

A SMART ROUTING-TRANSMISSION PROTOCOL FOR BURSTY DATA IN WIRELESS SENSOR NETWORK

Ta Van Khoe*, Tran Huu Phi

Le Quy Don Technical University

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Received: 16/11/2023</p> <p>Revised: 28/3/2024</p> <p>Published: 29/3/2024</p>	<p>Three important issues in sending bursty data from a multimedia node (MN) in a wireless sensor network (WSN) are high reliability in data transmission, low delay in image transmission, and low energy consumption. This paper proposes a smart routing-transmission protocol (SRTP) for fast and reliable image delivery. In this approach, a data path that includes a path node and a collaborative node at each tree level is established. Then, the nodes collaborate to forward packets reliably to nodes one level lower. Packets can be transmitted in a pipelined manner using multiple channels and a spatial slot reuse technique. Simulation results and analysis showed that the proposed protocol far outperforms the recent approach in terms of end-to-end delay and packet delivery rate while achieving low energy consumption.</p>
<p>KEYWORDS</p> <p>Transmission Protocol</p> <p>Reliability</p> <p>End-to-end delay</p> <p>Energy consumption</p> <p>Bursty data</p>	

GIAO THỨC ĐỊNH TUYẾN-TRUYỀN THÔNG MINH CHO DỮ LIỆU BÙNG NỔ TRONG MẠNG CẢM BIẾN

Tạ Văn Khỏe*, Trần Hữu Phi

Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn

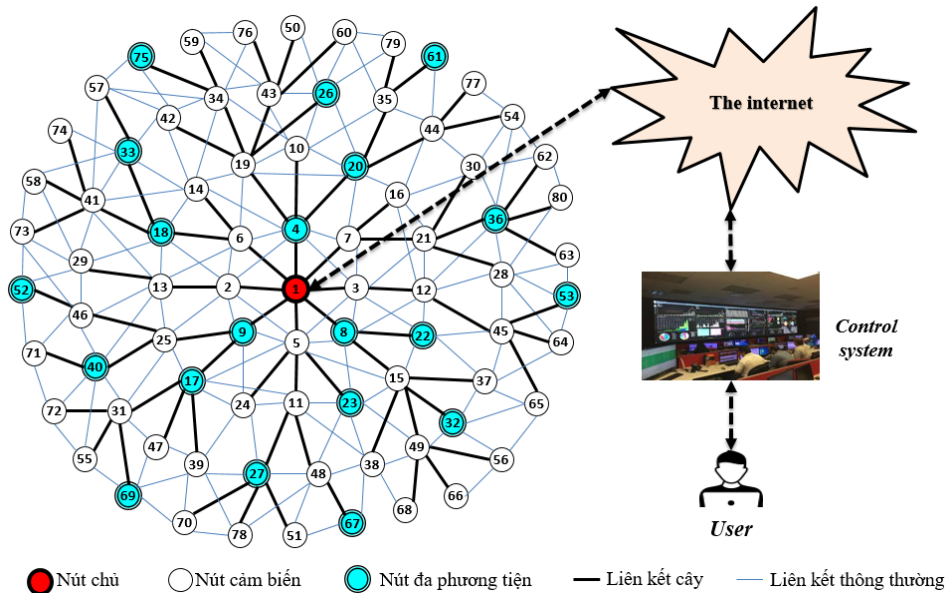
THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
<p>Ngày nhận bài: 16/11/2023</p> <p>Ngày hoàn thiện: 28/3/2024</p> <p>Ngày đăng: 29/3/2024</p>	<p>Ba vấn đề quan trọng trong việc gửi dữ liệu liên tục bùng nổ từ một nút đa phương tiện (MN) trong mạng cảm biến không dây (WSN) là độ tin cậy cao trong truyền dữ liệu, độ trễ truyền hình ảnh thấp, và mức tiêu thụ năng lượng thấp. Bài báo này đề xuất một giao thức định tuyến-truyền dẫn thông minh (SRTP) để phân phối hình ảnh nhanh chóng và đáng tin cậy. Trong giao thức này, một đường truyền dữ liệu bao gồm nút đường dẫn và nút cộng tác ở mỗi cấp độ cây được thiết lập. Sau đó, các nút này hợp tác để chuyển tiếp các gói tin đến các nút ở cấp độ thấp một cấp. Các gói tin có thể được truyền song song khi sử dụng kết hợp nhiều kênh truyền và kỹ thuật tái sử dụng khe thời gian. Các kết quả mô phỏng và phân tích chỉ ra rằng giao thức đề xuất tốt hơn các giao thức truyền đa phương tiện gần đây về chỉ tiêu trễ truyền nhận và độ tin cậy, trong khi vẫn đảm bảo sự tiêu hao năng lượng thấp của mạng.</p>
<p>TỪ KHÓA</p> <p>Giao thức truyền tin</p> <p>Độ tin cậy</p> <p>Năng lượng tiêu thụ</p> <p>Trễ truyền</p> <p>Dữ liệu bùng nổ</p>	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.9242>

* Corresponding author. Email: tavankhoe@gmail.com

1. Giới thiệu chung

1.1. Nghiên cứu tổng quan



Hình 1. Mạng cảm biến đa phương tiện có cấu trúc cây

Mạng cảm biến đa phương tiện (WMSN) bao gồm các nút cảm biến (SN) và một số nút đa phương tiện (MN) sử dụng nguồn năng lượng pin có khả năng thu thập đồng thời dữ liệu vô hướng, đa phương tiện (ảnh, âm thanh, hoặc video), và xử lý truyền dữ liệu đó theo đường truyền vô tuyến ở năng lượng thấp về nút chủ [1]. Với khả năng thu thập và truyền dữ liệu đa phương tiện, WMSNs được ứng dụng ngày càng phổ biến. Tuy nhiên, dữ liệu đa phương tiện sẽ vượt quá giới hạn của đơn vị dữ liệu truyền dẫn tối đa (MAC protocol data Unit, MPDU) theo chuẩn IEEE.802.15.4 (MPDU tối đa là 127 bytes)

[2]. Do đó, dữ liệu đa phương tiện phải được chia thành các gói tin để truyền và yêu cầu các gói tin được gửi đến nút chủ với một giới hạn về độ trễ, để đảm bảo tính kịp thời của quyết định. Hơn nữa, các gói tin phải được phân phối tin cậy đến nút chủ để nó có thể khôi phục lại bản tin đa phương tiện. Một yêu cầu quan trọng khác của WMSN là hiệu quả năng lượng vì để đảm bảo thời gian hoạt động của mạng khi đã được triển khai.

