

PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG CỦA LƯU LƯỢNG DỮ LIỆU TỚI HIỆU NĂNG MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY SỬ DỤNG GIAO THỨC ƯU TIÊN Ở LỚP MAC

Nguyễn Thị Thu Hằng, Nguyễn Chiến Trinh
Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông

Tóm tắt — Trong mạng cảm biến không dây đa mức ưu tiên, việc truyền thông được thực hiện không cần dây dẫn, các nút cảm biến có dữ liệu ở mức ưu tiên khác nhau có thể truyền thông trực tiếp với nhau và chuyển dữ liệu tới nút thu theo mức độ ưu tiên. Các thiết bị cảm biến thường bị giới hạn năng lượng từ nguồn pin nên rất cần tiết kiệm năng lượng để kéo dài thời gian hoạt động của nút và mạng, vì vậy xây dựng giao thức lớp MAC linh hoạt và hợp lý để vừa đảm bảo ưu tiên lại vẫn hiệu quả về năng lượng vừa là thách thức vừa là mục tiêu mà nhiều nghiên cứu hướng tới. Trong những giao thức MAC đa ưu tiên và tiết kiệm năng lượng thì có các giao thức PMME, TMPQ và BoP là đáp ứng đúng yêu cầu ưu tiên về dữ liệu. Tuy nhiên các kịch bản mô phỏng cho ba giao thức này mới xét tới sự thay đổi của số nút mà chưa thực hiện với nhiều mức tốc độ gửi gói từ mỗi cảm biến. Trong bài báo này, chúng tôi phân tích ảnh hưởng của lưu lượng lên hiệu năng mạng cảm biến đa ưu tiên dựa trên mô phỏng hoạt động của các giao thức ưu tiên dữ liệu lớp MAC là PMME, TMPQ và BoP dựa trên sự thay đổi của cả số nút cạnh tranh và tốc độ gửi gói. Kết quả đạt được cho thấy giao thức BoP có khả năng thích ứng cao với lưu lượng dữ liệu, giao thức này giúp chuyển tiếp dữ liệu với độ trễ thấp hơn so với giao thức PMME và vượt trội hơn hẳn so với giao thức tiền nhiệm TMPQ về tiêu chí độ trễ, tồn thất gói và tiêu thụ năng lượng.

Từ khóa — Mạng cảm biến không dây, điều khiển truy nhập môi trường, ưu tiên dữ liệu, tốc độ gửi gói dữ liệu.

I. GIỚI THIỆU

Ngày nay, các ứng dụng cảm biến khá là phổ dụng trong nhiều lĩnh vực của đời sống như công nông nghiệp [1-5], dự báo khí tượng [6-8], nhà thông minh [9-11]. 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 cao thường là quan trọng bắt buộc phải được truyền trước và đảm bảo yêu cầu nghiêm ngặt về trễ do tính khẩn cấp như cảnh báo bão, động đất hay cảnh báo cháy. Các dữ liệu có độ ưu tiên thấp thường không

BẢNG 1: SO SÁNH MỘT SỐ GIAO THỨC MAC ƯU TIÊN CHO MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY

STT	Giao thức	Phân loại ưu tiên dữ liệu	Dự đoán thích nghi lưu lượng
1	QAEE [18]	• Có 2 mức ưu tiên	• Có nhưng không tự động (p-persistent theo số nút)
2	PMME [17]	• Có 4 mức ưu tiên	• Chưa đánh giá
3	MPQ [20] và TMPQ [13]	• Có 4 mức ưu tiên	• Có nhưng không tự động (p-persistent theo số nút)
4	ECM [14]	• Không	• Có, tự động do dùng cửa sổ backoff
5	RPM [15]	• Không	• Có, tự động do dùng cửa sổ backoff
6	BoP [19]	• Có 4 mức ưu tiên	• Có, tự động do dùng chính cửa sổ backoff

quan trọng sẽ được truyền sau và thường là thông tin như nhiệt độ, độ ẩm, sức gió và ánh sáng. Giao thức điều khiển truy cập phương tiện (MAC) có thể được điều chỉnh để đáp ứng yêu cầu này [12, 13]. Các giao thức MAC trong mạng không dây có thể phân thành ba loại: Không xung đột, dựa trên xung đột và lai ghép [14]. Với mạng cảm biến có số lượng nút hạn chế và lưu lượng nhỏ thì MAC dựa trên xung đột phù hợp hơn do đặc tính đơn giản dễ triển khai và độ trễ truyền thấp. Tuy nhiên, để giao thức MAC xung đột hoạt động hiệu quả và đáp ứng đa mức ưu tiên, hạn chế xung đột thì cần có thêm những nghiên cứu sao cho phù hợp.

Có nhiều đề xuất khác nhau được trình bày để cải thiện giao thức MAC có xét tới mức độ ưu tiên [13- 18]. Giao thức PMME [17] 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 MPQ [20] sử dụng p-persistent với giá trị p tỷ lệ nghịch với số nút. Tương tự giao thức MPQ, giao thức TMPQ xem xét QoS và bốn mức độ ưu tiên gói khác nhau để giảm độ trễ trung bình đầu cuối và kéo dài tuổi thọ mạng [13]. Tuy nhiên, MPQ và TMPQ sử dụng cơ chế p-persistent khá cứng nhắc và độ trễ chỉ được cải thiện với dữ liệu có độ ưu tiên cao nhất khi sử

Tác giả liên hệ: Nguyễn Thị Thu Hằng,

Email: hangnt@ptit.edu.vn

Đến tòa soạn: 11/2023, chỉnh sửa: 12/2023, chấp nhận đăng: 01/2024.

dụng cửa sổ ưu tiên động dành cho dữ liệu có mức ưu tiên cao nhất, còn các dữ liệu ưu tiên còn lại sẽ được sắp xếp gửi theo mức ưu tiên sau cửa sổ thời gian cố định T_w . Trong các giao thức ECM, RPM và BoP [14,15, 19], cửa sổ backoff đã được sử dụng để phân loại ưu tiên dựa trên năng lượng còn lại của nút [14,15] hoặc xét trên mức độ ưu tiên của dữ liệu [19]. BoP được đề xuất sử dụng giải thuật ưu tiên dữ liệu dựa trên cơ chế backoff để không những giải quyết động khi có tranh chấp truy nhập môi trường mà còn đảm bảo việc ưu tiên hơn cho các gói dữ liệu có mức quan trọng cao hơn. Với yêu cầu của các mạng cảm biến ngày càng đa dạng về loại dữ liệu cũng như tần suất gửi thông tin, việc phân tích hoạt động và đánh giá khả năng thích ứng với lưu lượng là việc làm cần thiết để có thể lựa chọn giao thức phù hợp với các kịch bản lưu lượng khác nhau. Bảng I phân tích một số điểm khác biệt của một số giao thức MAC dựa theo đáp ứng với mức độ ưu tiên của dữ liệu.

