

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ**

Lê Đình Thanh

**HỖ TRỢ ĐỊNH VỊ VÀ NÂNG CAO HIỆU
NĂNG ĐỊNH TUYẾN DỰA TRÊN THÔNG
TIN VỊ TRÍ CHO CÁC MẠNG CẢM BIẾN
KHÔNG DÂY**

Chuyên ngành: Truyền Dữ liệu và Mạng Máy tính
Mã số: 62.48.15.01

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ CÔNG NGHỆ THÔNG TIN

Hà Nội – 2014

Công trình được hoàn thành tại Trường Đại học Công nghệ,
ĐHQGHN.

Người hướng dẫn khoa học: PGS. TS. Hồ Thuần

TS. Nguyễn Đại Thọ

Phản biện 1: PGS. TS. Vũ Duy Lợi

Trung tâm CNTT, VP Trung ương Đảng

Phản biện 2: PGS. TS. Nguyễn Hữu Thanh

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

Phản biện 3: PGS. TS. Lê Nhật Thăng

Học viện Công nghệ Bưu chính – Viễn thông

Luận án đã được bảo vệ trước Hội đồng cấp Đại học Quốc gia chấm luận án tiến sĩ họp tại Trường Đại học Công nghệ, ĐHQGHN vào hồi 09 giờ ngày 03 tháng 4 năm 2014.

Có thể tìm luận án tại:

- Thư viện Quốc gia Việt Nam
- Trung tâm Thông tin – Thư viện, ĐHQGHN

CHƯƠNG 1

MỞ ĐẦU

1.1 Mạng cảm biến không dây

Mỗi nút cảm biến có bộ vi xử lý, bộ nhớ, bộ phận thu/phát tín hiệu không dây, một hoặc nhiều thiết bị cảm biến, nguồn năng lượng (pin) và có thể có cả bộ phận định vị. Nhiều nút cảm biến được triển khai trên một khu vực tạo thành một *mạng tự hợp* của các nút cảm biến.

1.2 Một vài ứng dụng điển hình của mạng cảm biến không dây

Mạng cảm biến không dây được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như môi trường, nông nghiệp, y tế, quân sự, ...

1.3 Định tuyến và định vị trong mạng cảm biến không dây

Các phương pháp định tuyến dựa trên thông tin topo hầu như không áp dụng được cho mạng cảm biến không dây. Những năm gần đây, một tiếp cận hoàn toàn khác cho vấn đề định tuyến cho mạng cảm biến không dây là sử dụng thông tin về vị trí/tọa độ của các nút làm thông tin dẫn đường. Tiếp cận mới này có tên là *định tuyến dựa trên thông tin vị trí*. Định tuyến dựa trên thông tin vị trí giả thiết mỗi nút biết về vị trí của nó. Trong trường hợp các nút không được trang bị thiết bị định vị, vì lý do tài chính và

hiệu quả sử dụng năng lượng, một thuật toán phân tán có thể được sử dụng để gán tọa độ cho các nút. Thuật toán như vậy được gọi là thuật toán *định vị*.

1.4 Vấn đề được giải quyết và mục tiêu của luận án

Định vị và định tuyến đơn phát dựa trên thông tin vị trí đã và đang được nghiên cứu để ứng dụng trong mạng cảm biến không dây. Trong luận án này, các vấn đề sau đây thuộc hai bài toán nêu trên được quan tâm giải quyết:

- **Hỗ trợ định vị với phát hiện biên dựa trên kết nối:** Đề xuất một thuật toán phát hiện biên phục vụ cho định vị có chi phí truyền thông và tính toán thấp, có thể làm việc trên cả các mạng cảm biến có mật độ nút thưa và phân bố không đều.
- **Nâng cao hiệu năng định tuyến đơn phát dựa trên thông tin vị trí với tối ưu hóa đường đi:** Đề xuất một giao thức tối ưu hóa đường đi có thể tạo nhanh và khai thác hiệu quả các đường tắt, có thể áp dụng cho kịch bản có nhiều nút đích, và do vậy có thể áp dụng để nâng cao hiệu năng của định tuyến đơn phát dựa trên thông tin vị trí.
- **Nâng cao hiệu năng định tuyến đơn phát dựa trên thông tin vị trí sử dụng cạnh tranh kết hợp:** Sử dụng đồng thời cả hai hình thức cạnh tranh quyết liệt và không quyết liệt, được gọi là cạnh tranh kết hợp, nhằm kế thừa các ưu điểm của cả hai hình thức cạnh tranh.

