

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Hầu hết các ứng dụng chính của mạng cảm biến không dây là thu thập thông tin cảm nhận được trong trường cảm biến nên các giao thức thu thập dữ liệu nhận được nhiều sự quan tâm nghiên cứu trong cộng đồng mạng cảm biến không dây.

Giao thức cây thu thập dữ liệu - CTP (Collection Tree Protocol) thực thi cơ chế thu thập dữ liệu tin cậy từng bước nhảy (hop-by-hop). Các nút tự tổ chức thành một cấu trúc dạng cây và dữ liệu luôn được gửi về nút cha cho tới khi đến được đỉnh của cây (nút gốc).

Giao thức CTP đã được chứng minh là một giao thức thu thập dữ liệu đạt hiệu quả cao về mặt năng lượng tiêu thụ và tỷ lệ chuyển phát dữ liệu thành công trong mạng. Tuy nhiên, giao thức CTP hiện tại chỉ dựa vào thước đo định tuyến *ETX* để lựa chọn tuyến đường tối ưu. Thước đo định tuyến *ETX* không giải quyết được vấn đề cân bằng năng lượng giữa các nút mạng. Các nút mạng thuộc những tuyến đường có chất lượng liên kết tốt phải thực hiện nhiều việc truyền dẫn trong mạng. Các nút mạng này sẽ hết năng lượng nhanh hơn các nút mạng khác và tạo thành các lỗ hổng trong mạng, làm giảm hiệu năng của toàn bộ hệ thống mạng. Đây là một trong những thách thức quan trọng đối với các mạng cảm biến không dây hoạt động bằng pin.

Một số kết quả đánh giá giao thức CTP hiện tại dựa trên công cụ mô phỏng Cooja và thực nghiệm với phần cứng TUMote cũng cho các kết quả tương tự.

Trong luận án này, tác giả đề xuất một giao thức định tuyến mới EACTP (Energy Aware Collection Tree Protocol) có sự nhận thức về năng lượng nhằm giải quyết điểm yếu này của giao thức CTP.

2. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu của luận án là bài toán định tuyến có sự nhận thức về năng lượng áp dụng cho giao thức cây thu thập dữ liệu (bài toán định tuyến EACTP) trên mạng cảm biến không dây nhằm đảm bảo được 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.

Phạm vi nghiên cứu của luận án là tác giả tập trung vào các phương pháp định tuyến dựa trên sự nhận thức về năng lượng trong mạng cảm biến không dây.

3. Mục tiêu của luận án

Mục tiêu của luận án là đề xuất một giao thức định tuyến mới EACTP 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. Từ đó, thực thi và đánh giá hiệu năng của giao thức này dựa trên mô phỏng và thực nghiệm.

Mục tiêu cụ thể của luận án là: Nghiên cứu về các giao thức định tuyến có sự nhận thức về năng lượng cho mạng cảm biến không dây, phân tích đánh giá và so sánh các loại giao thức định tuyến; Nghiên cứu giao thức định tuyến cây thu thập dữ liệu CTP cho mạng cảm biến không dây; Đề xuất một giao thức định tuyến mới có sự nhận thức về năng lượng EACTP; Xây dựng mô hình và phân tích mô hình toán học cho giao thức EACTP dựa trên lý thuyết đồ thị; Thực thi và phân tích đánh giá hiệu năng của giao thức EACTP dựa trên mô phỏng; Xây dựng một hệ thống triển khai thực nghiệm cho phép tùy biến, tích hợp các chức năng định tuyến mới và đánh giá hiệu năng của các giao thức này trong điều kiện thực tế.

4. Phương pháp luận nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu trong luận án được kết hợp giữa nghiên cứu lý thuyết với nghiên cứu mô phỏng và thực nghiệm. Về nghiên cứu lý thuyết, tác giả nghiên cứu khảo sát các giao thức định tuyến có sự nhận thức về năng lượng cho mạng cảm biến không dây dựa vào các kiến thức cơ bản và các kết quả nghiên cứu lý thuyết đã được công bố. Về nghiên cứu mô phỏng và thực nghiệm, tác giả thực hiện cài đặt giao thức định tuyến mới, chạy thử nghiệm giao thức định tuyến mới dựa trên mô phỏng và thực nghiệm trên các nút cảm biến thật, từ đó tác giả đánh giá các kết quả mô phỏng, thực nghiệm và kết luận về tính ưu việt của giao thức định tuyến mới.

5. Nội dung của luận án

Luận án được trình bày thành 03 chương như sau:

Chương 1: Bài toán định tuyến trong mạng cảm biến không dây. Chương này trình bày những kết quả nghiên cứu khảo sát và đánh giá về các giao thức định tuyến dựa trên sự nhận thức về năng lượng cho mạng cảm biến không dây, phát biểu bài toán định tuyến có sự nhận thức về năng lượng với giao thức cây thu thập dữ liệu và lựa chọn phương pháp tiếp cận bài toán của tác giả trong luận án.

Chương 2: Giao thức cây thu thập dữ liệu có sự nhận thức về năng lượng. Chương này đề xuất một giao thức định tuyến mới EACTP có sự nhận thức về năng lượng. Giao thức EACTP được xây dựng 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 kết quả thực thi và đánh giá giao thức EACTP dựa trên công cụ mô phỏng Cooja cũng được trình bày trong chương này.

Chương 3: Triển khai đánh giá thực nghiệm. Trong chương này, tác giả xây dựng một hệ thống triển khai thực nghiệm dựa trên 10 nút cảm biến phần cứng TUmote (Thainguyen University mote). Hệ thống triển khai thực nghiệm này cho phép tùy biến, tích hợp các chức năng định tuyến mới và đánh giá hiệu năng của các giao thức này trong điều kiện thực tế. Một số kết quả đánh giá so sánh hiệu năng giữa giao thức EACTP và giao thức CTP thông qua triển khai thực nghiệm cũng được trình bày trong chương này.

Cuối cùng là kết luận, tóm tắt các đề xuất mới của tác giả và dự kiến hướng nghiên cứu tiếp theo của luận án.

6. Đóng góp của luận án

Trên cơ sở phân tích mô hình toán học dựa trên lý thuyết đồ thị cho giao thức cây thu thập dữ liệu có sự nhận thức về năng lượng, tác giả đã có một số đóng góp mới trong luận án như sau:

- Đề xuất một giao thức định tuyến mới đó là giao thức cây thu thập dữ liệu có sự nhận thức về năng lượng - EACTP (Energy Aware Collection Tree Protocol). Trong giao thức EACTP, tác giả đã thực hiện một số cải tiến: Thứ nhất, tác giả đã bổ sung thêm thành phần ước lượng năng lượng còn lại trên mỗi nút cảm biến; Thứ hai, tác giả đã đề xuất 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, tác giả đã đề xuất một thuật toán lựa chọn tuyến đường tối ưu mới dựa trên sự kết hợp giữa hai thước đo định tuyến là chất lượng liên kết của tuyến đường và trạng thái năng lượng còn lại trên nút chuyển tiếp.

- Mô phỏng và đánh giá hiệu năng giao thức EACTP thông qua một số mô hình mạng. Tác giả đã xác định các thước đo đánh giá phù hợp cho bài toán định tuyến EACTP và đưa ra một số kết quả đánh giá so sánh hiệu năng giữa giao thức EACTP và giao thức CTP. Các kết quả đánh giá mô phỏng cho thấy thời gian sống của mạng khi hoạt

động theo giao thức EACTP mới đề xuất được cải thiện tốt hơn so với giao thức CTP ban đầu.

