

ĐIỀU KHIỂN TRUY NHẬP PHƯƠNG TIỆN ƯU TIÊN SỬ DỤNG CỦA SỔ BACKOFF CHO MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY IoT ĐA SỰ KIỆN

Phí Đức Nguyên Phương, Lê Hải Châu, Đoàn Thị Linh Chi, Nguyễn Thị Thu Hằng
Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông

Tóm tắt — Gần đây, sự phát triển chóng mặt của công nghệ số và mạng cảm biến không dây đã và đang đặt ra nhiều thách thức về yêu cầu chất lượng dịch vụ (QoS) như thời gian thực, độ tin cậy cao và hiệu quả năng lượng cho mạng cảm biến. Lớp điều khiển truy nhập phương tiện (MAC) được coi trọng và quan tâm nghiên cứu vì có thể sử dụng kỹ thuật ở lớp này để đảm bảo độ ưu tiên dữ liệu quan trọng, khẩn cấp mà vẫn đảm bảo độ tin cậy cao cũng như tiết kiệm được năng lượng tiêu thụ trong mạng. Trong bài báo này, chúng tôi có sử dụng thuật toán backoff ưu tiên cùng cơ chế yêu cầu gửi/xác nhận gửi (RTS/CTS) để tránh xung đột giữa các nút, từ đó đề xuất một giao thức với tên gọi là BoP-MAC. Thuật toán của giao thức đề xuất có khả năng xử lý yêu cầu truy nhập ưu tiên cho dữ liệu khẩn cấp một cách hiệu quả và cho phép dữ liệu có mức độ ưu tiên càng cao thì có độ trễ càng thấp và độ tin cậy càng cao. Giải pháp sử dụng thuật toán đề xuất được mô phỏng và đánh giá qua phần mềm mô phỏng OMNET++. Kết quả đạt được cho thấy giải pháp sử dụng BoP-MAC giúp cải thiện đáng kể hiệu năng của mạng cảm biến so với việc sử dụng giao thức TMPQ-MAC mới đây và giao thức nổi tiếng không xét ưu tiên SMAC.

Từ khóa — Mạng cảm biến không dây, điều khiển truy nhập phương tiện, ưu tiên dữ liệu, cửa sổ backoff.

I. GIỚI THIỆU

Trong thời gian gần đây, sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ số hóa toàn cầu đặt ra nhu cầu khám phá, quản lý, theo dõi và thu thập thông tin như phát hiện cháy [1-3], dự báo thời tiết [4], nông nghiệp thông minh [5-7], hệ thống đeo thông minh đo cảm nhận sức khỏe [8-10]... Tất cả các nhu cầu đó khó có thể triển khai trên hệ thống mạng có dây hiện tại, dẫn tới sự thúc đẩy việc phát triển, triển khai và nghiên cứu ứng dụng triển khai trên mạng cảm biến không dây (WSN – Wireless Sensor Network).

Sự mở rộng của WSN, IoT đang đặt ra một số thách thức và vấn đề tiềm ẩn về độ trễ và tiêu thụ năng lượng trong khi các thiết bị thông minh nói chung lại bị hạn chế về năng lượng và tính toán [11]. Ngoài ra, trong phân tích dữ liệu

và ước tính theo dõi trên một loạt dữ liệu IoT mới nổi, cần phải phân loại lưu lượng thành các lớp khác nhau về mức độ ưu tiên để nâng cao hiệu suất của mạng. Để hỗ trợ nhiều mức ưu tiên, giao thức điều khiển truy cập phương tiện (MAC) phải đảm bảo thông lượng cao, độ trễ thấp, có thể mở rộng và có khả năng chống xung đột [12]. Cho đến nay, theo hiểu biết tốt nhất của chúng tôi, các giao thức MAC tiên tiến hiếm khi đáp ứng được nhu cầu mới nổi của IoT, đặc biệt là đối với các sự kiện có yêu cầu ưu tiên khác nhau xuất hiện đồng thời. Một số loại sự kiện dữ liệu như dữ liệu bất thường, cảnh báo, dữ liệu điều khiển,... có thể cần chuyển đến đích một cách nhanh nhất trong giới hạn cụ thể về độ trễ [13, 14]. Điều này là do trong trường hợp khẩn cấp, nhiều thiết bị và cảm biến cần gửi dữ liệu của chúng đồng thời đến một nút trung tâm trong thời gian sớm nhất để đánh giá mức độ nghiêm trọng của tình huống rồi có giải pháp xử lý kịp thời. Do đó, để hỗ trợ một số lượng lớn các cảm biến và thiết bị được kết nối, việc phát triển các cơ chế lập lịch hiệu quả xem xét mức độ ưu tiên của sự kiện để đảm bảo các yêu cầu QoS khác nhau ở lớp truy nhập là rất quan trọng.

Hơn nữa, một trong những cách tiếp cận tiềm năng để giải quyết các yêu cầu QoS / ưu tiên và giảm độ trễ của hệ thống và tiêu thụ năng lượng trong mạng cảm biến là thiết kế một giao thức MAC phù hợp. Tầm quan trọng của các giao thức MAC liên quan đến độ trễ đã và vẫn đang là một chủ đề nghiên cứu phổ biến cho cả WSN và IoT cho tới nay. Giao thức MAC dựa trên đa ưu tiên Timeout (TMPQ-MAC) là một giao thức MAC cung cấp một cách tiếp cận đồng bộ và 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 [15]. Tuy nhiên, TMPQ-MAC đã không xem xét các tác động của cửa sổ tranh chấp trong các nút cảm biến đối với độ trễ gói trung bình và mức tiêu thụ năng lượng.

Có nhiều đề xuất khác nhau được trình bày để cải thiện giao thức MAC [16, 17]. Đặc biệt, việc điều chỉnh kích thước cửa sổ tranh chấp, phân chia độ ưu tiên để nâng cao hiệu suất mạng là một trong những giải pháp quan trọng. Chúng tôi sử dụng thêm thuật toán Backoff cùng với việc xét mức độ ưu tiên để cải thiện sự cố tranh chấp truyền gói cũng như các gói dữ liệu quan trọng ưu tiên truyền trước. Bằng cách này, mô hình được đề xuất cải thiện độ trễ toàn mạng, giảm tiêu thụ năng lượng và tăng tỷ lệ truyền thành công.