1.5 Nội dung luận án

Luận án được trình bày trong năm chương:

- *Chương 1* đặt vấn đề, phát biểu bài toán và mục tiêu của luận án, tóm tắt nội dung và những đóng góp chính của luận án.
- *Chương 2* trình bày kết quả nghiên cứu tổng quan về định vị và định tuyến đơn phát dựa trên thông tin vị trí.
- *Chương 3* trình bày một thuật toán phát hiện biên dựa trên kết nối được đề xuất.
- *Chương 4* trình bày một giao thức được đề xuất nhằm tối ưu hóa đường đi trong định tuyến đơn phát dựa trên thông tin vị trí.
- *Chương 5* trình bày một giao thức khác được đề xuất nhằm nâng cao hiệu năng định tuyến đơn phát dựa trên thông tin vị trí bằng việc sử dụng cạnh tranh kết hợp không sử dụng gói tin chào hỏi.
- Phần kết luận tổng kết các kết quả chính của luận án và giới thiệu một số hướng nghiên cứu mở rộng tiếp theo.

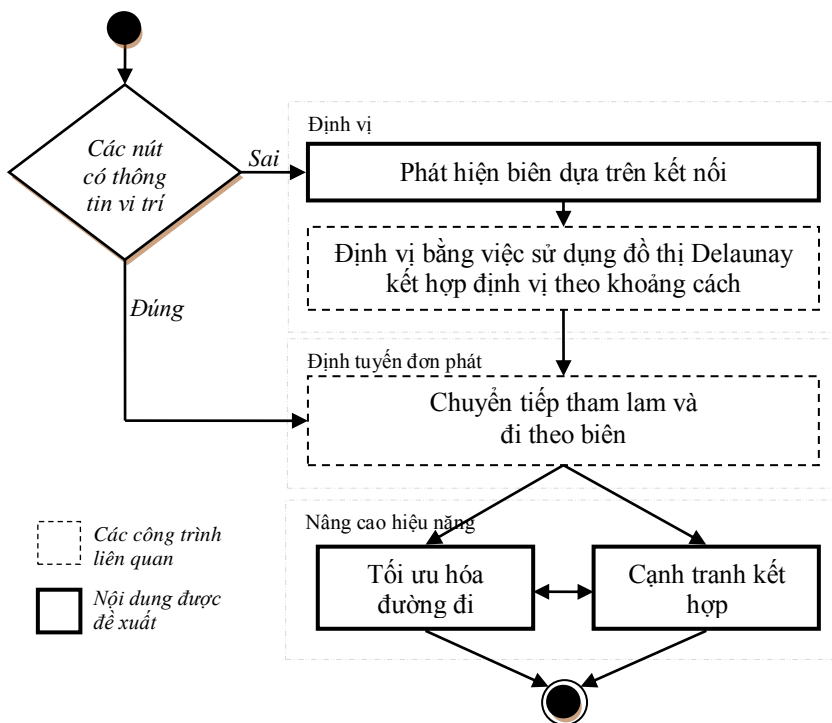
1.6 Đóng góp của luận án

Những đóng góp chính của luận án bao gồm:

- Đề xuất một thuật toán phát hiện biên dựa trên kết nối có độ phức tạp tính toán và truyền thông thấp, có thể làm việc tốt trên cả các mạng cảm biến có mật độ thấp.
- Đề xuất một giao thức tối ưu hóa đường đi có tên Greedy with Path Optimization Routing (GPOR).

- Đề xuất một giao thức định tuyến dựa trên thông tin vị trí không sử dụng gói tin chào hỏi có tên là Hybrid Contention-Based Geographic Routing (HCGR) sử dụng đồng thời hai hình thức cạnh tranh quyết liệt và không quyết liệt, được gọi là cạnh tranh kết hợp.

Hình 1.1 thể hiện trực quan về các bài toán được quan tâm cùng những đề xuất nhằm giải quyết các bài toán này.



Hình 1.1. Giải pháp được đề xuất.

CHƯƠNG 2

TỔNG QUAN VỀ ĐỊNH VỊ VÀ ĐỊNH TUYẾN DỰA TRÊN THÔNG TIN VỊ TRÍ

2.1 Định vị

Các thuật toán định vị đã được đề xuất được chia thành hai lớp chính là *dựa trên khoảng* và *dựa trên kết nối*. Nhìn chung, định vị dựa trên khoảng có thể áp dụng cho các hệ thống khác nhưng không phù hợp cho mạng cảm biến không dây. Định vị dựa trên kết nối hiệu quả về mặt kinh tế và không bị ảnh hưởng bởi nhiễu.

2.2 Phát hiện biên

Phát hiện biên là công đoạn đầu trong các thuật toán định vị dựa trên kết nối. Các phương pháp phát hiện biên dựa trên kết nối đã có được chia thành hai lớp là *thống kê* và *dựa trên kết nối*.

2.3 Định tuyến dựa trên thông tin vị trí

Định tuyến dựa trên thông tin vị trí giả thiết mỗi nút biết về vị trí của nó bằng. Ngoài ra, định tuyến cần sử dụng một thuật toán khác, được gọi là *dịch vụ thông tin vị trí*, để xác định vị trí của nút đích. Định tuyến dựa trên thông tin vị trí sử dụng kết hợp *chuyển tiếp dựa trên thông tin vị trí* và *định tuyến khôi phục* để định tuyến gói tin.

