**MỤC LỤC**

[CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ ĐỊNH TUYẾN TRONG MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY 1](#_Toc169704544)

[1.1 Tổng quan về mạng cảm biến không dây 1](#_Toc169704545)

[1.1.1 Mạng cảm biến không dây là gì? 1](#_Toc169704546)

[1.1.2 Cấu trúc mạng cảm biến không dây 1](#_Toc169704547)

[1.1.3 Đặc điểm mạng cảm biến không dây 1](#_Toc169704548)

[1.1.4 Ứng dụng của mạng cảm biến không dây 1](#_Toc169704549)

[1.2 Định tuyến trong mạng cảm biến không dây 1](#_Toc169704550)

[1.2.1 Định tuyến là gì? 1](#_Toc169704551)

[1.2.2 Các thách thức với quá trình định tuyến cho mạng cảm biến không dây 1](#_Toc169704552)

[1.2.3 Một số thuật toán định tuyến cho mạng cảm biến không dây 1](#_Toc169704553)

[1.3 Kết luận chương 1](#_Toc169704554)

[CHƯƠNG 2. THUẬT TOÁN ĐỊNH TUYẾN RPL 1](#_Toc169704555)

[2.1 Giới thiệu thuật toán định tuyến RPL 1](#_Toc169704556)

[2.2 Các khái niệm quan trọng 1](#_Toc169704557)

[2.3 Các loại bản tin điều khiển 1](#_Toc169704558)

[2.3.1 Bản tin DIS 1](#_Toc169704559)

[2.3.2 Bản tin DIO 1](#_Toc169704560)

[2.3.3 Bản tin DAO 1](#_Toc169704561)

[2.3.4 Bản tin DAO-ACK 1](#_Toc169704562)

[2.4 Hàm mục tiêu 1](#_Toc169704563)

[2.5 Hoạt động định tuyến sử dụng thuật toán RPL 1](#_Toc169704564)

[2.5.1 Định tuyến hướng lên 1](#_Toc169704565)

[2.5.2 Định tuyến hướng xuống 1](#_Toc169704566)

[2.6 Hạn chế 1](#_Toc169704567)

[2.7 Các hướng cải tiến 1](#_Toc169704568)

[2.7.1 Cải tiến hàm mục tiêu (OF) 1](#_Toc169704569)

[2.7.2 Cơ chế downward 3](#_Toc169704570)

[2.1.1. Tính bảo mật 4](#_Toc169704571)

[2.8 Kết luận chương 4](#_Toc169704572)

[CHƯƠNG 3. MỘT SỐ THUẬT TOÁN CẢI TIẾN DỰA TRÊN RPL 4](#_Toc169704573)

[3.1 Thuật toán RPL cải tiến dựa trên năng lượng 4](#_Toc169704574)

[3.2 Thuật toán RPL cải tiến dựa trên Radio Duty Cycle 4](#_Toc169704575)

[3.3 Thuật toán RPL cải tiến dựa trên tỉ lệ sử dụng hàng đợi tin nhắn 4](#_Toc169704576)

[CHƯƠNG 4. PHƯƠNG ÁN THỰC HIỆN ĐỀ TÀI 4](#_Toc169704577)

[4.1 Phạm vi đề tài 4](#_Toc169704578)

[4.2 Phương án thực hiện và các hạn chế 4](#_Toc169704579)

[4.3 Công cụ sử dụng 4](#_Toc169704580)

[4.3.1 Phần mềm 4](#_Toc169704581)

[4.3.2 Phần cứng 4](#_Toc169704582)

[4.4 Kết luận chương 4](#_Toc169704583)

[CHƯƠNG 5. MÔ PHỎNG MỘT SỐ THUẬT TOÁN ĐỊNH TUYẾN 4](#_Toc169704584)

[5.1 Kịch bản mô phỏng 4](#_Toc169704585)

[5.1.1 Cấu trúc mạng 4](#_Toc169704586)

[5.1.2 Các kịch bản mô phỏng 4](#_Toc169704587)

[5.2 Kết quả mô phỏng 4](#_Toc169704588)

[5.2.1 Kịch bản lưu lượng thấp 4](#_Toc169704589)

[5.2.2 Kịch bản lưu lượng cao 4](#_Toc169704590)

[5.3 Kết luận chương 4](#_Toc169704591)

[CHƯƠNG 6. THỰC NGHIỆM 4](#_Toc169704592)