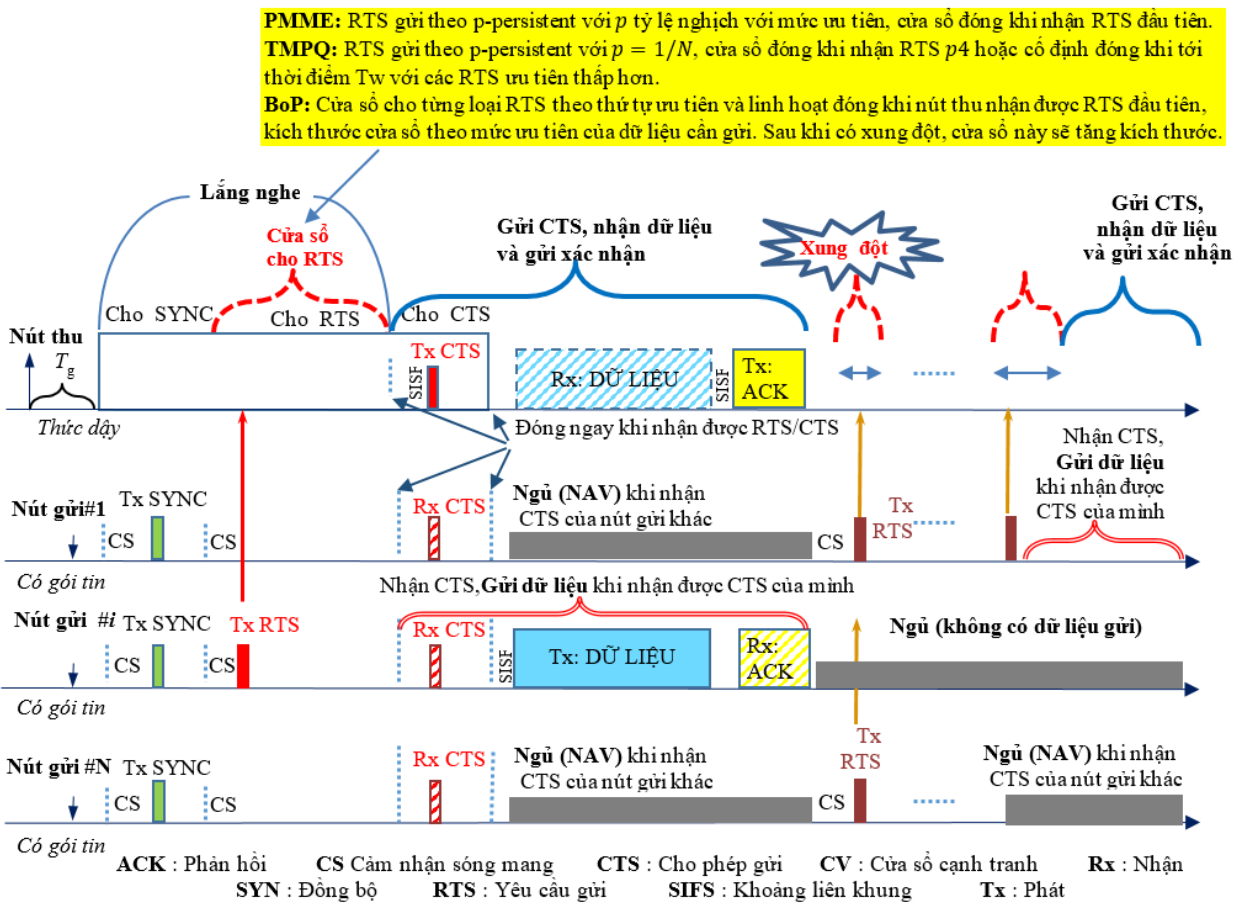
Trong bài báo này, chúng tôi phân tích ảnh hưởng của lưu lượng lên hiệu năng mạng cảm biến đa ưu tiên dựa trên mô phỏng hoạt động của các giao thức ưu tiên nhiều mức dữ liệu lớp MAC là PMME, TMPQ và BoP dựa trên sự thay đổi của cả số nút cạnh tranh và tốc độ gửi gói. Phần còn lại của bài báo được tổ chức như sau. Phần II tóm lược các kỹ thuật cơ bản được thực hiện cho việc truyền ưu

tiên gói tin thông qua một số giao thức MAC. Phần III là mô phỏng đối sánh nhằm so sánh hiệu năng của các giải pháp MAC ưu tiên gần đây. Cuối cùng là kết luận của bài báo.

II. CÁC GIAO THỨC MAC ƯU TIÊN

Hình 1 mô tả hoạt động chung của ba giao thức MAC ưu tiên là PMME, TMPQ và BoP. Cả ba 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 xét ưu tiên dữ liệu dựa trên cơ chế cửa sổ xung đột.

Giao thức TMPQ đề xuất thực hiện kỹ thuật đảm bảo ưu tiên qua việc sử dụng cửa sổ cho các yêu cầu gửi TxBeacon. Mỗi TxBeacon sẽ mang byte có thông tin ưu tiên được gửi từ nút cảm biến về sink theo cơ chế p-persistent với giá trị p tỷ lệ nghịch với số nút cạnh tranh đồng thời. Dựa trên việc phân tích mức độ ưu tiên nút sink sẽ phản hồi tức thì nếu mức ưu tiên là cao nhất hoặc sẽ thu nhận toàn bộ TxBeacon tới hết cửa sổ T_w , sau đó sẽ lựa chọn một TxBeacon có mức ưu tiên cao nhất trong số các TxBeacon để gửi phản hồi trước. Cách thức này đã cho thấy được sự sắp xếp ưu tiên cho dữ liệu một cách hiệu quả hơn so với giao thức tiền nhiệm là QAEE [18].



Hình 1. Mô tả hoạt động cơ bản của giao thức MAC chung với PMME, TMPQ và BoP

Giao thức PMME sử dụng cơ chế p-persistent với giá trị p tỷ lệ nghịch với mức ưu tiên của dữ liệu [17] và sử dụng cửa sổ động đóng khi nút sink nhận được yêu cầu gửi dữ

liệu RTS đầu tiên từ các nút cảm biến. Mô phỏng với giá trị p đã được phân tích và đánh giá sử dụng các giá trị tuyến tính hoặc hàm mũ cho thấy PMME đã thích ứng tốt với

mức độ ưu tiên dữ liệu và có hiệu năng vượt trội so với MPQ.