2.3.1 Dịch vụ thông tin vị trí

Dịch vụ thông tin vị trí được sử dụng như dịch vụ nền có chức năng cung cấp thông tin về vị trí của các nút cho các thuật toán khác. Bởi vậy, dịch vụ thông tin vị trí thường được nghiên cứu như một bài toán độc lập.

2.3.2 Chuyển tiếp dựa trên thông tin vị trí

Chuyển tiếp dựa trên thông tin vị trí là kỹ thuật chuyển gói tin từ nút này đến nút khác gần đích hơn. Kỹ thuật chuyển tiếp dựa trên thông tin vị trí được sử dụng rộng rãi nhất, vì tính đơn giản của nó, là *chuyển tiếp tham lam* hay chuyển tiếp theo khoảng cách. Những kỹ thuật chuyển tiếp dựa trên thông tin vị trí khác đã được đề xuất bao gồm chuyển tiếp theo góc, chuyển tiếp theo bước tiến, và chuyển tiếp với quán tính.

2.3.3 Cực tiểu địa phương

Những nút tại đó không áp dụng thành công chuyển tiếp dựa trên thông tin vị trí được gọi là *cực tiểu địa phương*. Một cách trực quan, cực tiểu địa phương nằm ở biên của *vùng trống* và biên của mạng. Cực tiểu địa phương là vấn đề không thể tránh khỏi đối với chuyển tiếp dựa trên thông tin vị trí

2.3.4 Giảm thiểu và tránh cực tiểu địa phương

Kỹ thuật giảm thiểu và tránh cực tiểu địa phương được đề xuất sớm nhất là *sử dụng thông tin vùng lân cận*. Một kỹ

thuật tránh cực tiểu địa phương khác đã được đề xuất là *mô hình hóa và cảnh báo vùng trống*. *Sử dụng tọa độ ảo* thay vì tọa độ thật nhằm giảm thiểu cực tiểu địa phương là kỹ thuật mang tính sáng tạo.

2.3.5 Khôi phục sau cực tiểu địa phương

Khi gặp cực tiểu địa phương, gói tin được chuyển sang chế độ khôi phục. Ở chế độ khôi phục, gói tin được chuyển bằng định tuyến khôi phục. Kỹ thuật đơn giản nhất được sử dụng cho gói tin ở chế độ khôi phục là *phát tràn*. Kỹ thuật *quay lui* cũng đã được đề xuất cho mục đích khôi phục. Một kỹ thuật khôi phục phổ biến và được nghiên cứu nhiều là *định tuyến trên mặt*. Với quan sát rằng cực tiểu địa phương chỉ xuất hiện ở biên của các vùng trống và biên của mạng, một phương pháp khôi phục đã được đề xuất là chuyển gói tin *đi theo biên*. *Sử dụng cây bao lồi* là kỹ thuật khác nữa được dùng cho mục đích khôi phục.

2.4 Thảo luận

Định tuyến dựa trên thông tin vị trí là tiếp cận tốt cho mạng cảm biến không dây do điều kiện hạn chế về tài nguyên của các nút mạng. Trong nhiều giao thức đã được đề xuất, định tuyến dựa trên thông tin vị trí kết hợp chuyển tiếp tham lam và kỹ thuật khôi phục đi theo biên là giải pháp hiệu quả và khả thi. Tuy nhiên, định tuyến theo phương pháp này có hai yếu điểm chính. Thứ nhất, các đường đi dọc theo biên thường dài và không tối ưu. Thứ hai, nhiều đường đi dọc

theo biên dẫn đến lưu lượng quá tải cho các nút biên. Điều này không chỉ dẫn đến tắc nghẽn tại biên khi có nhiều luồng lưu lượng đồng thời mà còn làm giảm nhanh tuổi thọ của các nút biên dẫn đến khoét rộng hơn các vùng trống.

Sử dụng thiết bị định vị để có thông tin vị trí của các nút không phải là giải pháp được ưa chuộng cho mạng cảm biến không dây, đặc biệt là các mạng có quy mô lớn, do các vấn đề về chi phí, tiêu thụ năng lượng, kích thước nút cảm biến, ... Do vậy, các thuật toán định vị đã được nghiên cứu nhằm thay thế cho sử dụng thiết bị định vị. Trong nhiều thuật toán định vị đã được đề xuất, định vị dựa trên kết nối sử dụng đồ thị Delaunay kết hợp định vị theo khoảng cách là giải pháp hiệu quả và cho kết quả tốt. Để thuật toán này hoạt động, một thuật toán phát hiện biên được yêu cầu chạy trước nhằm phát hiện các nút biên. Tuy nhiên, các thuật toán phát hiện biên đã được đề xuất hoặc có chi phí cao hoặc cho kết quả không tốt và chỉ hoạt động trên các mạng có mật độ nút cao.

