

# PHÂN TÍCH HIỆU NĂNG MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY ĐA SỰ KIỆN SỬ DỤNG CƠ CHẾ BACKOFF ƯU TIÊN Ở LỚP MAC

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

**Tóm tắt** — Điều khiển truy nhập môi trường (MAC) là một trong những chức năng chính của lớp liên kết dữ liệu, được sử dụng để điều khiển tương tác giữa phân cứng với môi trường truyền tin. Trong mạng cảm biến không dây, việc truyền thông được thực hiện mà không cần dây dẫn, các nút cảm biến sẽ có thể truyền thông trực tiếp với nhau và chuyển dữ liệu tới nút thu trước khi có thể chuyển tiếp dữ liệu ra mạng ngoài như mạng Internet. Các thiết bị cảm biến thường lấy năng lượng từ nguồn pin nên rất cần tiết kiệm năng lượng để duy trì thời gian tồn tại được lâu, vì vậy xử lý linh hoạt và hợp lý ở phần MAC để đạt được điều này vừa là thách thức nhưng cũng mang lại nhiều hứa hẹn khiến rất nhiều nhà nghiên cứu quan tâm cải tiến. Các giao thức MAC có thể phân thành ba loại: Không xung đột, dựa trên xung đột và lai ghép. Với mạng cảm biến có lưu lượng nhỏ nhưng trong đó có một số thành phần lưu lượng cần yêu cầu trễ thấp thì MAC dựa trên xung đột phù hợp hơn. Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất giải thuật backoff để tránh xung đột giữa các nút, đồng thời sử dụng tiêu chí ưu tiên dữ liệu để điều chỉnh cửa sổ backoff tương ứng, từ đó có thể vừa giải quyết bài toán ưu tiên dữ liệu, vừa hiệu quả trong việc giảm xung đột từ đó có thể tiết kiệm năng lượng cho cảm biến. Giải pháp sử dụng thuật toán đề xuất được đánh giá thông qua mô phỏng. Kết quả đạt được cho thấy giải pháp sử dụng MAC ưu tiên giúp cải thiện đáng kể hiệu năng của mạng cảm biến, cụ thể là đảm bảo tính ưu tiên cũng như giảm tỷ lệ mất gói cho các dữ liệu ưu tiên so với giải pháp có xét ưu tiên gần đây là TMPQ-MAC.

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

## I. GIỚI THIỆU

Truyền thông trong thế giới thực thúc đẩy nhu cầu theo dõi và thu thập thông tin đã được thực hiện hiệu quả thông qua các mạng cảm biến. Các mạng này thường tạo nên từ các nút cảm biến nhỏ tự vận hành và được đặt ở những nơi môi trường cách biệt, bắt buộc phải điều khiển từ xa, đặc biệt như các ứng dụng liên quan tới theo dõi cháy [1-4], dự báo thời tiết [5-7], giám sát chiến trường [8-10]. Những ứng dụng ngày càng đa dạng và có sự tổ hợp nhiều cảm biến trong thế giới IoT đang đặt ra một số thách thức về độ trễ và tiêu thụ năng lượng trong khi các thiết bị cảm biến

thông minh nói chung lại bị hạn chế về năng lực tính toán, lưu trữ và năng lượng [11]. Khi có nhiều sự kiện xảy ra trong mạng, các cảm biến sẽ đánh giá và gửi thông tin về sự kiện về nút thu, mức độ ưu tiên của các sự kiện khác nhau dẫn tới yêu cầu truyền thông khác nhau về độ trễ, độ tin cậy cũng khác nhau. Các dữ liệu quan trọng bắt buộc phải được ưu tiên truyền trước và đảm bảo tốt yêu cầu về trễ do tính khẩn cấp như cảnh báo cháy, động đất, sóng thần hay có đột nhập. Các dữ liệu ít quan trọng hơn sẽ được truyền sau như các thông tin đo đạc môi trường thông thường như nhiệt độ, độ ẩm, sức gió và ánh sáng. Với cảm biến, giao thức điều khiển truy cập phương tiện (MAC) có thể được xử lý để đảm bảo 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 lưu lượng nhỏ nhưng trong đó có một số thành phần lưu lượng cần yêu cầu trễ thấp thì MAC dựa trên xung đột phù hợp hơn do đặc tính đơn giản dễ triển khai của nó. Tuy nhiên, để giao thức MAC này 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 [13-16]. Nghiên cứu SMAC dành cho cảm biến là nghiên cứu tiêu chuẩn đã được đơn giản từ chuẩn 802.11 để đạt được hiệu quả về năng lượng và trễ, tuy nhiên lại chưa phân loại ưu tiên dữ liệu [16]. Dựa trên SMAC, giao thức TMPQ-MAC đã 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, TMPQ-MAC không sử dụng backoff tự động mà sử dụng cơ chế p-persistent với giá trị  $p$  cố định trước để tránh xung đột nên khá cứng nhắc và độ trễ chỉ được cải thiện với dữ liệu có độ ưu tiên cao nhất. Trong ECM-MAC và RPM-MAC [14,15], cửa sổ backoff đã được sử dụng để phân loại ưu tiên dựa trên năng lượng còn lại của nút, song chưa xét đến mức độ ưu tiên của dữ liệu.

Để giải quyết vấn đề tránh xung đột và ưu tiên dữ liệu, trong nghiên cứu này chúng tôi đề xuất giải thuật ưu tiên dữ liệu sử dụng cơ chế backoff có tên là DPbA 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. Bằng cách này, giải thuật backoff ưu tiên được đề xuất cho giao thức MAC để cải thiện độ trễ toàn mạng và tăng tỷ lệ truyền thành công so với giải pháp ưu tiên dữ liệu gần đây nhất là TMPQ-MAC. Bảng I phân tích một số điểm khác biệt của một số giao thức MAC tiên nhiệm với giao thức DPbA-MAC đề xuất.

