EACTP: Giao thức cây thu thập dữ liệu với thông lượng cao và đảm bảo sự cân bằng năng lượng

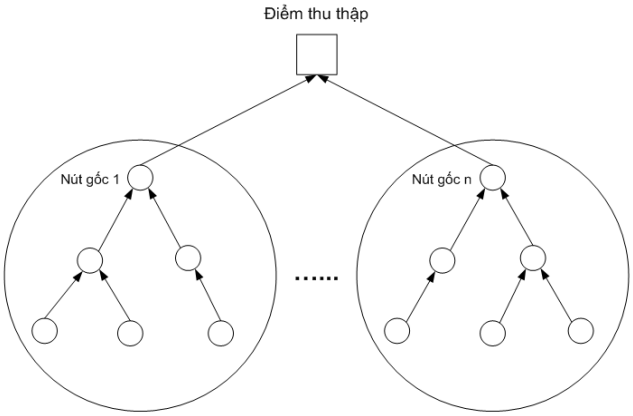
EACTP: A Collection Tree Protocol with High Throughput and Balanced Energy

Vũ Chiến Thắng, Nguyễn Chấn Hùng, Lê Nhật Thăng

***Abstract**: A Wireless Sensor Network consists of many tiny nodes with the constraints of processing capability, memory, communication range and power. The communication algorithms for wireless sensor networks are designed to operate in these constraints. In this paper, we propose and design an Energy Aware Collection Tree Protocol (EACTP) with high throughput and balanced energy in order to balance sensor nodes' energy of the routes that have good link quality and improve the lifetime of sensor nodes. EACTP uses the link quality metric (ETX - Expected Transmission) and the Energy State (ES) of sensor nodes to select the optimal route. The experimental results with TUmote (Thainguyen University mote) show that EACTP guarantees the energy balance between the sensor nodes and the sensor nodes' lifetime is improved better than the original CTP.*

I. GIỚI THIỆU

Hiện nay, các ứng dụng chính của mạng cảm biến không dây là thu thập thông tin trong trường cảm biến. Vì vậy, các giao thức thu thập dữ liệu nhận được nhiều sự quan tâm nghiên cứu trong cộng đồng mạng cảm biến không dây. Một trong những giao thức thu thập dữ liệu hiệu quả nhất cho mạng cảm biến không dây đó là giao thức cây thu thập dữ liệu - CTP (Collection Tree Protocol). Giao thức CTP được xây dựng dựa trên phương pháp tiếp cận định tuyến phẳng, tự tổ chức. Giao thức CTP cho phép truyền thông hiệu quả từ các nút mạng trong trường cảm biến đến một trong các nút gốc.



Hình 1. Cấu trúc liên kết mạng.

Hiện tại, giao thức CTP sử dụng thước đo định tuyến là số lần truyền kỳ vọng ETX (Expected Transmission) [1] để lựa chọn tuyến đường tối ưu. Tuyến đường có ETX nhỏ nhất là tuyến đường có số lần truyền đến nút gốc ít nhất và cũng là tuyến đường hiệu quả về mặt năng lượng nhất. Tuy nhiên, giao thức CTP hiện tại không đảm bảo được vấn đề cân bằng năng lượng giữa các nút mạng. Một số nút mạng thuộc tuyến đường tối ưu sẽ hết năng lượng nhanh hơn các nút còn lại và sẽ tạo thành các lỗ hổng trong mạng, làm giảm hiệu năng của toàn bộ hệ thống mạng. Một số công trình nghiên cứu gần đây [2, 3] cũng đã chỉ ra nhược điểm này của giao thức CTP.

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất và thiết kế giao thức EACTP (Energy Aware Collection Tree Protocol) với thông lượng cao và đảm bảo sự cân bằng năng lượng. Giao thức EACTP sử dụng thước đo định tuyến ETX và trạng thái năng lượng còn lại ES của nút chuyển tiếp để lựa chọn tuyến đường tối ưu. Giao thức EACTP được thiết kế dựa trên giao thức CTP nhằm

đảm bảo sự cân bằng năng lượng giữa các nút mạng thuộc tuyến đường tối ưu và nâng cao thời gian sống của các nút mạng. Giao thức EACTP cải tiến giao thức CTP ở ba khía cạnh chính: Thứ nhất, giao thức EACTP bổ sung thành phần ước lượng năng lượng còn lại trên mỗi nút cảm biến; Thứ hai, giao thức EACTP bổ sung một thước đo định tuyến mới đó là trạng thái năng lượng còn lại ES (Energy State) để xác định tuyến đường tối ưu trong mạng; Thứ ba, giao thức EACTP thay đổi thuật toán lựa chọn tuyến đường tối ưu dựa trên sự kết hợp của hai thước đo định tuyến là ETX và ES.

II. CÁC NGHIÊN CỨU CÓ LIÊN QUAN

II.1. Định tuyến với tổng năng lượng tối thiểu MTPR (Minimal Total Power Routing)

Một trong những đề xuất ban đầu cho các thước đo định tuyến liên quan đến năng lượng đó là tối thiểu năng lượng tiêu thụ trên mỗi bản tin. Singh và cộng sự [7] đã thực hiện ý tưởng này như sau: Gọi $e_{i,j}$ biểu thị năng lượng tiêu thụ để truyền một bản tin từ nút i đến một nút j lân cận. Nếu một bản tin phải đi qua một tuyến đường p bao gồm các nút n_1,.., n_k thì tổng năng lượng E cần thiết để truyền bản tin là:

$$E = \sum_{i=1}^{k-1} e_{n_i, n_{i+1}} \quad (1)$$

Trong một tập P các tuyến đường có thể, tuyến đường được lựa chọn là tuyến đường có tổng năng lượng tiêu thụ là nhỏ nhất. Nhược điểm của thước đo định tuyến MTPR đó là nó không cung cấp thông tin về thời gian sống còn lại của pin. Tuyến đường tìm được có năng lượng tiêu thụ trên mỗi bản tin là nhỏ nhất nhưng lại có thể dẫn đến việc một số nút mạng sẽ hết năng lượng nhanh hơn các nút mạng khác.