Giao thức BoP lấy đặc điểm của giao thức SMAC [16] và PMME để linh hoạt trong việc nhận RTS tới sớm nhất cùng với gửi phản hồi CTS và TMPQ [13] với ý tưởng ưu tiên dữ liệu kết hợp với kỹ thuật điều chỉnh cửa sổ backoff theo mức ưu tiên của giao thức ECM và RPM [14,15].

Trong trường hợp nhiều RTS gửi cùng lúc và gây xung đột, cơ chế backoff sẽ được kích hoạt với vị trí cửa sổ backoff của từng loại ưu tiên được sắp xếp theo 04 mức độ ưu tiên dữ liệu: khẩn cấp, ưu tiên cao, ưu tiên và không ưu tiên.

III. MÔ PHÒNG VÀ ĐÁNH GIÁ

Để đánh giá và đối sánh hiệu năng mạng cảm biến không dây đa sự kiện khi lưu lượng thay đổi sử dụng giải thuật điều khiển truy nhập phương tiện BoP với giải pháp tiêu biểu TMPQ và PMME, nghiên cứu này sử dụng phần mềm mô phỏng Castalia 3.3 [21] với thông số lớp vật lý tương tự chip tần số vô tuyến CC2420 [22] 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 10m × 10m.

A. Tham số và kích bản mô hình mạng mô phỏng

Bảng II 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 tốc độ, xét số lượng nút gửi đồng thời trong khoảng từ 1 nút tới 10 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 và với tốc độ gửi dữ liệu theo gói tin thay đổi. Mỗi mô phỏng được chạy 05 lần với mỗi nút cảm biến gửi 1000 gói tin, các thông số hiệu năng được tính bằng giá trị trung bình.

Bảng III cho tốc độ lưu lượng dữ liệu chuyển đổi từ lớp ứng dụng thành tốc độ ở lớp vật lý lấy thứ nguyên là kbit/s tương ứng với các kịch bản về số nút và tốc độ gửi gói dữ liệu trong mô phỏng. Có thể tính cụ thể như sau: Gói tin ban đầu kích thước là 28 byte khi qua các lớp ứng dụng, định tuyến, MAC và vật lý thì kích thước ở lớp vật lý sẽ là 60 byte tương ứng với 480 bit.

BẢNG II: THÔNG SỐ MÔ PHÒNG

Thông số	Giá trị
Số nút gửi	1-10
Số lần cho phép gửi lại	9
RTS/TxBeacon (TxRetries)	
Số mức ưu tiên	4
RTS/Tx-Beacon	13/14 byte
CTS/Rx-Beacon	13 byte
Tiêu đề khung MAC	11 byte
Tiêu đề ứng dụng	5 byte
Kích thước gói dữ liệu	28 byte
Kích thước gói ACK	11 byte
CCA	0.128ms
Tiêu đề khung vật lý	6 byte
$p_1; p_2; p_3; p_4$ persistent với PMME	0,1; 0,2; 0,3;
T_g	6,7ms
T_w với TMPQ	10ms
$CW_{min} - CW_{max}$ với BoP	4-16
Tốc độ dữ liệu	1,5,10 gói/s

Data 28B	Throughput (App) 5B	BypassRouting 10B	PMME/TMPQ/ BoP MAC 11B	phyLayer Header 6B	Tổng 60 Bytes
			ackPacket 11B	phyLayer Header 6B	Tổng 17 Bytes
			syncPacket 6B	phyLayer Header 6B	Tổng 12 Bytes
			rtsPacket 14B	phyLayer Header 6B	Tổng 19 Bytes
			ctsPacket 13B	phyLayer Header 6B	Tổng 19 Bytes

Hình 2. Khuôn dạng các bản tin/khung tin trong kịch bản mô phỏng

Như vậy nếu tốc độ gửi gói là 1 gói/s thì tốc độ ở lớp ứng dụng và vật lý sẽ tương ứng là 0,224kb/s và 0,48kb/s. Thực tế thì thông tin truyền trên lớp vật lý không chỉ có dữ liệu mà còn có cả các khung/gói dữ liệu lớp MAC như RTS, CTS, ACK, SYN (có kích thước byte tương ứng trong Hình 2) và để truyền thành công gói tin khi mạng có xung đột thì giao thức MAC nào hoạt động kém hiệu quả hơn sẽ có số lượng RTS phải gửi đi gửi lại nhiều lần hơn dẫn đến hiệu quả truyền dữ liệu giảm: việc truyền lại

BẢNG III: TỐC ĐỘ TRUYỀN DỮ LIỆU

Số nút Tốc độ gói/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,48	0,96	1,44	1,92	2,4	2,88	3,36	3,84	4,32	4,8
5	2,4	4,8	7,2	9,6	12	14,4	16,8	19,2	21,6	24
10	4,8	9,6	14,4	19,2	24	28,8	33,6	38,4	43,2	48

này vừa gây trễ, gây mất gói khi số lần được gửi lại giới hạn và tiêu hao năng lượng nhiều hơn cho việc truyền lại RTS.

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 truyền gói thành công*: Là tỷ lệ giữa tổng số gói truyền thành công (không tính gói gửi lại) nhận được tại 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 cho mỗi bit dữ liệu truyền thành công.

B. Phân tích kết quả mô phỏng

1) Trễ gói trung bình

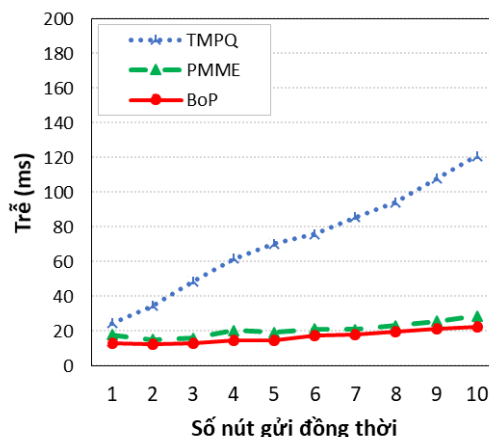
Phần này phân tích trễ gói tin trung bình của tất cả các loại gói tin khi mô phỏng với ba giao thức MAC là PMME, TMPQ và BoP với số lượng nút gửi và tốc độ gửi gói dữ liệu thay đổi.