CHƯƠNG 3

HỖ TRỢ ĐỊNH VỊ VỚI PHÁT HIỆN BIÊN DỰA TRÊN KẾT NỐI

3.1 Tìm biên dựa trên kết nối

3.1.1 Trực quan và heuristic

Xét khu vực $R \subseteq \mathbb{R}^2$ với một số vùng trống trong nó. Với mỗi điểm $p \in R$, xét đường tròn $c(p, r)$, được gọi là đường tròn của p , có tâm tại p và bán kính r , trong đó r là một số thực. Nếu p gần biên, tức có điểm thuộc biên cách p không quá r , thì $c(p, r)$ bị cắt thành các cung *liền nét* và *đứt nét* xen kẽ nhau. Trong mạng cảm biến không dây, với mỗi nút p , xét đồ thị được tạo bởi các nút cách p hai chặng và liên kết giữa chúng. Đồ thị này được gọi là đồ thị vùng lân cận 2 chặng của p , viết tắt là 2NG (*Two-hop neighbourhood graph*). Về mặt trực quan, nếu p không nằm gần biên thì 2NG của nó tạo thành một cái “vành” (“ring”) (nghĩa là có hình dạng tựa một cái vành); ngược lại 2NG của p bao gồm một hoặc nhiều “mảnh vỡ” của một cái vành. Trực quan được mô tả ở trên dẫn đến một heuristic mô phỏng trường hợp liên tục trên mặt phẳng: *p gần biên nếu và chỉ nếu 2NG của nó không tạo thành một cái vành.*

3.1.2 Thuật toán

Heuristic được đưa ra ở trên dẫn đến một thuật toán đơn giản nhưng hiệu quả để phát hiện các nút gần biên.

3.1.3 Đáp ứng với thay đổi mạng

Mỗi nút gửi lại danh sách láng giềng của nó khi có thay đổi đáng kể trong danh sách này, tạo và kiểm tra lại 2NG của nó mỗi khi nhận được một danh sách láng giềng mới từ nút cách xa hai chặng. Theo cách này, thuật toán được đề xuất có thể đáp ứng nhanh và hiệu quả với thay đổi mạng.

3.2 Phân tích và thử nghiệm

Gọi $adeg$ là bậc (số láng giềng) trung bình của các nút. Tổng số thông báo được sử dụng cho một lần hội tụ tối đa là $N*(adeg+1)$, trong đó N là số nút trong mạng. Về độ phức tạp tính toán, mỗi nút chỉ cần gọi hàm *IsRing* (hàm kiểm tra 2NG có phải là cái vành hay không) một lần khi nhận được một thông báo từ nút cách xa hai chặng. Mỗi nút có trung bình $adeg^2$ (đơn giản hóa cách tính) các nút cách xa hai chặng nên có thể thực hiện hàm *IsRing* $adeg^2$ lần cho mỗi lần hội tụ. Độ phức tạp của hàm *IsRing* là tuyến tính và nhỏ. Về lưu trữ, mỗi nút phải lưu trung bình $adeg^2$ danh sách láng giềng, mỗi danh sách có trung bình $adeg+1$ định danh. Để kiểm chứng tính đúng của thuật toán, một chương trình thử nghiệm được phát triển cho phép tạo phân bố nút một cách ngẫu nhiên và cung cấp nhiều công cụ để quan sát mạng, tạo vùng trống, cũng như quan sát kết quả thu được. Thuật toán được đề xuất đã được kiểm nghiệm qua nhiều thể hiện mạng khác nhau.

3.3 So sánh với các thuật toán hiện có

Các thuật toán trong đã có hoặc chỉ áp dụng cho các mạng có phân bố đều và dày, hoặc không hiệu quả vì phải giải quyết hai bài toán phức tạp là lựa chọn điểm mốc và phát tràn.

3.4 Thảo luận

Thuật toán được đề xuất đã được phân tích và đánh giá độ phức tạp một cách chặt chẽ. Tuy nhiên, tính đúng của nó mới chỉ được kiểm chứng bằng thử nghiệm. Do vậy, một hướng nghiên cứu trong tương lai có thể là đề xuất mô hình để có thể chứng minh tính đúng của thuật toán bằng lý thuyết. Một vấn đề nữa liên quan đến thuật toán được đề xuất sẽ được tiếp tục nghiên cứu trong tương lai là phân biệt biên trong (của vùng trống) và biên ngoài (của vùng triển khai). Thuật toán phát hiện biên được đề xuất cũng có thể được mở rộng để áp dụng cho các mạng cảm biến trong không gian ba chiều. Một cách trực quan, trong không gian ba chiều, đồ thị vùng lân cận 2 chặng của nút không gần biên tạo thành một “quả cầu rỗng”, trong khi đồ thị vùng lân cận 2 chặng của nút gần biên bao gồm một hoặc nhiều mảnh vỡ của quả cầu rỗng.