Nhiều giao thức đã được đề xuất để đảm bảo các yêu cầu truyền các gói tin liên tiếp, bùng nổ qua mạng cảm biến (WSN). Có thể chia các giao thức thành hai loại: giao thức truyền trực tuyến và giao thức truyền theo sự kiện, theo yêu cầu. Các giao thức truyền trực tuyến yêu cầu tỷ lệ truyền gói thành công cao, đồng thời đảm bảo truyền dữ liệu bùng nổ ổn định [3], [4]. Chúng thường mã hóa dữ liệu phát trực tuyến thành các gói và xem xét các giải thuật để tránh tắc nghẽn trong đường truyền [5] - [7]. Các giao thức truyền theo sự kiện yêu cầu cao về tính kịp thời, và thông lượng mạng do đó chúng quan tâm phương pháp phát hiện sự kiện, và giải pháp ước lượng, điều chỉnh tốc độ truyền theo điều kiện kênh truyền [8] - [10]. Các giao thức để truyền dữ liệu bùng nổ của ảnh theo sự kiện qua mạng WSN là mối quan tâm ở đây.

1.2. Phân tích vấn đề nghiên cứu

Độ tin cậy của việc truyền dữ liệu ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng của ảnh được khôi phục tại máy chủ. Các phương pháp được đề xuất giảm tỷ lệ mất gói là: *truyền lại từng bước (EEIT)* [11], và truyền dự phòng trên nhiều đường truyền kết hợp *truyền lại toàn tuyến (EMP)* [12]. Tuy nhiên, những cách tiếp cận này có xu hướng làm tăng mức tiêu thụ năng lượng của các nút. Độ trễ

của ảnh phải được giới hạn trong một thời gian nhất định. Để giảm độ trễ kỹ thuật tái sử dụng khe thời gian với sự hỗ trợ kênh truyền [13] thường được sử dụng. Tuy nhiên, cần có giải pháp để các nút xác định được tần số và thời gian truyền nhận của nó. Sự tiêu thụ năng lượng ít của các nút và sự cân bằng mức tiêu thụ năng lượng giữa các nút cần đảm bảo để tăng thời gian hoạt động của mạng. Đặc biệt với ứng dụng giám sát yêu cầu gửi hình ảnh thường xuyên, việc quản lý mức tiêu thụ năng lượng trong quá trình truyền hình ảnh là vô cùng quan trọng. Điều này đặt ra một vấn đề là các nút phải đánh giá xem nó có tham gia quá trình truyền ảnh hay không và khi nào sẽ thức dậy nếu chúng về chế độ ngủ.

1.3. Phương pháp đề xuất

Với những lý do này, chúng tôi đề xuất một giao thức định tuyến-truyền dữ liệu thông minh để giải quyết ba vấn đề trên một cách hiệu quả, viết tắt là *SRTP* (*Smart Routing-Transmission Protocol*). Đầu tiên, quá trình định tuyến được thực hiện để hình thành đường truyền dữ liệu có tính linh động và phối hợp cao giữa các nút. Sau đó, các nút trên đường truyền sẽ tự động xác định khe thời gian-kênh truyền nhận và truyền nhận dựa vào bản tin nghe lén, thứ tự ưu tiên của các nút cùng cấp độ. Nhờ vậy có thể cải thiện độ tin cậy và làm cho các gói tin được chuyển tiếp một cách nhanh chóng. Ngoài ra chỉ các nút trên đường truyền hợp tác duy trì hoạt động trong thời gian bùng nổ của bản tin đa phương tiện, để đảm bảo mức tiêu thụ năng lượng thấp. Giải pháp đề xuất cho quá trình truyền ảnh trong mạng cảm biến đã được đánh giá bằng phân tích và mô phỏng.