a) Trễ gói trung bình

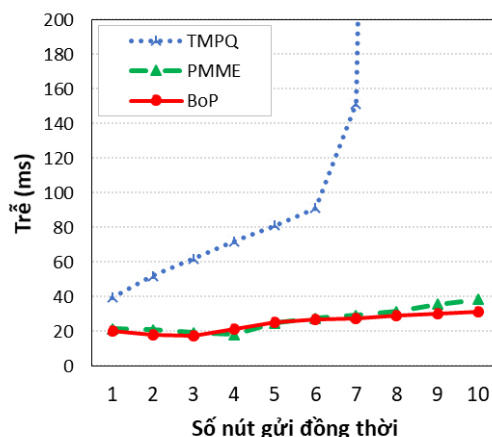
Hình 3 cho thấy độ trễ trung bình của khi truyền gói dựa trên PMME, TMPQ và BoP với số nút và tốc độ gửi gói khác nhau. Kết quả mô phỏng cho thấy độ trễ gói trung bình tương ứng tăng dần theo sự gia tăng về số nút và tốc độ gửi gói trung bình của mỗi nút trên cả ba giao thức.

Nhìn chung, độ trễ gói tin của BoP và PMME nhỏ vượt trội so với TMPQ ở tất cả các kịch bản tốc độ lưu lượng gói. Độ trễ BoP nhỏ hơn PMME phần nào khi mức độ nút cạnh tranh tăng dần và rõ nét hơn khi tốc độ gửi gói tăng, cụ thể là độ trễ trung bình khi có 10 nút cạnh tranh của BoP tăng từ 20ms tới 30ms và 40ms khi tốc độ gửi của mỗi nút tương ứng là 1,5 và 10 gói/s trong khi với PMME tương ứng là khoảng 28ms, 38ms và 48ms. Riêng TMPQ thì ở kịch bản 1 gói/s độ trễ trung bình là từ 24ms đến 117ms khi số nút tăng từ 1 đến 10, với kịch bản 5 gói/s đã xuất hiện điểm nghẽn khi số nút cạnh tranh đồng thời là 7 thì độ trễ tăng vọt vượt quá 200ms và gần dốc đứng; khi tăng gấp đôi tốc độ lên thành 10 gói/s thì điểm nghẽn xuất hiện khi số nút đồng thời là 3. Ở cả ba kịch bản tốc độ thì BoP và PMME chưa thấy điểm nghẽn này, kết quả mô phỏng này cho thấy khả năng thích nghi của hai giao thức BoP và PMME là tốt hơn so với TMPQ.

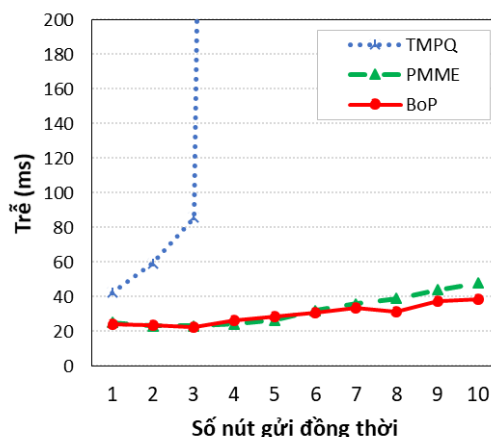
Các gói dữ liệu BoP và PMME có độ trễ trung bình nhỏ hơn TMPQ vì RTS của chúng được chấp nhận ngay sau khi gửi mà không phải chờ đợi như các gói tin trong TMPQ (trừ gói có độ ưu tiên cao nhất p_4). Ngoài ra, BoP sử dụng cửa sổ backoff linh hoạt theo xung đột, nghĩa là chỉ khi có xung đột thì kích thước cửa sổ mới giãn ra để tránh xung đột liên tiếp, vì thế đa phần trường hợp kích thước cửa sổ sẽ được đặt nhỏ và gây trễ nhỏ, chỉ khi xung đột mới gây trễ lớn và cửa sổ này lập tức co lại khi có gói chuyển thành công (khi mức độ xung đột giảm đi) và có độ thích nghi cao với lưu lượng và xung đột.



a) Tốc độ 1 gói/s



b) Tốc độ 5 gói/s

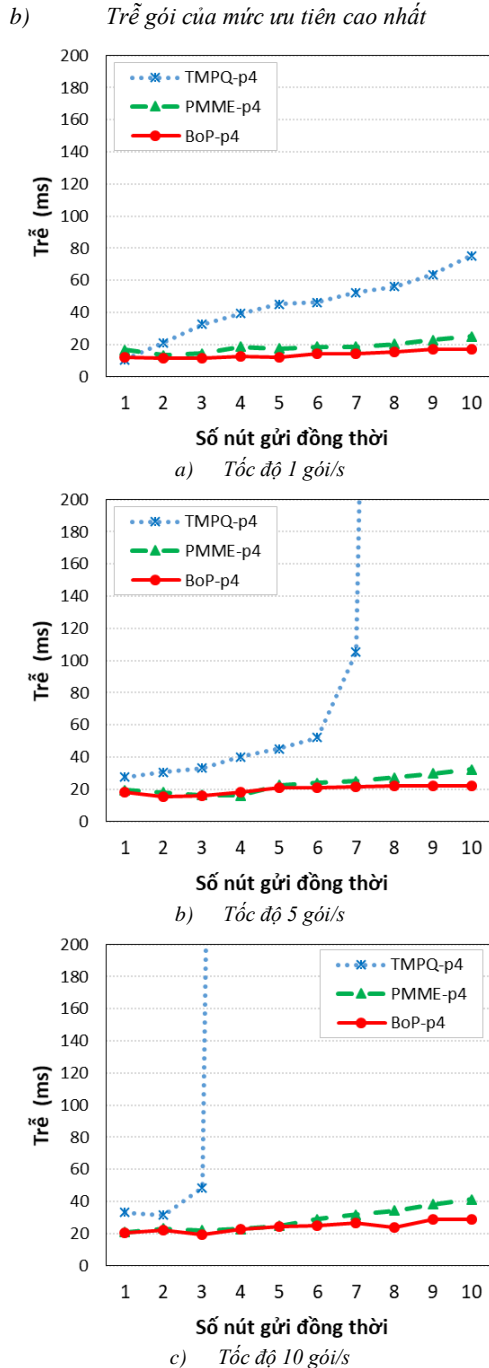


c) Tốc độ 10 gói/s

Hình 3. So sánh độ trễ gói dữ liệu trung bình của tất cả các gói với giao thức PMME, TMPQ và BoP với tốc độ dữ liệu thay đổi.