Tác giả liên hệ: Nguyễn Thị Thu Hằng,

Email: hangntt@ptit.edu.vn

Đến tòa soạn: 9/2022, chỉnh sửa: 10/2022, chấp nhận đăng: 10/2022.

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất giao thức MAC sử dụng thuật toán Backoff dựa trên độ ưu tiên dữ liệu (được đặt tên là giao thức BoP-MAC) để cải thiện hiệu năng mạng cảm biến WSN về tỷ lệ mất gói, tiêu thụ năng lượng và độ trễ đầu cuối. Giải pháp đề xuất có khả năng xử lý đồng thời hai vấn đề được quan tâm là: bảo đảm tránh va chạm (sử dụng thuật toán Backoff và cơ chế truyền RTS/CTS) và bảo đảm gửi dữ liệu trên các nút dựa trên mức độ ưu tiên. Chúng tôi cũng thực hiện mô phỏng và sau

này, các nút gửi không được chọn để gửi sẽ biết mình nên đi ngủ khi nào, điều này sẽ giúp tiết kiệm năng lượng của các nút cũng như năng lượng trên toàn hệ thống mạng nói chung. Nút đích sau đó sẽ phản hồi các nút gửi bằng cách gửi khung CTS để xác nhận được khung RTS. Khi nhận được khung CTS, nút cảm biến được chọn sẽ bắt đầu truyền dữ liệu. Nếu dữ liệu truyền thành công, nút nhận sẽ phản hồi lại ACK cho nút gửi để xác thực việc đã nhận được dữ liệu.

BẢNG 1: SO SÁNH 3 GIAO THỨC MAC VỚI GIAO THỨC ĐỀ XUẤT BoP- MAC

STT	Giao thức	Cơ chế hoạt động liên quan tới ưu tiên	Cơ chế thức ngủ	Cơ chế RTS/CTS	Phân loại ưu tiên	Thích nghi lưu lượng	Thích nghi theo mức độ xung đột
1	S-MAC [18]	- Sử dụng cửa sổ cố định. - Không ưu tiên	Có	Tùy chọn	Không	Không	Không
2	TMPQ-MAC [15]	- Sử dụng CSMA/CA p-persistent. - Sử dụng cửa sổ T_w: Đóng sớm linh hoạt với dữ liệu có mức ưu tiên cao nhất và cố định với các mức ưu tiên còn lại. - Với các mức ưu tiên không phải cao nhất còn lại, dữ liệu sẽ được sắp xếp gửi theo thứ tự mức ưu tiên.	Có	Có	Có	Không	Có nhưng không tự động (người quản trị phải điều khiển hệ số p).
3	BoP-MAC	Sử dụng thuật toán Backoff với kích thước cửa sổ theo mức độ xung đột và vị trí cửa sổ phân theo mức ưu tiên.	Có	Có	Có	Có và tự động	Có và tự động

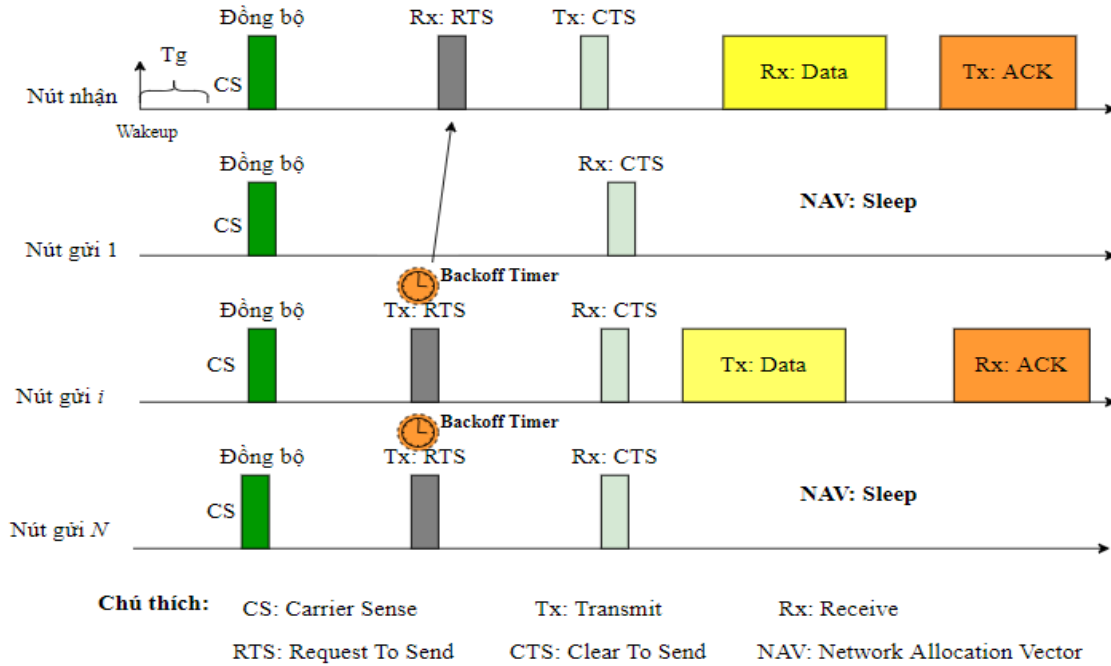
đó đánh giá hiệu suất của BoP-MAC với giao thức đáng chú ý gần đây là TMPQ và giao thức nổi tiếng cho cảm biến mà chưa xét ưu tiên S-MAC [18]. Bảng I so sánh ưu nhược điểm của một số giao thức MAC tiên nhiệm với giao thức đề xuất BoP-MAC. Phần còn lại của bài báo được tổ chức như sau. Phần II giới thiệu nội dung giải pháp đề xuất BoP-MAC và các phân tích lý thuyết tương ứng. Phần III trình bày kết quả mô phỏng và đánh giá hiệu năng của BoP-MAC so với một số giải pháp MAC và Phần IV là kết luận của bài báo.