- Xây dựng một môi trường thực nghiệm dựa trên 10 nút cảm biến phân cứng TUmote (Thainguyen University mote), cho phép tùy biến, tích hợp các chức năng định tuyến mới và đánh giá hiệu năng của các giao thức CTP, EACTP trong điều kiện thực tế. Môi trường thực nghiệm này hoàn toàn có thể sử dụng lại được cho các nghiên cứu thực nghiệm khác trong lĩnh vực mạng cảm biến không dây và có thể rút ngắn thời gian để đưa các mô hình nghiên cứu lý thuyết sang các mô hình thực nghiệm có tính ứng dụng. Kết quả đánh giá thực nghiệm trên 10 nút cảm biến phân cứng TUmote đã kiểm chứng lại tính đúng đắn của các kết quả mô phỏng cũng như những lập luận về tính hiệu quả của giao thức EACTP mới đề xuất.

CHƯƠNG 1

BÀI TOÁN ĐỊNH TUYẾN TRONG MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY

1.1. Vấn đề năng lượng tiêu thụ trong mạng cảm biến không dây

Vấn đề năng lượng tiêu thụ của nút cảm biến rất quan trọng bởi vì nhiều nút cảm biến bị hạn chế về nguồn năng lượng. Các nút cảm biến không dây có thể hoạt động bằng pin hoặc cũng có thể từ các nguồn năng lượng khác được tích trữ từ môi trường. Trong cả hai trường hợp, năng lượng đều là một nguồn tài nguyên hạn chế.

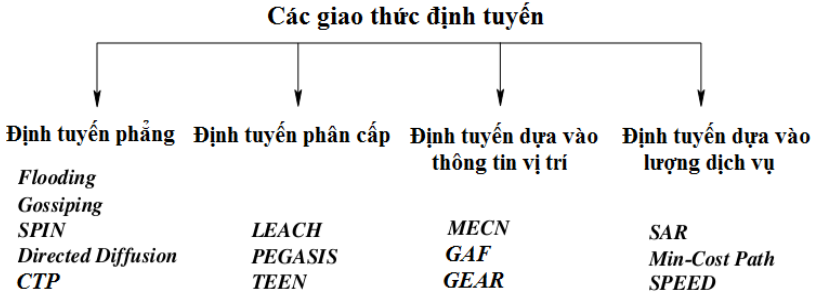
Trong mạng cảm biến không dây, quá trình truyền thông tiêu tốn nhiều năng lượng. Vì vậy, điều quan trọng là cần xây dựng được các giao thức truyền thông sao cho các nút cảm biến có thể sử dụng hiệu quả nguồn tài nguyên sẵn có. Do đó, phần cứng và phần mềm cần xác định được sự tiêu hao về năng lượng và cung cấp thông tin này đến tầng mạng để phục vụ cho việc định tuyến dữ liệu.

1.2. Vấn đề định tuyến trong mạng cảm biến không dây

1.2.1. Khái niệm và phân loại các giao thức định tuyến cho mạng cảm biến không dây

Định tuyến là một trong những giao thức quan trọng trong mạng cảm biến không dây. Nhiệm vụ của các giao thức định tuyến là tìm ra được tuyến đường tốt nhất từ nguồn đến đích. Trong mạng cảm biến không dây, các nút cảm biến thực hiện đồng thời cả hai chức năng đó là: Chức năng sinh dữ liệu và chức năng định tuyến dữ liệu. Các giao thức định tuyến này có thể được phân loại thành bốn nhóm sau: Định

tuyến phẳng, định tuyến phân cấp, định tuyến dựa vào thông tin vị trí và định tuyến dựa vào chất lượng dịch vụ.



Hình 1.2: Phân loại các giao thức định tuyến cho mạng cảm biến không dây.

1.2.2. Những thách thức đối với vấn đề định tuyến trong mạng cảm biến không dây

Các đặc điểm của mạng cảm biến không dây đã làm cho việc phát triển mô hình định tuyến cho các mạng này gặp nhiều khó khăn. Sau đây là một số thách thức cần phải giải quyết khi phát triển các giao thức định tuyến cho mạng cảm biến không dây:

- Nguồn năng lượng được tích trữ phụ thuộc vào dung lượng của pin. Các nút cảm biến không dây có kích thước rất nhỏ nên nguồn năng lượng của chúng cũng bị hạn chế. Điều này dẫn đến những ràng buộc khắt khe cho mọi hoạt động của các nút cảm biến.

- Khả năng lưu trữ và tính toán của các nút cảm biến đã làm hạn chế nhiều đến các giao thức định tuyến. Do đó, các thuật toán định tuyến đơn giản, gọn nhẹ cần phải được nghiên cứu và phát triển cho các mạng cảm biến không dây.

- Các nút không đồng nhất cần phải được tính đến khi thiết kế giao thức định tuyến cho mạng cảm biến không dây. Có hai nguyên nhân chính dẫn đến việc các nút trong mạng không đồng nhất. Thứ nhất là hoàn toàn có thể tăng được hiệu năng của mạng thông qua việc triển khai một số nút mạng có năng lượng, có khả năng lưu trữ và tính toán tốt hơn các nút còn lại trong mạng. Thứ hai là sự khác biệt giữa các nút cảm biến có thể phát sinh trong quá trình hoạt động của mạng. Một số nút cảm biến có thể phải thực hiện nhiều nhiệm vụ hơn dẫn đến việc chúng bị hết năng lượng nhanh hơn các nút khác. Do đó, giao thức định tuyến cần phải tránh việc chuyển tiếp các bản tin thông

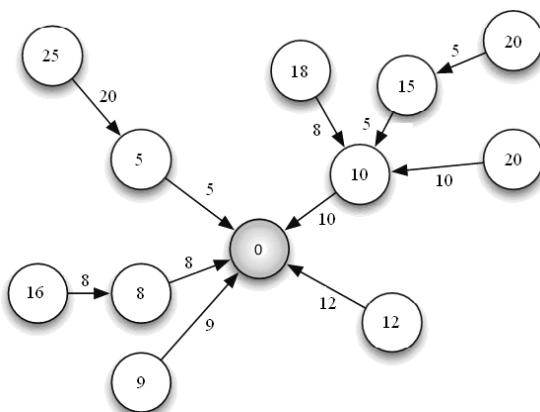
qua các nút mạng có trạng thái nguồn năng lượng còn lại ở mức thấp để bù lại sự không đồng đều về năng lượng giữa các nút trong mạng.

- Khả năng chịu lỗi cũng cần phải được quan tâm khi định tuyến các bản tin. Tuy nhiên, khi một nút bị lỗi thì nó sẽ ảnh hưởng đến toàn bộ các hoạt động chung của mạng. Các thuật toán định tuyến cần phải có các tuyến đường dự phòng hoặc cần phải xây dựng kịp thời một tuyến đường khác trong trường hợp liên kết mạng bị lỗi.

- Khả năng mở rộng là một vấn đề quan trọng trong mạng cảm biến không dây. Giao thức định tuyến cần phải hoạt động hiệu quả trong các mạng lớn bao gồm hàng ngàn các nút cảm biến.

1.3. Giao thức cây thu thập dữ liệu CTP

Giao thức cây thu thập dữ liệu CTP thực thi cơ chế thu thập dữ liệu tin cậy từng bước nhảy (hop-by-hop). Các nút được tổ chức thành một cấu trúc dạng cây và dữ liệu luôn được gửi về nút cha cho tới khi đến được đỉnh của cây (nút gốc). Nút gốc được gán là đỉnh của cây và tất cả các nút khác được khởi tạo là các nút lá. Các nút sẽ cập nhật vị trí của nó trong cây và quá trình này được mở rộng dần ra với điểm xuất phát ban đầu là từ nút gốc. Dữ liệu được gửi qua một cấu trúc cây đến nút gốc. Hình 1.8 minh họa một cấu trúc liên kết mạng được xây dựng theo giao thức CTP.