Trong khi đó, PMME sử dụng p-persistent với p thay đổi theo mức độ ưu tiên gói tin song chưa tính tới lưu lượng theo số nút hoặc tốc độ nên khi số nút cạnh tranh cao và tốc độ gửi của mỗi nút tăng sẽ dần yếu thế so với BoP. Còn TMPQ cũng sử dụng cơ chế gửi RTS theo p-persistent song giá trị p lại tỷ lệ nghịch theo số nút nên dù hạn chế được phần nào xung đột do nhiều nút cùng gửi RTS song sự kết hợp với cửa sổ T_w lại gây bất lợi do cửa sổ này vẫn giữ giá trị cố định không thích nghi với lưu lượng biến động do tốc độ gây ra. Chỉ có gói tin mức ưu tiên cao nhất là được xử

lý sớm nên có độ trễ nhỏ hơn, nhưng khi bắt đầu nghẽn hầu hết các RTS của gói tin bị trễ lại và xung đột, hơn nữa cửa sổ xung đột không giãn ra nên càng xung đột thì càng trễ và độ trễ tăng nhanh do càng xung đột thì RTS sẽ càng phải truyền đi truyền lại nhiều sẽ dẫn đến tốc độ truyền trên lớp vật lý tăng và gây nghẽn nhiều hơn.



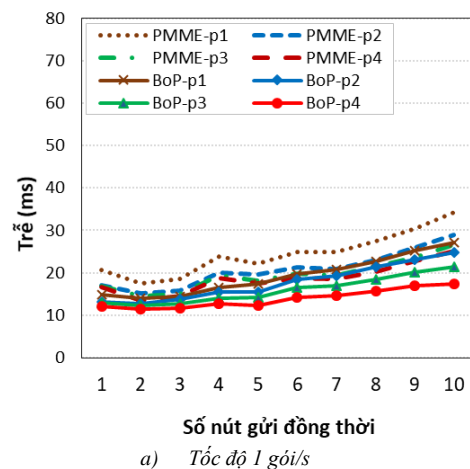
Hình 4. So sánh độ trễ gói dữ liệu ưu tiên cao nhất của PMME, TMPQ và BoP.

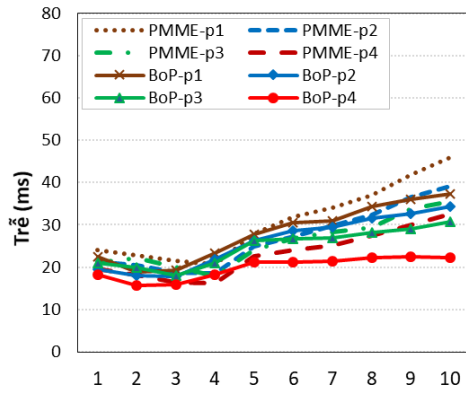
Độ trễ gói theo mức ưu tiên gói cao nhất truyền trên các giao thức TMPQ, PMME và BoP được thể hiện trong Hình 4. Có thể thấy là các giao thức này đã đáp ứng đúng yêu cầu ưu tiên là gói tin độ ưu tiên cao có độ trễ nhỏ hơn. Độ trễ gói tin ưu tiên cao nhất ($p4$) khi truyền trên PMME và BoP đảm bảo được ngưỡng 20-40ms đáp ứng thời gian thực với cả ba tốc độ và BoP vẫn cho thấy gói ưu

tiên $p4$ được truyền nhanh hơn, song với TMPQ thì trễ gói ưu tiên cao nhất chỉ đạt dưới 200ms khi lưu lượng thấp và số nút ít, còn khi tốc độ tăng tới 5 gói/s và 10 gói/s thì cũng giống như các gói tin khác là nghẽn ở điểm tương ứng là 7 nút và 3 nút đồng thời gửi dữ liệu. Theo kết quả mô phỏng khi tới điểm nghẽn thì trễ trung bình của các gói tin chạy trên TMPQ đang từ ngưỡng dưới 200ms lập tức tăng lên tới hàng nghìn mili giây và với yêu cầu trễ thời gian thực thì gói sẽ coi như bị mất.

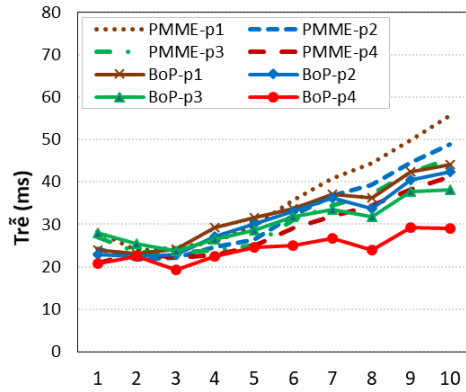
c) *Trễ gói của từng loại gói ưu tiên*

Phần này chỉ phân tích độ trễ truyền gói theo từng mức ưu tiên trên hai giao thức PMME (các đường đứt nét) và BoP (các đường liền nét) là hai giao thức vượt trội hơn TMPQ thể hiện trong Hình 5. Có thể thấy là hai giao thức PMME và BoP đã đáp ứng đúng yêu cầu ưu tiên là gói tin càng ưu tiên thì độ trễ càng nhỏ và toàn bộ các gói tin ưu tiên của BoP đều có độ trễ thấp hơn so với các gói tin tương ứng của PMME khi số nút cạnh tranh tăng cao. Khi số nút cạnh tranh còn tương đối nhỏ (4-6 nút) thì độ chênh lệch về trễ của từng loại ưu tiên, đặc biệt là $p4$ chưa rõ ràng do độ cạnh tranh thấp và trễ còn phụ thuộc vào độ ngẫu nhiên về thời điểm gửi lưu lượng trên lớp ứng dụng trong mỗi cảm biến (cỡ 5ms), song khi số nút cạnh tranh tăng cao hơn thì có thể thấy trễ từng loại ưu tiên sẽ tăng dần. Nguyên nhân là khi số nút đồng thời gửi tăng lên thì tần suất xung đột tăng sẽ dẫn tới trễ gói tin tăng, hơn nữa, với BoP các RTS có mức ưu tiên cao nhất được gửi vào cửa sổ ưu tiên sớm hơn các RTS có mức ưu tiên thấp hơn, nên gói tin ưu tiên cao hơn sẽ được truyền trước xong thì mới tới lượt các gói tin có mức ưu tiên thấp được truyền, như vậy các gói có mức ưu tiên càng thấp sẽ càng phải chờ đợi lâu, do vậy, độ trễ sẽ dần tăng theo số nút và tốc độ; với PMME thì xác suất gửi RTS của gói tin có mức ưu tiên cao sẽ lớn hơn nên tỷ lệ gói tin mức ưu tiên cao được truyền trước sẽ lớn hơn các gói tin có mức ưu tiên thấp. Kết quả mô phỏng vẫn có độ nhấp nhô nhất định do tính ngẫu nhiên trong nhiều bước của giao thức; ngoài độ ngẫu nhiên trong việc gửi gói ở lớp ứng dụng thì với BoP còn có việc RTS được gửi ngẫu nhiên trong cửa sổ xung đột và với PMME là việc gieo giá trị ngẫu nhiên và gửi tương ứng khi so với giá trị p theo cơ chế p-persistent.