Tác giả liên hệ: Nguyễn Thị Thu Hằng,

Email: hangntt@ptit.edu.vn

Đến tòa soạn: 23/10/2022, chỉnh sửa: 24/11/2022, chấp nhận đăng: 05/12/2022.

BẢNG I: SO SÁNH MỘT SỐ GIAO THỨC MAC CHO MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY THEO ƯU TIÊN VÀ BACKOFF

STT	Giao thức	Phân loại ưu tiên dữ liệu	Sử dụng backoff và tham số điều khiển backoff	Thích nghi lưu lượng
1	QAEE [17]	• Có 2 mức ưu tiên	• Không	• Có nhưng không tự động (p-persistent theo số nút)
2	SMAC [16]	• Không	• Có, backoff cố định.	• Không
3	TMPQ-MAC [13]	• Có 4 mức ưu tiên	• Không	• Có nhưng không tự động (p-persistent theo số nút)
4	ECM [14]	• Không	• Có, backoff theo hàm mũ. Sử dụng mức năng lượng còn lại để điều khiển cửa sổ.	• Không
5	RPM-MAC [15]	• Không	• Có backoff, sử dụng 3 mức năng lượng còn lại để phân chia cửa sổ.	• Không
6	DPbA-MAC	• Có 4 mức ưu tiên	• Có, backoff theo hàm mũ. Sử dụng mức ưu tiên dữ liệu để điều khiển	• Có, tự động do dùng chính cửa sổ backoff

Một phân ý tưởng của giải pháp đề xuất đã được chúng tôi đưa ra trong một hội thảo gần đây [18]. Trong bài báo này, chúng tôi cụ thể hóa ý tưởng thay đổi cơ chế hoạt động của cửa sổ backoff theo số lần xung đột liên tiếp thông qua giải thuật, bổ sung mô hình phân lớp mô phỏng và thực hiện mô phỏng để đối sánh hiệu năng mạng sử dụng giải pháp MAC dùng giải thuật đề xuất DPbA-MAC so với giải pháp TMPQ-MAC trong điều kiện có xung đột.

Phần còn lại của bài báo được tổ chức như sau. Phần II giới thiệu nội dung giải pháp đề xuất và giải thuật tương ứng. Phần III xây dựng mô hình tương ứng với giải pháp ưu tiên và Phần IV là ước lượng toán học để so sánh hiệu năng của giải pháp đề xuất với giải pháp MAC ưu tiên gần đây. Cuối cùng là kết luận của bài báo.

**II. GIẢI PHÁP ĐỀ XUẤT**

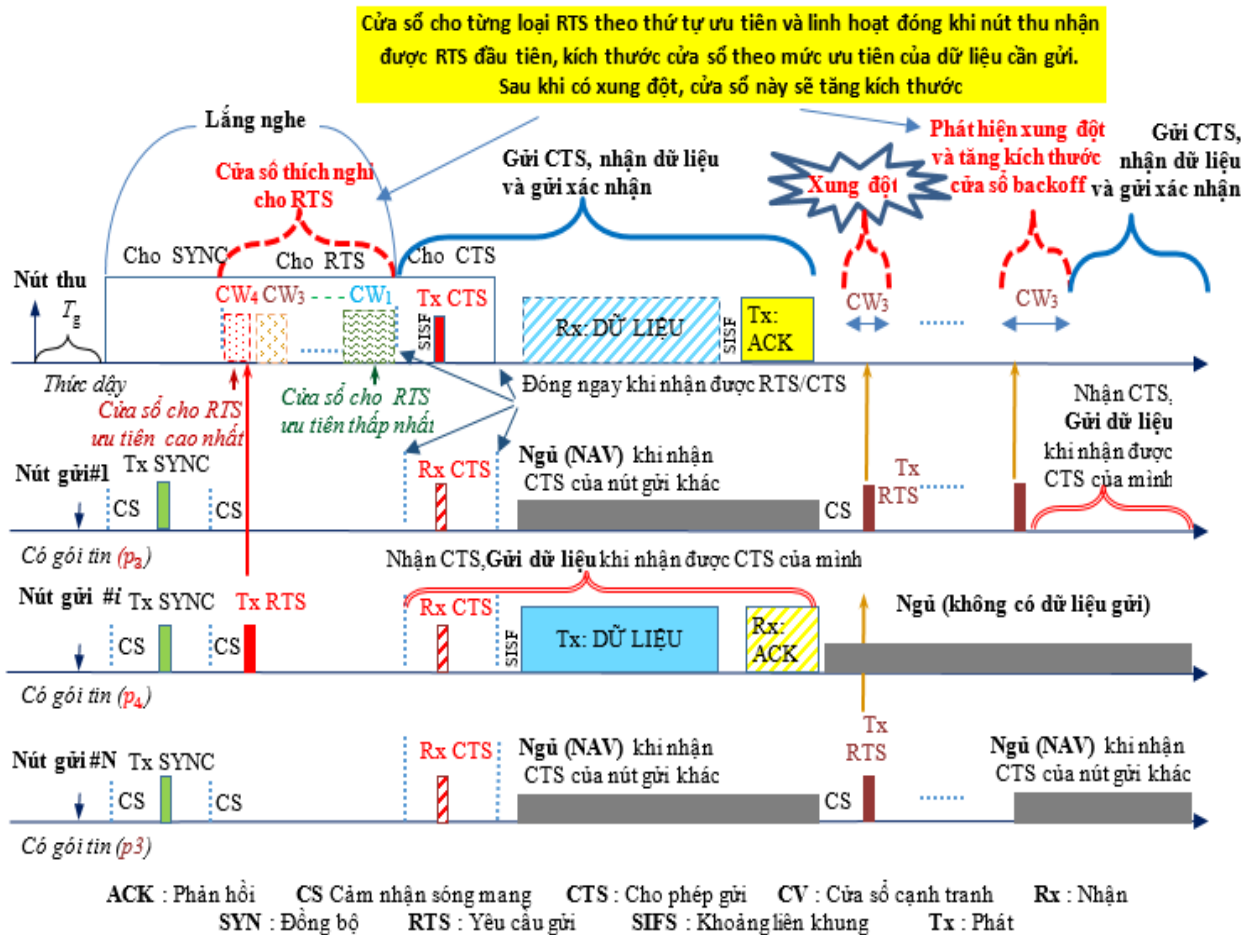
Giải pháp đề xuất đưa ra giao thức DPbA-MAC lấy đặc điểm của giao thức SMAC [16] để linh hoạt trong việc nhận RTS (viết tắt của Request-To-Send là khung yêu cầu được phép gửi dữ liệu) tới sớm nhất cùng với gửi phản hồi CTS (viết tắt của Clear-To-Send là khung xác nhận nút gửi được phép gửi dữ liệu) và TMPQ-MAC [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-MAC và RPM-MAC [14,15].