CHƯƠNG 4

TỐI ƯU HÓA ĐƯỜNG ĐI TRONG ĐỊNH TUYẾN DỰA TRÊN THÔNG TIN VỊ TRÍ

4.1 Đặt vấn đề

Đi theo biên là kỹ thuật khôi phục hiệu quả. Tuy nhiên, định tuyến theo phương pháp này có hai yếu điểm chính. Thứ nhất, các đường đi dọc theo biên thường dài và không tối ưu. Thứ hai, nhiều đường đi dọc theo biên dẫn đến lưu lượng quá tải cho các nút biên. Điều này không chỉ dẫn đến tắc nghẽn tại biên khi có nhiều luồng lưu lượng đồng thời mà còn làm giảm nhanh tuổi thọ của các nút biên dẫn đến khoét rộng hơn các vùng trống. Nhằm khắc phục các yếu điểm trên, nhiều kỹ thuật tối ưu hóa đường đi đã được đưa ra. Có thể chia các kỹ thuật này thành hai lớp là *đánh dấu nút* và *tạo đường tắt*. Các phương pháp đánh dấu mất nhiều thời gian để hội tụ, giao thức tạo đường tắt còn những hạn chế về khả năng tạo đường tắt và khai thác đường tắt. Xuất phát từ phân tích trên, một mục tiêu được thực hiện trong luận án là đề xuất một giao thức tối ưu hóa đường đi có thể tạo và khai thác hiệu quả các đường tắt, có thể áp dụng cho kịch bản có nhiều nút đích, và do vậy có thể áp dụng để nâng cao hiệu năng của định tuyến đơn phát dựa trên thông tin vị trí.

4.2 Mô tả giao thức

Một kỹ thuật tối ưu hóa đường đi theo phương pháp tạo đường tắt có tên Greedy with Path Optimization Routing (GPOR) được đề xuất. Các đường đi ban đầu được khám phá nhờ sử dụng chuyển tiếp tham lam và đi theo biên. Tiếp đó, các đường tắt được tạo và thay thế cho các đoạn đường cong dài trong đường đi. Thời gian để tạo một đường tắt là ngắn, do đó đường tắt được khai thác ngay bởi các gói dữ liệu tiếp sau trong luồng. Hơn nữa, việc tạo đường tắt có chủ định giảm thất bại do vùng trống cắt đứt đường tắt khi chỉ tạo các đường tắt nối giữa hai nút đã biết không quá xa nhau. Để có thể áp dụng đường tắt cho nhiều luồng lưu lượng, *vùng khả áp dụng* của các phần tử đường tắt (chặng thuộc đường tắt) được đề xuất. Nói cách khác, một phần tử đường tắt có thể áp dụng cho bất kỳ đích nào nằm trong vùng khả áp dụng của nó.

4.2.1 Bảng định tuyến

Mỗi nút duy trì một bảng định tuyến với các phần tử có định dạng $\langle pos, next, lastlm \rangle$, trong đó pos là vị trí đích, $next$ là định danh của láng giềng được chọn làm nút tiếp theo nếu phần tử định tuyến được sử dụng, $lastlm$ là vị trí của cực tiểu địa phương cuối.

4.2.2 Vùng khả áp dụng của phần tử định tuyến

Với phần tử định tuyến $\langle pos_x, next_x, lastlm_x \rangle$, chúng ta định nghĩa một hệ tọa độ Đề-các có gốc tọa độ tại $lastlm_x$,

trục hoành hướng từ $lastlm_x$ đến pos_x . Quan niệm trục hoành của hệ tọa độ vừa được định nghĩa có hướng từ Tây (W) sang Đông (E), mặt phẳng được chia thành bốn phần tư lần lượt là Đông-Bắc (NE), Đông-Nam (ES), Tây-Nam (SW) và Tây-Bắc (WN). Phần tử định tuyến $\langle pos_x, next_x, lastlm_x \rangle$ của nút C có thể áp dụng cho đích D nếu ít nhất một trong các điều kiện sau được thỏa mãn:

- *Điều kiện 1:* Khoảng cách từ D đến pos_x không lớn hơn r , trong đó r là bán kính vùng phủ sóng của mỗi nút.
- *Điều kiện 2:* D nằm trong phần tư ES, C nằm trong các phần tư SW hoặc WN, và $\overrightarrow{Cnext_x}$ chỉ hướng Tây, Tây-Bắc, Tây-Nam hoặc Đông-Bắc hoặc D nằm bên trái của $\overrightarrow{Cnext_x}$ nếu $\overrightarrow{Cnext_x}$ chỉ hướng Đông-Nam.

4.2.3 Chuyển tiếp có chỉ dẫn

Chuyển tiếp có chỉ dẫn được mô tả như sau: Nút hiện tại tìm trong bảng định tuyến của nó phần tử định tuyến có thể áp dụng cho đích của gói tin và có pos gần đích của gói tin nhất. Tiếp theo, nó chuyển gói tin cho láng giềng có định danh $next$ của phần tử được chọn.