II. GIẢI PHÁP ĐỀ XUẤT

Với cách tiếp cận theo chu kì đồng bộ được triển khai trên các giao thức điều khiển truy nhập như SMAC [18] và xét mức độ ưu tiên truyền trên giao thức TMPQ-MAC [15], giao thức điều khiển truy nhập phương tiện được đề xuất là BoP-MAC sử dụng thuật toán Backoff và xét độ ưu tiên trong quá trình truyền. Trong đó cơ chế truyền RTS/CTS được ứng dụng để tránh xung đột, nghe thừa và các vấn đề ẩn (xảy ra khi nút gửi kết nối trao đổi thông tin với nút đích nhưng không thể kết nối với nút gửi khác – nút cũng đang kết nối với nút đích). Nếu một nút cảm biến cảm nhận kênh truyền đang rỗi, nó sẽ gửi một cách ngẫu nhiên khung RTS trong cửa sổ cạnh tranh tới cho nút đích. Khung RTS mang thông tin yêu cầu truyền dữ liệu, và trường thông tin về khoảng thời gian có tên gọi là NAV. Dựa trên trường NAV

Bên cạnh đó, trong giao thức được đề xuất BoP-MAC khi xung đột đường truyền có sử dụng thuật toán Backoff điều chỉnh theo 04 mức độ ưu tiên dữ liệu: khẩn cấp, ưu tiên cao, ưu tiên và không ưu tiên. Các nút có dữ liệu quan trọng mức độ ưu tiên cao hơn sẽ được gửi dữ liệu đến đích sớm hơn.

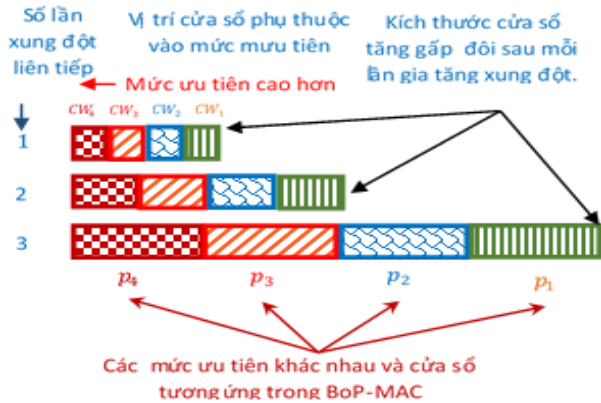
Hình 1 mô tả quá trình truyền-nhận của các nút sử dụng giao thức BoP-MAC. Sau khi thức dậy, nút đích cảm nhận sóng mang trong khoảng thời gian T_g và thông báo trạng thái hiện tại của nó cho các nút trong mạng bằng cách gửi quảng bá bản tin thức dậy. Tại lớp điều khiển truy nhập phương tiện, kích thước cửa sổ cạnh tranh được xét theo mức độ ưu tiên, trong khi đó nút đích thực hiện như giao thức SMAC [18]. Cửa sổ cạnh tranh của nút gửi sẽ đóng lại ngay sau khi khung RTS được truyền thành công. Nút nhận sau đó truyền lại khung CTS để xác nhận và đợi để nhận dữ liệu từ nút gửi được chọn. Ví dụ, trong hệ thống mạng cảm biến có N nút gửi và tại thời điểm t có nút gửi thứ i và nút gửi thứ N có dữ liệu để gửi đi. Nếu nút gửi thứ i có độ ưu tiên cao hơn nút N thì nút i sẽ được truyền dữ liệu trước. Nút thứ i vì có độ ưu tiên cao hơn nên có khả năng được truyền khung RTS sớm hơn. Khi khung dữ liệu RTS từ nút thứ i được truyền tới nút đích, nút đích sẽ phản hồi tới nút gửi bằng cách gửi quảng bá khung CTS tới tất



Hình 1. Mô tả hoạt động của BoP-MAC

cả các nút gửi trong mạng. Trong khung CTS này chứa thông tin quan trọng như địa chỉ nút đích được chọn và giá trị NAV. Sau đó, nút gửi thứ i truyền dữ liệu còn các nút gửi khác sẽ ngủ và cảm nhận lại khi hết khoảng thời gian chờ NAV.

Hình 2 minh họa việc điều chỉnh kích thước cửa sổ backoff sử dụng trong cơ chế BoP-MAC. RTS được gửi từ một nút gửi với cửa sổ xung đột của nó thay đổi theo mức độ ưu tiên dữ liệu và trạng thái bận của kênh, cụ thể là nếu dữ liệu có mức ưu tiên cao nhất thì sẽ được gửi sớm ngay ở vị trí sớm nhất là cửa sổ CW_4 , cửa sổ này xuất hiện trước các cửa sổ khác về mặt thời gian, như vậy RTS này sẽ được xử lý sớm hơn và dữ liệu gửi sau đó sẽ được gửi sớm hơn, đảm bảo trễ dữ liệu ưu tiên mức cao nhất sẽ là thấp nhất. Nếu một nút gửi có dữ liệu, nó sẽ lắng nghe môi trường để kiểm tra xem môi trường đó có rỗi hay không và gửi khung RTS của nó một cách ngẫu nhiên trong cửa sổ tranh chấp ưu tiên của nó. Nếu nút gửi gửi RTS rồi mà sau khoảng thời gian nhất định mà không nhận được phản hồi, nó sẽ tăng gấp đôi kích thước cửa sổ tranh chấp ưu tiên của nó. Nếu nút gửi nhận được phản hồi CTS của nó thì nó sẽ bắt đầu gửi dữ liệu và các nút còn lại nhận RTS sẽ ngủ trong thời gian NAV (thông tin này có trong khung CTS). Việc nhận được CTS tới nút khác và ngủ của các cảm biến còn lại sẽ tiết kiệm được năng lượng cho việc thức và gửi RTS không cần thiết gây lãng phí số lần gửi lại và nút cảm biến không bị giảm số lần gửi lại để gửi ở chu kỳ sau (tránh mất gói tin do hết số lần truyền lại), điều này giúp BoP MAC tiết kiệm năng lượng hơn TMPQ-MAC và tin cậy hơn. Thời gian bắt đầu gửi RTS là ngẫu nhiên trong cửa sổ tranh chấp đó để tránh xung đột của các RTS cùng mức ưu tiên từ nhiều nút gửi.



Hình 2. Điều khiển cửa sổ backoff ưu tiên của BoP-MAC.

III. MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ

Phần này trình bày các kết quả mô phỏng để đánh giá và so sánh hiệu năng WSN IoT đa sự kiện sử dụng giải pháp điều khiển truy nhập phương tiện đề xuất BoP-MAC với giải pháp tiêu biểu TMPQ-MAC và S-MAC dựa trên phần mềm mô phỏng Castalia 3.3 [19] và OMNeT ++ 4.6 [20] sử dụng CC2420 [21] là bộ truyền nhận tín hiệu vô tuyến công suất thấp và có bốn trạng thái: truyền, nhận, lắng nghe tín hiệu và ngủ cùng với mức tiêu thụ công suất tương ứng là 57,42 mW; 62,04 mW; 62,04 mW và 1,4 mW.

A. Tham số mô phỏng

Bảng I trình bày các tham số chính trong mô phỏng. Các nút cảm biến được rải ngẫu nhiên trong vùng cảm biến kích thước 10m×10m và kết nối được trực tiếp tới nút thu (sink) ở trung tâm vùng cảm biến. Mỗi nút gửi sẽ gửi các gói dữ liệu của các sự kiện với tốc độ 1 sự kiện trên giây (có nghĩa là một gói dữ liệu trên giây), với số lượng các gói ưu tiên bằng nhau với 4 mức ưu tiên. Mỗi mô phỏng được chạy 20

lần với thời lượng 1000 giây và các thông số hiệu năng được tính bằng giá trị trung bình.

Các 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 có dữ liệu cho đến khi nó đến nút thu.
- *Tỷ lệ mất gói*: Là tỷ lệ giữa tổng số gói không tới được nút nhận trên tổng số gói tạo ra từ tất cả các nút cảm biến.
- *Hiệu quả tiêu thụ năng lượng*: Được đánh giá bằng tỷ lệ nghịch của năng lượng trung bình tiêu thụ để truyền thành công một bit dữ liệu (mj/bit). Như vậy, năng lượng tiêu thụ càng ít, hiệu quả càng cao.

B. Phân tích kết quả

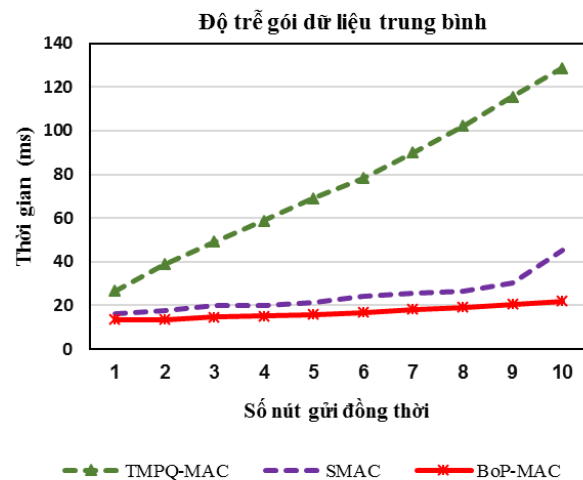
1) Trễ gói

Phần này phân tích trễ gói tin trung bình của tất cả các loại gói tin và của từng loại gói tin với các mức ưu tiên khác nhau khi mức độ cạnh tranh thay đổi, cụ thể là số lượng nút cạnh tranh xét từ 1 đến 10. Khi có nhiều nút đồng thời gửi yêu cầu gửi dữ liệu RTS trong một cửa sổ nhất định nên sẽ có khả năng RTS bị xung đột và không tới được đích, vì vậy cơ chế gửi lại RTS được thực hiện. Tùy vào số lượng nút cạnh tranh và yêu cầu độ trễ mà có thể gán giá trị số lần gửi lại tối đa RTS cho phù hợp. Trong phân tích ở phần này, số lần gửi lại tối đa RTS/TxBeacon được cố định bằng 10.

a) Trễ gói trung bình

Hình 3 cho thấy độ trễ trung bình của BoP-MAC, TMPQ-MAC và S-MAC. Có thể thấy rằng độ trễ sẽ tăng theo số nút gửi vì nhiều RTS được gửi đồng thời gây ra xung đột, khi đó RTS bị xung đột sẽ không tới đích thành công mà phải gửi lại và gây trễ. Độ trễ gói trung bình tương ứng tăng dần từ BoP-MAC là từ khoảng 13,5 đến 22,0 mili giây, đến SMAC là từ khoảng 16,3 đến 45,5 mili giây và cao nhất là TMPQ-MAC là từ khoảng 26,5 đến 128,6 mili giây. Các gói dữ liệu BoP-MAC và S-MAC có độ trễ trung

bình nhỏ hơn TMPQ-MAC vì RTS của chúng được chấp nhận ngay sau khi gửi chứ không phải chờ đợi như phần lớn gói tin (ngoại trừ gói p4) trong TMPQ-MAC. Sở dĩ S-MAC có độ trễ trung bình kém BoP-MAC trong điều kiện mô phỏng bởi vì S-MAC sử dụng cửa sổ backoff cố định trong khi BoP-MAC sử dụng cửa sổ backoff linh hoạt theo mức độ xung đột. Khi số nút cạnh tranh đồng thời càng lớn thì sẽ gây ra xung đột lớn và kích thước cố định không biến đổi linh hoạt thì sẽ khiến tình trạng xung đột càng trầm trọng (điều này thể hiện rõ hơn trong kết quả mô phỏng khi nút cạnh tranh tăng hơn 8 nút thì trễ S-MAC tăng nhanh).



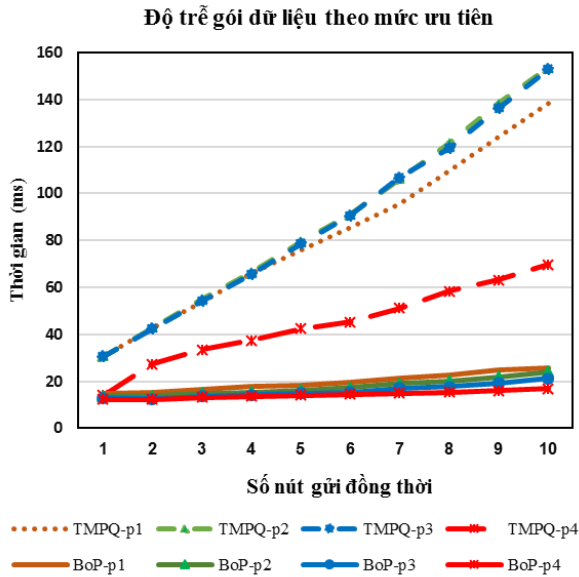
Hình 3. So sánh độ trễ gói dữ liệu trung bình của tất cả các gói với giao thức BoP-MAC, TMPQ-MAC và S-MAC.