II.2. Định tuyến với chi phí nguồn pin nhỏ nhất (Minimum Battery Cost Routing)

Để đảm bảo sự cân bằng năng lượng tiêu thụ trên tất cả các nút trong mạng và giải quyết nhược điểm của thước đo định tuyến MTPR thì dung lượng pin còn lại trên mỗi nút cảm biến được quan tâm đến trong thước đo định tuyến MBCR [8]. Thước đo MBCR dựa vào dung lượng pin còn lại trên mỗi nút cảm biến. Mỗi nút cảm biến được gán một chi phí. Chi phí này được tính bằng nghịch đảo dung lượng pin còn lại trên nút cảm biến. Trong một tập P các tuyến đường có thể, tuyến đường được lựa chọn là tuyến đường có tổng chi phí năng lượng là nhỏ nhất. Nhược điểm của thước đo định tuyến MBCR đó là tuyến đường được lựa chọn có thể bao gồm một số nút mạng có dung lượng pin còn lại ở mức thấp. Những nút mạng này sẽ hết năng lượng nhanh hơn các nút mạng khác.

II.3. Giao thức định tuyến nhận thức về năng lượng EAR (Energy Aware Routing)

Giao thức định tuyến có sự nhận thức về năng lượng EAR [9] được đề xuất bởi Rahul C. Shah và các cộng sự duy trì một tập các tuyến đường tốt thay vì chỉ lựa chọn một tuyến đường tối ưu. Giao thức EAR sử dụng thước đo năng lượng để xác định các tuyến đường tốt. Thước đo năng lượng này được xác định bởi cả chi phí chuyển phát một bản tin và năng lượng còn lại của các nút chuyển tiếp.

Giao thức EAR tồn tại hai nhược điểm chính đó là: Thứ nhất, giao thức EAR dựa vào năng lượng còn lại của cả tuyến đường mà bỏ qua sự khác nhau về năng lượng của từng nút riêng lẻ trên tuyến đường. Một tuyến đường còn nhiều năng lượng không có nghĩa là tất cả các nút trên tuyến đường đó còn nhiều năng lượng. Thứ hai, giao thức EAR xác định thước đo chi phí năng lượng dựa trên sự hỗ trợ về phần cứng trên các nút cảm biến. Tuy nhiên, không phải mọi phần cứng đều hỗ trợ khả năng này.

II.4. Giao thức định tuyến E-Span (Energy-Aware Spanning Tree Algorithm)

Trong bài báo [10], các tác giả đã đề xuất giao thức định tuyến E-Span. Trong đó, nút có năng lượng còn lại ở mức cao nhất sẽ được chọn làm nút gốc. Các nút khác sẽ lựa chọn nút cha (nút lân cận tốt nhất) trong số các nút lân cận dựa trên mức năng lượng còn lại và số bước nhảy đến nút gốc.

Nhược điểm chính của giao thức định tuyến này đó là tuyến đường tối ưu được lựa chọn dựa vào thước đo định tuyến số bước nhảy. Thước đo định tuyến này

không xét đến hiệu suất của từng liên kết trên tuyến đường từ nguồn đến đích. Mạng cảm biến không dây bao gồm nhiều liên kết tổn hao. Vì vậy, các tuyến đường với số bước nhảy tối thiểu hoàn toàn có thể bao gồm những liên kết tổn hao và điều này làm giảm thông lượng của mạng. Bản tin có thể phải việc truyền lại nhiều lần gây lãng phí về năng lượng.

II.5. Giao thức định tuyến có sự nhận thức về năng lượng và cân bằng tải

Trong bài báo [11], các tác giả đã đề xuất giao thức định tuyến có sự nhận thức về năng lượng và đảm bảo sự cân bằng tải trong mạng. Các tác giả đề xuất cơ chế ước lượng năng lượng tiêu thụ dựa vào các hoạt động (truyền, nhận) của bộ thu phát vô tuyến. Bước nhảy kế tiếp được lựa chọn là nút có năng lượng còn lại ở mức cao nhất. Một nút mạng được xác định là quá tải dựa trên số lượng các bản tin truyền, nhận của bộ thu phát vô tuyến.

Nhược điểm của giao thức định tuyến này đó là tuyến đường tối ưu được lựa chọn dựa vào năng lượng còn lại trên nút chuyển tiếp. Thước đo định tuyến này cũng có nhược điểm giống như thước đo định tuyến số bước nhảy khi không xét đến chất lượng liên kết giữa các nút mạng. Điều này có thể dẫn đến việc truyền lại bản tin nhiều lần, gây ra sự lãng phí năng lượng và sự quá tải của các nút trong mạng. Ngoài ra, mô hình năng lượng tiêu thụ của nút cảm biến được sử dụng trong giao thức này cũng chỉ xét đến năng lượng tiêu thụ của bộ thu phát vô tuyến mà chưa kể đến các thành phần tiêu thụ năng lượng khác.