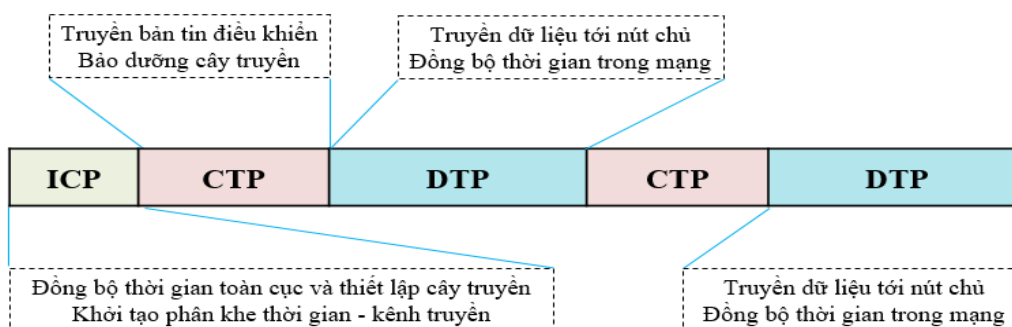
1.4. Mô hình mạng cho nghiên cứu

Mô hình mạng có cấu trúc cây được sử dụng làm cơ sở cho nghiên cứu và đánh giá. Trong mô hình này, các nút trong mạng hình thành một cây truyền dữ liệu bắt nguồn từ nút chủ-cấp độ 1, sau đó cấp độ tăng dần. Các nút được gọi là nút cây nếu nó thuộc cây truyền và kết nối giữa nút cây và nút cha của nó ở trên một cấp độ được gọi là kết nối cây. Khi một nút không thuộc cây truyền hay không tìm được cha của nó khi thiết lập cây thì nút đó được gọi là “*nút mồ côi*”. Hình 1 minh họa mô hình mạng gồm 01 nút chủ, 20 nút MN, và 59 nút SN hình thành cấu trúc cây có năm cấp độ, các đường nét liền và các đường nét đứt tương ứng là kết nối cây và kết nối thông thường. Nút chủ sẽ thu thập dữ liệu từ các SNs và nó có thể yêu cầu hình ảnh từ một MN tại một thời điểm bất kỳ.

Nội dung tiếp theo của bài báo như sau. Phần 2 mô tả chi tiết giao thức được đề xuất. Phần 3 là đánh giá, so sánh giao thức đã đề xuất với các giao thức khác. Phần 4 đưa ra nhận xét và kết luận.

2. Giao thức RSTP

2.1. Cấu trúc giao thức



Hình 2. Cấu trúc của giao thức

Giao thức đề xuất *SRTP* có cấu trúc như Hình 2, nó bao gồm: thời gian khởi tạo ban đầu và sự lặp lại các khung truyền dữ liệu. Trong thời gian khởi tạo ICP, giao thức thực hiện đồng bộ thời gian toàn cục, thiết lập cây truyền, và phân chia khe thời gian- kênh truyền. Mỗi khung truyền dữ liệu được chia thành hai giai đoạn: truyền dữ liệu xuống, CTP (truyền lệnh, duy trì cấu trúc cây) và

truyền dữ liệu lên, DTP (dữ liệu đa phương tiện hoặc dữ liệu vô hướng). Trong CTP, nút chủ có thể gửi thông báo lệnh tới một nút hoặc một nhóm các nút và có thể thực hiện bảo trì cấu trúc cây. Khi bắt đầu CTP, các nút hoạt động để nhận lệnh từ nút chủ và sau một thời gian ngắn sẽ chuyển sang chế độ ngủ nếu không nhận được bất kỳ lệnh nào. Trong DTP, các nút được yêu cầu gửi dữ liệu cảm biến đến nút chủ. Trong quá trình truyền dữ liệu này, việc đồng bộ thời gian được thực hiện cục bộ bằng cách sử dụng các bản tin điều khiển ở lớp MAC, như RTS/CTS/ACK. Nút chủ có thể bắt đầu quá trình truyền dữ liệu bùng nổ khi có nhu cầu về bản tin đa phương tiện. Nếu nút chủ nhận thấy rằng một tình huống bất thường có thể đã xảy ra trong khu vực giám sát dựa trên phân tích dữ liệu vô hướng, nó có thể yêu cầu một hình ảnh từ nút đa phương tiện được triển khai tại thực địa để đảm bảo tình huống bất thường đã thực sự xảy ra. Nút chủ phát một bản tin yêu cầu hình ảnh trong CTP để thiết lập một đường truyền dữ liệu. Khi nhận được thông báo này, các nút sẽ bắt đầu hoạt động trong chế độ truyền dữ liệu bùng nổ.

2.2. Thiết lập cấu trúc cây của SRTP

Để thiết lập cây truyền dữ liệu có độ tin cậy cao, chúng tôi sử dụng phương pháp ước tính chất lượng kết nối bằng cách trao đổi các bản tin. Nút chủ sẽ khởi tạo quá trình thiết lập cây truyền bằng cách phát đi bản tin *TCR*. Khi nhận được *TCR*, nút mô côi *u* sẽ kết nối vào cây bằng cách gửi thông báo yêu cầu tham gia, *J-REQ*. Khi nhận được *J-REQ* từ nút *u*, nút chủ sẽ gửi phản hồi *J-RES* và nhận nút *u* làm nút con của nó. Khi nút *u* nhận được *J-RES*, nó sẽ nhận nút chủ là cha đẻ của nó và gán cấp độ của nó là 2. Một nút mô côi *i* khác nhận được *J-REQ* lần đầu từ nút *u* sẽ gán cấp độ $d(i)$ của nó thành $d(u)+1$ và khởi tạo một timer (*wait_timer*) để nhận thêm *J-REQ* từ các nút khác. Trong thời gian chờ, khi nút *i* nhận được *J-REQ* nó sẽ cập nhật danh sách ứng cử viên cha *PCL(i)*. Sau đó, nút *i* chọn nút cây trong danh sách *PCL(i)* làm cha và gửi *J-REQ*. Quá trình này lặp lại để các nút trong mạng tìm được cha của nó như trình bày trong Thuật toán 1.