Trong đó cơ chế truyền RTS/CTS (với TMPQ-MAC được gọi là Tx-Beacon/Rx-Beacon) 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), đồng thời cũng tránh được xung đột kéo dài nếu truyền dữ liệu trực tiếp thay vì cơ chế RTS/CTS. Ưu điểm này có được là do nếu sử dụng cơ chế RTS/CTS, do kích thước của RTS/CTS nhỏ hơn nhiều so với DATA/ACK nên nếu có xung đột thì chỉ xung đột trong thời gian cửa sổ nhỏ và như vậy sẽ tiết kiệm được năng lượng tiêu hao trong thời gian này cũng như thời gian chờ đợi lần truyền tiếp theo. Với cơ chế SMAC có sử dụng RTS/CTS, nếu một nút cảm biến có dữ liệu cần gửi cảm nhận được là kênh truyền đang rỗi, nó sẽ gửi một cách ngẫu nhiên khung RTS trong cửa sổ cạnh tranh có kích thước cố định  $CW$  tới nút đích; TMPQ-MAC thì sử dụng Tx-Beacon/Rx-Beacon và gửi RTS dựa trên cơ chế p-persistent cùng cửa sổ  $T_w$  cố định

( $T_w = CW$ ), cửa sổ này sẽ đóng linh hoạt khi nút nhận nhận được Tx-Beacon có mức ưu tiên cao nhất, còn nếu không có RTS có mức ưu tiên cao nhất tới thì nó sẽ chờ cho tới hết thời gian  $T_w$  thì mới đóng lại và chọn nút gửi có RTS mức ưu tiên cao nhất để phản hồi thông qua khung Rx-Beacon. Khung RTS/Tx-Beacon mang thông tin yêu cầu truyền dữ liệu và trường NAV mang thông tin về khoảng thời gian cần gửi dữ liệu sau đó. Khi nút đích nhận được RTS đầu tiên tới, nó sẽ phản hồi các nút gửi bằng cách gửi khung CTS/Rx-Beacon để xác nhận trong đó có địa chỉ nút gửi khung RTS này và trường NAV. Khi đó chỉ một nút gửi RTS thành công được phép gửi dữ liệu. Các nút muốn gửi dữ liệu khác sẽ dựa trên trường NAV để xác định khoảng thời gian ngủ sau đó điều này sẽ giúp tiết kiệm năng lượng của các nút cũng như năng lượng trên toàn hệ thống mạng nói chung. 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 và các nút gửi còn lại sẽ thức dậy để tiếp tục gửi yêu cầu RTS.

Trong trường hợp nhiều RTS gửi cùng lúc và gây xung đột, cơ chế backoff sẽ được kích hoạt với kích thước cửa sổ backoff được điều chỉnh theo 04 mức độ ưu tiên dữ liệu: khẩn cấp, ưu tiên cao, ưu tiên và không ưu tiên.

Hình 1 mô tả quá trình truyền-nhận của các nút sử dụng giao thức đề xuất. Sau khi thức dậy, nút nhận cảm nhận sóng mang trong khoảng thời gian  $T_g$  và thông báo trạng thái muốn nhận dữ liệu của nó cho các nút trong mạng thông qua việc gửi quảng bá bản tin thức dậy. Tại lớp điều khiển truy nhập phương tiện, kích thước cửa sổ cạnh tranh ban đầu được điều chỉnh theo mức ưu tiên dữ liệu, trong khi đó nút nhận thực hiện như giao thức SMAC [16] nghĩa là nút gửi nào có RTS nào tới sớm nhất sẽ được gửi dữ liệu. Cửa sổ cạnh tranh của nút gửi sẽ đóng lại ngay sau khi khung RTS tới nút nhận. Nút nhận sau đó truyền lại 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 1,  $i$  và  $N$  có dữ liệu để gửi đi. Nếu nút gửi thứ  $i$  có độ ưu tiên cao nhất ( $p_4$ ) thì nút  $i$  sẽ được truyền dữ liệu trước. Nút thứ  $i$  vì có độ ưu tiên cao hơn nên được truyền khung RTS sớm hơn trong cửa sổ  $CW_4$ . 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 cả các nút gửi trong mạng.



Hình 1. Mô tả hoạt động của giao thức MAC đề xuất sử dụng giải thuật DPbA.

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.

