiên. Nếu loại dữ liệu ưu tiên là 4 thì CTS được gửi ngay, còn nếu chưa phải là loại dữ liệu ưu tiên mức cao nhất thì cửa sổ sẽ đóng khi tới giá trị mặc định. Như vậy, các RTS sẽ được sắp xếp ưu tiên, tuy nhiên, chỉ với RTS có mức ưu tiên cao nhất mới được phản hồi ngay còn các RTS khác sẽ phải chờ và sắp xếp khi hết thời gian của cửa sổ mặc định nên sẽ gây trễ lớn và dễ bị xung đột lẫn nhau trong khoảng cửa sổ mở này.

Khác với TMPQ, giao thức PMME xét ưu tiên dữ liệu dựa ngay trên cơ chế CSMA/CA p-persistent nên không cần tới cửa sổ mặc định T_w . Nút cảm biến khi có dữ liệu cần gửi sẽ cảm nhận sóng mang và quyết định gửi RTS hay chưa. Khi cảm nhận là kênh rỗi, nút sẽ gieo giá trị p và chỉ gửi RTS khi giá trị này ở dưới ngưỡng ưu tiên tương ứng với dữ liệu muốn gửi. Khi cảm nhận kênh là bận, nút cảm biến lại tiếp tục cảm nhận sóng mang cho tới khi kênh rỗi trở lại. Giá trị p được điều chỉnh tỷ lệ nghịch với mức ưu tiên của dữ liệu [17]. Khi nút sink nhận được yêu cầu gửi dữ liệu RTS đầu tiên từ các nút cảm biến, nút sink sẽ gửi phản hồi CTS có địa chỉ phản hồi là nút gửi RTS đó. Khi nhận được CTS này, nút có dữ liệu cảm biến sẽ gửi dữ liệu nếu địa chỉ phản hồi tới chính nó, nếu không thì nó biết là sẽ có nút khác gửi dữ liệu và nó sẽ chuyển sang chế độ ngủ trong suốt thời gian đó. Hình 1 mô tả kịch bản N nút cùng có gói tin để gửi với các nút gửi j có gói tin mức ưu tiên cao nhất là 4 (ký hiệu P4), nút gửi N có gói với mức ưu tiên 3 (ký hiệu P3) và nút 1 có gói với mức ưu tiên là 2 (ký hiệu P1), giả sử ở chu kỳ đầu, nút j gieo được giá trị nhỏ hơn xác suất p_4 , như vậy, nó sẽ được phép gửi RTS tới nút nhận.

Giá trị p_i của PMME trong cơ chế p-persistent được điều chỉnh sao cho $\sum_i^n p_i = 1$ để hạn chế xung đột, ở đây i là mức ưu tiên và n là tổng số mức ưu tiên. Các giá trị là xác suất nên phải nằm trong dải $[0, 1]$.

- Các tập giá trị xác suất tuyến tính cho phép xác suất gieo của mỗi nút có dữ liệu mức ưu tiên khác nhau có sự chênh lệch đều để có thể làm chênh lệch và cân đối đều mức chênh lệch về hiệu năng, được tính như sau:

$$p_{i+1} = p_i + \Delta p \quad (1)$$

với p_i và p_{i+1} là xác suất p-persistent của RTS của gói tin mức ưu tiên i và $i + 1$, Δp là khoảng cách giữa các xác suất ưu tiên liên tiếp.

- Các tập giá trị xác suất phi tuyến cho phép xác suất gieo của mỗi nút có dữ liệu mức ưu tiên khác nhau có sự chênh lệch phi tuyến để có thể làm gia tăng mức chênh lệch về hiệu năng, được tính như sau:

$$p_{i+1} = p_i \times a \quad (2)$$

với a là hệ số phi tuyến.

Kết hợp với yêu cầu về tổng xác suất và giới hạn từng giá trị xác suất p_i , có thể chọn được một số giá trị mẫu như trong bảng 2.

3. MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ

Để đánh giá và đối sánh hiệu năng mạng cảm biến không dây đa sự kiện khi giá trị p thay đổi sử dụng giao thức điều khiển truy nhập phương tiện PMME dựa trên CSMA p-persistent, nghiên cứu này sử dụng phần mềm mô phỏng Castalia 3.3 [25] với thông số lớp vật lý tương tự chip tần số vô tuyến CC2420 [26] hoạt động trong dải 2,4 GHz và hỗ trợ tốc độ truyền dữ liệu 250 kb/s cho cảm biến trong vùng kích thước $12 m \times 12 m$.