III. THIẾT KẾ GIAO THỨC EACTP

III.1. Mục tiêu thiết kế và những thách thức

Mục tiêu chính khi thiết kế giao thức EACTP đó là đề xuất một giao thức cây thu thập dữ liệu với thông lượng cao và có sự nhận thức về năng lượng nhằm đảm bảo sự cân bằng năng lượng giữa các nút mạng thuộc những tuyến đường có chất lượng liên kết tốt và nâng cao thời gian sống của các nút mạng. Một số thách thức đặt ra khi thiết kế giao thức EACTP đó là:

Thứ nhất, cần phải xác định được năng lượng còn lại trên mỗi nút cảm biến. Cách xác định năng lượng còn lại trên mỗi nút cảm biến cần thực hiện được trên nhiều kiến trúc phần cứng khác nhau và không làm phát sinh thêm bất kỳ một chi phí nào về phần cứng.

Thứ hai, cần phải đưa ra một thước đo định tuyến phù hợp dựa trên thông tin về năng lượng còn lại trên mỗi nút cảm biến. Thước đo định tuyến mới đề xuất cần phản ánh được các trạng thái năng lượng còn lại trên mỗi nút cảm biến. Thước đo định tuyến này được phát quảng bá cho các nút lân cận thông qua các bản tin điều khiển và được cập nhật thường xuyên trong bảng định tuyến của các nút lân cận. Điều này sẽ làm phát sinh thêm chi phí mới về năng lượng trong việc gửi các bản tin điều khiển.

Thứ ba, tuyến đường tối ưu được lựa chọn trong giao thức EACTP phải thỏa mãn các tiêu chí của việc định tuyến trong mạng cảm biến không dây đó là tuyến đường lựa chọn phải có tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu thành công đến nút gốc ở mức cao và đây cũng là tuyến đường hiệu quả về mặt năng lượng.

III.2. Ước lượng năng lượng còn lại trên nút cảm biến

Năng lượng là vấn đề quan trọng trong các mạng cảm biến không dây. Nếu năng lượng tiêu thụ trên các nút cảm biến có thể ước lượng được thì các giao thức định tuyến có thể lựa chọn các tuyến đường tối ưu dựa vào thông tin năng lượng còn lại trên mỗi nút cảm biến nhằm tăng thời gian sống của toàn mạng lên tới 52% [12].

Năng lượng còn lại trên mỗi nút cảm biến được xác định theo công thức:

$$E_{residual} = E_0 - E_{consumption} \quad (2)$$

Trong đó: $E_{residual}$, E_0, $E_{consumption}$ lần lượt là năng lượng còn lại, năng lượng ban đầu và năng lượng tiêu thụ trên nút cảm biến.

Một số nền tảng phần cứng cho các mạng cảm biến không dây hiện nay như TUmote [13], IRIS, MicaZ, TelosB [14]... đều không hỗ trợ cơ chế đo năng lượng tiêu thụ của nút cảm biến dựa trên phần cứng. Các cơ

chế đo năng lượng dựa trên phần cứng thường gặp nhiều khó khăn khi được áp dụng vào các thiết kế phần cứng hiện tại bởi vì các cơ chế này thường yêu cầu khá nhiều sự điều chỉnh trên các thiết kế phần cứng. Chi phí để đo năng lượng dựa trên phần cứng có thể tăng lên tới 100% [15]. Trong khi đó, cơ chế ước lượng năng lượng tiêu thụ dựa trên phần mềm có thể được áp dụng trên các thiết kế phần cứng và các thiết kế phần mềm hiện tại mà không cần bổ sung thêm bất kỳ một chi phí về phần cứng nào.

Cơ chế ước lượng năng lượng dựa trên phần mềm sử dụng mô hình tiêu thụ năng lượng tuyến tính. Tổng năng lượng tiêu thụ được tính toán như sau [12]:

$$E_{consumption} = U(I_a t_a + I_l t_l + I_t t_t + I_r t_r + \sum_i I_{ci} t_{ci}) \quad (3)$$

Trong đó: U là điện áp nguồn cung cấp; I_a, t_a là dòng tiêu thụ và thời gian mà bộ vi xử lý hoạt động ở chế độ tích cực (active mode); I_l, t_l là dòng tiêu thụ và thời gian mà bộ vi xử lý hoạt động ở chế độ công suất thấp (low power mode); I_t, t_t là dòng tiêu thụ và thời gian bộ thu phát vô tuyến ở chế độ truyền (transmit); I_r, t_r là dòng tiêu thụ và thời gian bộ thu phát vô tuyến ở chế độ nhận (receive); I_{ci}, t_{ci} là dòng tiêu thụ và thời gian hoạt động của các bộ phận khác như cảm biến, LED...

Trong bài báo này, chúng tôi đánh giá giao thức EACTP sử dụng phần cứng TUmote [13]. Bảng 1 trình bày mô hình năng lượng cho TUmote. Các số liệu về dòng tiêu thụ được lấy từ các tài liệu kỹ thuật của các nhà sản xuất linh kiện.

Bảng 1. Mô hình năng lượng của TUmote.

Thành phần	Trạng thái	Dòng tiêu thụ
MSP430 F1611 [16]	Tích cực	1,95 mA
	Công suất thấp	0,0026 mA
CC2420 [16]	Truyền (0 dBm)	17,4 mA
	Truyền (-15dBm)	9,9 mA
	Nhận	19.7 mA
SHT11 [17]	Tích cực	0,55 mA

Trong mô hình năng lượng của TUmote, chúng tôi chỉ quan tâm đến các thành phần tiêu thụ năng lượng chính và bỏ qua các thành phần tiêu thụ năng lượng nhỏ khác.