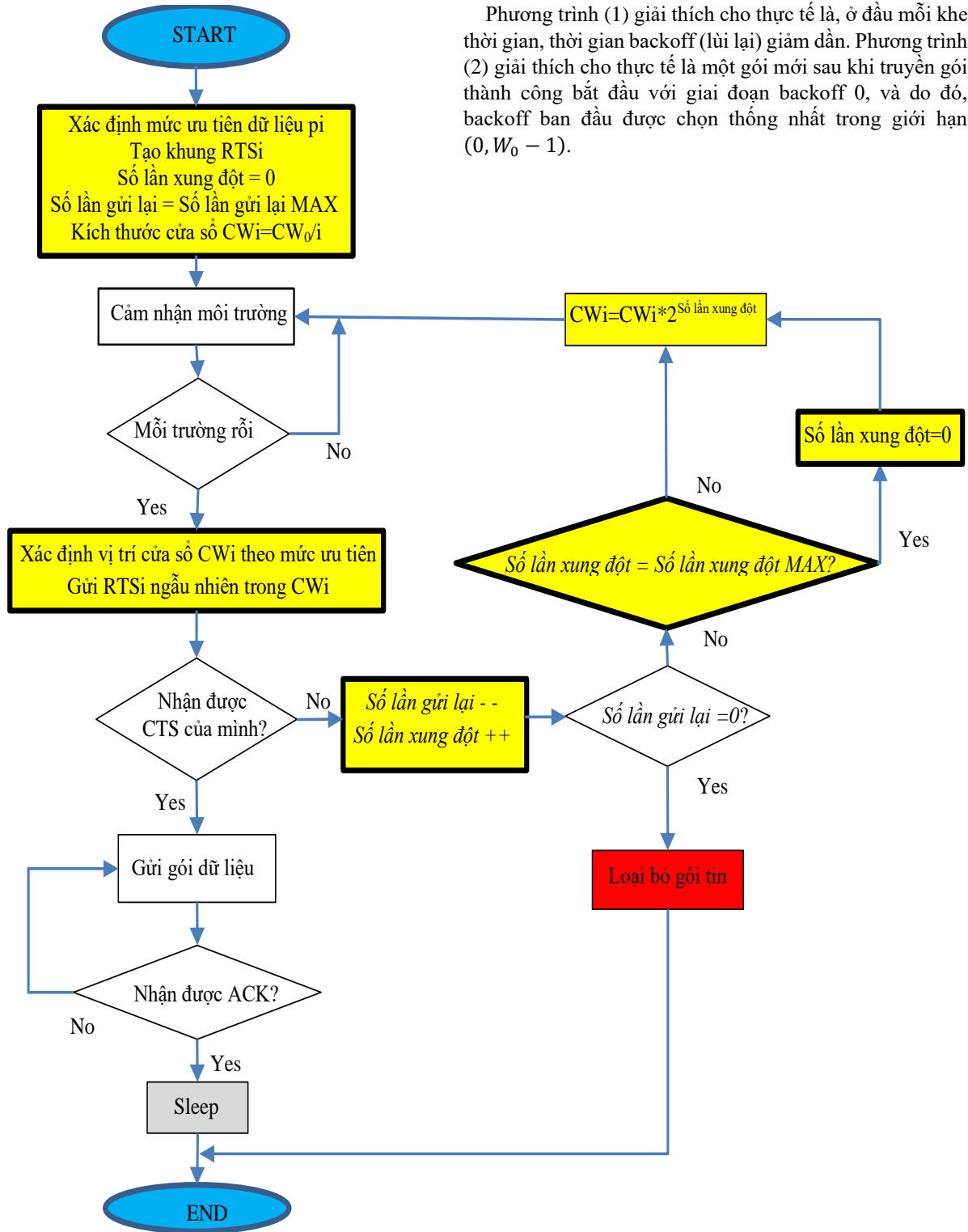
Tiếp đó, nút gửi 1 và  $N$  sẽ thức dậy và gửi yêu cầu RTS, dù RTS của nút 1 và  $N$  có cùng mức ưu tiên ( $p_3$ ) song cũng chỉ một phần xác suất là cả hai RTS gửi cùng thời điểm và gây ra xung đột. Trong trường hợp xung đột như minh họa trong Hình 1, nút cảm biến sẽ không phát hiện ra ngay mà chỉ biết sau khoảng thời gian timeout nhất định. Khi đó, hai nút sẽ tính lại giá trị cửa sổ backoff mới theo số lần xung đột (giãn ra để tránh xung đột) và gửi RTS ngẫu nhiên trong cửa sổ này khi cảm nhận môi trường là rỗi. Do kích thước cửa sổ backoff mới đã tăng lên nên xác suất xung đột RTS ở lần gửi này sẽ giảm đi và RTS nào tới nút thu trước sẽ được phục vụ trước (trong trường hợp này nút 1 sẽ gửi trước). Hình 2 là giải thuật DPbA chi tiết cho việc gửi dữ liệu của nút gửi bằng cách điều chỉnh kích thước cửa sổ backoff theo mức ưu tiên. Các khối viên đậm là các khối bổ sung/ thay đổi cho phù hợp với đề xuất. Khi một nút có dữ liệu và gửi RTS, nó sẽ xác định mức độ ưu tiên dữ liệu nó cần gửi và mức độ xung đột mà nó cảm nhận được để điều chỉnh kích thước cửa sổ backoff và vị trí của cửa sổ backoff tương ứng. Dữ liệu càng ưu tiên thì vị trí cửa sổ càng xuất hiện sớm và các cửa sổ sẽ sắp xếp lần lượt theo thứ tự ưu tiên. Thời gian bắt đầu gửi RTS là ngẫu nhiên

trong cửa sổ tranh chấp vừa được xác định để tránh xung đột của các RTS cùng mức ưu tiên và cùng mức độ xung đột từ nhiều nút gửi. Cửa sổ khởi đầu có giá trị là  $CW_0$ . Kích thước cửa sổ backoff sẽ tăng theo số lần xung đột liên tiếp, thể hiện ở việc sau khi gửi RTS một thời gian timeout, nút gửi RTS không nhận được CTS của mình. Nếu nút gửi RTS nhận được CTS thì nút sẽ gửi dữ liệu ngẫu nhiên trong cửa sổ đã được xác định theo mức ưu tiên và số lần xung đột.