[6.1 Kịch bản thực nghiệm 4](#_Toc169704593)

[6.2 Kết quả thực nghiệm 4](#_Toc169704594)

[6.3 Kết luận chương 4](#_Toc169704595)

[CHƯƠNG 7. KẾT QUẢ ĐẠT ĐƯỢC VÀ CÁC HẠN CHẾ 4](#_Toc169704596)

[7.1 Những kết quả đạt được 5](#_Toc169704597)

[7.2 Những hạn chế của đề tài 5](#_Toc169704598)

[KẾT LUẬN 5](#_Toc169704599)

[1. Kết luận 5](#_Toc169704600)

[2. Hướng phát triển của đồ án trong tương lai 5](#_Toc169704601)

[TÀI LIỆU THAM KHẢO 6](#_Toc169704602)

[PHỤ LỤC 7](#_Toc169704603)

**DANH MỤC HÌNH VẼ**

[Hình 2.1 Đồ thị kiểu bánh 20](#_Toc20580104)

[Hình 2.2 Đồ thị kiểu thanh ngang 20](#_Toc20580105)

[Hình 2.3 Đồ thị kiểu cột đứng 21](#_Toc20580106)

[Hình 2.4 Đồ thị kiểu đường 21](#_Toc20580107)

[Hình 2.5 Đồ thị kiểu diện tích 22](#_Toc20580108)

**DANH MỤC HÌNH VẼ**

[Bảng 1.1 Thống kê các thiết bị và giá thành 8](#_Toc20580109)

# TỔNG QUAN VỀ ĐỊNH TUYẾN TRONG MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY

## Tổng quan về mạng cảm biến không dây

### Mạng cảm biến không dây là gì?

### Cấu trúc mạng cảm biến không dây

### Đặc điểm mạng cảm biến không dây

### Ứng dụng của mạng cảm biến không dây

## Định tuyến trong mạng cảm biến không dây

### Định tuyến là gì?

### Các thách thức với quá trình định tuyến cho mạng cảm biến không dây

### Một số thuật toán định tuyến cho mạng cảm biến không dây

## Kết luận chương

# THUẬT TOÁN ĐỊNH TUYẾN RPL

## Giới thiệu thuật toán định tuyến RPL

## Các khái niệm quan trọng

## Các loại bản tin điều khiển

### Bản tin DIS

### Bản tin DIO

### Bản tin DAO

### Bản tin DAO-ACK

## Hàm mục tiêu (Objective Function)

## Hoạt động định tuyến sử dụng thuật toán RPL

### Định tuyến hướng lên

### Định tuyến hướng xuống

1. Chế độ lưu trữ
2. Chế độ không lưu trữ

## Hạn chế

## Các hướng cải tiến

### Cải tiến hàm mục tiêu (OF)

Hàm mục tiêu quyết định trực tiếp đến hiệu suất của mạng cảm biến không dây. Việc lựa chọn hàm mục tiêu phù hợp sẽ giúp tiết kiệm năng lượng, tránh tắc nghẽn mạng, định tuyến gói tin hiệu quả. Vì vậy nhiều nghiên cứu tập trung vào cải tiến hàm mục tiêu cho thuật toán RPL. Có 2 cách tiếp cận chính được đề xuất:

1. Đề xuất chỉ số mới để tính OF.

Các chỉ số được sử dụng để tính toán OF dựa trên đặc tính của đường truyền (Link metrics) hoặc đặc tính của nút( Nút metrics). Các chỉ số thường được sử dụng gồm:

Link metrics:

* RSSI (Received Signal Strength Indicator) và LQI (Link Quality Indicator): Tầng vật lý cho phép xác định các đặc tính mạng như tín hiệu, tần số, điện áp, vv. Hai chỉ số ước lượng liên kết radio phổ biến nhất là Received Signal Strength Indicator (RSSI) và Link Quality Indicator (LQI). RSSI là một tầng vật lý phần cứng, hoạt động như một bộ thu phát radio được tải để kiểm tra sự có sẵn của tín hiệu tần số nhận được trước khi gửi dữ liệu. Trong khi đó, LQI đo độ tin cậy của liên kết sử dụng một phạm vi từ 0 đến 7 để chỉ ra mức độ chất lượng của liên kết.
* ETX (Expected Transmission Count): Số Lượng Gói Truyền Dự Kiến là một chỉ số đánh giá độ tin cậy của mạng. Nó thể hiện số lần truyền gói cần thiết để nhận được một phản hồi từ đích đến. Con đường cung cấp giá trị ETX thấp nhất được chọn là con đường tối ưu để đến gốc.