Hình 1.8: Cấu trúc liên kết mạng được xây dựng theo giao thức CTP.

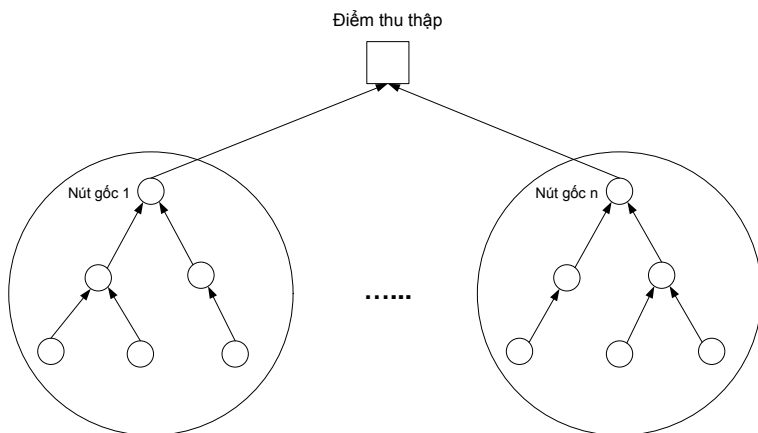
Trong quá trình xây dựng và duy trì cấu trúc cây định tuyến, các nút cần phải xác định thước đo định tuyến để lựa chọn nút lân cận tốt nhất (nút cha). Hiện tại, giao thức CTP sử dụng thước đo định tuyến chất lượng liên kết *ETX* để xây dựng cấu trúc cây định tuyến. Các nút

cần phải thu thập thông tin về chất lượng liên kết của các nút lân cận và dựa vào thông tin đó để tính toán và lựa chọn nút cha. Để thực hiện điều này, các nút định kỳ trao đổi các bản tin điều khiển. Bản tin điều khiển mang thông tin về chất lượng tuyến đường (*rtmetric*) từ nút đó đến nút gốc.

Giao thức CTP chỉ dựa vào thước đo định tuyến *ETX* để lựa chọn tuyến đường tối ưu. Thước đo định tuyến *ETX* không giải quyết được vấn đề cân bằng năng lượng giữa các nút mạng. Bởi vậy, giao thức CTP dễ bị mất cân bằng năng lượng. Các nút mạng thuộc tuyến đường tối ưu phải thực hiện nhiều việc truyền dẫn hơn các nút khác. Chúng sẽ hết năng lượng nhanh hơn các nút khác và tạo thành các lỗ hổng trong mạng, làm giảm hiệu năng của toàn bộ hệ thống mạng.

Một số kết quả đánh giá giao thức CTP hiện tại dựa trên công cụ mô phỏng Cooja và thực nghiệm với phần cứng TUmote cũng cho các kết quả tương tự.

1.4. Bài toán định tuyến EACTP



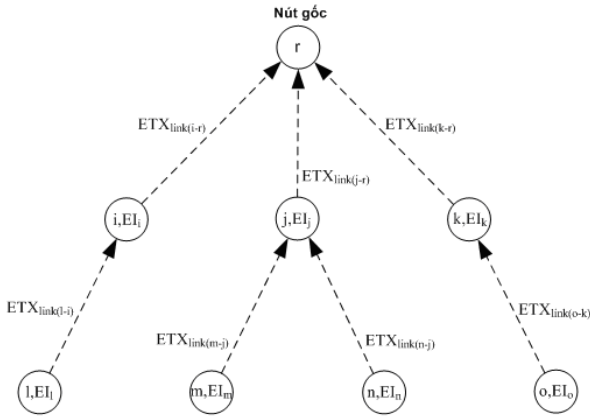
Hình 1.13: Cấu trúc liên kết mạng được xét đến trong bài toán định tuyến EACTP.

Hình 1.13 minh họa mô hình cấu trúc liên kết mạng được tác giả xét đến trong luận án. Mạng được chia thành nhiều cụm nhỏ khác nhau. Do thuật toán để xây dựng cấu trúc cây trong các cụm nhỏ này là hoàn toàn giống nhau nên tác giả chỉ xét đến việc tối ưu hóa thời gian sống của một cụm trong mạng.

Bài toán định tuyến EACTP được phát biểu như sau: Cho một cấu trúc mạng $G = (V, E)$ là một đồ thị, trong đó V là số đỉnh, E là số

cạnh. Bài toán định tuyến EACTP đặt ra đó là tìm được một cấu trúc cây tối ưu dựa trên hai tham số là chất lượng liên kết giữa các nút mạng và trạng thái năng lượng còn lại của các nút mạng. Hình 1.14 là ví dụ minh họa một cấu trúc hình học của bài toán định tuyến EACTP.

Mỗi đỉnh thuộc cây biểu diễn một nút mạng có cả chức năng sinh dữ liệu và chức năng định tuyến. Mỗi nút mạng xác định được chỉ số năng lượng còn lại EI (*Energy Indicator*) của nó. Mỗi cạnh thuộc cây là một tuyến (link) kết nối giữa hai nút mạng (u,v) bất kỳ được biểu diễn bởi chất lượng liên kết giữa hai nút mạng theo tham số chất lượng liên kết (ETX_{link}).



Hình 1.14: Ví dụ minh họa cấu trúc hình học của bài toán định tuyến EACTP.

Gọi độ dài đường đi P nối từ một điểm bất kỳ trên $G = (V, E)$ đến nút gốc được xác định bằng tổng ETX_{link} của tất cả các tuyến kết nối thuộc tuyến đường đó. Mỗi nút được gán một nhân (*rtmetric*) chính là độ dài đường đi tốt nhất từ nút đó đến nút gốc được xác định theo thước đo định tuyến chất lượng liên kết ETX . Bài toán định tuyến EACTP được phát biểu như sau: Tìm nút n thuộc tập hợp các nút lân cận N của nút nguồn s trên cấu trúc $G = (V, E)$ sao cho nút n thỏa mãn các điều kiện sau:

$$\begin{cases} rtmetric_s = \arg \min_{n \in N} (rtmetric_n + ETX_{link(s-n)}) \\ n.EI \geq Threshold \end{cases} \quad (1.2)$$

Trong đó: $rtmetric_n$ là nhãn của nút n , $rtmetric_s$ là nhãn của nút s được xác định theo nút n , $ETX_{link(s-n)}$ là chất lượng liên kết giữa nút s và nút n , $n.EI$ là chỉ số năng lượng còn lại của nút n , $Threshold$ là ngưỡng chỉ số năng lượng còn lại.