4.2.4 Định tuyến và cập nhật bảng định tuyến

GPOR chuyển gói tin ở chế độ tham lam bằng chuyển tiếp có chỉ dẫn trước, nếu chuyển tiếp có chỉ dẫn thất bại gói tin mới được chuyển bằng chuyển tiếp tham lam. Kỹ thuật tạo

đường tắt được sử dụng để cập nhật các bảng định tuyến. Theo kỹ thuật này, k nút cuối P_k, P_{k-1}, \dots, P_1 và cực tiểu cuối cùng $lastlm$ mà gói tin đi qua được ghi trong tiêu đề của gói tin, đồng thời các gói tin tạo đường tắt SC được sử dụng. Sau khi chuyển gói tin có đích là D tới láng giềng N bằng kỹ thuật đi theo biên hay chuyển tiếp có chỉ dẫn, nút hiện tại kiểm tra liệu đoạn $pseg$ được tạo bởi k nút vừa đi qua có là một đoạn cong hay không. Nếu đúng như vậy, nút hiện tại (1) thêm phần tử $\langle D.pos, N, lastlm \rangle$ vào bảng định tuyến của nó, (2) tạo một gói SC $\langle SC, P_k, D.pos, lastlm \rangle$ có đích là đầu kia của đoạn cong (P_k), rồi gửi gói SC đến đích của nó bằng chuyển tiếp tham lam. Gói SC được chuyển đến đích của nó chỉ bằng chuyển tiếp tham lam. Khi nhận được gói tin điều khiển $\langle SC, T, pos, lastlm \rangle$ từ láng giềng Q , nút nhận được gói SC, R , hoặc thêm phần tử $\langle pos, Q, lastlm \rangle$ vào bảng định tuyến của nó nếu trong bảng định tuyến không có phần tử có pos , hoặc thay thế phần tử có pos bằng phần tử $\langle pos, Q, lastlm \rangle$ nếu vectơ \overrightarrow{Rpos} sẽ gặp vectơ \overrightarrow{RO} trước vectơ \overrightarrow{RQ} khi quay \overrightarrow{Rpos} theo chiều kim đồng hồ, trong đó O là nút có định danh $next$ của phần tử định tuyến cũ được thay thế. Việc thay thế phần tử định tuyến có pos đảm bảo rằng \overrightarrow{Rnext} được quay theo chiều kim đồng hồ xuất phát từ \overrightarrow{Rpos} .

4.3 Ưu điểm

Đường đi được rút ngắn là ưu điểm chính của GPOR. Ưu điểm thứ hai của GPOR là nó cho khả năng tránh cực tiểu

địa phương. Ưu điểm thứ ba của GPOR là khả năng phân tải. Các đường đi dần dần được đẩy ra xa biên do vậy giảm tải cho các nút biên. Nhờ các ưu điểm thứ nhất và thứ ba, ưu điểm thứ tư của GPOR là cho trễ đầu cuối – đầu cuối thấp hơn. Nếu kỹ thuật tối ưu hóa đường đi không được áp dụng, không những đường đi dài mà lưu lượng còn tập trung nhiều ở các nút biên dẫn đến các gói tin phải xếp hàng lâu tại các nút này. Một số nút biên quá tải có thể loại bỏ gói tin. Do đó, ưu điểm thứ năm của GPOR chính là làm tăng tỉ lệ chuyển gói tin đến đích thành công.

4.4 Phân tích và so sánh với các giao thức khác

Phương thức tạo đường tắt đã có dễ thất bại do các vùng trống làm gián đoạn đường đi tham lam của gói tin điều khiển. Đường tắt chỉ phát huy tác dụng khi nó được xây dựng hoàn chỉnh, tuy nhiên thời gian xây dựng đường tắt tương đối dài. Ngoài ra, đường tắt chỉ áp dụng được cho một đích đơn lẻ.

4.5 Mô phỏng

Hiệu năng của GPOR đã được đánh giá qua mô phỏng sử dụng bộ mô phỏng mạng mã nguồn mở ns-2. Kết quả mô phỏng cho thấy đường đi được rút ngắn, trễ đầu cuối – đầu cuối được giảm một cách đáng kể, tỷ lệ chuyển gói đến đích thành công cao hơn khi có nhiều luồng lưu lượng đồng thời, trong khi chi phí truyền thông tăng lên không đáng kể.

4.6 Thảo luận

GPOR, một giao thức tối ưu hóa đường đi và tránh cực tiểu địa phương cho định tuyến dựa trên thông tin vị trí đã được đề xuất. Trong khi vùng khả áp dụng của các phần tử định tuyến cho khả năng khai thác hiệu quả bảng định tuyến, kỹ thuật tạo đường tắt xây dựng các bảng định tuyến theo các luồng lưu lượng, do vậy đường đi được rút ngắn liên tục. Việc đưa hai yếu tố này vào định tuyến dựa trên thông tin vị trí dẫn đến giao thức định tuyến mới và tốt hơn.

Giao thức tối ưu hóa đường đi được đề xuất trong luận án này có thể được mở rộng để áp dụng trong thế giới ba chiều. Vùng khả áp dụng của các phần tử định tuyến được mở rộng thành *không gian khả áp dụng* để phù hợp với không gian ba chiều. Không gian khả áp dụng đơn giản nhất là hình cầu bán kính r có tâm tại pos_x . Nhiều nghiên cứu hơn nữa có thể được thực hiện để có không gian khả áp dụng tốt hơn.