### III. MÔ HÌNH MARKOV CHO BACKOFF

#### A. Mô hình Markov với backoff thường

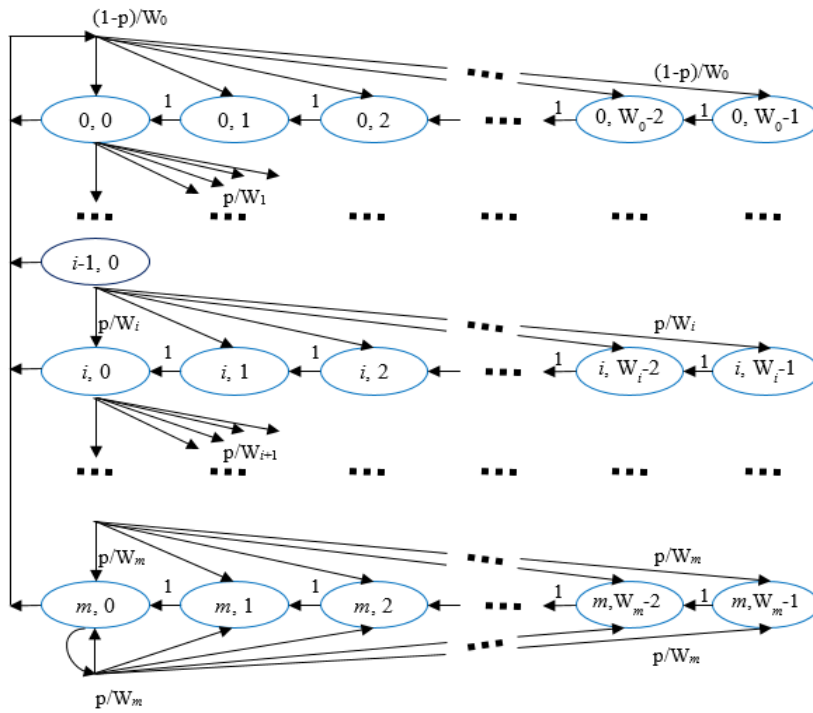
Giả sử có số nút gửi là cố định. Khi có xung đột, cửa sổ ở nút gửi sẽ được nhân đôi kích thước ở lần gửi kế tiếp, điều này khiến cho xác suất xung đột lần sau sẽ giảm. Mô hình này không phân biệt mức ưu tiên của gói tin nên mọi gói tin sẽ được đối xử bình đẳng như nhau [19]. Trạng thái  $(i, W_{i-1})$  là trạng thái mà nút gửi gửi RTS ở lần xung đột thứ  $i$  và ở vị trí khe thời gian  $W_{i-1}$  (Hình 3). Vì giá trị bộ đếm backoff của mỗi nút gửi phụ thuộc vào cả trạng thái truyền trước đó nên quá trình ngẫu nhiên sẽ không tuân theo Markov. Coi  $W = CW_{min}$  và  $CW_{max} = 2^m W$  với  $m$  là số giai đoạn backoff liên tiếp. Như vậy  $W_i = 2^i W$  với  $i \in (0, m)$ . Xác suất  $p$  là xác suất xung đột có điều kiện trên kênh và được giả sử là hằng số, giả sử này sẽ càng chính xác khi  $W$  và  $n$  lớn. Trong Hình 3, với chuỗi Markov thì các xác suất chuyển dịch có thể được tính như sau:



Phương trình (1) giải thích cho thực tế là, ở đầu mỗi khe thời gian, thời gian backoff (lùi lại) giảm dần. Phương trình (2) giải thích cho thực tế là một gói mới sau khi truyền gói thành công bắt đầu với giai đoạn backoff 0, và do đó, backoff ban đầu được chọn thống nhất trong giới hạn  $(0, W_0 - 1)$ .

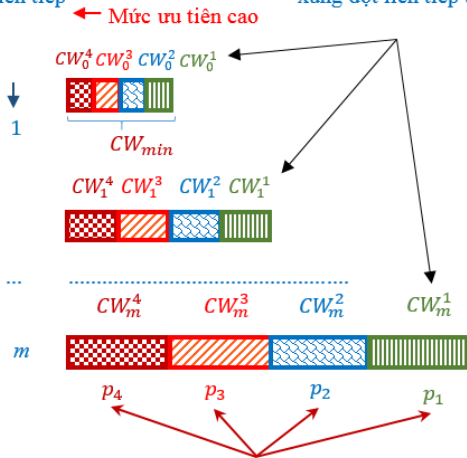
Hình 2. Giải thuật điều khiển cửa sổ backoff ưu tiên trong DPBA-MAC

$$\begin{cases}
 P \{i, k | i, k + 1\} = 1 & k \in (0, W_i - 2) & i \in (0, m) & (1) \\
 P \{0, k | i, 0\} = \frac{(1-p)}{W_0} & k \in (0, W_0 - 1) & i \in (0, m) & (2) \\
 P \{i, k | i - 1, 0\} = \frac{p}{W_i} & k \in (0, W_i - 1) & i \in (1, m) & (3) \\
 P \{m, k | m, 0\} = \frac{p}{W_m} & k \in (0, W_m - 1). & & (4)
 \end{cases}$$



Hình 3. Mô hình chuỗi Markov cho kích thước của số backoff thông thường.

Số lần xung đột liên tiếp      Vị trí cửa sổ dựa trên mức ưu tiên dữ liệu      Kích thước của số nhân đôi khi số lần xung đột liên tiếp tăng lên



Cửa sổ xung đột khác biệt theo mức ưu tiên  $p_i$  trong DPbA-MAC

Hình 4. Vị trí và kích thước cửa sổ backoff ưu tiên trong DPbA-MAC

Các phương trình (3) và (4) là xác suất chuyển dịch trạng thái sau khi truyền không thành công. Cụ thể, như được xem xét trong phương trình (3), khi việc truyền không thành công xảy ra ở giai đoạn backoff  $i - 1$ , giai đoạn backoff sẽ tăng lên và giá trị backoff ban đầu mới được chọn thống nhất trong khoảng  $(0, W_i - 1)$ . Cuối cùng, phương trình (4) mô hình hóa thực tế là một khi giai đoạn backoff đạt đến giá trị  $m$ , nó

sẽ không tăng lên trong các lần truyền gói tiếp theo.