Bài toán định tuyến EACTP được xuất phát từ đề tài thực tế đang được triển khai tại Viện nghiên cứu Điện tử, Tin học và Tự động hóa đó là: Nhiệm vụ khoa học công nghệ cấp nhà nước về “Nghiên cứu thiết kế, chế tạo hệ thống quan trắc ô nhiễm nước tự động, lưu động”, mã số 07.12/CNMT; Nhiệm vụ khoa học công nghệ cấp nhà nước về “Nghiên cứu thiết kế, chế tạo hệ thống quan trắc lưu lượng dòng chảy và lượng mưa hỗ trợ điều tiết an toàn hệ thống hồ chứa nước Sông Đà”, mã số ĐTĐL.2011-G/48. Trong hai đề tài này, các nút cảm biến thường được triển khai ở những vị trí xa nguồn điện lưới hoặc ở những vị trí gặp nhiều khó khăn trong việc kéo đường dây điện từ nguồn điện lưới. Vì vậy, các nút mạng cảm biến thường sử dụng những nguồn năng lượng tích trữ (VD: Pin, Ắc quy). Do đó, một trong những nhiệm vụ cấp thiết đặt ra đó là: Cần phải đề xuất một giao thức truyền thông thu thập dữ liệu có sự nhận thức về năng lượng nhằm tăng thời gian sống của các nút mạng sử dụng những dạng nguồn năng lượng tích trữ này.

1.5. Hiện trạng nghiên cứu và phương pháp tiếp cận bài toán định tuyến có sự nhận thức về năng lượng trong các nghiên cứu trước đây

1.5.1. Định tuyến với tổng năng lượng tối thiểu MTPR

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 bản tin phải đi qua một tuyến đường p bao gồm các nút n_1, \dots, n_k thì tổng năng lượng E cần thiết để truyền bản tin là:

$$E = \sum_{i=1}^{k-1} e_{n_i, n_{i+1}} \quad (1.3)$$

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. Điều này có thể dẫn đến việc một số nút mạng sẽ hết năng lượng nhanh hơn các nút mạng khác.

1.5.2. Định tuyến với chi phí nguồn pin nhỏ nhất MBCR

Thuốc 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 là nhỏ nhất. Nhược điểm của thuốc 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.

1.5.3. Giao thức định tuyến nhận thức về năng lượng EAR

Giao thức EAR sử dụng thuốc đo năng lượng để xác định các tuyến đường tốt. Thuốc 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. Tuy nhiên 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 với năng lượng còn lại nhiều không có nghĩa là tất cả các nút trên tuyến đường đó còn nhiều năng lượng. Thứ hai, giao thức EAR xác định thuốc đo chi phí năng lượng dựa trên sự hỗ trợ về phân cứng trên các nút cảm biến.

1.5.4. Giao thức định tuyến E-Span

Trong giao thức E-Span, nút có năng lượng còn lại ở mức cao nhất sẽ được chọn làm nút gốc. Các nút khác sẽ lựa chọn nút cha 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 thuốc đo định tuyến số bước nhảy. Thuốc 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 tồn hao (có sự mất mát bản tin). Vì vậy, các tuyến đường với số bước nhảy tối thiểu hoàn toàn có thể bao gồm những liên kết tồn hao. Bản tin có thể phải truyền lại nhiều lần gây lãng phí về năng lượng và tăng độ trễ truyền bản tin.

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

Trong giao thức này, 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. 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.

1.5.6. Giao thức định tuyến ICTP

Giao thức ICTP được đề xuất nhằm giải quyết vấn đề mất cân bằng tải trong giao thức CTP. Giao thức ICTP tồn tại ba nhược điểm chính: Thứ nhất, việc lựa chọn tuyến đường dựa trên xác suất có thể dẫn đến việc lựa chọn tuyến đường có chất lượng xấu. Điều này dẫn đến việc phải gửi lại bản tin nhiều lần và làm tăng năng lượng tiêu thụ trong toàn mạng; Thứ hai, giao thức ICTP làm phát sinh thêm chi phí năng lượng trong việc gửi thông tin về năng lượng còn lại trên các nút cảm biến; Thứ ba, cơ chế ước lượng năng lượng tiêu thụ trong giao thức ICTP còn đơn giản và không phù hợp với thực tế.

1.5.7. Giao thức định tuyến EQLR

Giao thức EQLR xây dựng cấu trúc cây thu thập dữ liệu dựa trên hai thước đo định tuyến là chất lượng liên kết và năng lượng pin còn lại của mỗi nút cảm biến. Tuy nhiên, giao thức EQLR vẫn còn tồn tại một số nhược điểm: Thứ nhất, bản tin điều khiển cần phải bổ sung thêm trường năng lượng còn lại để mang thông tin về mức năng lượng còn lại của pin. Điều này sẽ làm phát sinh thêm chi phí về năng lượng trong việc gửi bản tin điều khiển; Thứ hai, ngưỡng năng lượng để xác định một nút hết năng lượng là một giá trị cố định. Để xác định một ngưỡng năng lượng cố định tối ưu là rất khó; Thứ ba, thuật toán lựa chọn tuyến đường được dựa trên ngưỡng *ETX*. Các tác giả chọn ngưỡng *ETX* thay đổi từ 50 - 500. Ngưỡng này được xác định dựa trên thực nghiệm với 9 nút cảm biến và giá trị lớn nhất đo được của *ETX* là 500. Tuy nhiên, trong triển khai thực tế với số lượng nút lớn thì việc xác định ngưỡng *ETX* dựa trên thực nghiệm sẽ gặp nhiều khó khăn.

1.5.8. Giao thức định tuyến ELR

Giao thức ELR xây dựng cấu trúc cây định tuyến dựa trên thước đo về chất lượng liên kết và phần trăm năng lượng còn lại của các nút cảm biến. Giao thức ELR vẫn còn tồn tại một số nhược điểm: Thứ nhất, bản tin điều khiển được mở rộng thêm 16 bit để mang thông tin

về mức năng lượng còn lại của nút cảm biến. Điều này sẽ làm phát sinh thêm chi phí về năng lượng trong việc gửi bản tin điều khiển; Thứ hai, ngưỡng năng lượng được thiết lập là một giá trị cố định 10%. Để xác định một ngưỡng năng lượng tối ưu là rất khó; Thứ ba, các tác giả chọn ngưỡng sự khác biệt về chất lượng liên kết ETX_{diffTh} là một giá trị cố định bằng 10. Các tác giả cũng chưa phân tích rõ giá trị ngưỡng cố định này. Trong triển khai thực tế, việc xác định ngưỡng ETX_{diffTh} là một khó khăn cần được giải quyết.

1.6. Giải pháp tiếp cận bài toán trong luận án

Trong luận án này, tác giả đề xuất một giao thức định tuyến mới EACTP 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. Giao thức EACTP được cải tiến dựa trên giao thức CTP ở ba điểm: Thứ nhất, giao thức EACTP bổ sung thêm thành phần ước lượng năng lượng tiêu thụ của nút cảm biến. Thứ hai, giao thức EACTP bổ sung thêm một thước đo định tuyến mới đó là trạng thái năng lượng còn lại ES (*Energy State*) của mỗi nút cảm biến. Thứ ba, giao thức EACTP bổ sung tiêu chí định tuyến nhằm đảm bảo sự cân bằng năng lượng tiêu thụ giữa các nút mạng thuộc những tuyến đường có chất lượng liên kết tốt.

CHƯƠNG 2

GIAO THỨC CÂY THU THẬP DỮ LIỆU CÓ SỰ NHẬN THỨC VỀ NĂNG LƯỢNG

2.1. Đề xuất giao thức cây thu thập dữ liệu có sự nhận thức về năng lượng

2.1.1. Mục tiêu đề xuất và những thách thức

Trong giao thức CTP hiện tại, các nút cảm biến thuộc tuyến đường có chất lượng liên kết tốt sẽ được chọn làm nút cha trong phần lớn thời gian và các nút đó tham gia nhiều vào quá trình truyền thông trong mạng. Điều này dẫn đến việc các nút thuộc những tuyến đường có chất lượng liên kết tốt sẽ bị hết năng lượng nhanh hơn các nút khác và làm giảm thời gian sống của toàn mạng.