CHƯƠNG 5

ĐỊNH TUYẾN DỰA TRÊN THÔNG TIN VỊ TRÍ SỬ DỤNG CẠNH TRANH KẾT HỢP

Các gói tin chào hỏi được sử dụng trong các giao thức định tuyến dựa trên thông tin vị trí nhằm duy trì thông tin về vị trí của các nút láng giềng. Những gói tin này không chỉ chiếm dụng nhiều băng thông mạng mà còn tiêu thụ nhiều năng lượng, do vậy làm giảm tuổi thọ của các nút. Gần đây, nhiều giao thức định tuyến không sử dụng gói tin chào hỏi đã được đề xuất. Các giao thức này sử dụng cơ chế cạnh tranh để lựa chọn nút chuyển tiếp tiếp theo. Cho đến nay, có hai hình thức cạnh tranh đã được đề xuất là cạnh tranh quyết liệt và không quyết liệt. Ưu điểm chính của cạnh tranh quyết liệt là nó cho thời gian trễ thấp. Tuy nhiên, hạn chế của hình thức cạnh tranh này bao gồm việc tạo ra các gói tin trùng lặp khi một nút không nhận được gói DATA từ nút thắng cuộc và cũng tuyên bố thắng cuộc. Khác với cạnh tranh quyết liệt, cạnh tranh không quyết liệt không tạo ra gói tin trùng lặp. Tuy nhiên, hình thức cạnh tranh này sử dụng các gói tin điều khiển và có trễ lớn hơn.

Trong chương này, giao thức định tuyến dựa trên thông tin vị trí không sử dụng gói tin chào hỏi có tên là Hybrid Contention-Based Geographic Routing (HCGR) được đề

xuất. HCGR sử dụng đồng thời cả hai hình thức cạnh tranh, được gọi là cạnh tranh kết hợp. Nghiên cứu về hiệu năng cho thấy cạnh tranh kết hợp tối ưu được tỉ lệ chuyển gói tin thành công trong khi có độ phức tạp thông báo thấp và thời gian trễ đầu cuối – đầu cuối thấp.

5.1 Mô tả giao thức

5.1.1 Cạnh tranh kết hợp

Hai hình thức cạnh tranh, quyết liệt và không quyết liệt, được sử dụng đồng thời. Vùng cạnh tranh được chia thành hai vùng con: Aggressive Area (AA) và Non-aggressive Area (NA). Các nút trong vùng AA tuân theo hình thức cạnh tranh quyết liệt trong khi các nút trong vùng NA tuân theo hình thức cạnh tranh không quyết liệt. Cạnh tranh không quyết liệt đóng vai trò *dự phòng*, thực hiện chuyển gói tin khi cạnh tranh quyết liệt thất bại, và *không làm nhiễu* cạnh tranh quyết liệt.

5.1.2 Vùng cạnh tranh và hàm trễ

Các vùng cạnh tranh và hàm trễ được thiết kế sao cho không có nút nào trong vùng AA có thời gian trễ lớn hơn thời gian trễ của nút trong vùng NA, và nút trong vùng NA sẽ từ bỏ cạnh tranh nếu nó nghe dữ liệu được phát lại từ một nút trong vùng NA.

5.1.3 Giao thức

Nút hiện tại phát quảng bá gói DATA, mỗi nút láng giềng tham gia một hình thức cạnh tranh tùy theo nó nằm trong vùng cạnh tranh nào.

5.2 Phân tích và mô phỏng

Ký hiệu ACGR là giao thức cạnh tranh quyết liệt, tức là một biến thể của HCGR không sử dụng cạnh tranh không quyết liệt. Ngược lại, ký hiệu NCGR là giao thức cạnh tranh không quyết liệt, tức là một biến thể của HCGR chỉ sử dụng cạnh tranh không quyết liệt trên toàn bộ vùng cạnh tranh và không sử dụng cạnh tranh quyết liệt. Phân tích và kết quả mô phỏng, trong ns-2, cho thấy HCGR có tỉ lệ chuyển gói tin thành công cao bằng NCGR nhưng có độ phức tạp thông báo cũng như trễ đầu cuối – đầu cuối thấp hơn NCGR.

5.3 Thảo luận

Trong chương này, HCGR, một giao thức định tuyến không sử dụng gói tin chào hỏi dựa trên cạnh tranh kết hợp kế thừa được các ưu điểm từ cả hai hình thức cạnh tranh quyết liệt và không quyết liệt đã được đề xuất. Kết quả mô phỏng khẳng định HCGR có tỉ lệ chuyển gói thành công cao như cạnh tranh không quyết liệt nhưng có độ phức tạp thông báo và trễ thấp hơn. Trong tương lai, các vùng cạnh tranh hàm trễ hiệu quả hơn cho HCGR sẽ được nghiên cứu đề xuất.