#### B. Mô hình Markov cải tiến cho backoff ưu tiên

Xét với số lần backoff hữu hạn và lưu lượng gửi hữu hạn (mỗi nút chỉ gửi 1 gói trong một chu kỳ gửi). Việc xác định vị trí và kích thước của cửa sổ theo mức ưu tiên dữ liệu được minh họa trong Hình 4. Có thể thấy khi số lần xung đột tăng lên thì kích thước cửa sổ sẽ tăng theo và với mỗi mức ưu tiên sẽ có sự dịch chuyển vị trí của cửa sổ tương ứng. Trong mô hình Markov cho kích thước cửa sổ backoff ưu tiên tương ứng, giá trị  $W_i^j$  tương ứng với giai đoạn  $i$  và mức ưu tiên  $j$  với  $W_0^j$  tương ứng bằng  $CW_{min}/4$ .

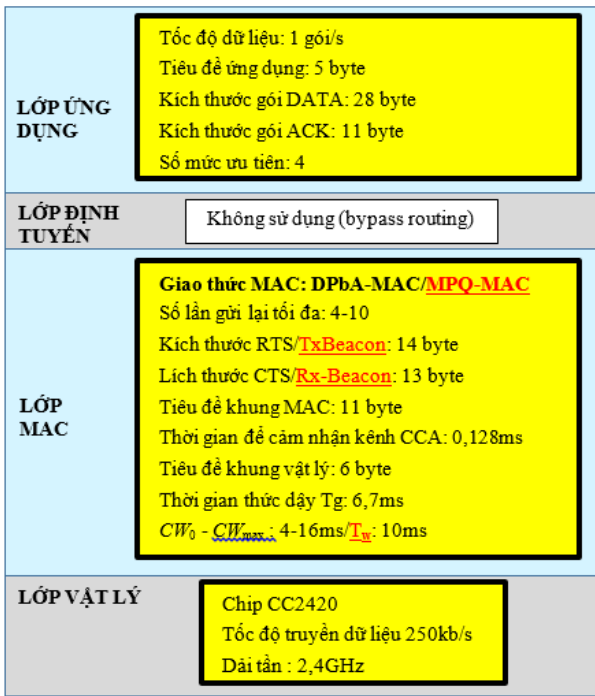
### IV. MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ

Để đánh giá và đối sánh hiệu năng mạng cảm biến không dây đa sự kiện sử dụng giải thuật điều khiển truy nhập phương tiện đề xuất DPbA-MAC với giải pháp tiêu biểu TMPQ-MAC, chúng tôi sử dụng phần mềm mô phỏng Castalia 3.3 [20] với thông số lớp vật lý tương tự chip tần số vô tuyến CC2420 [21] hoạt động trong dải 2,4 GHz và hỗ trợ tốc độ truyền dữ liệu 250 kb/s cho cảm biến.

#### A. Tham số và kích thước mô hình mạng mô phỏng

Hình 5 cho thấy mô hình phân lớp mô phỏng với các tham số 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 mức độ cạnh tranh, xét số lượng nút gửi đồng thời trong khoảng từ 4 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. Mỗi mô phỏng được chạy 20 lần với thời gian chạy là 1000 giây và các thông số hiệu năng được tính bằng giá trị trung bình.





Hình 5. Mô hình phân lớp và tham số mô phỏng chính

Hai 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 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.

**B. Phân tích kết quả mô phỏng**

**1) Trễ gói trung bình**

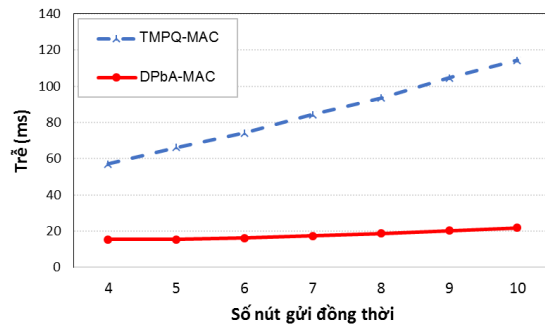
Phần này phân tích trễ gói tin trung bình của tất cả các loại gói tin khi mô phỏng với giao thức DPbA-MAC và TMPQ-MAC với số lượng nút cạnh tranh đồng thời tăng dần từ 4 đến 10. Trong phân tích ở phần này, số lần gửi lại tối đa RTS/TxBeacon được cố định bằng 7.

**a) Trễ gói của tất cả các loại ưu tiên**

Hình 6 cho thấy độ trễ trung bình của khi truyền gói dựa trên DPbA-MAC và TMPQ-MAC. Kết quả mô phỏng cho thấy độ trễ gói trung bình tương ứng tăng dần từ DPbA-MAC là từ khoảng 15,4 đến 21,8 mili giây và với TMPQ-MAC là từ khoảng 57,1 đến 114,4 mili giây. Các gói dữ liệu DPbA-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. Ngoài ra, DPbA-MAC 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). Trong khi đó, TMPQ-MAC tuy không sử dụng backoff linh hoạt nhưng bù lại lại

sử dụng cơ chế gửi RTS theo p-persistent nên cũng hạn chế được phần nào xung đột do nhiều nút cùng gửi RTS (khi số nút càng tăng thì giá trị p càng nhỏ dẫn tới giá trị tích của số nút \* p gần như không đổi trong chu kỳ gửi đầu tiên); song sự kết hợp với cửa sổ  $T_w$  lại gây bất lợi với các chu kỳ gửi sau vì dù ít hay nhiều nút tiếp tục gửi sau đó thì cửa sổ này vẫn giữ giá trị cố định và xác suất gieo vẫn không đổi khi đã có nút gửi được dữ liệu. Có thể nói tính thích ứng của TMPQ-MAC khá bị động vì bị gán thủ công theo số nút gửi đồng thời ban đầu.