b) Trễ gói có mức ưu tiên khác nhau

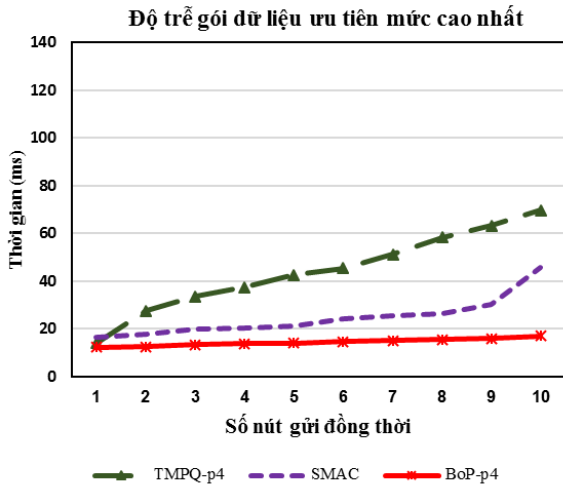
Độ trễ gói theo mức ưu tiên gói của BoP-MAC và TMPQ-MAC được thể hiện trong Hình 4. Có thể thấy là mức độ ưu tiên của gói tin càng cao thì độ trễ của gói tin càng nhỏ. Với BoP-MAC các gói dữ liệu có mức ưu tiên cao nhất được ký hiệu là BoP-p4 có giá trị trễ thấp nhất và nằm trong khoảng từ 12,3 đến 17,0 mili giây trong khi các gói cấp độ ưu tiên thấp nhất ký hiệu là BoP-p1 có độ trễ cao nhất khoảng từ 15,0 đến 25,9 mili giây; trong khi đó với TMPQ-MAC các gói có mức độ ưu tiên cao nhất TMPQ-p4 có thời gian trễ từ 14,0 đến 69,7 mili giây và gói có mức độ ưu tiên thấp nhất TMPQ-p1 có độ trễ từ 30,7 đến 138,3 mili giây. Lý giải cho hiện tượng này là do tỷ lệ tranh chấp ngày càng tăng khi số nút gửi đồng thời tăng kéo theo độ trễ gói tin tăng lên, hơn nữa, độ khác biệt về trễ của các mức ưu tiên cũng tăng theo, đặc biệt với TMPQ-MAC. Kết quả này cho thấy thực tế là khi số lượng nút gửi tăng lên, các gói có mức độ ưu tiên cao nhất được gửi trước, sau đó các gói có mức độ ưu tiên thấp hơn sẽ được gửi lần lượt, do đó, chênh lệch độ trễ mở rộng theo mức độ ưu tiên, chênh lệch độ trễ trong TMPQ-MAC càng tăng do với các gói có mức độ ưu tiên thấp, RTS tương ứng phải chờ tới cuối của sổ T_w mới được sắp xếp và càng là RTS có mức độ ưu tiên thấp thì lại càng phải chờ đợi sau các RTS có mức độ ưu tiên cao hơn.

BẢNG II: THÔNG SỐ MÔ PHỎNG

Thông số	Giá trị
Số nút gửi	1-10
Số lần cho phép gửi lại RTS/TxBeacon (TxRetries)	1-10
Số mức ưu tiên	4
Băng thông	250kb/s
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
T_g	6,7ms
CW với SMAC và T_w với TMPQ-MAC	10ms
$CW_{min} - CW_{max}$ với BoP-MAC	4-16



Hình 4. So sánh độ trễ các loại gói dữ liệu ưu tiên của BoP-MAC và TMPQ-MAC.



Hình 5. So sánh độ trễ gói dữ liệu ưu tiên cao nhất với giao thức BoP-MAC với TMPQ-MAC và S-MAC.

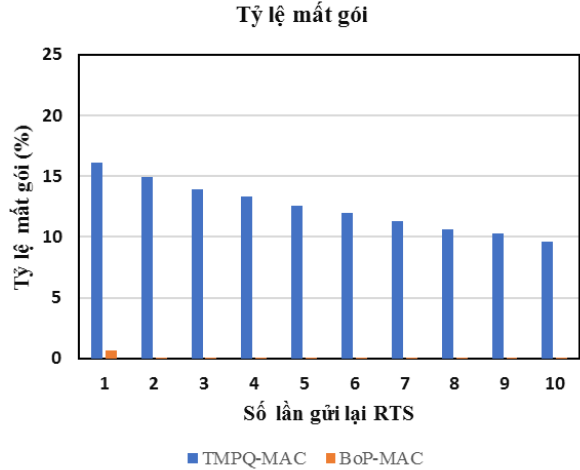
Hình 5 cho thấy sự so sánh về độ trễ gói ưu tiên cao nhất của giao thức BoP-MAC, TMPQ-MAC và S-MAC. (Riêng S-MAC không xét tới độ ưu tiên nên chỉ có một loại duy nhất). Với BoP-MAC và S-MAC, việc chấp nhận ngay RTS đầu tiên tới nút thu làm giảm đáng kể của độ trễ truyền gói trung bình so với TMPQ-MAC. Kết quả mô phỏng cho thấy độ trễ gói dữ liệu của BoP-MAC nổi bật tốt hơn so với SMAC và TMPQ khi xét cùng mức độ ưu tiên cao nhất.

Với TMPQ-MAC, khi số lượng nút gửi gia tăng, giá trị p-persistent sẽ nhỏ hơn và xác suất gửi RTS được trong cửa sổ là thấp hơn và khung RTS sẽ phải chờ lâu hơn để được gửi đi. Mặc dù S-MAC không phân chia độ ưu tiên nhưng việc chấp nhận RTS đầu tiên làm giảm đáng kể độ trễ gói so với TMPQ. Một mặt tốt khác của độ trễ gói BoP-MAC là các gói có mức độ ưu tiên cao nhất có độ tăng trễ khá ổn định và nhỏ hơn nhiều so với TMPQ-MAC và S-MAC ngay cả khi số lượng nút gửi tăng. Điều này có thể hữu ích với các ứng dụng thời gian thực trong trường hợp khẩn cấp như trong nguy cơ hỏa hoạn, rò rỉ trong mạng

công nghiệp khi nhiều gói dữ liệu từ nhiều nút gửi đang chờ được gửi và trong trường hợp đó, chỉ những gói quan trọng nên được gửi trước.