Một số thách thức đặt ra khi xây dựng 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 về phần cứng nào.

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.

Thứ ba, tuyến đường tối ưu được lựa chọn trong giao thức EACTP 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.

2.1.2. Những đề xuất cải tiến trong giao thức EACTP

2.1.2.1. Ước lượng năng lượng tiêu thụ trên nút cảm biến

Tác giả sử dụng cơ chế ước lượng năng lượng tiêu thụ dựa trên phần mềm cho các nút cảm biến không dây. Cơ chế ước lượng năng lượng dựa trên phần mềm sử dụng mô hình tiêu thụ năng lượng tuyến tính. Cơ chế này có thể đạt độ chính xác đến 96%. Tổng năng lượng E được tính toán như sau:

$$E = U(I_a t_a + I_l t_l + I_t t_t + I_r t_r + \sum_i I_{ci} t_{ci}) \quad (2.4)$$

Cơ chế ước lượng năng lượng sử dụng mô hình tuyến tính sẽ được gọi đến mỗi khi một thiết bị phần cứng bật hoặc tắt hoặc chuyển chế độ. Khi một thiết bị phần cứng được bật thì mô đun ước lượng năng lượng sẽ lưu một dấu thời gian. Khi thiết bị phần cứng này được tắt thì sự sai khác về thời gian giữa hai thời điểm sẽ được tính toán và được cộng vào tổng thời gian bật của thiết bị. Sau đó, mô đun ước lượng năng lượng tiêu thụ sử dụng thông số kỹ thuật về dòng tiêu thụ của từng thiết bị để tính toán được tổng năng lượng tiêu thụ của nút cảm biến. Bảng 2.1 là mô hình năng lượng của phần cứng TUmote.

Bảng 2.1: Mô hình năng lượng của TUmote.

Thành phần	Trạng thái	Dòng tiêu thụ
MSP430 F1611	Tích cực	1,95 mA
	Công suất thấp	0,0026 mA
CC2420	Truyền (0 dBm)	17,4 mA
	Truyền (-15 dBm)	9,9 mA
	Nhận	18,8 mA
SHT11	Tích cực	0,55 mA

2.1.2.2. *Thước đo chỉ số năng lượng còn lại thích ứng*

Chỉ số năng lượng còn lại trên mỗi nút cảm biến tại một thời điểm bất kỳ có thể được xác định theo công thức sau:

$$EI(\%) = \frac{\text{residual_energy}}{E_0} \cdot 100\% \quad (2.7)$$

Trong đó: *residual_energy* là năng lượng còn lại trên nút cảm biến, E_0 là năng lượng ban đầu của nút cảm biến.

Giao thức EACTP đề xuất ý tưởng ngưỡng chỉ số năng lượng còn lại thích ứng. Mỗi nút có bốn trạng thái năng lượng còn lại khác nhau. Bảng 2.2 minh họa bốn trạng thái năng lượng còn lại của một nút. Bốn trạng thái năng lượng còn lại của nút cảm biến có thể được mã hóa bởi 2 bit dự trữ trong bản tin điều khiển. Vì vậy, giải pháp này không làm phát sinh các chi phí mới về năng lượng trong việc gửi các bản tin điều khiển.

Bảng 2.2: Các trạng thái năng lượng của nút cảm biến.

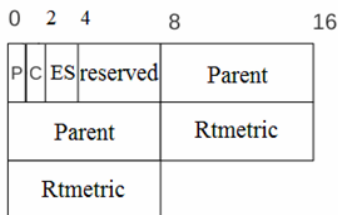
Trạng thái năng lượng	Chỉ số EI	Mô tả	Ngưỡng chỉ số EI
0	30%-100%	Nhiều năng lượng	30%
1	10%-30%	Thiếu hụt năng lượng	10%
2	5%-10%	Thiếu nhiều năng lượng	5%
3	0-5%	Hết năng lượng	0

2.1.2.3. *Bổ sung thông tin về trạng thái năng lượng còn lại của nút cảm biến trong cấu trúc bản tin điều khiển*

Bảng 2.3 là bảng mã hóa bốn trạng thái năng lượng còn lại trên mỗi nút cảm biến.

Trạng thái năng lượng	ES
0	00
1	01
2	10
3	11

Bảng 2.3:



Hình 2.4:

Hình 2.4 minh họa cấu trúc khung của bản tin điều khiển trong giao thức EACTP. Bản tin này được bổ sung thêm trường trạng thái

năng lượng còn lại ES gồm hai bit ES[1] và ES[0] để mã hóa bốn trạng thái năng lượng khác nhau của nút cảm biến.

2.1.2.4. Thuật toán lựa chọn tuyến đường mới

Với việc lựa chọn ngưỡng năng lượng thích ứng, giao thức EACTP đã phân loại các nút cảm biến theo một số trạng thái năng lượng khác nhau. Đề xuất này tốt hơn so với việc lựa chọn một ngưỡng năng lượng cố định bởi vì quá trình lựa chọn tuyến đường dự trữ được điều chỉnh trong nhiều khoảng ngưỡng năng lượng khác nhau. Các nút có chỉ số năng lượng còn lại ở mức thấp sẽ không được lựa chọn làm nút cha ngay trong giai đoạn đầu của quá trình suy giảm năng lượng.

Thuật toán 2.3: Thuật toán lựa chọn tuyến đường với giao thức EACTP

1. Đầu vào:

RoutingTable; //Bảng định tuyến của nút nguồn s

2. Lựa chọn nút lân cận tốt nhất

best = NULL; // nút lân cận tốt nhất trong bảng định tuyến

rtmetric = RTMETRIC_AVERAGE; // giá trị RTMETRIC trung bình của các //tuyến đường có thể, đi qua các nút lân cận trong bảng định tuyến

for *n = RoutingTable[i]*

if (*n.ES == 00*) && (*n.rtmetric + ETX_{link(s-n)} <= rtmetric*) **then**

rtmetric = n.rtmetric + ETX_{link(s-n)};

best = n;

end

if *best == NULL*

for *n = RoutingTable[i]*

if (*n.ES == 01*) && (*n.rtmetric + ETX_{link(s-n)} <= rtmetric*) **then**

rtmetric = n.rtmetric + ETX_{link(s-n)};

best = n;

end

end

if *best == NULL*

for *n = RoutingTable[i]*

if (*n.ES == 10*) && (*n.rtmetric + ETX_{link(s-n)} <= rtmetric*) **then**

rtmetric = n.rtmetric + ETX_{link(s-n)};

best = n;

end

end

return *best;*

3. Cập nhật nút cha

if *best != NULL* **then**

parent = best;

else

s.rtmetric = RTMETRIC_MAX;

broadcast(s.rtmetric);

end

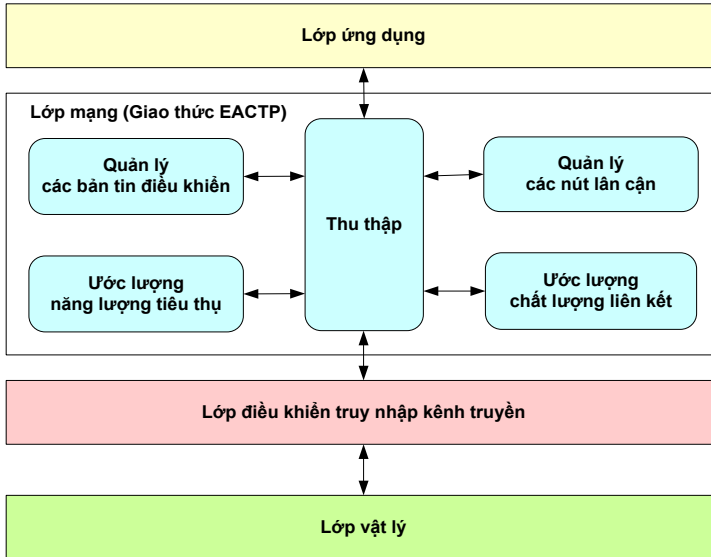
2.2. Thực thi giao thức EACTP trên hệ điều hành Contiki

Các thành phần của giao thức EACTP được minh họa ở hình 2.6.