Thuật toán 1. Thiết lập cấu trúc cây truyền

<pre>// d(i): Cấp độ của nút i // P(i): Nút cha đẻ của nút i</pre>	<pre>// CL(i): Các nút con của nút i // PCL(i): Ứng viên nút cha của nút i</pre>
<pre>Event: nút i nhận TCR từ nút chủ (sink) 1: d(i) ← 2; 1: delay ← generateRandomDelay(); 2: send J-REQ(sink, delay, d(i)); Event: nút i nghe được J-REQ từ nút u: 1: if (d(i) == 0) then 2: d(i) = d(u) + 1; 3: CL(i) ← u; 4: gọi timer: wait_timer; 5: end if Event: nút i nghe được J-REQ từ nút u trong thời gian wait_timer; 1: if (d(u) ≤ d(i) - 2) then 2: d(i) = d(u) + 1; 3: CL(i) ← ∅; 4: CL(i) ← u; 6: else if (d(u) == d(i) - 1) then 7: CL(i) ← u; 8: end if</pre>	<pre>Event: khi timer wait_timer kết thúc tại nút i 1: gọi jdelay_timer(jdelay); Event: nút i nghe được J-RES từ u 1: if ((u ∈ PCL(i) == true) then 2: child_counter(u) ← child_counter(u) + 1; 3: end if Event: khi jdelay_timer kết thúc tại nút i 1: P(i) ← ∅; 2: minNoChild = 255 2: for (v ∈ PCL(i)) 3: if (minNoChild > child_counter(v)) then 4: P(i) = v; 5: minNoChild = child_counter(v); 6: end if 7: end for 8: if (P(i) ≠ ∅) then 9: send J-REQ(P(i), d(i)); 10: end if</pre>

2.3. Thiết lập đường truyền dữ liệu

Khi mạng WSN được triển khai và cấu trúc cây được thiết lập, nút chủ có các thông tin về địa chỉ, cấp độ cây của nút đa phương tiện được chọn để gửi ảnh. Để thiết lập một đường truyền dữ liệu có tính kết hợp, linh động cao và thông tin việc truyền dữ liệu bùng nổ, nút chủ sẽ gửi tới các nút trong mạng bản tin IRQ . Khi nhận được IRQ , nút đa phương tiện được chọn sẽ gửi hồi đáp $IRP = (0, SPS)$ cho nút cha của nó. Khi nhận được IRP , nút đường truyền ($ĐT$) sẽ chọn một nút để hợp tác với nó trong quá trình truyền các gói tin bùng nổ gọi là nút hợp tác (HT), nút này là nút chung của SPS được đính trong IRP và tập lân cận của nó, $Nbrs$. Điều này đảm bảo rằng nút hợp tác được chọn có kết nối với nút đường truyền ở cùng cấp độ và nút đường truyền ở một cấp độ cao hơn. Vì nút đường truyền gửi bản tin IRP chứa nút hợp tác của nó, ht , nên các nút nghe được IRP có thể xác định nó được chọn làm nút hợp tác hay không. Quá trình thiết lập đường truyền được trình bày trong Thuật toán 2.

Thuật toán 2. Thiết lập đường truyền dữ liệu bùng nổ

// $x.SPS$: The SPS of node x ;
// $x.Nbrs$: The $Nbrs$ of node x ;
1: Khi nút MN x nhận được IRQ ;
2: send $IRP = (0, x.SPS)$;
3: Khi nút x nhận được $IRP = (z, y.SPS)$;
4: nút x biết được nó là nút đường truyền
5: if $y.SPS = \phi$ then // no secondary parent
6: send $IRP = (0, x.SPS)$;
7: else
8: select $ht \in y.SPS \cap x.Nbrs$;
9: send $IRP = (ht, x.SPS)$;
10: endif
11: Khi nút x nghe được $IRP = (z, y.SPS)$;
12: if $x = z$ and $level(x) = level(y)$ then
13: nút x biết rằng nó là nút hợp tác;

Đường truyền hợp tác cho dữ liệu bùng nổ (ĐTDL) sẽ bao gồm các nút tham gia vào quá trình truyền hình ảnh. Nó có thể được biểu diễn như sau:

$$\text{ĐTHT} = \left((\text{ĐT}^L, \text{null}), (\text{ĐT}^{L-1}, \text{HT}^{L-1}), \dots, (\text{ĐT}^i, \text{HT}^i), \dots, (\text{ĐT}^2, \text{HT}^2) \right) \quad (1)$$

ở đó ĐT^L là nút MN nguồn ở cấp độ L và $\text{ĐT}^i, \text{HT}^i$ là nút đường truyền, nút hợp tác ở cấp độ i .

Đường truyền hợp tác có hai ưu điểm nổi bật: (1) khi nút đường truyền, ĐT^i , gửi một gói tin cả nút đường truyền ĐT^{i-1} và nút hợp tác HT^{i-1} , đều có thể nhận được gói tin. Vì HT^{i-1} chắc chắn kết nối với ĐT^{i-1} theo thuật toán thiết lập đường truyền dữ liệu, nên nó có thể xác định ĐT^{i-1} đã nhận gói thành công hay chưa bằng cách kiểm tra gói mà ĐT^{i-1} trả lời (ACK) hoặc gửi đi. Nếu HT^{i-1} đánh giá ĐT^{i-1} không nhận được gói, nó có thể cứu gói bị mất bằng cách gửi gói đã lưu trước đó. Điều này giúp cải thiện độ tin cậy của đường truyền. (2) nút hợp tác HT^{i-1} truyền gói bị mất ngay trong khe thời gian chỉ định thay vì dựa vào việc truyền lại của ĐT^{i-1} , giúp cho gói đi chuyển nhanh hơn về phía nút chủ.

2.4. Tự động xác định khe thời gian và kênh truyền nhận

Trong quá trình thiết lập đường truyền, sau khi nhận được IRQ các nút sét thời gian chờ để nhận bản tin IRP và xác định nó thuộc đường truyền hay không, thời gian chờ được xác định như sau:

$$T_{out} = \begin{cases} 0 & \text{if } l \geq L \\ (L-l) \times (T_{IRP} + T_{IRQ}) + T_{IRP} & \text{if } l \leq L \end{cases} \quad (2)$$

ở đó T_{IRP} và T_{IRQ} tương ứng là thời gian truyền các bản tin IRP và IRQ .