III.3. Thước đo trạng thái năng lượng còn lại

Chỉ số năng lượng còn lại EI (Energy Indicator) trên mỗi nút cảm biến có thể được xác định theo công thức sau:

$$EI(\%) = \frac{E_{residual}}{E_0}.100\% \quad (4)$$

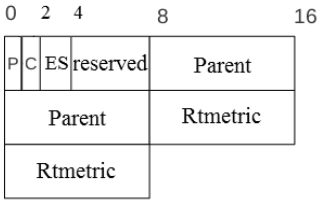
Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất ý tưởng ngưỡng chỉ số năng lượng thích ứng và mỗi nút cảm biến sẽ có một số trạng thái năng lượng khác nhau. Giá trị của ngưỡng chỉ số năng lượng được điều chỉnh thích ứng theo bốn trạng thái năng lượng còn lại của nút cảm biến. Các thuật toán thu thập dữ liệu hiện tại lựa chọn nút chuyển tiếp chỉ dựa vào một ngưỡng cụ thể và là một giá trị cố định. Điều này sẽ làm giảm hiệu năng của mạng. Bảng 2 mô tả bốn trạng thái năng lượng của nút.

Bảng 2. Trạng thái năng lượng còn lại.

Trạng thái	EI (%)	ES	Mô tả
0	30-100	00	Nhiều năng lượng
1	10-30	01	Thiếu hụt năng lượng
2	5-10	10	Thiếu nhiều năng lượng
3	0-5	11	Hết năng lượng

Hình 2 là cấu trúc bản tin điều khiển được sử dụng trong giao thức EACTP. Các trường trong bản tin điều khiển bao gồm: Bit P cho phép các nút yêu cầu thông tin định tuyến từ các nút khác; Bit C thông báo xảy ra hiện tượng tắc nghẽn; Trường reserved (6 bit) dự trữ; Trường Parent (16 bit) mang địa chỉ của nút cha hiện tại; Trường Rtmetric (16 bit) mang thước đo định tuyến hiện tại của nút.

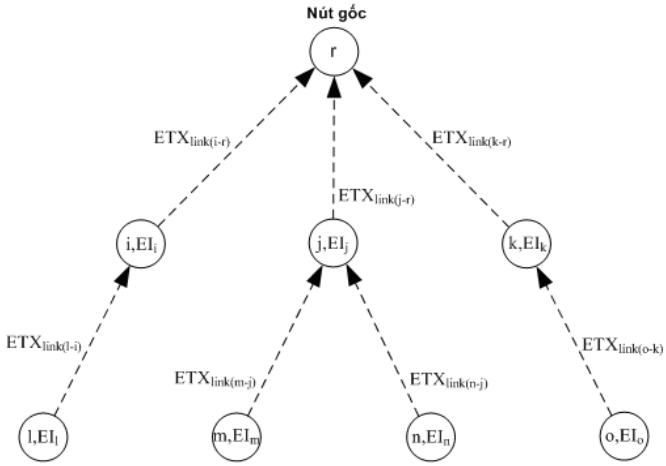
Bốn trạng thái năng lượng còn lại trên nút cảm biến có thể được mã hóa bởi 2 bit dự trữ (ES - Energy State) trong bản tin điều khiển. Vì vậy, giải pháp này không làm phát sinh thêm các chi phí mới về năng lượng trong việc gửi các bản tin điều khiển.



Hình 2. Cấu trúc bản tin điều khiển.

III.4. Thuật toán lựa chọn tuyến đường

Thuật toán lựa chọn tuyến đường dựa trên thông tin về chất lượng liên kết ETX và trạng thái năng lượng còn lại ES. Hình 3 minh họa một cấu trúc cây định tuyến EACTP.



Hình 3. Cấu trúc cây định tuyến EACTP.

Các nút tự tổ chức thành một cấu trúc dạng cây và dữ liệu luôn được gửi về nút cha cho đến khi đến được đỉnh của cây (nút gốc). Vị trí của các nút trong cây được xác định bởi thước đo tuyến đường rtmetric (route metric). Thước đo rtmetric của một nút được xác định bằng tổng thước đo ETX trên các liên kết thuộc tuyến đường từ nút đó đến nút gốc. Nút gốc ở đỉnh cây có giá trị rtmetric = 0. Các nút lá sẽ có giá trị rtmetric càng lớn khi càng xa nút gốc. Thuật toán lựa chọn tuyến đường được trình bày dưới dạng mã giả trong Hình 4.

IV. THỰC THI GIAO THỨC EACTP

Chúng tôi thực thi giao thức EACTP trên hệ điều hành Contiki. Contiki là một trong những hệ điều hành cho mạng cảm biến không dây phổ biến nhất thế giới hiện nay [18]. Giao thức EACTP được xây dựng trên ngăn xếp truyền thông RIME trong hệ điều hành Contiki. Hình 5 minh họa các thành phần chính của giao thức EACTP.

IV.1. Khối ước lượng chất lượng liên kết

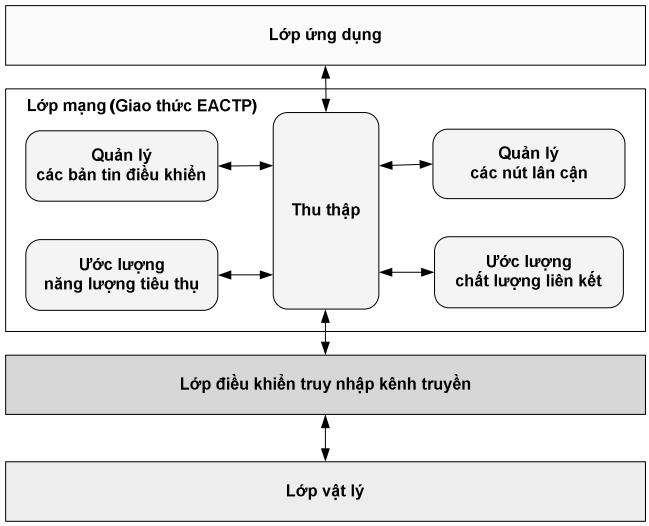
Khối ước lượng chất lượng liên kết thực hiện việc tính toán chất lượng liên kết giữa hai nút lân cận. Khối này tính toán chất lượng liên kết giữa hai nút mạng dựa trên sự thống kê các bản tin điều khiển nhận được và số bản tin dữ liệu được truyền thành công giữa hai nút mạng.