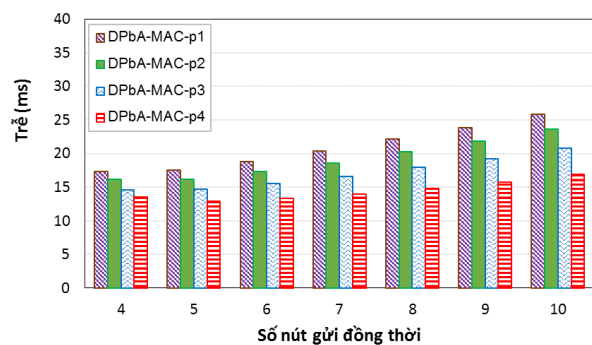
Nhìn chung trong cả hai trường hợp giao thức MAC, số nút gửi tăng lên thì nhiều RTS được gửi đồng thời gây ra mức độ xung đột gia tăng, dẫn tới việc có RTS bị xung đột và phải gửi lại nên sẽ làm tăng trễ.



Hình 6. So sánh độ trễ gói dữ liệu trung bình của tất cả các gói với giao thức DPbA-MAC và TMPQ-MAC.

**b) Trễ gói của từng mức ưu tiên khác nhau**

Độ trễ gói theo mức ưu tiên gói của DPbA-MAC được thể hiện trong Hình 7. Có thể thấy là giao thức này đã đáp ứng đúng yêu cầu ưu tiên là gói tin càng ưu tiên thì độ trễ càng nhỏ. Độ trễ các gói dữ liệu DPbA-MAC được ký hiệu tương ứng theo mức ưu tiên là p4, p3, p2 và p1 có giá trị trễ tương ứng nằm trong khoảng từ 13,0 - 16,9 mili giây; 14,6-20,8 mili giây; 16,2-23,7 mili giây và 17,3 - 25,8 mili giây. 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, song khi số nút cạnh tranh tăng cao hơn thì có thể thấy trễ từng loại ưu tiên sẽ tăng dần. Lý giải cho hiện tượng này là do tỷ lệ tranh chấp ngày càng tăng khi số nút gửi đồng thời tăng sẽ kéo theo độ trễ gói tin tăng lên, hơn nữa, độ khác biệt về trễ của các mức ưu tiên cũng tăng theo do các gói có mức ưu tiên cao nhất được gửi trước, tới chu kỳ sau thì các gói có mức ưu tiên thấp hơn sẽ được gửi lần lượt, do đó, chênh lệch độ trễ mở rộng theo mức độ ưu tiên.

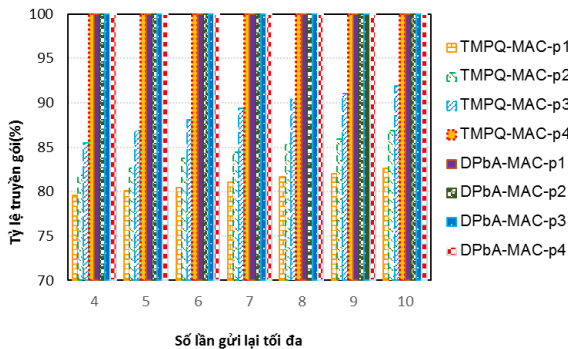


Hình 7. So sánh độ trễ các loại gói dữ liệu ưu tiên của DPbA-MAC.

2) Tỷ lệ truyền gói thành công

Phần này phân tích tỷ lệ truyền gói thành công của tất cả các loại gói tin khi mô phỏng với giao thức DPbA-MAC và TMPQ-MAC với số lượng nút cạnh tranh đồng thời tăng dần từ 4 đến 10. Trong phân tích ở phần này, số lần gửi lại tối đa RTS/TxBeacon được thay đổi từ 4 đến 10.

Hình 8 thể hiện ảnh hưởng của số lần truyền lại tối đa lên tỷ lệ truyền gói thành công khi cố định số nút gửi đồng thời là 10 nút. Thực tế cho thấy, số lần truyền lại càng tăng thì tỷ lệ truyền gói thành công càng cao. Tuy nhiên với DPbA-MAC có thể đảm bảo truyền tin cậy ở ngưỡng bốn số chín với cả bốn loại gói ưu tiên (bốn đường gần như chập lại ở tỷ lệ truyền gói 100%) còn với TMPQ-MAC thì chỉ riêng gói dữ liệu có mức ưu tiên cao nhất mới đạt ngưỡng truyền tin cậy gần như tuyệt đối, còn với ba loại gói ưu tiên còn lại thì số lần truyền lại phải lớn tới ngưỡng 10 thì tỷ lệ truyền gói thành công trung bình của từng loại ưu tiên từ mới tăng được tới trên 80% và đúng theo thứ tự ưu tiên: mức ưu tiên cao hơn có tỷ lệ truyền gói thành công cao hơn.



Hình 8. Tỷ lệ truyền thành công gói trung bình với giao thức DPbA-MAC và TMPQ-MAC theo số lần truyền lại RTS.

Kết quả mô phỏng này phù hợp với phân tích lý thuyết: việc chấp nhận RTS tới đầu tiên trong DPbA-MAC 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 DPbA-MAC tránh được mất gói do xung đột, tiết kiệm được số lần gửi lại. Trong khi đó, TMPQ-MAC chỉ ưu tiên đóng cửa sổ sớm khi nhận được gói tin có mức ưu tiên p4, còn trước đó cửa sổ vẫn mở và có thể gây xung đột; còn nếu không có gói ưu tiên p4 đến thì cửa sổ vẫn mở tới cùng, các nút gửi vẫn tiếp tục gửi RTS trong thời gian còn lại của cửa sổ và có thể gây xung đột cũng như lãng phí số lần gửi RTS. Đến khi cần phải gửi lại, với sự hạn chế của số lần gửi lại, có nhiều RTS sẽ không còn quyền gửi nữa, điều đó càng trầm trọng khi số lượng nút gửi đồng thời tăng lên dẫn tới tần suất xung đột tăng lên, hậu quả là tỷ lệ mất RTS cao hơn dẫn tới cần phải truyền lại nhiều hơn để đảm bảo tỷ lệ truyền thành công dữ liệu. TMPQ-MAC có tỷ lệ truyền gói tin thành công càng 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. Khi 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. Các nút có dữ liệu mức ưu tiên thấp dù đã gửi RTS tới nút nhận

thành công nhưng sẽ không được phản hồi nên sẽ phải chờ tới các chu kỳ kế tiếp, điều này gây thêm trễ và lãng phí cá năng lượng lẫn thời gian tồn tại của nút nếu nút không được nạp thêm năng lượng.