b) Tốc độ 5 gói/s

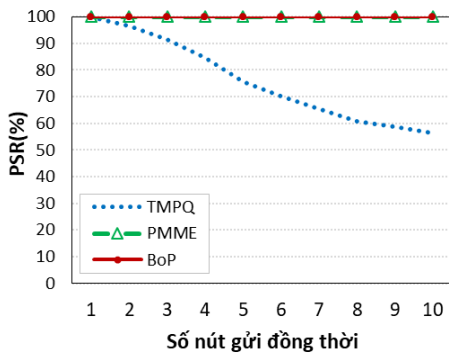


c) Tốc độ 10 gói/s

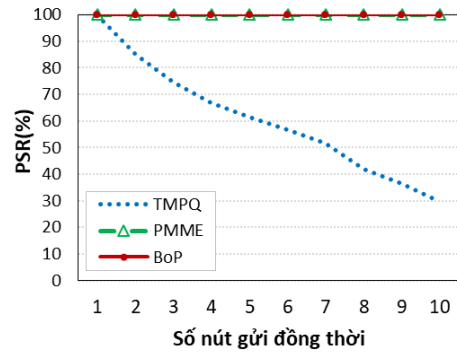
Hình 5. So sánh độ trễ gói các loại gói dữ liệu ưu tiên của PMME và BoP.

2) Tỷ lệ truyền gói thành công

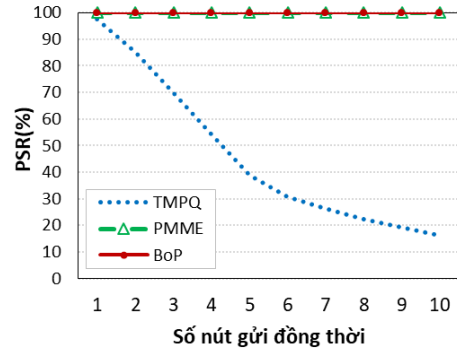
Phần này phân tích tỷ lệ truyền gói thành công của tất cả các loại tin khi mô phỏng với 03 giao thức PMME, TMPQ và BoP. Hình 6 cho thấy BoP (đường liền nét màu đỏ) và PMME (đường đánh dấu tam giác màu xanh lá) đảm bảo tỷ lệ truyền gói thành công ở ngưỡng 100% với cả ba kịch bản, ngoại trừ trường hợp PMME với 9 và 10 nút gửi có tốc độ mỗi nút 10 gói/s bắt đầu có hiện tượng rơi gói (song không đáng kể và khó thể hiện trên hình do tỷ lệ truyền thành công vẫn đạt trên 99,98%) trong khi với TMPQ (đường chấm chấm màu xanh biển) thì tỷ lệ truyền gói thành công giảm dần khi số nút tăng và lưu lượng tăng.



a) Tốc độ 1 gói/s



b) Tốc độ 5 gói/s



c) Tốc độ 10 gói/s

Hình 6. Tỷ lệ truyền thành công gói trung bình với giao thức PMME, TMPQ và BoP theo tốc độ gửi gói.

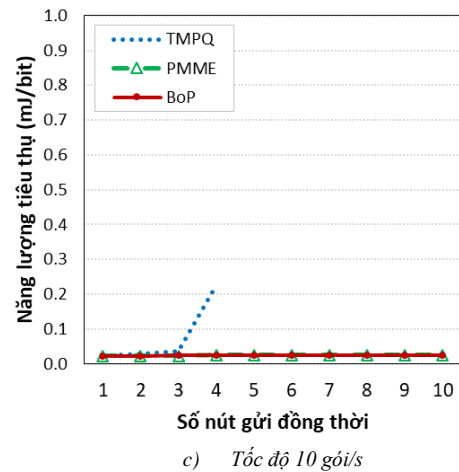
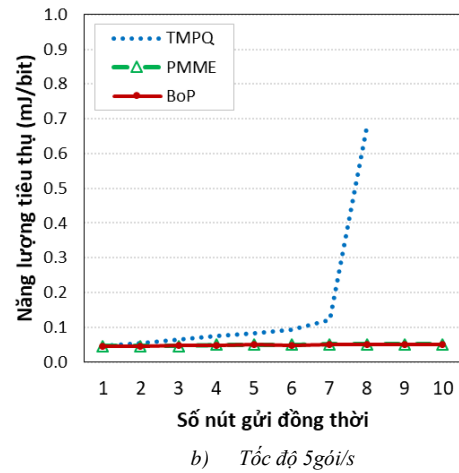
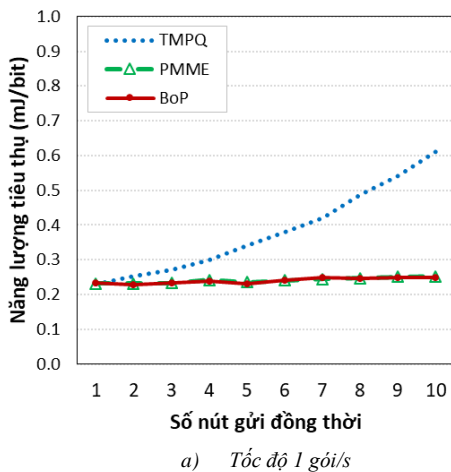
Kết quả mô phỏng này phù hợp với phân tích lý thuyết: việc chấp nhận RTS tới đầu tiên trong BoP và PMME giúp tránh xung đột không cần thiết trong khoảng thời gian còn lại, các nút chưa được phép gửi sẽ ngủ ngay và không cạnh tranh gửi cho tới chu kỳ tiếp theo. Điều này giúp BoP và PMME hạn chế được mất gói do xung đột. Tỷ lệ truyền gói thành công của PMME khi số nút cạnh tranh cao và tốc độ gửi gói cao sẽ giảm dần do PMME chỉ phân biệt giá trị p theo mức ưu tiên mà chưa xét đến yếu tố xung đột như số nút hay tốc độ lưu lượng, tuy nhiên với mạng cảm biến trong khu vực giới hạn như nhà, vườn, công xưởng, số nút cảm biến không quá lớn cũng như tốc độ gửi dữ liệu chưa nhiều nên sự khác biệt này nhỏ không đáng kể.