3.1. Tham số và kịch bản mô hình mạng mô phỏng

Bảng 1 cho thấy các tham số mô phỏng chính. Các nút cảm biến được rải ngẫu nhiên trong vùng cảm biến kích thước xác định và kết nối được trực tiếp tới nút thu (sink) ở trung tâm vùng cảm biến. Để đánh giá ảnh hưởng của tham số p trong CSMA/CA p-persistent, xét số lượng nút gửi đồng thời trong khoảng từ 1 nút tới 14 nút với tỷ lệ dữ liệu ưu tiên ngẫu nhiên bằng nhau, nghĩa là tỷ lệ dữ liệu ưu tiên là 25% với mỗi mức ở từng nút. Mỗi mô phỏng được chạy 05 lần với mỗi nút cảm biến gửi gói với tốc độ 1 gói/s và trong 1800 giây, các thông số hiệu năng được tính bằng giá trị trung bình.

Bảng 2 cho các tập giá trị p tuyến tính và phi tuyến cụ thể được sử dụng để mô phỏng giao thức PMME. Có 04 tập giá trị tuyến tính và 04 tập giá trị phi tuyến được chọn. Các tập giá trị được chọn thỏa mãn yêu cầu trong các Công thức (1) và (2).

Bảng 1. Thông số mô phỏng.

Thông số	Giá trị
Số nút gửi	1-14
Số lần cho phép gửi lại RTS (TxRetries)	5
Số mức ưu tiên	4
Kích thước khung RTS	13byte
Kích thước khung CTS	13 byte
Tiêu đề khung MAC	11 byte
Tiêu đề ứng dụng	5 byte
Kích thước gói ACK	11 byte
CCA	0,128 ms
p tuyến tính và phi tuyến	Tập giá trị theo mức ưu tiên
Tiêu đề khung vật lý	6 byte
T_g	6,7 ms

Ba thông số hiệu năng được đánh giá trong mô phỏng là:

- *Trễ gói trung bình*: Là tỷ số giữa tổng trễ các gói nhận được với tổng số gói nhận được tại nút thu. Độ trễ của gói tin là khoảng thời gian mà từ khi nút cảm biến thu được dữ liệu cho đến khi dữ liệu đến được nút thu.
- *Tỷ lệ lỗi gói*: Là tỷ lệ giữa số gói không thể tới nút nhận trên tổng số gói gửi đi từ tất cả các nút cảm biến.
- *Hiệu quả năng lượng truyền thông*: Tính thông qua tỷ lệ giữa năng lượng tiêu thụ của nút cảm biến trên mỗi bit dữ liệu truyền thành công tới đích.

Bảng 2. Bộ tham số p dùng trong mô phỏng.

		Số nút	p			
			p_1	p_2	p_3	p_4
Kịch bản	Tuyến tính	PMMEtt01	0,01	0,17	0,33	0,49
		PMMEtt05	0,05	$0,05+0,4/3$	$0,05+0,8/3$	0,45
		PMMEtt10	0,1	0,2	0,3	0,4
		PMMEtt20	0,2	$0,2+0,1/3$	$0,2+0,2/3$	0,3
Phi tuyến		PMMEpta2	1/15	2/15	4/15	8/15
		PMMEpta3	1/40	3/40	9/40	27/40
		PMMEpta4	1/85	4/85	16/85	64/85
		PMMEpta5	1/156	5/156	25/156	125/156

3.2. Phân tích kết quả mô phỏng

3.2.1. Trễ gói

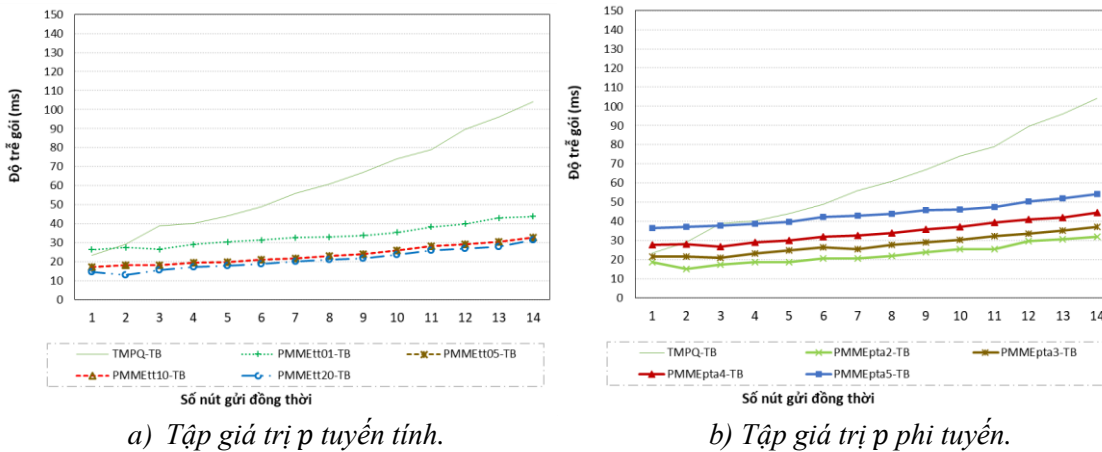
Phần này phân tích trễ gói tin trung bình của tất cả các loại gói tin và từng loại gói tin ưu tiên khi mô phỏng giao thức PMME MAC với số lượng nút gửi thay đổi và giá trị p thay đổi kiểu tuyến tính và phi tuyến.