- **Khối ước lượng chất lượng liên kết:** 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.

- **Khối quản lý các bản tin điều khiển:** Khối này có nhiệm vụ phát quảng bá thông tin về thước đo định tuyến của mỗi nút.

- **Khối quản lý các nút lân cận:** Khối này 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, thước đo định tuyến chất lượng liên kết ETX và trạng thái năng lượng còn lại ES của các nút lân cận. Ngoài ra, một thuật toán lựa chọn tuyến đường tối ưu cũng được thực thi trong khối này.



Hình 2.6: Các thành phần chính của giao thức EACTP.

- **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.

- **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, phát hiện và sửa chữa các vòng lặp định tuyến, phát hiện và tránh sự trùng lặp các bản tin dữ liệu.

2.3. Đánh giá giao thức EACTP dựa trên mô phỏng

2.3.1. Các tham số đánh giá

2.3.1.1. 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.

$$ANR(\%) = \frac{N_{alive_nodes}}{N} \cdot 100\% \quad (2.9)$$

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

2.3.1.2. 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 gốc và tổng số bản tin dữ liệu được gửi đi bởi tất cả các nút trong mạng.

$$DDR(\%) = \frac{N_{received}}{N_{data}} \cdot 100\% \quad (2.10)$$

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

2.3.1.3. Sự cân bằng năng lượng giữa các nút trong 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:

$$EIB(\%) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (\overline{EI} - EI_i)^2} \quad (2.11)$$

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

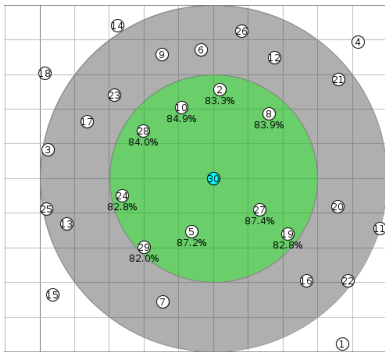
2.3.1.4. Thời gian sống của mạng

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 (có thể là 100% hoặc thấp hơn).

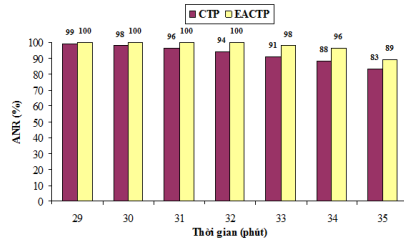
2.3.2. Mô hình đánh giá mô phỏng

Một mô hình cụm gồm 30 nút cảm biến được phân bố ngẫu nhiên trong mặt phẳng có kích thước 100m x 100m. Các nút mạng định kỳ sau 20s gửi một bản tin dữ liệu về nút gốc là nút số 30. Mô hình truyền thông vô tuyến được sử dụng trong mô phỏng là mô hình truyền thông UDI, trong đó phạm vi truyền thông hiệu quả là 30m và phạm vi ảnh hưởng của nhiễu là 50m. Các nút số 2, 5, 8, 10, 19, 24, 27, 28, 29 có thể truyền thông trực tiếp đến nút gốc (nút số 30). Các nút còn lại phải thực hiện truyền thông theo mô hình đa chặng đến nút gốc.

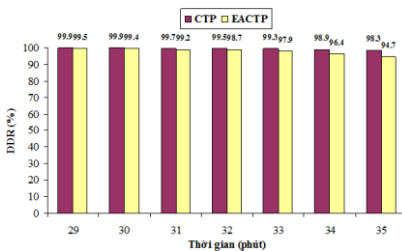
Hình 2.14, 2.15, 2.16 lần lượt là kết quả mô phỏng đánh giá so sánh tỷ lệ các nút còn sống trong mạng, tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu và sự cân bằng năng lượng giữa các nút mạng đối với giao thức CTP và giao thức EACTP trong kịch bản mô phỏng.



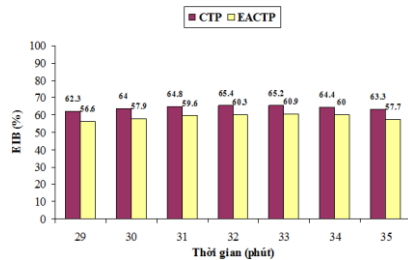
Hình 2.13: Mô hình mô phỏng.



Hình 2.14: So sánh ANR.



Hình 2.15: So sánh DDR.



Hình 2.16: So sánh EIB.

Hình 2.14, 2.15 cho thấy tỷ lệ các nút còn sống trong mạng của giao thức EACTP cao hơn so với giao thức CTP. Tuy nhiên, giao thức

EACTP vẫn đảm bảo được tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu ở mức chấp nhận được so với giao thức CTP ban đầu.

Nếu giá trị ngưỡng được thiết lập để xác định thời gian sống của mạng là 100% thì hình 2.14 cũng cho thấy thời gian sống của mạng hoạt động theo giao thức EACTP được cải thiện đáng kể so với giao thức CTP: Trong kịch bản mô phỏng, thời điểm nút hết năng lượng đầu tiên đối với giao thức CTP là phút thứ 29 và đối với giao thức EACTP là phút thứ 33 (như vậy, thời gian sống của mạng tăng 14%).

Hình 2.16 là kết quả so sánh sự cân bằng năng lượng giữa các nút mạng. Kết quả mô phỏng 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 chỉ số EIB của giao thức EACTP thấp hơn so với chỉ số EIB của giao thức CTP.

Các kết quả mô phỏng cũng cho thấy: Khi tỷ lệ các nút còn sống trong mạng giảm thì tỷ lệ chuyển phát thành công bản tin dữ liệu (DDR) và chỉ số đánh giá sự cân bằng năng lượng (EIB) của cả hai giao thức CTP và giao thức EACTP cũng giảm theo. Kết quả mô phỏng hoàn toàn phù hợp với những lập luận, phân tích lý thuyết.

2.4. Đánh giá giao thức EACTP dựa trên phân tích lý thuyết

Khi so sánh giao thức EACTP với các giao thức định tuyến có sự nhận thức về năng lượng khác (đã được trình bày ở mục 1.5) thì giao thức EACTP có một số ưu điểm sau:

Thứ nhất, giao thức EACTP không làm phát sinh thêm chi phí về năng lượng trong việc gửi các bản tin điều khiển bởi vì giao thức này chỉ sử dụng 2 bit dự trữ trong cấu trúc bản tin điều khiển.

Thứ hai, mô hình năng lượng được xét đến trong giao thức EACTP đầy đủ hơn khi xét đến các thành phần tiêu thụ năng lượng chính trong cấu trúc phân cứng của nút cảm biến.

Thứ ba, cơ chế ước lượng năng lượng tiêu thụ dựa trên phần mềm cho phép thực thi giao thức EACTP trên mọi nền tảng phần cứng mà không làm phát sinh thêm bất kỳ một chi phí mới nào về phần cứng.