Các nút không thuộc đường truyền sẽ đi vào chế độ ngủ để tiết kiệm năng lượng. Các nút thuộc đường truyền dữ liệu (DT , HT) xác định số khe thời gian truyền ($nSlots$), thời gian truyền nhận (IPT), thời gian nhận gói dữ liệu đầu tiên $RxTime(x, l)$, thời gian truyền gói dữ liệu $TxTime(x, l)$, và thời gian kết thúc qua trình truyền dữ liệu bùng nổ $EndTime(x)$ như sau:

$$nslots = 2 \times nPackets + L - 3 \quad (3)$$

$$IPT = nslots \times slotLen \quad (4)$$

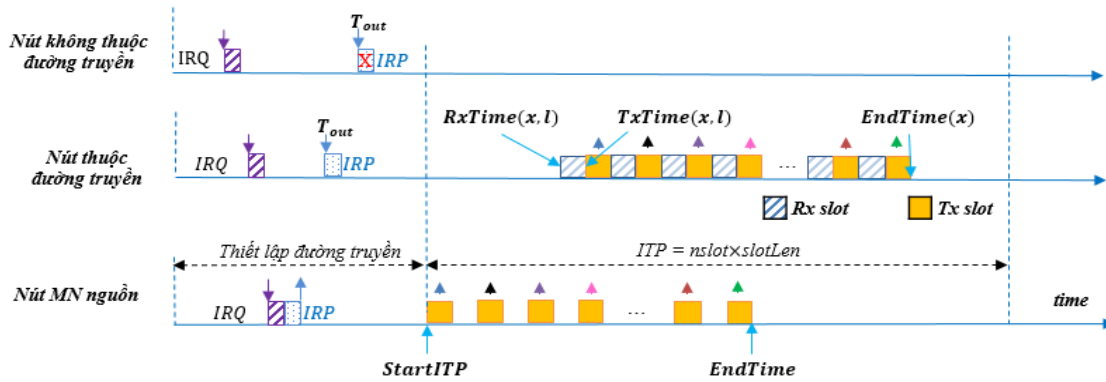
$$RxTime(x, l) = StartIPT + (L - l - 1) \times slotLen$$

$$TxTime(x, l) = StartIPT + (L - l) \times slotLen \quad (5)$$

$$EndTime(x, k) = StartIPT + (L - l - 1) \times slotLen + (2 \times nPackets) \times slotLen$$

ở đó $StartIPT$ là thời điểm bắt đầu quá trình truyền bùng nổ, được tính như sau:

$$StartIPT = (L - 1) \times (T_{IRP} + T_{IRQ}) \quad (6)$$



Hình 3. Tính toán khe thời gian của các nút

Hình 3 mô tả một quá trình tính toán khe thời gian truyền, trong đó IPT được chia thành $nSlots$ tương ứng với số khe cần thiết để truyền $nPackets$ từ một nút đa phương tiện ở cấp độ L . Vì phạm vi gây nhiễu của tín hiệu xấp xỉ gấp đôi phạm vi truyền [14], khi áp dụng kỹ thuật tái sử dụng khe thời gian theo không gian chỉ cần sử dụng hai kênh là đủ để các nút ở hai cấp độ khác nhau sử dụng các kênh khác nhau cho truyền nhận và các ở bốn cấp độ khác nhau nút sử dụng cùng một kênh. Các công thức sau được rút ra để xác định kênh truyền Ch_l^{Tx} và kênh nhận Ch_l^{Rx} ở cấp độ l :

$$\begin{aligned} Ch_l^{Rx} &= ((Q(l) + R(l)) \bmod 2) + 1 \\ Ch_l^{Tx} &= ((Q(l-1) + R(l-1)) \bmod 2) + 1, l \neq 1 \end{aligned} \quad (7)$$

ở đó $Q(l) = l \div 2$, $R(l) = l \bmod 2$, và giá trị 2 biểu thị sử dụng hai kênh truyền khác nhau. Như vậy khi cấu trúc cây được thiết lập các nút xác định được cấp độ của nó và có thể xác định kênh truyền nhận dữ liệu của mình.

2.5. Nguyên tắc truyền nhận

Nút x bắt đầu khe thời gian nhận ($Rx slot$) thứ k tại $RxTime(x, k)$ và khe thời gian truyền ($Tx slot$) thứ k tại $TxTime(x, k)$. Trong khe nhận, $Rx slot$, khi nhận được gói tin, nút đường truyền sẽ phản hồi với ACK, trong khi đó nút hợp tác chỉ lưu gói tin đã nhận. Trong khe gửi, $Tx slot$, nút đường truyền sẽ được ưu tiên truyền so với nút hợp tác, do đó nó truyền gói tin đã nhận ngay lập tức. Ngược lại, nút hợp tác sẽ truyền gói tin đã lưu trữ khi nó không nghe được gói tin phản hồi ACK hoặc không nghe được gói tin mà nút đường truyền đã chọn nó là nút hợp tác gửi đi với một khoảng thời gian chậm ($delayslot$), để tránh va chạm.

Theo nguyên tắc này xung đột truyền không bao giờ xảy ra và một nút đường truyền không bao giờ phát lại gói tin. Hơn nữa, thời gian xử lý hình ảnh có thể được tính dựa trên số lượng gói tin và

mức độ của nút đa phương tiện nguồn, như được biểu thị trong công thức (4). Do đó, thời gian trễ tối đa cho việc truyền hình ảnh có thể được dự đoán trước.