a) Trễ gói trung bình

Hình 2 cho thấy độ trễ trung bình của khi truyền gói dựa trên TMPQ và PMME với số nút và giá trị p khác nhau. Kết quả mô phỏng cho thấy độ trễ gói trung bình tương ứng tăng dần theo sự gia tăng về số nút và thay đổi khi tập giá trị p thay đổi.

Nhìn chung, khi số nút tăng lên thì độ trễ truyền gói trung bình có xu hướng tăng lên với cả hai giao thức và với mọi tập giá trị p thay đổi. Lý do là vì khi số nút gửi dữ liệu đồng thời tăng lên thì mức độ xung đột sẽ gia tăng và vì thế trễ cũng gia tăng. Các giá trị có điểm hơi khác biệt so với

xu hướng vì có sự ngẫu nhiên trong thời gian khởi động của từng nút cảm biến (nằm trong khoảng 2,5 ms) và do xác suất gieo giá trị p là ngẫu nhiên. Tuy nhiên, trễ gói trung bình của TMPQ (đường liền nét không đánh dấu màu xanh lá) tăng cao hơn nhiều so với PMME, đặc biệt khi bắt đầu có số nút cạnh tranh tăng từ 4 nút trở lên, kết quả này là do ở TMPQ sử dụng kết hợp cơ chế CSMA/CA p-persistent và cửa sổ T_w cố định với các RTS có mức ưu tiên không phải là cao nhất và kích thước cửa sổ này là lớn hơn nhiều so với thời gian cảm nhận sóng mang CCA sử dụng trong cơ chế p-persistent trong khi PMME chỉ sử dụng cơ chế CSMA/CA p-persistent và cơ chế nhận RTS sớm nhất tới nút sink, kết quả này cũng phù hợp với các kết quả của các nghiên cứu trước đây [21-24]. Riêng với PMME sử dụng các tập giá trị p tuyến tính và phi tuyến thì sự khác biệt về trễ thể hiện rõ khi sai khác giữa các giá trị p gia tăng. Các giá trị p càng cách biệt thì trễ trung bình càng tăng, vì thế sự khác biệt thể hiện rõ hơn với các tập giá trị phi tuyến (hình 2b) và còn riêng với tập giá trị p tuyến tính thì chỉ có tập $\{0,01; 0,17; 0,33; 0,49\}$ trong hình 2a là cho thấy trễ trung bình cao hơn so với trễ dựa trên các tập p còn lại. Việc này là do khi giá trị p_1 dành cho dữ liệu có mức ưu tiên thấp nhất là rất nhỏ thì sẽ làm gia tăng số lần gieo để đạt được xác suất được truyền gói, mỗi lần gieo như vậy sẽ cách nhau ít nhất một khoảng thời gian là CCS để nút cảm biến cảm nhận được chính xác trạng thái bận hay rỗi của đường truyền. Như vậy, kể cả khi môi trường truyền rỗi, nút vẫn phải chờ đợi sau nhiều lần gieo mới có được một lần gửi RTS.



a) Tập giá trị p tuyến tính.

b) Tập giá trị p phi tuyến.

Hình 2. So sánh độ trễ gói trung bình của tất cả các gói dữ liệu với giao thức TMPQ và PMME.

b) Trễ gói của từng mức ưu tiên

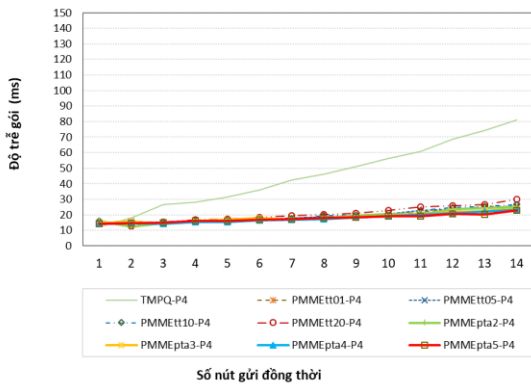
Hình 3 là kết quả mô phỏng độ trễ của bốn loại gói tin theo mức ưu tiên. Độ trễ gói theo mức ưu tiên gói cao nhất truyền trên giao thức PMME với các giá trị tuyến tính và phi tuyến khác nhau được so với trễ truyền trên giao thức TMPQ thể hiện trong hình 3a. Có thể thấy là các giao thức này đã đáp ứng đúng yêu cầu ưu tiên là gói tin độ ưu tiên cao có độ trễ nhỏ hơn so với các gói tin có độ ưu tiên thấp.