2) Tỷ lệ mất gói

a) Tỷ lệ mất gói theo sự thay đổi của số lần truyền lại tối đa

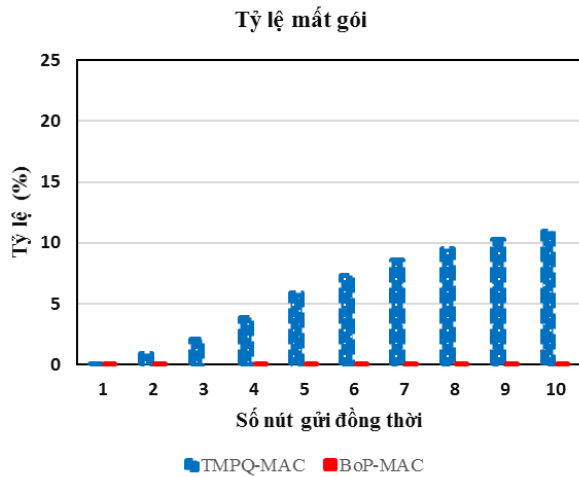


Hình 6. Tỷ lệ mất gói trung bình với giao thức BoP-MAC và TMPQ-MAC theo số lần truyền lại RTS.

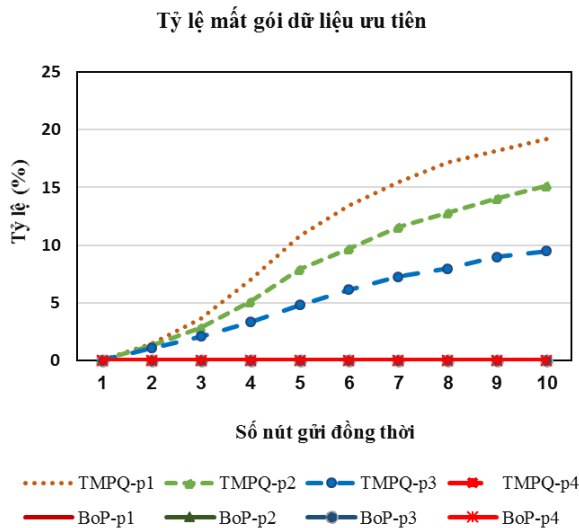
Hình 6 thể hiện ảnh hưởng của số lần truyền lại tối đa lên tỷ lệ mất gói khi cố định số nút gửi đồng thời là 10 nút và thay đổi số lần truyền lại tối đa RTS từ 1 đến 10. Trên lý thuyết, số truyền lại càng tăng thì tỷ lệ mất gói càng giảm hay tỷ lệ truyền gói thành công càng cao. Tuy nhiên với BoP-MAC chỉ cần số lần truyền lại nhỏ (nhỏ hơn hoặc bằng 2) là có thể đảm bảo truyền tin cậy ở ngưỡng 99,998%, còn với TMPQ-MAC thì số lần truyền lại phải lớn tới ngưỡng 10 thì tỷ lệ mất gói mới giảm được xuống dưới 11%. Nguyên nhân ở đây là do BoP-MAC đã phân cửa sổ ưu tiên để tránh xung đột giữa các RTS khác mức ưu tiên và số lượng nút gửi đồng thời là nhỏ nên xác suất xung đột RTS rất ít, không những thế, cửa sổ xung đột sẽ đóng ngay sau khi nút nhận nhận được RTS đến sớm nhất nên cũng tránh được việc gửi RTS của các nút khác trong thời gian ngay sau đó (nút khác sẽ ngủ trong thời gian nút gửi gửi dữ liệu).

b) Tỷ lệ mất gói theo sự thay đổi số nút gửi đồng thời

Hình 7 và 8 là kết quả mô phỏng khi thay đổi số nút gửi đồng thời và cố định số lần gửi lại là 10. Kết quả ở Hình 7 về tỷ lệ mất gói trung bình của tất cả các loại gói tin cho thấy khi số nút gửi đồng thời tăng mà giữ nguyên số lần gửi lại thì tỷ lệ lỗi tăng lên theo. Tuy nhiên, vì số lần gửi lại luôn lớn hơn hoặc bằng số nút gửi đồng thời nên BoP-MAC gần như không có tổn thất gói, trong khi đó TMPQ-MAC vẫn có tỷ lệ lỗi gói tăng từ khoảng 0 tới 10,95% khi số nút tăng từ 1 đến 10.



Hình 7. Tỷ lệ mất gói trung bình với giao thức BoP-MAC và TMPQ-MAC theo số nút gửi đồng thời



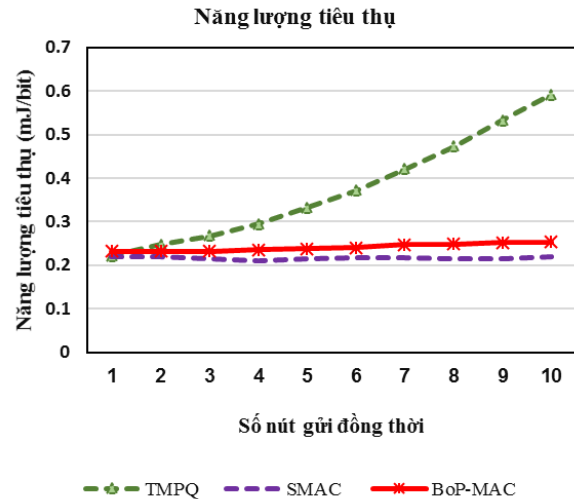
Hình 8. Tỷ lệ mất gói của các loại dữ liệu ưu tiên với giao thức BoP-MAC và TMPQ-MAC.