Thứ tư, tuyến đường tối ưu được lựa chọn dựa trên sự kết hợp giữa hai thước đo định tuyến là chất lượng liên kết và trạng thái năng lượng còn lại của nút chuyển tiếp. Tuyến đường tối ưu vừa đảm bảo được số lần truyền cần thiết là ít nhất giúp giảm nhiều phát sinh trong mạng, tiết kiệm được năng lượng của các nút mạng và cũng vừa đảm bảo sự cân bằng năng lượng giữa các nút chuyển tiếp thuộc những tuyến đường có chất lượng liên kết tốt, giúp tăng thời gian sống của mạng.

CHƯƠNG 3

TRIỂN KHAI ĐÁNH GIÁ THỰC NGHIỆM

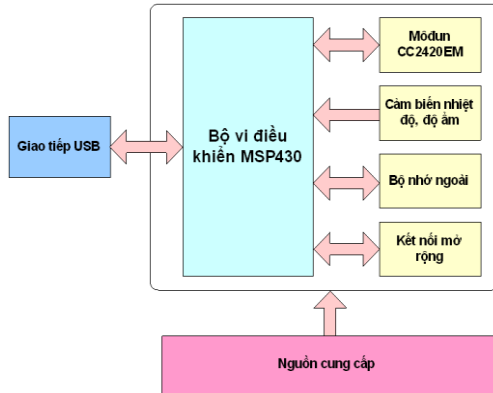
3.1. Phần cứng cho mạng cảm biến không dây

Trong thời gian qua, đã có nhiều nền tảng phần cứng khác nhau được nghiên cứu và phát triển cho mạng cảm biến không dây. Các nền tảng phần cứng có thể được chia thành hai loại cơ bản sau:

- **Các nền tảng phần cứng mức thấp:** Các nền tảng phần cứng này được đặc trưng bởi sự hạn chế về khả năng xử lý, bộ nhớ và khả năng truyền thông. Các nền tảng phần cứng này thường được triển khai với số lượng lớn để thực hiện nhiệm vụ cảm nhận cũng như tạo sự kết nối giữa các nút mạng.

- **Các nền tảng phần cứng mức cao:** Ngoài nhiệm vụ cảm nhận thì các nền tảng phần cứng này còn thực hiện nhiệm vụ tổng hợp, xử lý dữ liệu, kết nối mạng cảm biến không dây với các mạng khác bên ngoài. Các nền tảng phần cứng này đòi hỏi bộ vi xử lý có khả năng xử lý mạnh hơn, dung lượng bộ nhớ nhiều hơn.

3.2. Đề xuất cấu trúc phần cứng TUmote



Hình 3.4: Sơ đồ khối cấu trúc phần cứng TUmote.

Dựa trên những nghiên cứu khảo sát về các cấu trúc phần cứng cho mạng cảm biến không dây, tác giả đã đề xuất một cấu trúc phần cứng riêng để phục vụ cho việc nghiên cứu và đánh giá thực nghiệm với giao thức EACTP. Phần cứng này hoàn toàn có thể sử dụng lại được cho các nghiên cứu thực nghiệm khác trong lĩnh vực mạng cảm biến không dây và có thể rút ngắn thời gian để đưa các mô hình nghiên cứu lý thuyết sang các mô hình thực nghiệm có tính ứng dụng.

Hình 3.4 là sơ đồ khối của cấu trúc phần cứng TUmote. TUmote sử dụng bộ vi điều khiển MSP430F1611 của Texas Instruments với 48KB bộ nhớ chương trình và 10KB bộ nhớ RAM. Đây là bộ vi điều khiển 16 bit với tần số xung đồng hồ lên tới 8MHz. TUmote được trang bị một bộ thu phát vô tuyến CC2420 của Texas Instruments tương thích với chuẩn IEEE 802.15.4. Bộ thu phát vô tuyến CC2420 có công suất tiêu thụ thấp với phạm vi truyền sóng dưới 100m và có tốc độ truyền dữ liệu là 250kbit/s. TUmote được tích hợp sẵn trên board một cảm biến nhiệt độ, độ ẩm SHT11 của hãng Sensirion AG. Một số loại cảm biến khác cũng có thể được kết nối với TUmote thông qua kết nối mở rộng.

3.3. Triển khai mô hình đánh giá thực nghiệm

Bảng 3.4, 3.5 tóm tắt kịch bản đánh giá thực nghiệm với hai giao thức CTP và EACTP.

Bảng 3.4, 3.5: Kịch bản đánh giá thực nghiệm.

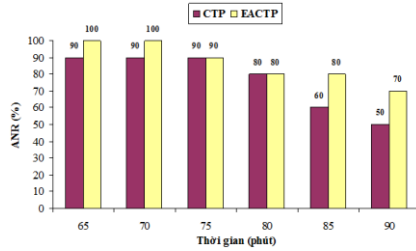
Các tham số	Kịch bản 1	Kịch bản 2
Môi trường truyền sóng	Trong tâm nhìn thẳng	Cây cối tầm thấp
Số nút mạng (nút)	10	
Khoảng cách giữa các nút mạng (m x m)	1,5 x 1,5	20 x 20
Năng lượng ban đầu của mỗi nút	10J	
Công suất phát	-15 dBm	0 dBm
Chu kỳ gửi bản tin dữ liệu	60s	
Nguồn gửi bản tin dữ liệu	Tất cả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

Hình 3.7 minh họa sơ đồ bố trí các nút cảm biến TUmote trong kịch bản 1. Các nút cảm biến định kỳ sau 60s gửi một bản tin dữ liệu về nút gốc.

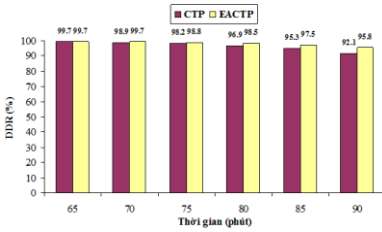
Hình 3.8, 3.9, 3.10 lần lượt là kết quả thực nghiệm đánh giá so sánh tỷ lệ các nút còn sống trong mạng, tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu, sự cân bằng năng lượng giữa các nút mạng đối với giao thức CTP và giao thức EACTP trong kịch bản 1. Tương tự như vậy, hình 3.13, 3.14, 3.15 là kết quả đánh giá thực nghiệm trong kịch bản 2. Các kết quả đánh giá thực nghiệm cho thấy:



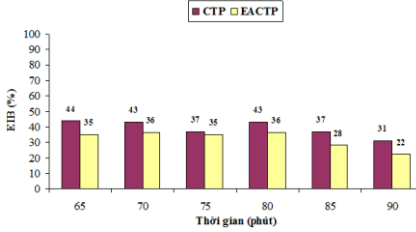
Hình 3.7: Sơ đồ bố trí các nút.



Hình 3.8: So sánh ANR.



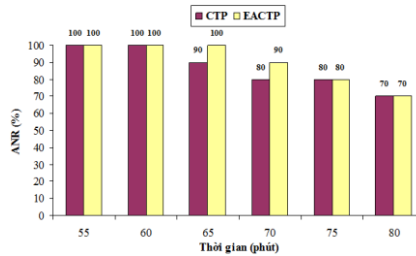
Hình 3.9: So sánh DDR.



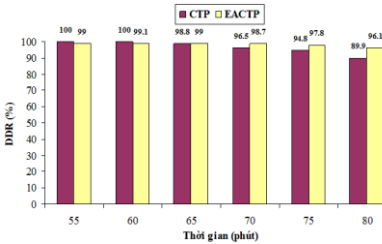
Hình 3.10: So sánh EIB.