Độ trễ gói tin ưu tiên cao nhất khi truyền trên PMME với tập p tuyến tính và phi tuyến gần như đồng đều, đảm bảo được ngưỡng dưới 30 ms đáp ứng được yêu cầu thời gian thực tốt hơn so với TMPQ khi số nút cạnh tranh nhỏ, còn khi số nút cạnh tranh lớn thì trễ sẽ thấp hơn với giá trị p_4 lớn như PMMEpta5 hoặc PMMEtt01.

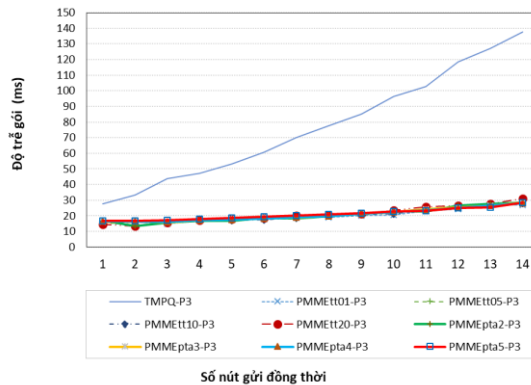
Trễ gói dữ liệu ưu tiên mức 3 của PMME khá đồng đều khi sử dụng các tập giá trị p khác nhau và cũng đảm bảo ngưỡng trễ từ 15 ms đến 30 ms khi số nút tăng từ 1 tới 14.

Trễ gói dữ liệu ưu tiên mức 2 của TMPQ tăng nhanh theo sự gia tăng số nút gửi đồng thời từ cỡ 30 ms đến 135 ms trong khi trễ của PMME chỉ tăng chậm từ dưới 30 ms đến dưới 50 ms, tuy nhiên, đã có sự phân biệt về trễ của PMME với tập dữ liệu phi tuyến, cao nhất với bộ PMMEpta5 và thấp nhất với PMMEpta2.

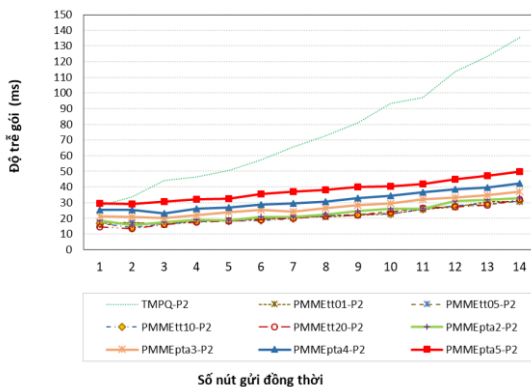
Cuối cùng, trễ gói dữ liệu mức thấp nhất của cả hai giao thức đều cao, TMPQ cao nhất từ khoảng 30 tới 130 ms trong khi trễ tương ứng với PMME tuyến tính là từ 55 ms tới 89 ms, 23 ms tới 45 ms, 20 ms đến 36 ms và 17 đến 31 ms lần lượt theo sự gia tăng của xác suất gieo p_1 từ 0,01 đến 0,2; trễ của PMME phi tuyến là từ 23 ms đến 40 ms, 34 ms đến 58 ms, 53 ms đến 81ms và 82 ms đến 111 ms với hệ số phi tuyến a tăng từ 2 tới 5.



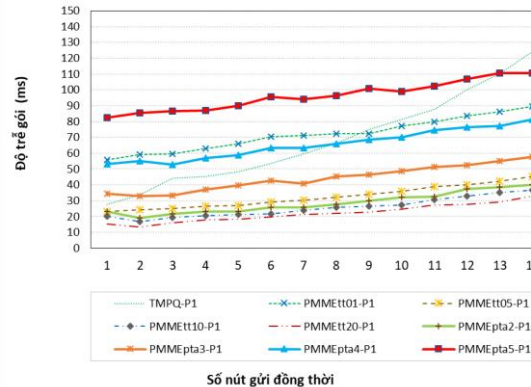
a) Trễ gói dữ liệu ưu tiên mức 4 (P4).



b) Trễ gói dữ liệu ưu tiên mức 3 (P3).



c) Trễ gói dữ liệu ưu tiên mức 2 (P2).



d) Trễ gói dữ liệu ưu tiên mức 1 (P1).

Hình 3. So sánh độ trễ gói trung bình của từng mức ưu tiên của TMPQ và các PMME tuyến tính và phi tuyến.