V. KẾT LUẬN

Bài báo đề xuất giải thuật backoff ưu tiên DPbA cho giao thức lớp MAC là dựa trên mức độ ưu tiên để cải thiện hiệu năng mạng cảm biến không dây đa sự kiện bằng cách xử lý phân tách vị trí và kích thước cửa sổ backoff cho từng loại dữ liệu ưu tiên dựa trên số lần xung đột liên tiếp. Giải pháp điều khiển truy nhập phương tiện DPbA-MAC kết hợp hai cơ chế của giao thức SMAC và TMPQ-MAC để cải thiện hiệu năng mạng cảm biến không dây cùng với sử dụng ý tưởng backoff ưu tiên của giao thức ECM-MAC và RPM-MAC: 1) CSMA/CA với cơ chế chấp nhận RTS sớm nhất của SMAC 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 của các loại dữ liệu ưu tiên khác nhau. Các kết quả cho thấy giải pháp đề xuất có khả năng cải thiện đáng kể hiệu năng hệ thống thông qua 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 DPbA-MAC có thể đảm bảo tiêu chí thời gian thực với các ứng dụng cảm biến thời gian thực và ứng dụng khẩn cấp so với TMPQ-MAC. Bên cạnh đó, DPbA-MAC đạt tỷ lệ truyền gói thành công tốt hơn so với TMPQ-MAC.

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 03-HV-2022-VT của nhóm.

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

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. A. Mahgoub, N. Tarrad, R. Elsharif, 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.
- [2]. 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 (ICCT), 2021, pp. 473-476, doi: 10.1109/ICCT53315.2021.9711785.
- [3]. G. Roque and V. S. Padilla, "LPWAN Based IoT Surveillance System for Outdoor Fire Detection," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 114900-114909, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3003848.
- [4]. Y. Hayashi *et al.*, "Smoldering Fire Detection Using Low-Power Capacitive MEMS Hydrogen Sensor for Future Fire Alarm," 2021 21st International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers), 2021, pp. 267-270, doi: 10.1109/Transducers50396.2021.9495582.
- [5]. 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.

- [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]. K. Kaewwongsri and K. Silanon, "Design and Implement of a Weather Monitoring Station using CoAP on NB-IoT Network," *2020 17th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, 2020, pp. 230-233, doi: 10.1109/ECTI-CON49241.2020.9158290.
- [8]. T. -J. Mao, D. Zhang, Y. Niu, M. Yu, X. Liang and M. He, "The Determination Method of Battlefield Monitoring Interval Period Based on the Complicatedness of Situation Changes," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 165947-165955, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3135040.
- [9]. R. Kabilan, R. MallikaPandeewari, N. Lalitha, E. Kanmanikartha, C. Karthica and L. M. H. Sharon, "Soldier Friendly Smart And Intelligent Robot On War Field," *2022 Second International Conference on Artificial Intelligence and Smart Energy (ICAIS)*, 2022, pp. 666-671, doi: 10.1109/ICAIS53314.2022.9742909.
- [10]. Lixianli, P. Wei, A. Jianyong and W. Ping, "The Application Research on Military Internet of Things," *2020 17th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICCWAMTIP)*, 2020, pp. 187-191, doi: 10.1109/ICCWAMTIP51612.2020.9317321.
- [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]. 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.
- [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]. 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.
- [18]. 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>
- [19]. G. Bianchi, "Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function," in *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 18, no. 3, pp. 535-547, March 2000, doi: 10.1109/49.840210.
- [20]. T. Boulis, Castalia Version 3.3 Master. Truy cập được ngày 20/10/2022. Web: <https://github.com/boulis/Castalia/releases/tag/3.3>
- [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>.

## MULTI-EVENT WIRELESS SENSE NETWORK PERFORMANCE ANALYSIS USING PRIORITY BACKOFF MECHANISM AT MAC LAYER

**Abstract**— Medium access control (MAC) is one of the main functions of the data link layer, used to control the interaction between hardware and the communication medium. In wireless sensor networks, communication is done without wires, sensor nodes will be able to communicate directly with each other and transfer data to the receiver before it can forward the data to the external network link the Internet. Sensor devices often use battery power with limited amount, so it is very important to save energy to maintain a long life. It is a challenge, but also a chance for many researchers to make improvement. MAC protocols can be classified into three categories: collision-free, collision-based, and hybrid. For sensor networks with small traffic but in which some traffic components require low latency and higher quality, collision-based MAC is more suitable. In this paper, we propose a backoff algorithm to avoid collisions between nodes, and at the same time use data priority criteria to adjust the corresponding backoff window, thereby solving the priority problem. The solution using the proposed algorithm is evaluated through simulation. The obtained results show that the solution using the priority MAC significantly improves the performance of the sensor network, specifically ensuring the priority as well as reducing the packet loss rate for the priority data compared to the recent priority solution TMPQ-MAC.

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



**Nguyễn Thị Thu Hằng** nhận học vị Thạc sỹ 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](mailto:hangntt@ptit.edu.vn)



**Nguyễn Chiến Trinh** nhận học vị Tiến sĩ Kỹ thuật tại Trường Điện – Thông tin Tokyo, 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](mailto:trinhnc@ptit.edu.vn)