KẾT LUẬN

Một giải pháp tổng thể cho định vị và định tuyến đơn phát dựa trên thông tin vị trí cho mạng cảm biến không dây là mục tiêu của luận án này. Từ việc khảo sát và phân tích các công trình liên quan, một giải pháp định vị và định tuyến đã được lựa chọn (Chương 2).

Giải pháp định vị hiệu quả và khả thi được lựa chọn là sử dụng đồ thị Delaunay kết hợp định vị theo khoảng cách. Giải pháp định vị này cần một giải pháp phát hiện biên hiệu quả. Để đáp ứng yêu cầu đó, một thuật toán phát hiện biên hiệu quả dựa trên kết nối đã được đề xuất (Chương 3).

Với định tuyến đơn phát dựa trên thông tin vị trí, giải pháp hiệu quả và khả thi được đề cử là kết hợp chuyển tiếp tham lam với đi theo biên. Tuy nhiên, định tuyến theo phương pháp này còn hai yếu điểm chính. Thứ nhất, các đường đi dọc theo biên thường dài và không tối ưu. Thứ hai, nhiều đường đi dọc theo biên dẫn đến lưu lượng quá tải cho các nút biên. Điều này không chỉ dẫn đến tắc nghẽn tại biên khi có nhiều luồng lưu lượng đồng thời mà còn làm giảm nhanh tuổi thọ của các nút biên dẫn đến khoét rộng hơn các vùng trống. Để khắc phục các yếu điểm trên, một giao thức tối ưu hóa đường đi bằng cách tạo đường tắt đã được đề xuất (Chương 4). Trong khi vùng khả áp dụng của các phần tử định tuyến cho khả năng khai thác hiệu quả bằng định tuyến, kỹ thuật tạo đường tắt xây dựng các bảng định tuyến

theo các luồng lưu lượng, do vậy đường đi được rút ngắn liên tục. Việc đưa hai yếu tố này vào định tuyến dựa trên thông tin vị trí dẫn đến giao thức định tuyến mới và tốt hơn.

Một vấn đề nữa trong định tuyến dựa trên thông tin vị trí là việc sử dụng các gói tin chào hỏi nhằm duy trì thông tin vị trí của các nút láng giềng. Những gói tin này không chỉ chiếm dụng nhiều băng thông mạng mà còn tiêu thụ nhiều năng lượng, do vậy làm giảm tuổi thọ của các nút. Nhằm loại bỏ các gói tin chào hỏi, nhiều giao thức định tuyến không sử dụng gói tin chào hỏi đã được đề xuất. Các giao thức này sử dụng cơ chế cạnh tranh để lựa chọn nút chuyển tiếp tiếp theo. Các hình thức cạnh tranh đơn lẻ, quyết liệt và không quyết liệt, có những ưu điểm và nhược điểm riêng. Do vậy, một giao thức cạnh tranh kết hợp kế thừa được các ưu điểm từ cả hai hình thức cạnh tranh đơn lẻ đã được đề xuất (Chương 5).

Dĩ nhiên, có thể sử dụng đồng thời cả giao thức tối ưu hóa đường đi và cạnh tranh kết hợp được đề xuất trong cùng một giao thức. Tuy nhiên, sử dụng kết hợp như vậy chỉ là việc làm đơn giản và không được thực hiện trong luận án này. Với những giao thức được lựa chọn và đề xuất như trên, một giải pháp tổng thể cho cho định vị và định tuyến đơn phát dựa trên thông tin vị trí cho mạng cảm biến không dây đã được hoàn thiện.

Những vấn đề mở rộng đã được thảo luận ở cuối các Chương 3, 4, và 5 sẽ được tiếp tục nghiên cứu nhằm phát

triển giải pháp được đưa ra ngày càng hoàn thiện và hiệu quả hơn.

Bên cạnh những kết quả đạt được, chắc chắn luận án không tránh khỏi những thiếu sót. Nghiên cứu sinh rất mong nhận được nhiều góp ý hữu ích của các thầy, cô và bạn đọc.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN

1. Thanh Le Dinh (2009), “Topological boundary detection in wireless sensor networks”, *International Journal of Information Processing Systems* 5(3), pp. 145-150.
2. Thanh Le Dinh, Dai Tho Nguyen (2010), “Greedy geographic routing with path optimization in wireless sensor networks”, *Proceedings of the 2010 IEEE-RIVF International Conference on Computing and Communications Technologies*, pp.148-153.
3. Thanh Le Dinh, Dai Tho Nguyen and Ho Thuan (2011), “Hybrid contention-based geographic routing in wireless sensor networks”, *Proceedings of the 2nd International Symposium on Information and Communications Technologies*, pp. 86-91.
4. Le Dinh Thanh, Ho Thuan, Nguyen Dai Tho (2013), “More efficient path optimization for greedy geographic routing in wireless sensor networks”, *Journal of Science of HNUE* 58, pp. 150-156.

Danh mục này bao gồm 04 công trình.