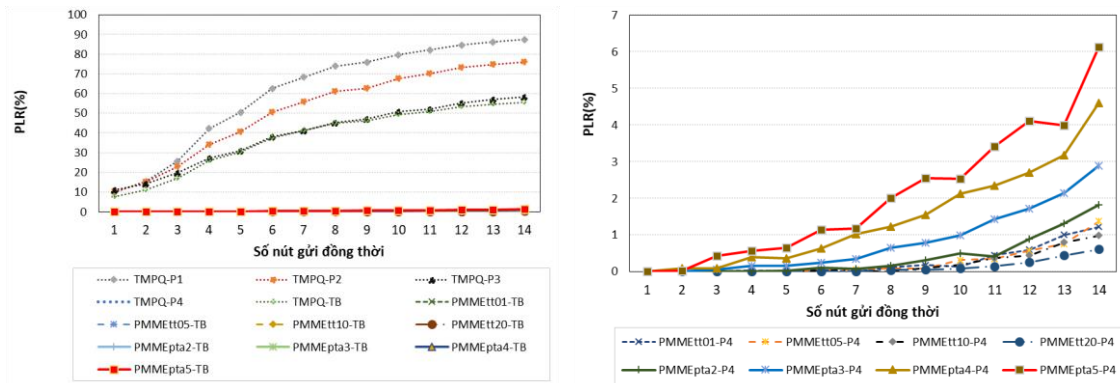
Như vậy, độ trễ của PMME biến động đáng kể theo bộ tham số p , khi các hệ số p ít khác biệt thì độ trễ của các mức ưu tiên sẽ ít khác biệt và ngược lại, hệ số p càng khác biệt thì sự chênh lệch về trễ càng lớn. Như vậy, càng muốn ưu tiên về trễ cho loại gói tin này thì cái giá phải trả sẽ là các gói tin ưu tiên còn lại, đặc biệt là gói tin ít ưu tiên nhất sẽ phải chịu trễ cao.

3.2.2. Tỷ lệ mất gói

Hình 4 cho thấy tỷ lệ mất gói của tất cả các loại gói tin khi mô phỏng giao thức TMPQ và PMME với các cặp giá trị p tuyến tính và phi tuyến.

Hình 4a cho thấy tỷ lệ mất gói của TMPQ trung bình và riêng từng loại ưu tiên cùng tăng cao dần khi số nút tăng. Kết quả mô phỏng này phù hợp với phân tích lý thuyết, tỷ lệ mất gói trung bình của TMPQ cao nhất khi số nút gửi tăng dần, đặc biệt trong trường hợp mô phỏng khi giới hạn số lần truyền lại là 5 thì tỷ lệ mất gói sẽ tăng từ 7 tới 56% tương ứng khi số nút tăng dần từ 1 đến 14 bởi vì khi số lần gửi lại bị hạn chế, nút sẽ không thể gửi được dữ liệu sau nhiều lần gửi RTS và dẫn đến tỷ lệ gói gửi được tới đích giảm. Với TMPQ, tỷ lệ mất gói của gói ưu tiên cao nhất P4 gần

như bằng 0 bởi vì trong cơ chế hoạt động cửa sổ sẽ đóng khi gặp RTS P4 và phản hồi CTS ngay, còn nếu không có gói ưu tiên cao nhất thì phải hết thời gian cửa sổ Tw thì nút nhận mới gửi phản hồi CTS cho nút nào có RTS ưu tiên cao nhất gửi tới. Như vậy thì thứ tự ưu tiên và xác suất mất gói tương ứng của ba loại gói ưu tiên còn lại là P1, P2 và P3 tương ứng khi số nút gửi là 14 sẽ là 87%, 76% và 56%. Trong khi đó, PMME cả tuyến tính và phi tuyến thì tỷ lệ mất gói trung bình rất nhỏ, tầm dưới 1,5%. Lí do là vì PMME có cơ chế nhận RTS linh hoạt, mỗi khi có RTS đến là nút nhận sẽ phản hồi CTS để các nút gửi khác biết và không gửi RTS nữa, như vậy sẽ hạn chế xung đột và tiết kiệm số lần gửi lại. Các nút gửi còn có xác suất gửi khác nhau và ngẫu nhiên nên sẽ hạn chế số lần gửi đồng thời lên môi trường truyền chung, vì vậy hạn chế xung đột và hạn chế xác suất mất gói.



a) Tỷ lệ mất gói của các loại gói ưu tiên TMPQ và trung bình của các gói ưu tiên PMME tuyến tính và phi tuyến. b) Tỷ lệ mất gói ưu tiên P4 của PMME tuyến tính và phi tuyến.

Hình 4. Tỷ lệ mất gói với giao thức TMPQ và PMME với p tuyến tính và phi tuyến theo số nút gửi đồng thời.