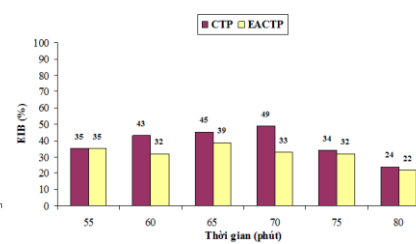
Hình 3.12: Triển khai TUmote.



Hình 3.13: So sánh ANR.



Hình 3.14: So sánh DDR.



Hình 3.15: So sánh EIB.

- Nếu giá trị ngưỡng được thiết lập để xác định thời gian sống của mạng là 100% thì hình 3.8, 3.13 cho thấy thời gian sống của mạng khi

hoạt động theo giao thức EACTP được cải thiện hơn so với giao thức CTP: Tăng 10 phút (tương ứng với 15,4% ở hình 3.8) và tăng 5 phút (tương ứng với 7,7% ở hình 3.13). Như vậy, cả mô phỏng và thực nghiệm đều cho kết quả giống nhau đó là giao thức EACTP có thời gian sống của mạng tốt hơn so với giao thức CTP ban đầu.

- Hình 3.8, 3.9, 3.13, 3.14 cũng cho thấy khi số lượng các nút trong mạng hết năng lượng tăng lên thì số lượng bản tin dữ liệu được gửi về nút gốc giảm. Do vậy, tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu trong mạng cũng giảm theo. Qua đó, chúng ta nhận thấy rằng kết quả đánh giá bằng thực nghiệm hoàn toàn phù hợp với phân tích lý thuyết.

- Giao thức EACTP đảm bảo được sự cân bằng năng lượng giữa các nút mạng tốt hơn so với giao thức CTP. Điều này được thể hiện bởi chỉ số EIB của giao thức EACTP thấp hơn so với chỉ số EIB của giao thức CTP. Như vậy, các kết quả đánh giá thực nghiệm cũng tương đồng với các kết quả đánh giá mô phỏng.

KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Trong luận án này, tác giả tập trung giải quyết bài toán định tuyến có sự nhận thức về năng lượng áp dụng cho giao thức cây thu thập dữ liệu (bài toán định tuyến EACTP) trên mạng cảm biến không dây. Mục tiêu chính của luận án là: Đề xuất một giao thức định tuyến mới EACTP (Energy Aware Collection Tree Protocol) 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. Từ đó, thực thi và đánh giá hiệu năng của giao thức này bằng phương pháp mô phỏng, thực nghiệm.

Trên cơ sở phân tích mô hình toán học dựa trên lý thuyết đồ thị cho bài toán định tuyến cây thu thập dữ liệu có sự nhận thức về năng lượng EACTP, tác giả đã có một số đóng góp mới trong luận án như sau:

- Đề xuất một giao thức định tuyến mới đó là giao thức cây thu thập dữ liệu có sự nhận thức về năng lượng - EACTP (Energy Aware Collection Tree Protocol). Trong giao thức EACTP, tác giả đã thực hiện một số cải tiến: Thứ nhất, tác giả đã bổ sung thêm thành phần ước lượng năng lượng còn lại trên mỗi nút cảm biến; Thứ hai, tác giả đã đề xuất 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, tác giả đã đề xuất một thuật toán lựa chọn tuyến đường tối ưu mới dựa trên sự kết hợp giữa hai thước đo định tuyến là chất lượng liên kết của tuyến đường và trạng thái năng lượng còn lại trên nút chuyên tiếp.

- Mô phỏng và đánh giá hiệu năng giao thức EACTP thông qua một số mô hình mạng. Tác giả đã xác định các thước đo đánh giá phù hợp cho bài toán định tuyến EACTP và đưa ra một số kết quả đánh giá so sánh hiệu năng giữa giao thức EACTP và giao thức CTP. Các kết quả đánh giá so sánh dựa trên mô phỏng cho thấy giao thức EACTP đạt được một số tiêu chí quan trọng đó là: Tăng được thời gian sống của các nút mạng, đạt được tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu trong mạng ở mức cao, đảm bảo được sự cân bằng năng lượng giữa các nút mạng thuộc những tuyến đường có chất lượng liên kết tốt, không làm phát sinh thêm các chi phí mới về năng lượng trong việc gửi các bản tin điều khiển.

- Xây dựng một môi trường thực nghiệm dựa trên 10 nút cảm biến phần cứng TUmote (Thainguyen University mote), cho phép tùy biến, tích hợp các chức năng định tuyến mới và đánh giá hiệu năng của các giao thức CTP, EACTP trong điều kiện thực tế. Môi trường thực nghiệm này hoàn toàn có thể sử dụng lại được cho các nghiên cứu thực nghiệm khác trong lĩnh vực mạng cảm biến không dây và có thể rút ngắn thời gian để đưa các mô hình nghiên cứu lý thuyết sang các mô hình thực nghiệm có tính ứng dụng. Kết quả đánh giá thực nghiệm trên 10 nút cảm biến phần cứng TUmote đã kiểm chứng lại tính đúng đắn của các kết quả mô phỏng cũng như những lập luận về tính hiệu quả của giao thức EACTP mới đề xuất đó là: Thời gian sống của mạng khi hoạt động theo EACTP được cải thiện tốt hơn so với giao thức CTP ban đầu.

Hướng phát triển của đề tài: Ứng dụng phần cứng TUmote và giao thức EACTP cho hệ thống quan trắc nhanh môi trường đang được nghiên cứu và triển khai tại Viện nghiên cứu Điện tử, Tin học, Tự động hóa. Hiện tại, phần cứng TUmote cũng đang được nghiên cứu phát triển cho ứng dụng giám sát năng lượng tiêu thụ thiết bị điện. Đây là một trong những ứng dụng thuộc đề tài cấp Bộ Công thương “*Nghiên cứu phát triển thiết bị đo và chấp hành thông minh nối mạng Smart Metter dựa trên công nghệ mạng cảm biến không dây phục vụ cho việc quản lý và tiết kiệm năng lượng điện*” đang được thực hiện tại Viện nghiên cứu Điện tử, Tin học, Tự động hóa.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ

1. Vũ Chiến Thắng, Nguyễn Chấn Hùng, Lê Nhật Thăng, “*EACTP: Giao thức cây thu thập dữ liệu cải tiến cho mạng cảm biến không dây,*” Chuyên san Công nghệ thông tin và Truyền thông, Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật - Học viện Kỹ thuật quân sự, số 157, 10/2013, ISSN 1859-0209, trang 65-79.
2. 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), 2013, ISSN 1859-1531, trang 62-67.
3. 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), 2013, ISSN 1859-1531, trang 103-109.
4. Thang Vu Chien, Hung Nguyen Chan, Thanh Nguyen Huu, “*Operating System for Wireless Sensor Networks and an Experiment of Porting ContikiOS to MSP430 Microcontroller,*” Journal of Computer Science and Information, Vol 5, Issue 1, February 2012, ISSN: 2088-7051, pp. 50-56.
5. 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, 2012, ISSN: 2088-5334, Vol 2, No. 1, pp. 70-74.
6. Vũ Chiến Thắng, Nguyễn Chấn Hùng, Lê Nhật Thăng, “*EACTP: Giao thức cây thu thập dữ liệu với thông lượng cao và đảm bảo sự cân bằng năng lượng,*” Chuyên san Các công trình nghiên cứu, phát triển và ứng dụng Công nghệ thông tin và Truyền thông, Tạp chí Công nghệ thông tin & Truyền thông, Chuyên san Kỳ 3, Tập V-1, 2014, ISSN: 1859-3526, trang 41-50.