Nút metrics:

* Năng lượng: Năng lượng là một chỉ số của nút, thể hiện lượng năng lượng mà các nút tiêu tốn trong quá trình hoạt động mạng của chúng. Do sự phân bố của các nút và khoảng cách của chúng đến điểm thu, một số nút có thể tiêu tốn năng lượng nhanh hơn. Những nút này tạo ra một nút thắt cổ chai gây tắc nghẽn mạng. Vì lí do này, cần phải xem xét năng lượng còn lại của các nút khi thiết kế một hàm mục tiêu mới[1]. Trong nghiên cứu [2], tác giả nhận thấy các nút có rank thấp hơn( gần root nút) hơn sẽ phải vận chuyển nhiều tin nhắn do các nút con gửi hơn. Do đó tác giả đề xuất thêm hệ số điều chỉnh dựa trên rank để cân bằng năng lượng trong mạng.
* Trạng thái tải: Sự phân bố không hợp lý của cấu trúc mạng có thể khiến một số nút trung gian bị quá tải vì có quá nhiều nút con dưới nó. Nghiên cứu [3] chứng minh rằng trạng thái tắc nghẽn của mạng có thể thấy được qua dung lượng còn lại của hàng đợi tin nhắn của các nút. Vì vậy nghiên cứu đề xuất đưa hệ số sử dụng hàng đợi (queue utilization), kết hợp với giá trị ETX để làm hàm mục tiêu.

1. Kết hợp nhiều chỉ số (Metrics):

Các chỉ số định tuyến được sử dụng đơn lẻ có những ưu và nhược điểm riêng. Việc kết hợp các chỉ số lại với nhau có thể mang lại hiệu quả định tuyến cao hơn. Có 2 cách kết hợp:

* Kiểu thứ bậc: Hai chỉ số được sử dụng. Nút sẽ quyết định chọn nút cha theo từng chỉ số. Nếu giá trị của chỉ số đầu tiên bằng nhau, nút sẽ kiểm tra chỉ số thứ hai để xác định nút cha.
* Đánh trọng số: Các chỉ số được đánh trọng số để tính ra một chỉ số chung dùng để quyết định nút cha[4]. Ví dụ số bước nhảy (Hop count- HP) và Số lượng gói truyền dự kiến( Expected transmission count – ETX) được sử dụng. Chỉ số chung:

ở đó và thỏa mãn điều kiện:

* Sử dụng Fuzzy logic[5]: Logic mờ đã được ứng dụng thành công trong nhiều lĩnh vực nơi mà đầu ra phụ thuộc không rõ ràng vào các đầu vào, và các đầu vào có sự tương quan lớn với nhau. Trong nghiên cứu [5], tác giả đề xuất sử dụng logic mờ để kết hợp chỉ số ETX và tiêu thụ năng lượng. Kết quả cho thấy phương pháp cân bằng phân phối tiêu thụ năng lượng tốt hơn và hiệu suất tốt hơn.

### Cơ chế downward

Cơ chế downward của thuật toán RPL có hai chế độ: chế độ lưu trữ( storing mode) và chế độ không lưu trữ( non-storing mode). Cả hai chế độ này đều tồn tại những nhược điểm:

* Trong chế độ không lưu trữ, một định tuyến nguồn được sử dụng cho truyền gói tin, nhưng định tuyến nguồn có thể gây ra độ trễ và mất gói tin. Để thực hiện định tuyến nguồn, chế độ không lưu trữ lưu trữ tất cả thông tin đường đi định tuyến trong một DODAG root. DODAG root tạo ra các phần bổ sung của một header định tuyến bao gồm thông tin cho định tuyến nguồn. Do đó, chế độ không lưu trữ sẽ có lợi ích cho các nút bị hạn chế bộ nhớ. Tuy nhiên, chế độ kxhông lưu trữ có thể gây ra việc chia nhỏ gói tin khi chiều dài của con đường đến một điểm đích trở nên dài hơn vì tất cả các đường đều phải được lưu trữ trong header định tuyến. Việc chia nhỏ gói tin dẫn đến việc sử dụng nhiều gói tin hơn để mang một lượng thông tin tương đương. Do đó, độ trễ và mất gói tin được gây ra bởi việc chia nhỏ gói tin.
* Chế độ lưu trữ cũng có một điểm yếu. Trong chế độ này, thông tin định tuyến hướng xuống được lưu trữ riêng biệt giữa các nút định tuyến, và việc truyền gói tin được thực hiện bằng cách sử dụng thông tin đã lưu trữ này. Việc chuyển tiếp gói tin có thể được thực hiện mà không cần bất kỳ thông tin bổ sung nào, nhưng có một hạn chế là các nút định tuyến gần với một DODAG root cần nhiều không gian lưu trữ hơn vì chúng phải đảm bảo giữ thông tin định tuyến liên quan đến toàn bộ các DODAG con. Điều này khiến cho tính mở rộng của mạng với các nút có bộ nhớ hạn chế bị hạn chế. Điểm yếu tự nhiên của chế độ lưu trữ có thể trở nên trầm trọng trong tình huống có thể xảy ra khi các nút di động xuất hiện trong mạng DODAG. Các nút di động được phép di chuyển tự do trên mạng DODAG mà không cần dọn dẹp các bảng định tuyến đã được lưu trữ trong các nút đã tham gia trước đó. Vì lí do này, trong chế độ lưu trữ, các bộ định tuyến có thể cần thêm không gian lưu trữ để lưu trữ thông tin định tuyến của các nút di động.

Nghiên cứu [6] đề xuất chế độ kết hợp giữa storing mode và non-storing mode (hybrid mode) để cải thiện nhược điểm của chế độ downward. Một phần tiêu đề mở rộng Ipv6 mới được tác giả đề xuất để mang thêm thông tin hỗ trợ định tuyến.

### Tính bảo mật

## Kết luận chương

# MỘT SỐ THUẬT TOÁN CẢI TIẾN DỰA TRÊN RPL

Thuật toán RPL tiêu chuẩn được mô tả bởi IETF trong [7] cung cấp 2 hàm mục tiêu cơ bản là OF0 và MRHOF. Giá trị Expected Transmit Count (ETX) thường được sử dụng để như chỉ số đánh giá chất lượng đường truyền từ nút đến nút gốc. Chúng có thể hoạt động tốt trong mạng đơn giản với lưu lượng thấp. Tuy nhiên, những thuật toán này mới chỉ xem xét đến chất lượng đường truyền làm tiêu chí chọn nút cha ưu tiên, có thể dẫn đến mất cân bằng về mặt năng lượng khi một nhóm các nút cùng chọn một nút cha có chỉ số ETX nhỏ nhất để làm nút cha ưu tiên. Nút cha này sẽ nhanh chóng cạn kiệt năng lượng và ngừng hoạt động. Để khắc phục vấn đề này, một số nghiên cứu đã đề xuất các OF mới để giải quyết vấn đề cân bằng năng lượng trong mạng tổn hao và năng lượng thấp. Dưới đây em sẽ giới thiệu một số thuật toán cải tiến. Đặc điểm chung của các thuật toán này là đều sử dụng chỉ số ETX để đánh giá chất lượng đường truyền, kết hợp với một chỉ số đề xuất để cân bằng năng lượng và phát hiện tắc nghẽn trong mạng.

## Thuật toán RPL cải tiến dựa trên năng lượng còn dư

Do đặc điểm của mạng cảm biến không dây năng lượng thấp là các nút thường được hoạt động trên các nguồn năng lượng hạn chế như pin, hoặc nguồn năng lượng tái tạo công suất thấp như năng lượng mặt trời. Vì vậy lượng năng lượng còn lại có thể được sử dụng của nút cần được đưa vào để xem xét như một tiêu chí để định tuyến. Nghiên cứu [8] sử dụng tỉ số năng lượng còn lại của nút trên tổng năng lượng của nút kết hợp với giá trị ETX để làm hàm mục tiêu cho thuật toán RPL.