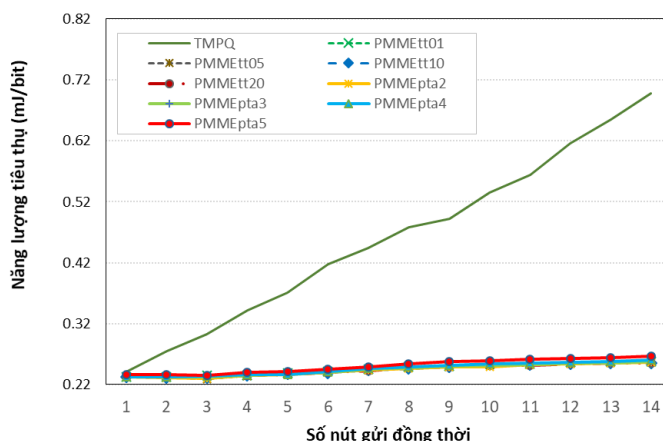
Hình 4b cho thấy tỷ lệ mất gói ưu tiên cao nhất P4 của PMME với các tập giá trị p tuyến tính và phi tuyến. Với tập giá trị tuyến tính, tỷ lệ mất gói của tập PMMEtt20 là thấp nhất, dưới 0,5%, rồi đến PMMEtt10, cao nhất là hai tập PMMEtt05 và PMME01 song sự khác biệt của hai tập này là không đáng kể và dưới ngưỡng 1,5%. Với tập giá trị phi tuyến, sự khác biệt về tỷ lệ mất gói cao hơn, cao nhất là PMMEpta5 với tỷ lệ mất gói cao nhất là trên 6% rồi tới PMMEpta4, PMMEpta3 và PMMEpta2 với tỷ lệ mất gói cao nhất tương ứng là khoảng 4,6%; 2,9% và 1,8%. Như vậy, giá trị p_4 trong một tập giá trị đã chọn càng lớn thì tỷ lệ mất gói càng lớn và ngược lại.

Kết quả mô phỏng cũng đưa ra tỉ lệ mất gói ưu tiên P1, P2 và P3 của PMME với các tập giá trị p tuyến tính và phi tuyến. Với cả hai tập giá trị tuyến tính và phi tuyến, sự khác biệt về tỷ lệ mất gói là rất thấp, tương ứng đều dưới 0,5%, dưới 0,3% và dưới 0,2%. Như vậy, với PMME khi giá trị p càng nhỏ thì tỷ lệ mất gói càng thấp, nguyên nhân là khi xác suất p giảm thì xác suất xảy ra xung đột cũng giảm, dẫn đến gói tin ít bị mất hơn.

Như vậy, tỷ lệ mất gói tăng khi số nút tăng và với các bộ giá trị p có sự chênh lệch giữa các giá trị là lớn, song với PMME kê cả khi chọn giá trị p cao nhất thì tỷ lệ mất gói vẫn thấp hơn nhiều so với TMPQ.

3.2.3 Hiệu quả năng lượng truyền thông

Hình 5 cho thấy đánh giá về hiệu quả năng lượng truyền thông dựa trên tỷ lệ năng lượng tiêu thụ trung bình trên mỗi bit dữ liệu truyền thành công của mạng cảm biến chạy trên giao thức lớp MAC là TMPQ và PMME với các tập giá trị p tuyến tính và phi tuyến. Tỷ lệ này càng cao thì hiệu quả năng lượng càng thấp.



Hình 5. Năng lượng tiêu thụ trung bình với giao thức TMPQ và PMME với tuyến tính và phi tuyến.