Hình 8 cho thấy tỷ lệ mất của các loại gói có mức ưu tiên khác nhau trong mạng cảm biến sử dụng BoP-MAC và TMPQ-MAC với số lần truyền lại RTS cố định là 10 và khi số nút gửi đồng thời thay đổi. Có thể thấy, BoP-MAC giúp mạng hoạt động hiệu quả hơn với tỷ lệ mất gói rất thấp (từ 0% tới dưới 0,01%) với tất cả các loại gói trong khi với TMPQ-MAC thì chỉ gói dữ liệu ưu tiên mức cao nhất mới đạt được ngưỡng tỷ lệ mất gói thấp, còn các gói dữ liệu có mức ưu tiên thấp hơn thì tỷ lệ mất gói tăng nhanh khi số nút gửi đồng thời tăng. Việc chấp nhận RTS tới đầu tiên trong BoP-MAC giúp tránh xung đột không cần thiết kể từ khi tiếp nhận RTS đầu đến cuối cửa sổ xung đột như TMPQ-MAC dẫn tới tỷ lệ mất gói của BoP-MAC thấp. Với TMPQ-MAC, khi số lượng nút gửi đồng thời tăng lên, tần số xung đột tăng lên, dẫn đến tỷ lệ mất gói cao hơn vì thế cần phải truyền lại nhiều hơn để đảm bảo tỷ lệ truyền thành công dữ liệu.

Ở khía cạnh này, TMPQ-MAC có tỷ lệ truyền gói tin thành công thấp với các gói tin có mức ưu tiên thấp vì cửa sổ xung đột sẽ mở tới hết giá trị mặc định trong trường hợp nút gửi không có mức ưu tiên cao nhất. Đồng thời, xung

đột vẫn có thể xảy ra trong thời gian còn lại của cửa sổ, chỉ đến lúc cửa sổ đóng thì nút nhận mới lựa chọn RTS có mức ưu tiên cao nhất và đến sớm nhất đã nhận được để phản hồi. Vì số lần truyền lại bị giới hạn nên nhiều RTS sau khi gửi đi gửi lại vẫn không thành công dẫn tới việc nhiều gói dữ liệu không được gửi tới bên nhận.

3) Hiệu quả tiêu thụ năng lượng



Hình 9. So sánh mức tiêu thụ năng lượng (mJ/bit) với giao thức BoP-MAC, TMPQ-MAC và S-MAC.

Hình 9 cho thấy mức năng lượng tiêu thụ trung bình cho việc truyền thành công dữ liệu với BoP-MAC, TMPQ-MAC và S-MAC. Có thể nhận thấy rằng khi số lượng nút gửi tăng lên từ 1 tới 10, mức tiêu thụ năng lượng trung bình khi sử dụng giao thức TMPQ-MAC tăng nhanh từ 0,22 mJ đến 0,6mJ. Trong khi đó, với giao thức BoP-MAC và S-MAC mức tiêu thụ năng lượng tăng rất chậm. Mức tiêu thụ năng lượng của BoP-MAC là từ 0,23 đến 0,26mJ, chỉ bằng 43% của TMPQ với cùng số nút được gửi đồng thời, nhưng mức tiêu thụ năng lượng của BoP-MAC cao hơn một chút so với S-MAC. Điều này là do BoP-MAC sử dụng cơ chế tránh tranh chấp của S-MAC và độ ưu tiên của TMPQ, do BoP-MAC phức tạp hơn S-MAC và mất thêm byte phân biệt ưu tiên trong khung RTS nên tiêu tốn nhiều năng lượng hơn một chút cho byte tiêu đề này, đây chính là cái giá phải trả cho BoP-MAC so với SMAC, song độ chênh lệch về năng lượng là có thể chấp nhận khi đổi lại có thể ưu tiên về trễ cho các gói dữ liệu khẩn cấp. Kết quả này phù hợp với phân tích ở phần II, nó cho thấy ưu thế của giao thức BoP-MAC so với TMPQ-MAC về hiệu quả sử dụng năng lượng, đồng thời cũng thể hiện cái giá phải trả giữa tiêu chí năng lượng với tiêu chí độ trễ khi xét độ ưu tiên của BoP-MAC so với S-MAC.

IV. KẾT LUẬN

Bài báo đề xuất giao thức BoP-MAC là một giao thức MAC mới dựa trên mức độ ưu tiên để cải thiện hiệu năng mạng cảm biến không dây IoT đa sự kiện bằng cách xử lý ưu tiên trên cửa sổ backoff. Giải pháp điều khiển truy nhập phương tiện BoP-MAC kết hợp hai cơ chế của giao thức SMAC và TMPQ-MAC để cải thiện hiệu năng mạng cảm biến không dây: 1) CSMA/CA với cơ chế chấp

nhận RTS sớm nhất và 2) cơ chế ưu tiên trên cửa sổ tranh chấp của TMPQ và cải tiến bằng cách sử dụng giải thuật backoff ưu tiên để điều chỉnh cửa sổ theo mức độ xung đột. Các kết quả mô phỏng và đánh giá hiệu năng mạng cảm biến không dây IoT đa sự kiện ứng dụng giải pháp điều khiển truy nhập được đề xuất so sánh với giải pháp điều khiển truy nhập tiêu biểu là TMPQ-MAC với bốn mức ưu tiên và S-MAC chưa xét mức độ ưu tiên cho thấy giải pháp mới của chúng tôi có khả năng cải thiện đáng kể hiệu năng hệ thống theo 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 cao và thấp của BoP-MAC có thể đảm bảo thời gian thực với các ứng dụng IoT công nghiệp và ứng dụng khẩn cấp so với TMPQ-MAC và cả SMAC. Bên cạnh đó, BoP-MAC đạt tỷ lệ truyền gói thành công cao hơn trong khi nó tiêu thụ ít năng lượng hơn so với TMPQ-MAC.

LỜI CẢM ƠN

Cảm ơn Qualcomm Technologies, Inc đã tài trợ cho hoạt động nghiên cứu khoa học của nhóm theo Research Agreement Number POS 458996 (SOW Number POS 459341).