Thuật toán 1: Thuật toán lựa chọn tuyến đường

Đầu vào: Bảng định tuyến của nút s

```
best = NULL;
rtmetric = RTMETRIC_MAX;
for n = RoutingTable[i]
    if (n.rtmetric + ETX_{links-n} < rtmetric)&&(n.ES == 00)then
        rtmetric = n.rtmetric + ETX_{links-n};
        best = n;
    end
if best == NULL
    for n = RoutingTable[i]
        if (n.rtmetric + ETX_{links-n} < rtmetric)&&(n.ES == 01)then
            rtmetric = n.rtmetric + ETX_{links-n};
            best = n;
        end
end
if best == NULL
    for n = RoutingTable[i]
        if (n.rtmetric + ETX_{links-n} < rtmetric)&&(n.ES == 10)then
            rtmetric = n.rtmetric + ETX_{links-n};
            best = n;
        end
end
if best! = NULL then
    return best;
else
    rtmetric = RTMETRIC_MAX
    broadcast(rtmetric);
end
```

Hình 4. Thuật toán lựa chọn tuyến đường.



Hình 5. Các thành phần chính của giao thức EACTP.

IV.2. Khối ước lượng năng lượng tiêu thụ

Khối này có nhiệm vụ ước lượng năng lượng tiêu thụ trên nút cảm biến, tính toán chỉ số năng lượng còn lại EI và xác định trạng thái năng lượng còn lại ES của mỗi nút cảm biến.

IV.3. Khối quản lý các bản tin điều khiển

Khối quản lý các bản tin điều khiển có nhiệm vụ phát quảng bá thông tin về thước đo định tuyến của mỗi nút. Để thực hiện nhiệm vụ này, một bộ định thời được sử dụng để định kỳ phát quảng bá các bản tin điều khiển. Bản tin điều khiển mang thông tin về địa chỉ và các thước đo định tuyến của nút gửi.

IV.4. Khối quản lý các nút lân cận

Khối quản lý các nút lân cận lưu trữ thông tin của các nút lân cận trong bảng định tuyến. Các thông tin này bao gồm địa chỉ của nút lân cận và thước đo định tuyến chất lượng liên kết ETX và trạng thái năng lượng còn lại ES của các nút lân cận. Khối này chứa một bộ định thời để định kỳ xóa các nút lân cận trong bảng định tuyến khi các số liệu về thước đo định tuyến của nút đó không được cập nhật trong một khoảng thời gian dài. Ngoài ra, một thuật toán lựa chọn tuyến đường tối ưu cũng được thực thi trong khối này.

IV.5. Khối thu thập

Đây là khối trung tâm của giao thức EACTP. Khối này cung cấp các giao tiếp cho các lớp trên và lớp dưới. Khối này cũng thực hiện việc khởi tạo cho các khối còn lại. Nó thực hiện việc gửi và nhận các bản tin dữ liệu cũng như các bản tin xác nhận. Nếu có sự thay đổi về vị trí của nút hiện tại trong cấu trúc cây định tuyến thì khối này sẽ tác động đến khối quản lý các bản tin điều khiển để phát quảng bá các bản tin điều khiển nhằm thông báo cho các nút lân cận biết về những thay đổi này. Để tránh xảy ra hiện tượng trùng lặp các bản tin dữ liệu thì mỗi nút sẽ kiểm tra bản tin dữ liệu cần được chuyển tiếp với các bản tin dữ liệu vừa mới được chuyển tiếp gần nhất. Nếu bản tin này đã được chuyển tiếp thì nó sẽ bị loại bỏ.

V. ĐÁNH GIÁ GIAO THỨC EACTP

Để đánh giá hiệu năng giao thức EACTP, chúng tôi sử dụng hệ thống nghiên cứu thực nghiệm với mạng cảm biến không dây [13].

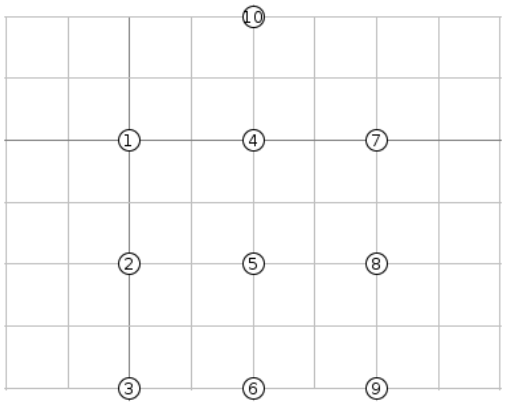
V.1. Kịch bản đánh giá

Bảng 3 tóm tắt kịch bản đánh giá hai giao thức CTP và EACTP.

Hình 6 là mô hình triển khai mạng gồm 10 nút. Các nút mạng định kỳ gửi bản tin dữ liệu về nút Sink là nút số 10.

Bảng 3. Kịch bản đánh giá.