### Ước tính năng lượng tiêu thụ của nút

Để xác định được tỉ lệ năng lượng còn lại của nút, chúng ta cần tính được lượng năng lượng nút đã sử dụng. Việc này có thể được thực hiện bằng cách lắp đặt các mạch điện phần cứng cho phép đo công suất, dòng điện, điện áp tiêu thụ của từng nút. Tuy nhiên phần cứng triển khai thêm làm tăng chi phí, kích thước của sản phẩm, khó có thể triển khai trong thực tế. Vì vậy phương pháp ước tính năng lượng tiêu thụ bằng phần mềm được được sử dụng. Phương pháp này dựa trên quan sát rằng một nút cảm biến truyền tin bằng sóng radio có 4 trạng thái hoạt động ứng với 4 mức độ tiêu thụ năng lượng khác nhau:

* CPU: Trạng thái cpu hoạt động
* LPM: Trạng thái low power mode, khi cpu vào chế độ ngủ để tiết kiệm năng lượng
* TRANSMIT: Bộ radio hoạt động để gửi dữ liệu
* LISTEN: Bộ radio lắng nghe dữ liệu gửi từ nút khác

Năng lượng tiêu thụ trong khoảng thời gian t được tính theo công thức:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3.1) |

Trong đó: là năng lượng tiêu thụ của nút trong thời gian t

là dòng tiêu thụ trong từng chế độ

là thời gian nút hoạt động trong từng chế độ

Năng lượng còn lại của mỗi nút:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3.2) |

Trong đó: EE là năng lượng còn lại của nút

Max Energy là năng lượng ban đầu của nút

EC là năng lượng đã tiêu thụ của nút tính theo (3.1)

Các giá trị là có thể đo được bằng phần mềm qua các module đo thời gian được tích hợp sẵn trong các hệ điều hành mã nguồn mở phổ biến cho mạng cảm biến không dây như Contiki OS, Tiny OS.

### Chi phí đường đi

Theo RFC6551 [9], chi phí đường đi phải được ghi lại dọc theo đường dẫn đó. Công thức xác định chi phi đường đi (path cost) qua một nút cha nào đó như sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3.3) |

Rank của nút con được cập nhập theo công thức:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | ) | (3.4) |

Bằng cách điều chỉnh hệ số K, nút con sẽ cân bằng giữa việc lựa chọn đường đi có tổng ETX nhỏ nhất, tương ứng với chất lượng tốt nhất và đường đi có tổng năng lượng còn lại lớn nhất nhất.

Phương pháp này có ưu điểm là đơn giản, có hiệu quả cao trong việc cân bằng mức độ sử dụng năng lượng của nút. Tuy nhiên các thông số là thay đổi theo phần cứng được sử dụng cho nút, vì vậy thay đổi theo từng nút, khó để tiêu chuẩn hóa.

## Thuật toán RPL cải tiến dựa trên Radio Duty Cycle

Đối với mạng cảm biến không dây sử dụng năng lượng từ pin, lớp MAC(Medium Access Control) thường sử dụng giao thức RDC(Radio Duty Cycle) để tiết kiệm năng lượng. RDC chịu trách nghiệm cho việc giữ bộ radio ở chế độ ngủ trong hầu hết thời gian, thường là từ 90-99% của chu kì hoạt động và chỉ thức dậy để nhận và gửi dữ liệu khi cần thiết. Năng lượng được tiêu thụ chủ yếu trong quá trình nút thức dậy để nhận và gửi dữ liệu, và tăng khi nút thức dậy để gửi gói tin của nó hoặc chuyển tiếp gói tin của nút khác, trong khi đó năng lượng tiêu thụ trong quá trình CPU hay LPM thường không đổi. Vì vậy, nghiên cứu [10] đề xuất sử dụng tỉ số giữa thời gian radio hoạt động và thời gian cpu hoạt động để ước tính mức độ sử dụng năng lượng của một nút. Ước tính mức độ sử dụng năng lượng của nút được tính theo công thức:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3.5) |

Ước tính này phản ánh trạng thái tải của nút và không phụ thuộc vào phần cứng nút sử dụng.

### Chi phí đường đi

Tương tự như phương pháp sử dụng năng lượng còn dư, công thức xác định chi phi đường đi (path cost) qua một nút cha nào đó như sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3.6) |

Trong đó: là hệ số điều chỉnh

là ước tính năng lượng được tính theo (3.5)

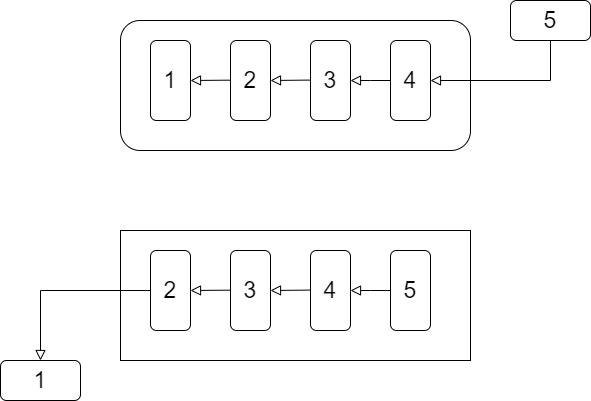
Rank của nút con được cập nhập theo công thức:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | ) | (3.7) |