2.6. Tính toán khe thời gian truyền nhận

Thời gian truyền, nhận gói tin x kí hiệu $TimeMsg(x)$, được tính như sau [15]:

$$TimeMsg(x) = t_{mr}(x) + t_{turnon} + t_{CCA} + t_{ppd} + t_{Tx}(x) + t_{pp}(x) + t_{rm}(x) \quad (8)$$

Trong đó, t_{mr} là thời gian để truyền gói tin từ bộ vi điều khiển (MCU) đến bộ đệm của radio chip, t_{turnon} là thời gian trễ để bật bộ điều khiển radio chip, t_{CCA} là thời gian đánh giá kênh truyền rồi, t_{ppd} là thời gian trễ xử lý ở lớp vật lý, t_{Tx} là thời gian để truyền một gói tin ra khỏi ăng ten, t_{pp} là thời gian bức xạ gói tin trong không gian, và t_{rm} là thời gian để truyền một thông điệp từ chip radio đến MCU ở phía nhận. Trong tính toán này thời gian bức xạ gói tin với tốc độ ánh sáng qua không gian là không đáng kể so với thời gian truyền gói tin.

Độ dài của một khe thời gian $Len(slot)$ là thời gian đủ để truyền, nhận gói tin x và ACK. Do đó, bất đẳng thức sau được sử dụng để xác định giới hạn dưới của một khe thời gian:

$$Len(slot) \geq delayslot + TimeMsg(x) + TimeMsg(ACK) \quad (9)$$

ở đó $delayslot$ tương ứng với thời gian truyền của 20 symbols và thời gian CCA time tương ứng với thời gian truyền của 8 symbols. Vì tốc độ truyền dữ liệu của mạng cảm biến sử dụng chuẩn vật lý IEEE 802.15.4 là 250 kbps, (1 symbol gồm 4 bits), do đó $t_{CCA} = 0.128 ms$, $t_{ppd} = 0.192 ms$, và $delayslot = 0.32 ms$. Một gói tin khi truyền đi sẽ được cộng thêm 11 byte gồm SHR (synchronization header) 5 byte, PHR (physical header) 1 byte, MHR (MAC header) 3 byte, và MFR (MAC footer) 2 byte. Do đó, thời gian truyền $t_{Tx}(x)$ của gói tin x được tính toán như sau:

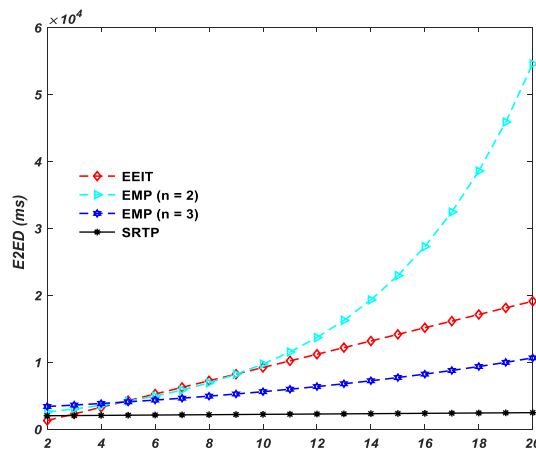
$$t_{Tx}(x) = 0.032 \times (11 + payload(x)) \quad (ms) \quad (10)$$

với $payload(x)$ là độ lớn dữ liệu của gói tin x .

3. Kết quả đánh giá giao thức

Trong phần này, giao thức *SRTP* được đánh giá với hai giao thức đa phương tiện: *EEIT* [11] giao thức sử dụng một đường truyền đơn, truyền lại từng bước, và *EMP* [12] giao thức sử dụng nhiều đường truyền không có nút chung, truyền lại trên toàn tuyến. Đầu tiên, thời gian để truyền (E2ED) một hình ảnh được chia nhỏ thành 220 gói tin từ nút đa phương tiện nguồn đến nút chủ được phân tích. Sau đó, tỷ lệ gửi các gói tin thành công và sự tiêu thụ năng lượng trung bình của các giao thức được đánh giá với nhau.

3.1. Trễ truyền nhận



Hình 4. Thời gian truyền của các giao thức

E2ED của một hình ảnh với sự tăng khoảng cách của nút đa phương tiện nguồn khi sử dụng các giao thức truyền ảnh khác nhau được thể hiện trong Hình 4. Trong đó, n là số lần cho phép để truyền một gói tin trong mỗi bước truyền của giao thức *EMP*. Ta thấy, khi số bước truyền tăng thời gian truyền một ảnh của các giao thức *EEIT* và *EMP* tăng nhanh, trong khi trễ truyền của giao thức *SRTP* ổn định, thấp hơn, và gần như không đổi. Thời gian truyền một ảnh của *SRTP* trung bình ít hơn ba giây. Điều này cho thấy giao thức đề xuất cho trễ truyền ảnh từ MN tới nút chủ ổn định, phù hợp với khoảng cách cần truyền xa của nút đa phương tiện.

3.2. Độ tin cậy

3.2.1. Công cụ, kịch bản mô phỏng

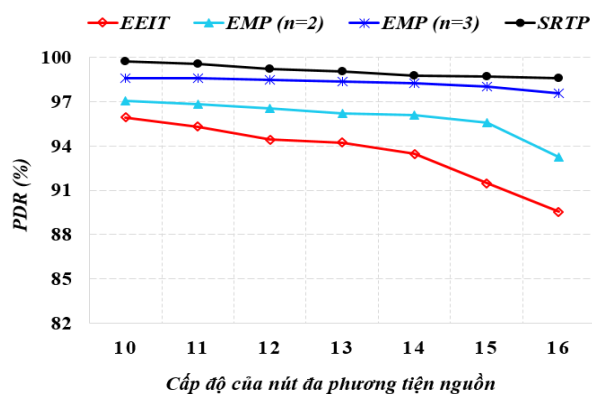
QualNet phiên bản 5.0.2 với các thông số mô phỏng và giá trị của chúng được thể hiện trong Bảng 1. Trong đó, mô hình nền tảng MicaZ có một radio tuân thủ tiêu chuẩn IEEE 802.15.4 và được điều khiển bởi một bộ vi điều khiển được sử dụng để mô phỏng và phân tích hoạt động của mạng cảm biến không dây. *SRTP* đã được so sánh với *EEIT*- giao thức tiêu biểu cho mức tiết kiệm về năng lượng, đã được triển khai trên thực nghiệm và *EMP*- giao thức đặc trưng cho độ tin cậy cao của các gói tin khi truyền sử dụng kịch bản mạng gồm một nút chủ và 30 nút cảm biến được sắp xếp trong khu vực hình chữ nhật kích thước $15 \times 150 \text{ m}^2$. Mô hình pha đỉnh đa đường Ricean được sử dụng để đánh giá ảnh hưởng của mô hình.