Trong khi đó, TMPQ chỉ đảm bảo được tỷ lệ truyền cao khi chưa có xung đột (với số nút bằng 1 thì đảm bảo 100%) và tỷ lệ này giảm dần khi số nút tăng cũng như khi tốc độ dữ liệu tăng, cụ thể là trong cả 3 kịch bản tốc độ, khi số nút cạnh tranh là 10 với số lần có thể gửi lại của mỗi gói là 9 thì tỷ lệ truyền thành công là 55%, 30% và 16% khi tốc độ gửi gói dữ liệu là 1, 5 và 10 gói/s. Điều này là do TMPQ có cơ chế cửa sổ cứng nhắc, đặc biệt với các gói dữ liệu có mức ưu tiên chưa phải cao nhất sẽ phải chờ hết cửa sổ cạnh tranh của các beacon thì mới được truyền. Thêm nữa, sự kết hợp cửa sổ cứng nhắc đi cùng giá trị p trong cơ chế p-persistent lại dẫn đến nút phải gieo giá trị p nhỏ khi số nút cạnh tranh cao làm yêu cầu gửi RTS không tới kịp trong thời gian cửa sổ tồn tại nên gây mất beacon và làm cho nút gửi dữ liệu phải gửi lại. Khi số lần gửi lại bị hạn chế, nút sẽ không thể gửi được dữ liệu sau nhiều lần gửi beacon và dẫn đến tỷ lệ gói đến được đích giảm.

3) *Hiệu quả năng lượng*

Hình 7 cho thấy đánh giá về hiệu quả năng lượng dựa trên tỷ lệ năng lượng tiêu thụ trung bình trên mỗi bit dữ liệu truyền thành công của mạng cảm biến chạy trên ba giao thức lớp MAC là PMME (đường đánh dấu tam giác màu xanh lá), TMPQ (đường chấm chấm màu xanh biển) và BoP (đường liền nét màu đỏ). Có thể thấy mức độ tiêu thụ trung bình tỷ lệ nghịch với tốc độ dữ liệu khi mạng chưa nghẽn. TMPQ tiêu thụ năng lượng nhiều hơn trong tất cả trường hợp đối sánh và ở những điểm nghẽn như trên 7 nút ở tốc độ 5 gói/s và trên 3 nút ở tốc độ 10 gói/s thì năng lượng tiêu thụ này trở nên cao bất thường do tỷ lệ truyền gói thành công giảm tương ứng và độ trễ truyền tăng cao. Khi này, TMPQ phải gửi đi gửi lại gói beacon nhiều lần tới khi thành công nên việc tiêu hao năng lượng cũng tăng đáng kể, đặc biệt khi nghẽn gói có độ trễ hơn 1000ms thì bắt đầu từ các điểm nghẽn này có thể coi là gói tin dù đến được đích nhưng cũng không sử dụng được nữa hay có thể coi là không có bit dữ liệu truyền thành công đảm bảo trễ yêu cầu.

Năng lượng tiêu thụ trung bình trên một bit dữ liệu truyền thành công của PMME và BoP là tương đương và tăng không đáng kể theo số nút, đồng thời khi tốc độ dữ liệu gửi tăng thì hiệu quả tiêu thụ năng lượng lại tăng cao. Lý do là vì tỷ lệ truyền thành công trên hai giao thức là tương đương và trễ dữ liệu nhỏ, khi số nút tăng thì mức độ cạnh tranh sẽ tăng nên đường lưu lượng tăng, cụ thể là từ 0,23mJ/bit đến 0,25mJ/bit khi số nút tăng từ 1 đến 10 trong trường hợp tốc độ gói 1 gói/s; từ 0,046 mJ/bit đến 0,055mJ/bit khi số nút tăng từ 1 đến 10 trong trường hợp tốc độ 5 gói/s và 0,023mJ/bit đến 0,026mJ/bit . Có thể thấy khi tốc độ dữ liệu tăng mà chưa tới ngưỡng nghẽn như với PMME và BoP thì hiệu quả năng lượng sẽ tốt hơn, kết quả này có được là do hiệu quả năng lượng tiêu thụ được tính bằng tổng năng lượng dành cho truyền và thu dữ liệu và các gói/khung tin như ACK, RTS, CTS, SYNC trên số bit dữ liệu được truyền đi; SYNC được gửi theo chu kỳ đều đặn, còn các bản tin/khung khác phụ thuộc vào từng gói tin và trạng thái xung đột. Như vậy trong một chu kỳ SYNC thì càng nhiều bit dữ liệu được gửi và nhận thành công thì năng lượng tiêu thụ tăng cao nhưng năng lượng tiêu thụ hiệu quả trên 1 bit dữ liệu sẽ giảm xuống.



Hình 7. Năng lượng tiêu thụ trung bình với giao thức PMME, TMPQ và BoP theo tốc độ gửi gói.

IV. KẾT LUẬN

Bài báo đánh giá hiệu quả hoạt động mạng cảm biến sử dụng các giao thức lớp MAC là dựa trên mức độ ưu tiên để cải thiện hiệu năng mạng cảm biến không dây đa sự kiện. Các kết quả cho thấy giải pháp BoP có khả năng thích ứng tốt với lưu lượng thể hiện ở thông số độ trễ gói trung bình cho tất cả các loại gói và phân biệt độ trễ gói theo các mức ưu tiên: mức ưu tiên càng cao thì độ trễ gói càng thấp. Trễ đạt được với gói ưu tiên cả cao và thấp của BoP có thể đảm bảo tiêu chí thời gian thực với các ứng dụng cảm biến thời gian thực và ứng dụng khẩn cấp tốt hơn so với TMPQ và PMME trong điều kiện mô phỏng có sự thay đổi của số nút và tốc độ gửi gói của các nút cảm biến. Bên cạnh đó, BoP và PMME đạt tỷ lệ truyền gói thành công tốt hơn so với TMPQ và hiệu quả hơn hẳn về tiêu thụ năng lượng.

LỜI CẢM ƠN

Cảm ơn Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông đã hỗ trợ cho Đề tài nghiên cứu cấp Học viện mã số 08-HV-2023-VT của nhóm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. A. El Jaouhari, M. Azari, J. Arif, I. I. El Farouk, F. Jawab and I. Moufad, "IoT for the future of sustainable supply chain management in Industry 4.0: A Systematic Literature Review," 2022 14th International Colloquium of Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA), EL JADIDA, Morocco, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/LOGISTIQUA55056.2022.9938123.