Các tham số	Kịch bản 1	Kịch bản 2
Môi trường truyền sóng	Trong tầm nhìn thẳng	Cây cối tầm thấp
Số nút mạng (nút)	10	
Khoảng cách giữa các nút mạng mạng (m x m)	1,5 x 1,5	20 x 20
Năng lượng ban đầu của mỗi nút	10 J	
Công suất phát	-15 dBm	0 dBm
Chu kỳ gửi bản tin dữ liệu	60 s	
Nguồn gửi bản tin dữ liệu	Tất cả các nút trong mạng	
Giao thức lớp MAC [3]	CSMA/ContikiMAC	
Dữ liệu cảm biến	20 bytes	



Hình 6. Mô hình triển khai mạng gồm 10 nút.

V.2. Các tham số đánh giá

Chúng tôi đánh giá và so sánh hiệu năng giữa giao thức EACTP và giao thức CTP thông qua một số thước đo đánh giá sau.

a. Tỷ lệ các nút còn sống trong mạng

Tỷ lệ các nút còn sống trong mạng ANR (Alive Node Ratio) được xác định bằng tỷ số giữa số nút còn sống trong mạng và tổng số nút ban đầu trong mạng.

$$ANR(\%) = \frac{N_{alive_nodes}}{N}.100\% \quad (5)$$

Trong đó: N_{alive_nodes} là tổng số nút còn sống trong mạng; N là tổng số nút ban đầu trong mạng.

b. Tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu

Tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu DDR (Data Delivery Ratio) được xác định bằng tỷ số giữa số bản tin dữ liệu nhận được tại nút Sink và tổng số bản tin dữ liệu được gửi đi bởi tất cả các nút trong mạng.

$$DDR(\%) = \frac{N_{received}}{N_{data}}.100\% \quad (6)$$

Trong đó: $N_{received}$ là tổng số bản tin dữ liệu nhận được tại nút Sink; N_{data} là tổng số bản tin dữ liệu được gửi bởi tất cả các nút trong mạng.

Tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu (DDR) càng cao thì hiệu quả truyền thông trong mạng càng tốt và tỷ lệ các nút còn sống trong mạng càng cao.

c. Sự cân bằng năng lượng giữa các nút mạng

Để đánh giá sự cân bằng năng lượng giữa các nút mạng, chúng tôi dựa vào chỉ số năng lượng còn lại EI trên các nút mạng. Thước đo đánh giá sự cân bằng năng lượng EIB (Energy Indicator Balance) giữa các nút trong mạng được xác định theo công thức sau:

$$EIB = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} (\overline{EI} - EI_i)^2} \quad (7)$$

Trong đó: $\overline{EI}$ là chỉ số năng lượng còn lại trung bình trên các nút mạng.

d. Thời gian sống của mạng

Thời gian sống của mạng có thể được định nghĩa là khoảng thời gian bắt đầu một truyền dẫn đầu tiên ở trong mạng và kết thúc khi tỷ lệ phần trăm các nút hết năng lượng dưới một ngưỡng cho trước. Giá trị ngưỡng được thiết lập tùy thuộc vào từng ứng dụng.

Định nghĩa này có liên quan đến thời gian sống của một nút mạng và không xét đến vai trò cụ thể của các nút mạng bị hết năng lượng. Nếu tỷ lệ phần trăm được thiết lập là 100% thì thời điểm nút đầu tiên trong mạng hết năng lượng cũng là thời điểm kết thúc thời gian sống của mạng.

V.3. Kết quả đánh giá thực nghiệm

Hình 7, 8, 9 là kết quả đánh giá thực nghiệm với giao thức EACTP và giao thức CTP trong kịch bản 1. Hình 10, 11, 12 là kết quả đánh giá thực nghiệm với giao thức EACTP và giao thức CTP trong kịch bản 2.

Kết quả đánh giá thực nghiệm ở Hình 7, 8, 10, 11 cho thấy thời gian sống của các nút mạng khi mạng hoạt động theo giao thức EACTP được cải thiện tốt hơn so với giao thức CTP ban đầu. Tuy nhiên, giao thức EACTP vẫn đảm bảo được tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu ở mức cao (> 90%). Trong khoảng thời gian cuối, tỷ lệ các nút còn sống trong mạng khi mạng hoạt động theo giao thức EACTP cao hơn so với giao thức CTP nên giao thức EACTP có tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu cao hơn so với giao thức CTP ban đầu.

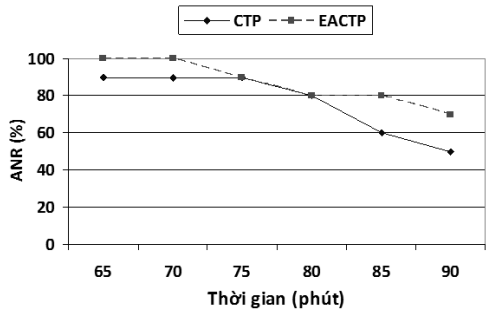
Kết quả đánh giá thực nghiệm ở Hình 9, 12 cho thấy giao thức EACTP đảm bảo được sự cân bằng năng lượng giữa các nút mạng tốt hơn so với giao thức CTP ban đầu. Điều này được thể hiện bởi đường cong EIB của giao thức EACTP thấp hơn so với đường cong EIB của giao thức CTP.

Hình 9, 12 cũng cho thấy trong khoảng thời gian cuối, tỷ lệ các nút còn sống trong mạng giảm, năng lượng còn lại trên các nút cảm biến giảm nên đường cong DDR và đường cong EIB của cả hai giao thức CTP và EACTP cũng giảm theo. Như vậy, kết quả đánh giá bằng thực nghiệm hoàn toàn phù hợp với phân tích lý thuyết.