## Thuật toán RPL cải tiến dựa trên tỉ lệ sử dụng hàng đợi tin nhắn

Một trong những nguyên nhân gây mất gói tin trong mạng mất mát và năng lượng thấp đó là việc gói tin bị bỏ hàng chờ tin nhắn của nút trung gian bị đầy do có quá nhiều nút chuyển tiếp đến cùng lúc.

Hàng đợi tin nhắn của nút trong mạng cảm biến hoạt động như sau:



Hàng đợi tin nhắn (queue) là một cấu trúc dữ liệu hoạt động theo cơ chế Vào trước- ra trước (First in- first out hay FIFO). Khi có gói tin mới được gửi đến, gói tin được đẩy vào cuối của hàng đợi và chờ ở đó. Gói tin sẽ được lấy ra từ đầu hàng đợi để xử lý hoặc chuyển tiếp đến cho nút khác. Tuy nhiên sức chứa của hàng đợi là có giới hạn, tùy thuộc vào giới hạn phần cứng của nút. Các nút trong mạng cảm biến không dây năng lượng thấp thường được xây dựng trên phần cứng hạn chế, vì vậy kích thước hàng đợi thường là nhỏ. Trong điều kiện thông thường, lưu lượng truyền tin nhỏ, hàng đợi hiếm khi bị đầy. Tuy nhiên trong điều kiện tắc nghẽn, số lượng gói tin truyền đến nút lớn, vượt quá sức chứa của hàng đợi, buộc nút phải hủy bỏ các gói tin mới nhận được. Việc này dẫn đến mất gói tin, giảm tỉ lệ truyền thành công trong mạng.

Nghiên cứu [3] chỉ ra rằng mất gói tin do đầy hàng đợi là nguyên nhân chính gây ra mất mát gói tin trong điều kiện lưu lượng tải lớn. Vì vậy tác giả đề xuất sử dụng tỉ lệ sử dụng hàng đợi, được tính bằng tỉ số số gói tin đang trong hàng đợi chia trên kích thước của hàng đợi, như một chỉ số để tính hàm mục tiêu trong thuật toán RPL. Tác giả kết hợp giữa chỉ số ETX và tỉ lệ sử dụng hàng đợi tin nhắn- QU, trong đó ETX thể hiện chất lượng đường truyền còn QU dùng để phát hiện tình trạng tắc nghẽn tại 1 nút.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3.8) |

Chi phí đường đi:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3.9) |

Trong đó: là hệ số điều chỉnh

Các kết quả cho thấy thuật toán sử dụng tỉ lệ sử dụng hàng đợi hoạt động tốt trong điều kiện lưu lượng lớn, giúp cân bằng tải, tăng tỉ lệ truyền tin thành công và kéo dài thời gian sống của mạng.

# PHƯƠNG ÁN THỰC HIỆN ĐỀ TÀI

## Phạm vi đề tài

## Phương án thực hiện và các hạn chế

## Công cụ sử dụng

### Phần mềm

1. Contiki OS
2. Công nghệ 6LowPan
3. Phần mềm mô phỏng Cooja
4. Ngôn ngữ Python

### Phần cứng

1. Kit phát triển LaunchPad CC2650

## Kết luận chương

# MÔ PHỎNG MỘT SỐ THUẬT TOÁN ĐỊNH TUYẾN

## Kịch bản mô phỏng

### Cấu trúc mạng

### Các kịch bản mô phỏng

## Kết quả mô phỏng

### Kịch bản lưu lượng thấp

### Kịch bản lưu lượng cao

## Kết luận chương

# THỰC NGHIỆM

## Kịch bản thực nghiệm

## Kết quả thực nghiệm

## Kết luận chương

# KẾT QUẢ ĐẠT ĐƯỢC VÀ CÁC HẠN CHẾ

## Những kết quả đạt được

## Những hạn chế của đề tài

# KẾT LUẬN

## Kết luận

Nội dung phần kết luận này tùy thuộc vào từng đồ án. Lưu ý trong phần kết luận không nên có bất cứ phương trình, biểu đồ hay bảng biểu nào. Cần trình bày rõ nội dung đồ án tốt nghiệp đã đáp ứng đầy đủ các yêu cầu của đề bài hay chưa. Trình bày về ý nghĩa của các kết quả thu được, các đánh giá nhận xét về tính khả thi, tính chính xác của kết quả, tính thực tế của đồ án…Cần lưu ý hạn chế sử dụng các tính từ, trạng từ mạnh trong khi miêu tả kết quả đạt được, cần đảm bảo tính trung thực của các kết luận.