Một phần ý tưởng của bài báo được chấp nhận báo cáo trong hội nghị quốc tế E-RICE-2022 diễn ra ngày 11-12/11/2022.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. A. Sharma, B. S. Sohi and S. Chandra, "SN Based Forest Fire Detection and Early Warning System". International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, Vol. 8, Issue .9, 2019, pp. 209–214.
- [2]. A. Mahgoub, N. Tarrad, R. Elsherif, A. Al-Ali and L. Ismail, "IoT-Based Fire Alarm System," 2019 Third World Conference on Smart Trends in Systems Security and Sustainability (WorldS4), London, United Kingdom, 2019, pp. 162–166, doi: 10.1109/WorldS4.2019.8904001.
- [3]. 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 (ICCTT), 2021, pp. 473–476, doi: 10.1109/ICCTT53315.2021.9711785.
- [4]. J. Mabrouki, M. Azrour, 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.
- [5]. A. P. Atmaja, A. E. Hakim, A. P. A. Wibowo and L. A. Pratama, "Communication Systems of Smart Agriculture Based on Wireless Sensor Networks in IoT", Journal of Robotics and Control (JRC) Vol. 2, Issue. 4, July 2021, pp. 297–301. <https://doi.org/10.18196/jrc.2495>
- [6]. N. Islam, B. Ray and F. Pasandideh, "IoT Based Smart Farming: Are the LPWAN Technologies Suitable for Remote Communication?," 2020 IEEE International Conference on Smart Internet of Things (SmartIoT), 2020, pp. 270–276, doi: 10.1109/SmartIoT49966.2020.00048.
- [7]. V. S. R, S. J. S. C. P, N. K, S. H. M and M. S. K, "Smart Farming: The IoT based Future Agriculture," 2022 4th International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT), 2022, pp. 150–155, doi: 10.1109/ICSSIT53264.2022.9716331.
- [8]. N. B. Dargham, A. Makhoul, J. B. Abdo, J. Demerjian and C. Guyeux, "Efficient Hybrid Emergency Aware MAC Protocol for Wireless Body Sensor Networks," Sensors, vol. 18, no. 10, p. 3572, 2018.
- [9]. R. Raorane, S. Wadhonkar, S. Patil and P. Borole, "Health Monitoring System using Wearable Sensor Network for Workers in Industries," 2020 International Conference on Convergence to Digital World - Quo Vadis (ICCDW), 2020, pp. 1–4, doi: 10.1109/ICCDW45521.2020.9318643.
- [10]. N. Razfar, R. Kashef and F. Mohammadi, "A Comprehensive Overview on IoT-Based Smart Stroke Rehabilitation Using the Advances of Wearable Technology," 2021 IEEE 23rd Int Conf on High Performance Computing & Communications; 7th Int Conf on Data Science & Systems; 19th Int Conf on Smart City; 7th Int Conf on Dependability in Sensor, Cloud & Big Data Systems & Application (HPCC/DSS/SmartCity/DependSys), 2021, pp. 1359–1366, doi: 10.1109/HPCC-DSS-SmartCity-DependSys53884.2021.00205.
- [11]. R. Mehta, J. Sahni and K. Khanna, "Internet of Things : Vision, Applications and Challenges", Procedia Computer Science, Vol. 132, 2018, pp. 1263–1269, doi: 10.1016/j.procs.2018.05.042
- [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]. H. Farag, M. Gidlund, and P. Osterberg, "A Delay-Bounded MAC Protocol for Mission-and Time-Critical Applications in Industrial Wireless Sensor Networks," IEEE Sensors Journal, vol. 18, no. 6, 2018, doi: 10.1109/JSEN.2018.2793946.
- [14]. F. Sallabi, M. Adnan, K. Shuaib, and M. Abdel-Hafez, "Performance Evaluation of IEEE 802.15.6 MAC Under Varying Health Emergency Conditions," 2021 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC), 2021, pp. 388–393, doi: 10.1109/IWCMC51323.2021.9498654.
- [15]. 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), 2021, pp. 347–352, doi: 10.1109/ISCAIE51753.2021.9431806.
- [16]. 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.
- [17]. 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.
- [18]. 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.
- [19]. T. Boulis, Castalia Version 3.3 Master. Truy cập được ngày 20/10/2022. Web: <https://github.com/boulis/Castalia/releases/tag/3.3>
- [20]. A. Varga, OMNeT++ user manual version 4.6, OpenSim Ltd, 2014. Truy cập được ngày 20/10/2022. Web: <http://www.omnetpp.org>
- [21]. Texas Instruments. "CC2420 single-chip 2.4 GHz RF transceiver," Truy cập được ngày 20/10/2022. Web: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2420.pdf>

PRIORITY-BASED MEDIUM ACCESS CONTROL USING BACKOFF WINDOW FOR MULTI-EVENT IoT WIRELESS SENSOR NETWORKS

Abstract— Recently, the rapid development of digital technology and wireless sensor networks has been posing

many challenges in terms of quality of service (QoS) requirements such as real time, high reliability and energy efficiency on sensor networks. The Medium Access Control (MAC) layer is important in research because it is possible to use techniques at this layer to ensure the priority of important and urgent data while still ensuring high reliability as well as saving energy for the network.

In this paper, we use priority backoff algorithm and Request To Send/Clear To Send (RTS/CTS) mechanism to avoid collisions between nodes, thereby proposing a protocol called BoP - MAC. The proposed protocol's algorithm is capable of handling priority access requests for urgent data efficiently and allows higher priority data to have lower latency and higher reliability. The solution using the proposed algorithm is simulated and evaluated through OMNET++ simulation simulation. The obtained results show that the proposed solution BoP-MAC significantly improves the performance of the sensor network compared to the recent TMPQ-MAC protocol SMAC.

Keywords— backoff window, data prioritization, medium access control, wireless sensor networks.



Phí Đức Nguyễn Phương là sinh viên nhóm nghiên cứu khoa học Khoa Viễn thông 1, Học Viện Công nghệ Bưu chính viễn thông (PTIT). Các lĩnh vực đang thực hiện nghiên cứu và học tập: Mạng và các dịch vụ internet, IoT, mạng cảm biến.

Email:

phuongpdn.B19VT290.@ptit.edu.vn



Lê Hải Châu nhận học vị Tiến sĩ tại Đại học Nagoya, Nhật bản năm 2012, hiện đang công tác tại Khoa Viễn thông 1, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông. Các lĩnh vực nghiên cứu chính bao gồm công nghệ mạng truyền thông, công nghệ quang, IoT và mạng định nghĩa bằng phần mềm.

Email: chaulh@ptit.edu.vn



Đoàn Thị Linh Chi là sinh viên nhóm nghiên cứu khoa học Khoa Viễn thông 1, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông (PTIT). Các lĩnh vực nghiên cứu và học tập: Mạng truyền thông, mạng cảm biến, Cơ sở dữ liệu Database.

Email: chidtl.B18VT044@stu.ptit.edu.vn



Nguyễn Thị Thu Hằng nhận học vị Thạc sĩ và Tiến sĩ 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 lĩnh 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