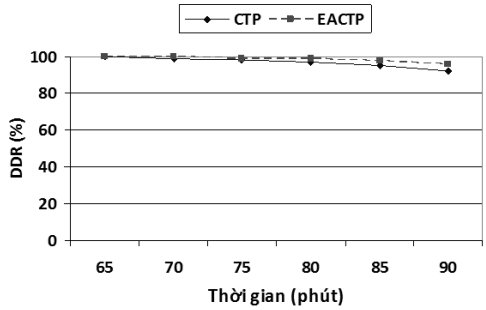
Nếu giá trị ngưỡng được thiết lập để xác định thời gian sống của mạng là 100% thì Hình 7 và Hình 10 cho thấy thời gian sống của mạng khi hoạt động theo giao thức EACTP được cải thiện tốt hơn so với giao thức CTP: Tăng 10 phút (tương ứng với 15,4% ở Hình 7) và tăng 5 phút (tương ứng với 7,7% ở Hình 10).

VI. KẾT LUẬN

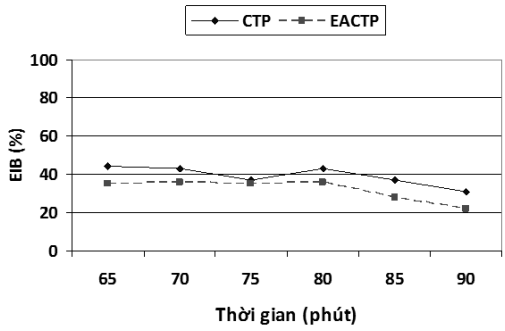
Trong bài báo này, chúng tôi đã trình bày về giải pháp thiết kế giao thức EACTP. Giao thức EACTP được thiết kế nhằm đảm bảo sự kết hợp giữa thông lượng cao và cân bằng năng lượng giữa các nút mạng thuộc tuyến đường tối ưu. Chúng tôi đã thực thi và đánh giá thực nghiệm với giao thức EACTP sử dụng phần cứng TUmote. Các kết quả đánh giá so sánh dựa trên thực nghiệm giữa giao thức EACTP và giao thức CTP cho thấy giao thức EACTP đạt được một số tiêu chí quan trọng đó là: Tăng được thời gian sống của các nút trong mạng; Đảm bảo được sự cân bằng năng lượng giữa các nút mạng thuộc những tuyến đường có chất lượng liên kết tốt; Đạt được tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu trong mạng ở mức cao; Không làm phát sinh thêm các chi phí mới về năng lượng trong việc gửi các bản tin điều khiển.



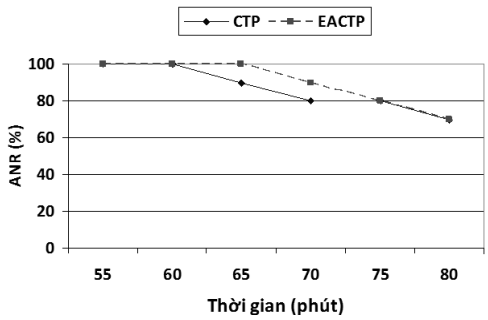
Hình 7. So sánh tỷ lệ các nút còn sống trong mạng.



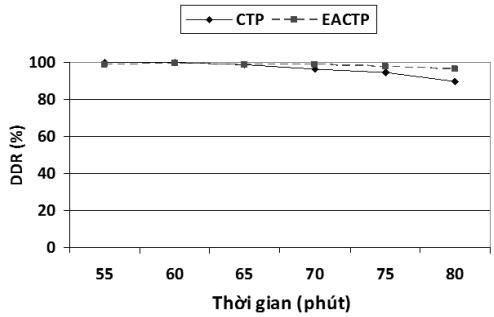
Hình 8. So sánh tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu.



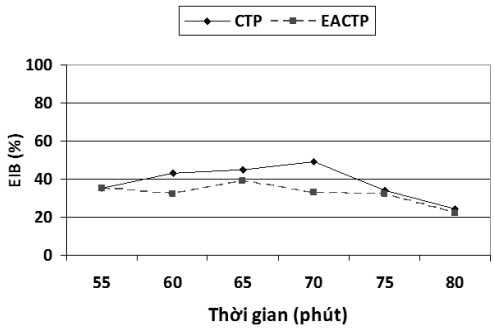
Hình 9. So sánh sự cân bằng năng lượng giữa các nút mạng.



Hình 10. So sánh tỷ lệ các nút còn sống trong mạng.



Hình 11. So sánh tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu.



Hình 12. So sánh sự cân bằng năng lượng giữa các nút mạng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] UGO COLESANTI, SILVIA SANTINI, *"The Collection Tree Protocol for the Castalia Wireless Sensor Networks Simulator"*, Technical Report Nr. 729, Department of Computer Science, ETH Zurich, June, 2011.

[2] OMPRAKASH GNAWALI, RODRIGO FONSECA, KYLE JAMIESON, DAVID MOSS, PHILIP LEVIS, *"Collection Tree Protocol"*, In Proceedings of the 7th ACM Conference on Embedded Net-worked Sensor Systems, Berkeley, CA, USA, November 2009, pp 1-14.

[3] VŨ CHIẾN THẮNG, NGUYỄN CHẤN HÙNG, LÊ NHẬT THĂNG, *"Một nghiên cứu so sánh hiệu năng giao thức cây thu thập dữ liệu với các giao thức MAC khác nhau"*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Đại học Đà Nẵng, số 5(66), trang 62-67, 2013.

[4] DE COUTO D, AGUAYO D, BICKET J, MORRIS R, *"A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing"*, In Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, New York, 2003, pp 134-146.

[5] JING ZHAO, LEI WANG, WENLONG YUE, ZHENGQUAN QIN, MING ZHU, *"Load Migrating for the Hot Spots in Wireless Sensor Networks using CTP"*, In Proceedings of Seventh International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks, 2011, pp 167-173.