Trình bày các kiến thức mà sinh viên đã đạt được sau khi thực hiện đồ án tốt nghiệp. Đồng thời trình bày về các kỹ năng đã học được (kỹ năng tự tìm kiếm tài liệu, tổng hợp thông tin, kỹ năng chế bản, kỹ năng trình bày, viết báo….).

## Hướng phát triển của đồ án trong tương lai

Nêu tóm tắt hướng mở rộng của đề tài trong tương lai nếu có. Đây là mục tùy chọn vì phụ thuộc vào loại đề tài.

[1] A. K. Idrees and A. J. H. Witwit, ‘Energy-efficient load-balanced RPL routing protocol for internet of things networks’, *Int. J. Internet Technol. Secur. Trans.*, vol. 11, no. 3, p. 286, 2021, doi: 10.1504/IJITST.2021.114930.

[2] B. Khemapataphan, A. Kheaksong, K. Thakulsukanant, and W. Lee, ‘Weight ranking mechanism of energy balancing routing metric for RPL protocol in smart grid communications’, in *2017 14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, Phuket: IEEE, Jun. 2017, pp. 640–644. doi: 10.1109/ECTICon.2017.8096319.

[3] H.-S. Kim, H. Kim, J. Paek, and S. Bahk, ‘Load Balancing Under Heavy Traffic in RPL Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks’, *IEEE Trans. Mob. Comput.*, vol. 16, no. 4, pp. 964–979, Apr. 2017, doi: 10.1109/TMC.2016.2585107.

[4] H. Lamaazi and N. Benamar, ‘A comprehensive survey on enhancements and limitations of the RPL protocol: A focus on the objective function’, *Ad Hoc Netw.*, vol. 96, p. 102001, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.adhoc.2019.102001.

[5] H. Lamaazi and N. Benamar, ‘RPL enhancement using a new objective function based on combined metrics’, in *2017 13th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, Valencia, Spain: IEEE, Jun. 2017, pp. 1459–1464. doi: 10.1109/IWCMC.2017.7986499.

[6] S. Oh, D. Hwang, K. Kim, and K.-H. Kim, ‘A hybrid mode to enhance the downward route performance in routing protocol for low power and lossy networks’, *Int. J. Distrib. Sens. Netw.*, vol. 14, p. 155014771877253, Apr. 2018, doi: 10.1177/1550147718772533.

[7] R. Alexander *et al.*, ‘RPL: IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks’, Internet Engineering Task Force, Request for Comments RFC 6550, Mar. 2012. doi: 10.17487/RFC6550.

[8] L.-H. Chang, T.-H. Lee, S.-J. Chen, and C.-Y. Liao, ‘Energy-Efficient Oriented Routing Algorithm in Wireless Sensor Networks’, in *2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Manchester: IEEE, Oct. 2013, pp. 3813–3818. doi: 10.1109/SMC.2013.651.

[9] JP. Vasseur, M. Kim, K. Pister, N. Dejean, and D. Barthel, ‘Routing Metrics Used for Path Calculation in Low-Power and Lossy Networks’, RFC Editor, RFC6551, Mar. 2012. doi: 10.17487/rfc6551.

[10] M. Banh, N. Nguyen, K.-H. Phung, L. Nguyen, N. H. Thanh, and K. Steenhaut, ‘Energy balancing RPL-based routing for Internet of Things’, in *2016 IEEE Sixth International Conference on Communications and Electronics (ICCE)*, Jul. 2016, pp. 125–130. doi: 10.1109/CCE.2016.7562624.

# PHỤ LỤC

1. **Chi tiết số liệu thí nghiệm**

Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có).

1. **Chi tiết các bước tính toán**

Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có).

1. **Chi tiết sơ đồ mô phỏng**

Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trìn