- [2]. 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, 2023, pp. 776-781, doi: 10.1109/EUROCON56442.2023.10199020.
- [3]. S. Mihai *et al.*, "Digital Twins: A Survey on Enabling Technologies, Challenges, Trends and Future Prospects," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 24, no. 4, pp. 2255-2291, Fourthquarter 2022, doi: 10.1109/COMST.2022.3208773.
- [4]. 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, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/ViTECoN58111.2023.10157010.
- [5]. V. S. T. M. G, S. Nandi, S. M and A. P, "Forest Fire Detection and Guiding Animals to a Safe Area by Using Sensor Networks and Sound," *2021 4th International Conference on Computing and Communications Technologies (ICCCCT)*, 2021, pp. 473-476, doi: 10.1109/ICCCCT53315.2021.9711785.
- [6]. M. J. Subashini, R. Sudarmani, S. Gobika and R. Varshini, "Development of Smart Flood Monitoring and Early Warning System using Weather Forecasting Data and Wireless Sensor Networks-A Review," *2021 Third International Conference on Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks (ICICV)*, 2021, pp. 132-135, doi: 10.1109/ICICV50876.2021.9388418.
- [7]. C. Prakash, A. Barthwal and D. Acharya, "FLOODWALL: A Real-Time Flash Flood Monitoring and Forecasting System Using IoT," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 23, no. 1, pp. 787-799, 1 Jan.1, 2023, doi: 10.1109/JSEN.2022.3223671.
- [8]. J. Mabrouki, M. Azrou, D. Dhiba, Y. Farhaoui and S. E. Hajjaji, "IoT-based data logger for weather monitoring using arduino-based wireless sensor networks with remote graphical application and alerts," in *Big Data Mining and Analytics*, vol. 4, no. 1, pp. 25-32, March 2021, doi: 10.26599/BDMA.2020.9020018.
- [9]. L. Nchena, "Smart House Assistive Technologies for Senior Citizens," *2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*, Ruzomberok, Slovakia, 2022, pp. 448-453, doi: 10.1109/ACIT54803.2022.9913158.
- [10]. 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, 2023, pp. 387-392, doi: 10.1109/ICRERA59003.2023.10269351.
- [11]. T. Nagamani, W. H. Beniga, K. S. Dhanish and A. Sherine Benitta, "Anti-Theft Monitoring for a Smart Home," *2022 4th International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)*, Tirunelveli, India, 2022, pp. 76-82, doi: 10.1109/ICSSIT53264.2022.9716311.
- [12]. 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," in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 76228-76262, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2883391.
- [13]. A. N. Sakib, M. Driberg 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)*, 2021, pp. 347-352, doi: 10.1109/ISCAIE51753.2021.9431806.
- [14]. 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," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 62880-62889, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3074812.
- [15]. 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," in *IET Communications*, vol. 15, no. 20, pp. 2503-2512, 2021, doi: 10.1049/cmu2.12283.
- [16]. 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, June 2004, doi: 10.1109/TNET.2004.828953.
- [17]. 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," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 20, no. 20, pp. 12402-12414, 15 Oct.15, 2020, doi: 10.1109/JSEN.2020.3000270.
- [18]. S. C. Kim, J. H. Jeon, and H. J. Park, "QoS aware energy-efficient (QAEE) MAC protocol for energy harvesting wireless sensor networks," in *Proc. 6th International Conference on Hybrid Information Technology (ICHIT)*, Daejeon, Korea, South Korea, August 23-25, 2012, pp. 41-48.
- [19]. 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)*, 11-12 Nov, 2022, Hung Yen, Vietnam. <https://riceconference.in>
- [20]. S. Sarang, M. Driberg and A. Awang, "Multi-priority based QoS MAC protocol for wireless sensor networks," *2017 7th IEEE International Conference on System Engineering and Technology (ICSET)*, Shah Alam, Malaysia, 2017, pp. 54-58, doi: 10.1109/ICSEngT.2017.8123420.
- [21]. T. Boulis, Castalia Version 3.3 Master. Truy cập được ngày 20/11/2023. Web: <https://github.com/boulis/Castalia/releases/tag/3.3>
- [22]. Texas Instruments. "CC2420 single-chip 2.4 GHz RF transceiver," Truy cập được ngày 20/11/2023. Web: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2420.pdf>.

ANALYZING THE EFFECT OF TRAFFIC ON WIRELESS SENSOR NETWORK PERFORMANCE USING MAC LAYER PRIORITY PROTOCOLS

Abstract— In a multi-priority wireless sensor network, communication is carried out without wires, sensor nodes with data at different priority levels can communicate directly with each other and transmit data to the receiver node according to priority level. Sensor devices are often limited in power, so it is necessary to save energy to prolong the operating time of the node and network, that is why building a flexible and reasonable MAC layer protocols to ensure both prioritizing and energy efficiency is a challenge and a goal that many studies aim for. However, the new simulation scenarios consider the change in the number of nodes but have not yet implemented multiple packet sending rates from each sensor. In this paper, we analyze the impact of traffic on multi-priority sensor network performance based on simulation of the behavior of MAC layer data priority protocols PMME, TMPQ and BoP based on the variation of both the number of competing nodes and the packet sending rate. The achieved results show that the BoP protocol is more adaptable to data traffic than the PMME protocol and outperforms its predecessor TMPQ in terms of latency and packet loss criteria.

Keywords—data prioritization, medium access control, wireless sensor networks, data packet sending rate.



Nguyễn Thị Thu Hằng nhận học vị Thạc sỹ và Tiến sỹ tương ứng tại Viện Công nghệ Châu Á (AIT), Thái Lan năm 2003 và Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông (PTIT), Việt Nam năm 2020. Hiện nay là giảng viên Khoa Viễn thông 1-PTIT. Các

linh vực nghiên cứu chính: Mạng truyền thông, mạng cảm biến, IoT, mô phỏng định tuyến QoS và giao thức lớp MAC.

Email: hangntt@ptit.edu.vn



Nguyễn Chiến Trinh nhận học vị Tiến sỹ Kỹ thuật tại Trường Điện – Thông tin Tôkyô, Nhật bản năm 2005. Hiện nay đang công tác tại Khoa Viễn thông 1, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông. Các lĩnh vực nghiên cứu: điều khiển lưu

lượng, định tuyến QoS, đảm bảo QoS mạng IP, SDN, WSN, ...

Email: trinhnc@ptit.edu.vn