Bảng 1. Tham số cho mô phỏng và giá trị của nó

Tham số	Giá trị
Số lượng gói tin ứng với 1 ảnh	220
Phạm vi truyền	$\approx 10 \text{ m}$ (-30dBm)
Tần số	2,4 và 2,43 GHz
Mô hình suy hao	Two-ray
Mô hình Shadowing	Constant (Mean = 4dB)
Cường độ nhiễu	10 dB
Mô hình năng lượng của nút cảm biến	MicaZ
Mô hình nguồn pin	Linear

Để đánh giá độ tin cậy của các giao thức khi truyền tin bùng nổ chúng ta sử dụng tiêu chí tỷ lệ phân phối gói tin thành công (PDR) được xác định là tỷ số giữa số gói tin nhận được tại nút chủ so với tổng số gói tin được truyền đi từ nút đa phương tiện nguồn khi mà thay đổi số bước truyền và mức độ tác động của pha đỉnh đa đường.

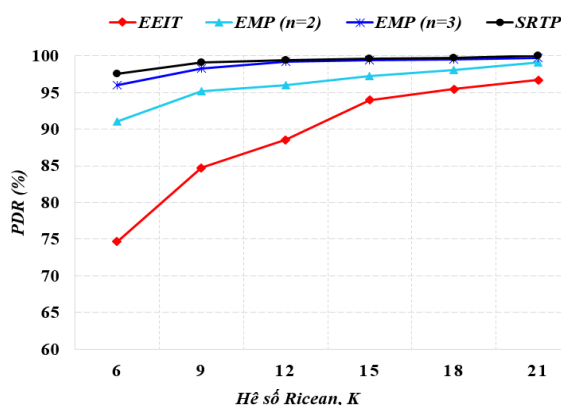
3.2.2. Đánh giá theo cấp độ của nút đa phương tiện



Hình 5. Tỷ lệ phân phối gói tin theo cấp độ

Như được thể hiện trong Hình 5, giao thức SRTP và EMP ($n=3$) đều cho tỷ lệ PDR cao, nhưng SRTP duy trì tỷ lệ ổn định và ít nhạy cảm đối với việc tăng khoảng cách hay số bước truyền giữa MN và nút chủ. Giao thức SRTP cho phép truyền các gói tin của một ảnh qua 15 bước truyền đến đích với tỷ lệ mất dữ liệu ít hơn 1,5%. Trong khi EEIT có độ nhạy cảm cao với khoảng cách truyền. Lưu ý rằng với khoảng cách giữa MN và nút chủ tương ứng với 15 bước truyền, thì khoảng cách PDR của SRTP và EEIT đạt khoảng 10%. Khoảng cách này gần như gấp đôi khoảng cách PDR của giao thức này ứng với 10 bước truyền. Ngoài ra, EMP nhạy cảm hơn SRTP một chút vì việc gửi lại trên toàn đường truyền sẽ trở nên ít hiệu quả với số bước truyền lớn từ MN đến nút chủ.

3.2.3. Đánh giá theo tác động pha đỉnh đa đường



Hình 6. Tỷ lệ phân phối gói tin khi chịu tác động của pha đỉnh đa đường

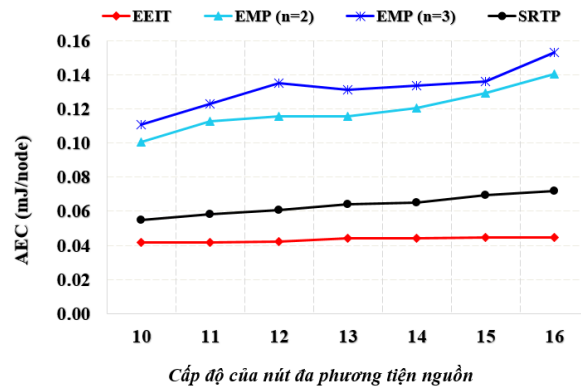
Mô hình pha đỉnh đa đường Ricean được sử dụng với hệ số Ricean K được xác định là tỷ lệ của công suất thu trong đường trực tiếp so với công suất trong các đường khác. Mức độ tác động của pha đỉnh đa đường được điều chỉnh bằng cách thay đổi giá trị của hệ số Ricean, K .

Hình 6 cho thấy, giao thức SRTP và EMP đều cho thấy PDR rất tốt, vì SRTP sử dụng đường truyền dẫn hợp tác và EMP sử dụng các kiểu truyền lại để đảm bảo độ tin cậy, trong khi SRTP đạt được PDR cao hơn một chút so với EMP. Với cùng lý do đó, cả SRTP và EMP đều ít nhạy cảm với sự tăng tác động của pha đỉnh (giảm giá trị K). Tuy nhiên, PDR trong EEIT giảm đáng kể khi giá trị K giảm vì giao thức này chỉ sử dụng một đường truyền duy nhất và chỉ truyền lại theo từng bước. Điều này cũng chứng tỏ, việc truyền lại trên toàn tuyến của EMP cải thiện được PDR.