Năng lượng tiêu thụ trung bình trên một bit dữ liệu truyền thành công của PMME sử dụng cả tập giá trị p tuyến tính và phi tuyến thấp hơn nhiều so với TMPQ, cụ thể là với số nút gửi đồng thời từ 1 tới 14 thì năng lượng tiêu thụ trung bình tương ứng chỉ từ 0,23 mJ/bit đến 0,27 mJ/bit và 0,24 mJ/bit đến 0,70 mJ/bit. Trong các tập giá trị tuyến tính và phi tuyến thì chỉ có tập PMMEpta5 làm cho năng lượng tiêu thụ trung bình cho mỗi bit dữ liệu truyền thành công cao hơn khoảng 4% so với các tập còn lại, điều này cũng phù hợp và phản ánh phần nào kết quả về tỷ lệ lỗi gói ở phần trên, khi số lượng gói mất cao hơn thì cũng làm năng lượng tiêu thụ trung bình trên mỗi bit truyền thành công tăng lên do số bit truyền thành công giảm, như vậy, hiệu quả năng lượng truyền thông giảm xuống.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đánh giá hiệu năng mạng cảm biến không dây đa sự kiện sử dụng giao thức lớp MAC ưu tiên TMPQ và PMME với tập các giá trị p tuyến tính và phi tuyến. Các kết quả cho thấy, PMME giúp mạng đảm bảo chất lượng dịch vụ tốt hơn so với TMPQ, với PMME sử dụng tập giá trị p tuyến tính giúp mạng duy trì được hiệu quả mạng tốt hơn trên khía cạnh độ trễ trung bình trong khi sử dụng giá trị p phi tuyến giúp mạng đảm bảo mức ưu tiên cao nhất sẽ đạt được độ trễ tối ưu hơn trong điều kiện mô phỏng có sự thay đổi của số nút và tập giá trị p ưu tiên cho bốn loại sự kiện. PMME cũng mang lại độ tin cậy trong truyền gói cao hơn và hiệu quả sử dụng năng lượng tốt hơn so với TMPQ. Kết quả nghiên cứu này cho phép cân nhắc lựa chọn giao thức theo yêu cầu của việc truyền dữ liệu trong mạng cảm biến không dây đa sự kiện phù hợp với yêu cầu về trễ và tỷ lệ mất gói cụ thể.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. P. Palniladevi, T. Sabapathi, D. A. Kanth and B. P. Kumar, "IoT Based Smart Agriculture Monitoring System Using Renewable Energy Sources," 2023 2nd International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking Technologies (ViTECoN), Vellore, India, pp. 1-6, (2023).
- [2]. C. Prakash, A. Barthwal and D. Acharya, "FLOODWALL: A Real-Time Flash Flood Monitoring and Forecasting System Using IoT," IEEE Sensors Journal, **Vol. 23**, No. 1, pp. 787-799, (2023).
- [3]. P. Ning, H. Wang, T. Tang, L. Zhu and X. Wang, "A Service-Oriented Energy Efficient Resource Allocation Approach for Wireless Communications of the Tunnel Construction," IEEE Transactions on Vehicular Technology, **Vol. 72**, No. 4, pp. 4948-4958, (2023).
- [4]. G. A. López-Ramírez and A. Aragón-Zavala, "Wireless Sensor Networks for Water Quality Monitoring: A Comprehensive Review," IEEE Access, **Vol. 11**, pp. 95120-95142, (2023).