[6] YONGJUN LI, HU CHEN, RONGCHUAN HE, RONG XIE, SHAOCONG ZOU, *"ICTP: An Improved Data Collection Protocol Based On CTP"*, In Proceedings of the International Conference on Wireless Communications and Signal, Suzhou, 2010, pp 1-5.

[7] S. SINGH, M. WOO, C. RAGHAVENDRA, *"Power-aware routing in mobile ad hoc networks"*, In The Fourth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Com-puting and Networking, 1998, pp. 181–190.

[8] J-P. SHEU, C-T. HU, C-M. CHAO, *"The Handbook of Ad Hoc Wireless Networks"*, Chapter Energy-Conserving Grid Routing Protocol in Mobile Ad Hoc Networks. RCR Press LLC, 2003.

[9] RAHUL C. SHAH , JAN M. RABAEY, *"Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks"*, in proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC'02), Orlando, FL, USA, March 2002, pp. 350-355.

[10] MARC LEE, VINCENT W.S. WONG, *"An Energy-Aware Spanning Tree Algorithm for Data Aggregation in Wireless Sensor Networks"*, In Proceedings of Communications, Computers and signal Processing, 2005, pp. 300-303.

[11] XIAOYAN HONG, MARIO GERLA, AND HANBIAO WANG, *"Load Balanced, Energy-Aware Communications for Mars Sensor Networks"*, In Proceedings of Aerospace Conference, 2002, Vol 3, pp.3-1109 - 3-1115.

[12] ADAM DUNKELS, FREDRIK OSTERLIND, NICOLAS TSIFTES, ZHITAO HE, *"Software-based Online Energy Estimation for Sensor Nodes"*, In Proceedings of the 4th workshop on Embedded networked sensors, 2007, pp. 28-32.

[13] VŨ CHIẾN THẮNG, NGUYỄN CHẤN HÙNG, LÊ NHẬT THĂNG, *"Về một hệ thống nghiên cứu thực nghiệm cho mạng cảm biến không dây"*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Đại học Đà Nẵng, số 3(64), trang 103-109, 2013.

[14] THANG VU CHIEN, HUNG NGUYEN CHAN, THANH NGUYEN HUU, *"A Comparative Study on Hardware Platforms for Wireless Sensor Networks"*, International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology, ISSN: 2088-5334, 2012, Vol 2, No. 1, pp. 70-74.

[15] X. JIANG, P. DUTTA, D. CULLER, I. STOICA, *"Micro power meter for energy monitoring of wireless sensor networks at scale"*, In Proceedings of the 6th international conference on Information processing in sensor networks, Cambridge, Massachusetts, USA, 2007, pp. 186–195.

[16] http://ti.com, [Online].

[17] http://www.sensirion.com, [Online].

[18] THANG VU CHIEN, HUNG NGUYEN CHAN, THANH NGUYEN HUU, *"A Comparative Study on Operating System for Wireless Sensor Networks"*, In Proceedings of International Conference Advanced Computer Science and Information System (ICACSIS), IEEE Conference Publication, 2011, pp. 73-78.

Nhận bài ngày: 08/11/2013

SƠ LƯỢC VỀ TÁC GIẢ

VŨ CHIẾN THẮNG

Sinh năm 1983 tại Thái Nguyên.

Nhận bằng Kỹ sư Điện tử Viễn thông và Thạc sĩ Kỹ thuật Điện tử trường ĐH Bách Khoa Hà Nội năm 2006 và 2008.

Hiện là Giảng viên của trường ĐH CNTT&TT Thái Nguyên, ĐH Thái Nguyên.

Đang là Nghiên cứu sinh tại Viện nghiên cứu Điện tử, Tin học, Tự động hóa.

Hướng nghiên cứu chính: thiết kế và thực hiện các hệ thống đo lường, điều khiển, các hệ thống nhúng và hệ thống mạng cảm biến không dây.

Điện thoại: 0904 909 692

E-mail: vcthang@ictu.edu.vn

LÊ NHẬT THĂNG

Sinh năm 1973 tại Hà Nội.

Nhận bằng Kỹ sư Điện tử Viễn thông trường ĐH Bách Khoa Hà Nội năm 1995, Thạc sĩ về Kỹ thuật Viễn thông của Viện Công nghệ Châu Á (AIT), Thái Lan năm 2000, Tiến sĩ CNTT&TT của trường Đại học Trento, Italy năm 2006.

Hiện là Trưởng Bộ môn Kỹ thuật Chuyển mạch, Khoa Viễn thông 1, Học viện CN Bưu chính Viễn thông.

Hướng nghiên cứu chính: mô hình hóa và mô phỏng, phân tích và đánh giá hiệu năng mạng, lý thuyết hàng đợi và ứng dụng, QoS, các kỹ thuật định tuyến và chuyển mạch, mạng NGN.

Điện thoại: 0904 342 557

E-mail:thangln@ptit.edu.vn

NGUYỄN CHẤN HÙNG

Sinh năm 1973 tại Hà Nội.

Nhận bằng Kỹ sư Điện tử Viễn thông, Thạc sĩ Kỹ thuật Điện tử trường ĐH Bách Khoa Hà Nội năm 1995, năm 1997, Tiến sĩ Kỹ thuật Viễn thông trường Valladolid, Tây Ban Nha năm 2002.

Hiện là Giám đốc Trung tâm Công nghệ Xanh, Viện nghiên cứu Điện tử, Tin học, Tự động hóa (VIELINA).

Hướng nghiên cứu: lưới điện thông minh, mạng P2P, mạng truyền thông đa phương tiện và ứng dụng.

Điện thoại: 0904 186 221

E-mail: hungnc@vielina.com