3.3. Năng lượng tiêu thụ

Để đánh giá sự hiệu quả về năng lượng của các giao thức khi truyền tin bùng nổ chúng ta sử dụng tiêu chí mức tiêu thụ năng lượng trung bình (AEC), là năng lượng trung bình tiêu thụ bởi một nút để truyền tải một hình ảnh từ nút đa phương tiện nguồn đến nút chủ.

Hình 7 cho thấy giao thức SRTP tiêu thụ ít năng lượng hơn EMP, vì nó không cho phép gửi lại. Hơn nữa, EMP cho thấy một sự tăng năng lượng tiêu thụ liên tục khi tăng bước truyền. Điều này là do EMP sử dụng gửi lại trên toàn đường truyền. Ngược lại, EEIT luôn cho thấy AEC thấp nhất và AEC giảm nhẹ khi tăng khoảng cách truyền. Điều này là do các gói tin bị mất chỉ được truyền lại từng bước, và không ảnh hưởng tới việc tiêu thụ năng lượng các nút cấp độ thấp. Tuy nhiên, lưu ý rằng EEIT mất nhiều gói tin hơn khi tăng số bước truyền, như được thể hiện Hình 5.



Hình 7. Mức tiêu thụ năng lượng trung bình

4. Kết luận

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một giao thức định tuyến-truyền thông minh (*SRTP*) để đáp ứng các giới hạn về độ trễ và tỷ lệ mất gói tin trong việc truyền dữ liệu bùng nổ qua mạng cảm biến không dây. Giao thức *SRTP* được đặc trưng bởi việc sử dụng một đường truyền dữ liệu có tính linh động, hợp tác cao để cải thiện độ tin cậy trong truyền các gói tin cũng như sử dụng kỹ thuật tái sử dụng khe thời gian theo không gian để rút ngắn thời gian truyền ảnh. Kết quả mô phỏng cho thấy, giao thức cho phép truyền ảnh qua khoảng cách lớn đến đích với tỷ lệ mất dữ liệu ít hơn 1,5% và thời gian truyền hình ảnh ít chưa tới ba giây. Chúng tôi tin rằng những kết quả này có thể đáp ứng được hầu hết các yêu cầu giám sát bằng mạng WSN. Hơn nữa, giao thức *SRTP* đã cho thấy hiệu quả cao trong tiêu thụ năng lượng so với các giao thức gần đây.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] W. Zhang *et al.*, "Adaption Resizing Communication Buffer to Maximize Lifetime and Reduce Delay for WVSNS," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 48266-48287, 2019.
- [2] V. Jeličić and V. Bilas, "Reducing power consumption of image transmission over IEEE 802.15.4/ZigBee sensor network," in *2010 IEEE Instrumentation & Measurement Technology Conference Proceedings*, 2010, pp. 1211-1215.
- [3] C. Li, P. Wang, H. Chen, and M. Guizani, "A Cluster Based On-demand Multi-Channel MAC Protocol for Wireless Multimedia Sensor Networks," in *2008 IEEE International Conference on Communications*, 2008, pp. 2371-2376.
- [4] S. Li, J. G. Kim, D. Han, and K. S. Lee, "A Survey of Energy-Efficient Communication Protocols with QoS Guarantees in Wireless Multimedia Sensor Networks," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 19, no. 1, p. 199, 2019.
- [5] M. E. E. D. A. E. Kader, A. A. A. Youssif, and A. Z. Ghalwash, "Energy Aware and Adaptive Cross-Layer Scheme for Video Transmission Over Wireless Sensor Networks," *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, no. 21, pp. 7792-7802, 2016.
- [6] B. T. Nguyen, L. Murphy, and G. Muntean, "Energy-Efficient QoS-Based Congestion Control for Reliable Communications in Wireless Multimedia Sensor Networks," in *2018 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops)*, 2018, pp. 1-6.
- [7] N. Abbas and F. Yu, "A Traffic Congestion Control Algorithm for Wireless Multimedia Sensor Networks," in *IEEE Sensors*, 2018, pp. 1-4.
- [8] W. Yang, D. Li, and F. Liang, "Sina Weibo Bursty Event Detection Method," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 163160-163171, 2019.
- [9] D. H. Hoang and T. T. D. Le, "RCOAP: A Rate Control Scheme for Reliable Bursty Data Transfer in IoT Networks," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 169281-169298, 2021.

-
- [10]D. Georgantas and P. Baziana, "Traffic Burstiness Study of an Efficient Bandwidth Allocation MAC Scheme for WDM Datacenter Networks," in *2023 IEEE International Mediterranean Conference on Communications and Networking (MeditCom)*, 2023, pp. 169-174.
- [11]S. M. Aziz and D. M. Pham, "Energy Efficient Image Transmission in Wireless Multimedia Sensor Networks," *IEEE Communications Letters*, vol. 17, no. 6, pp. 1084-1087, 2013.
- [12]D. Pyeon and H. Yoon, "An efficient multi-path pipeline transmission for a bulk data transfer in IEEE 802.15.4 multi-hop networks," *Wireless Networks*, vol. 25, no. 1, pp. 117-130, 2019.
- [13]O. Incel, L. Hoesel, P. Jansen, and P. Havinga, "MC-LMAC: A multi-channel MAC protocol for wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 9, pp. 73-94, 2011.
- [14]V. Gabale, K. Chebrolu, B. Raman, and S. Bijwe, "PIP: A multichannel, TDMA-based MAC for efficient and scalable bulk transfer in sensor networks," *ACM Transactions on Sensor Networks*, vol. 8, no. 4, pp. 1-34, 2012.
- [15]P. Vinh and H. Oh, "Optimized Sharable-Slot Allocation Using Multiple Channels to Reduce Data-Gathering Delay in Wireless Sensor Networks," *Sensors*, vol. 16, p. 505, 2016.