- [5]. D. Patel, C. Maiti and S. Muthuswamy, "Real-Time Performance Monitoring of a CNC Milling Machine using ROS 2 and AWS IoT Towards Industry 4.0," IEEE EUROCON 2023 - 20th International Conference on Smart Technologies, Torino, Italy, pp. 776-781, (2023).
- [6]. C. Pero, S. Bakshi, M. Nappi and G. Tortora, "IoT-Driven Machine Learning for Precision Viticulture Optimization," IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, **Vol. 17**, pp. 2437-2447, (2024).
- [7]. S. Datta and V. U., "A Traffic Prioritization Framework For Smart Home IoT Networks using Programmable Data Planes," 2023 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 371-376, (2023).
- [8]. W. Yaïci, E. Entchev, M. Longo and A. Annuk, "Internet of Things (IoT) Monitoring and Control for Smart Heating and Cooling in a Residential Building," 2023 12th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), Oshawa, ON, Canada, pp. 387-392, (2023).
- [9]. Daniel Minoli; Benedict Occhiogrosso, "Current and Evolving Applications to IoT and Applications to Smart Buildings and Energy Management," AI Applications to Communications and Information Technologies: The Role of Ultra Deep Neural Networks , IEEE, pp.257-346, (2024).
- [10]. G. R. R. Dewa, C. Park and I. Sohn, "Priority-Aware Scheduling for High-Dense Healthcare IoT (H-IoT) Networks Using Message-Passing Algorithm," IEEE Internet of Things Journal, (2024), doi: 10.1109/JIOT.2024.3375322.
- [11]. H. M. Kaidi, M. A. M. Izhar, R. A. Dziyauddin, N. E. Shaiful and R. Ahmad, "A Comprehensive Review on Wireless Healthcare Monitoring: System Components," IEEE Access, **Vol. 12**, pp. 35008-35032, (2024).
- [12]. P. Šolic et al., "Circuit Design, Realization, and Test of a Bluetooth Low Energy Wireless Sensor With On-Board Computation for Remote Healthcare Monitoring," IEEE Journal of Radio Frequency Identification, **Vol. 8**, pp. 105-113, (2024).
- [13]. S. Mihai et al., "Digital Twins: A Survey on Enabling Technologies, Challenges, Trends and Future Prospects," IEEE Communications Surveys & Tutorials, **Vol. 24**, No. 4, pp. 2255-2291, (2022).
- [14]. J. Chen, C. Yi, S. D. Okegbile, J. Cai and X. Shen, "Networking Architecture and Key Supporting Technologies for Human Digital Twin in Personalized Healthcare: A Comprehensive Survey," IEEE Communications Surveys & Tutorials, **Vol. 26**, No. 1, pp. 706-746, (2024).
- [15]. A. Kumar, M. Zhao, K. Wong, Y. L. Guan and P. H. J. Chong, "A Comprehensive Study of IoT and WSN MAC Protocols: Research Issues, Challenges and Opportunities," IEEE Access, **Vol. 6**, pp. 76228-76262, (2018).
- [16]. A. N. Sakib, M. Drieberg and A. A. Aziz, "Energy-Efficient Synchronous MAC Protocol based on QoS and Multi-priority for Wireless Sensor Networks," 2021 IEEE 11th IEEE Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE), pp. 347-352, (2021).
- [17]. M. Rasheed, I. U. Din, M. Adnan, A. Tariq, S. Malik and I. Syed, "ECM-MAC: An Efficient Collision Mitigation Strategy in Contention Based MAC Protocol," IEEE Access, **Vol. 9**, pp. 62880-62889, (2021).
- [18]. Q. Huamei, F. Linlin, Y. Zhengyi, Y. Weiwei, W. Jia, "An energy-efficient MAC protocol based on receiver initiation and multi-priority backoff for wireless sensor networks," IET Communications, **Vol. 15**, No. 20, pp. 2503-2512, (2021).
- [19]. Wei Ye, J. Heidemann and D. Estrin, "Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks," in IEEE/ACM Transactions on Networking, **Vol. 12**, No. 3, pp. 493-506, (2004).
- [20]. S. C. Kim, J. H. Jeon, and H. J. Park, "QoS aware energy-efficient (QAEE) MAC protocol for energy harvesting wireless sensor networks," Proc. of 6th International Conference on Hybrid Information Technology (ICHIT), Daejeon, Korea, South Korea, pp. 41-48, (2012).
- [21]. Nguyen Thi Thu-Hang, Nguyen Chien Trinh, Nguyen Tien Ban, "Delay and Reliability Analysis of p-persistent Carrier Sense Multiple Access for MultiEvent Wireless Sensor Network", Proc. of IEEE 26th International Conference on Telecommunications (ICT-2019), Hanoi, Vietnam, pp. 426-430, (2019).
- [22]. Thu-Hang T. Nguyen, Hai-Chau Le, Trong-Minh Hoang, Trinh Nguyen Chien, "Efficient Backoff Priority-based Medium Access Control Mechanism for IoT Sensor Networks," Seventh International Conference on Research in Intelligent Computing in Engineering (RICE-2022), Hung Yen, Vietnam (2022).

- [23]. Vu Thanh Vinh, Nguyen Thi Thu Hang, Nguyen The Truyen, Pham Viet Binh, "Adaptive Priority Algorithm for PMME Protocol in Multi-Event Wireless Sensor Network", TNU Journal of Science and Technology 227(07), pp. 138–146, (2022).
- [24]. N. T. T. Hang, N. C. Trinh, N. T. Ban, M. Raza and H. X. Nguyen, "Delay and Reliability Analysis of p -Persistent Carrier Sense Multiple Access for Multi-Event Industrial Wireless Sensor Networks," IEEE Sensors Journal, **Vol. 20**, No. 20, pp. 12402-12414, (2020).
- [25]. T. Boulis, *Castalia Version 3.3 Master*. Truy cập được ngày 10/04/2024. Web: <https://github.com/boulis/Castalia/releases/tag/3.3>
- [26]. Texas Instruments. "CC2420 single-chip 2.4 GHz RF transceiver," Truy cập được ngày 10/04/2024. Web: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2420.pdf>.

ABSTRACT

Performance evaluation of multi-event wireless sensor network using PMME priority protocol at MAC layer with linear and nonlinear p -value sets

Among the MAC protocols that support multiple data priorities and save energy for multi-event wireless sensor networks, the PMME protocol is considered superior to its predecessors. However, these protocol simulation scenarios only consider the change in the number of nodes and have not yet implemented many p -value sets in the linear and nonlinear p -persistent CSMA/CA mechanism. In this paper, we analyze the influence of data priority p -value sets on multi-priority sensor network performance based on simulation of the operation of the MAC layer data-priority PMME protocol. The achieved results show that the PMME protocol uses a set of linear p -values to help the network maintain good network efficiency in terms of delay fairness while the nonlinear p -value helps the network ensure high priority will achieve a more optimal delay under simulation conditions with changes in the number of nodes and the set of priority p values for the four types of events.

Keywords: Wireless sensor network; Medium access control; Data prioritization; CSMA/CA; Performance.