

**BỘ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG
HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG**



VŨ KHÁNH QUÝ

**NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP CẢI THIỆN HIỆU
NĂNG MẠNG MANET**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Hà Nội - 2021

**BỘ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG
HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG**



VŨ KHÁNH QUÝ

**NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP CẢI THIỆN HIỆU
NĂNG MẠNG MANET**

Chuyên ngành: Kỹ thuật Viễn thông

Mã số: 9.52.02.08

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC

- 1. PGS.TS. Nguyễn Tiến Ban**
- 2. PGS.TS. Nguyễn Đình Hân**

Hà Nội - 2021

LỜI CAM ĐOAN

Nghiên cứu sinh cam đoan đây là công trình nghiên cứu của chính mình. Các kết quả, số liệu nghiên cứu được trình bày trong luận án là trung thực, khách quan. Một phần nội dung của luận án đã được công bố trên các tạp chí khoa học chuyên ngành, phần còn lại chưa từng được công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Nghiên cứu sinh cam đoan rằng mọi sự giúp đỡ cho việc thực hiện luận án đã được cảm ơn, các thông tin trích dẫn trong luận án này đều được chỉ rõ nguồn gốc.

Hà Nội, ngày 20 tháng 01 năm 2021

TÁC GIẢ LUẬN ÁN

NCS. Vũ Khánh Quý

LỜI CẢM ƠN

Trong quá trình thực hiện Luận án tiến sĩ “**Nghiên cứu giải pháp cải thiện hiệu năng mạng MANET**”, nghiên cứu sinh đã nhận được sự giúp đỡ nhiệt tình về mọi mặt của tập thể lãnh đạo, các nhà khoa học, cán bộ của Khoa Viễn thông 1, Khoa Đào tạo Sau Đại học, Học viện Công nghệ Bru chính Viễn thông. Nghiên cứu sinh chân thành cảm ơn sự giúp đỡ quý báu đó.

Nghiên cứu sinh vô cùng biết ơn sự hướng dẫn và chỉ bảo tận tình của các thầy hướng dẫn.

Nghiên cứu sinh chân thành cảm ơn Ban lãnh đạo, các thầy/cô giáo và đồng nghiệp tại cơ quan công tác về sự quan tâm, ủng hộ chí tình trong mọi hoàn cảnh. Đây là điều kiện và nguồn động lực to lớn để nghiên cứu sinh yên tâm công tác, học tập, nghiên cứu và hoàn thành luận án. Đặc biệt, nghiên cứu sinh trân trọng cảm ơn các nhà khoa học, các chuyên gia đã dành thời gian đọc và góp ý cho nghiên cứu sinh hoàn thiện luận án.

Nghiên cứu sinh sẽ luôn trân trọng và ghi nhớ những tình cảm thân thương, sự tin tưởng, động viên, khích lệ mà người thân, gia đình đã dành cho nghiên cứu sinh trong quá trình thực hiện và hoàn thành luận án này.

Hà nội, ngày 20 tháng 01 năm 2021

TÁC GIẢ LUẬN ÁN

NCS. Vũ Khánh Quý

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	ii
MỤC LỤC.....	iii
BẢNG DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU	v
DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT	vi
DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU	ix
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ.....	x
MỞ ĐẦU.....	1
CHƯƠNG 1. MANET VÀ BÀI TOÁN CẢI THIỆN HIỆU NĂNG	7
1.1. Mô hình hệ thống mạng MANET	7
1.2. Hiệu năng mạng MANET	8
1.2.1. Các yếu tố ảnh hưởng.....	8
1.2.2. Các tiêu chí đánh giá hiệu năng thông qua mô phỏng	9
1.3. Tình hình nghiên cứu liên quan đến luận án	10
1.3.1. Tình hình nghiên cứu trong nước.....	10
1.3.2. Tình hình nghiên cứu trên thế giới.....	11
1.4. Xác định bài toán nghiên cứu.....	17
1.5. Kết luận Chương 1	19
CHƯƠNG 2. ĐỊNH TUYẾN TRONG MẠNG MANET	20
2.1. Nguyên lý định tuyến trong mạng MANET	20
2.1.1. Định tuyến chủ động	20
2.1.2. Định tuyến theo yêu cầu.....	21
2.2. Tham số định tuyến.....	22
2.2.1. Đặc điểm của tham số định tuyến	23
2.2.2. Tham số dựa trên lưu lượng	23
2.2.3. Tham số dựa trên thông tin vô tuyến	28
2.2.4. Tham số dựa trên vị trí và di động	29
2.2.5. Tham số dựa trên năng lượng.....	30
2.3. Bài toán lựa chọn tham số định tuyến.....	33
2.3.1. Đơn tham số	33
2.3.2. Đa tham số.....	34
2.4. Phương thức thu nhận thông tin định tuyến.....	35
2.5. Một số giao thức định tuyến tiêu biểu.....	36
2.5.1. Giao thức định tuyến AODV và DSR.....	36
2.5.2. Giao thức định tuyến OLSR và DSDV	38
2.5.3. Đánh giá hiệu năng mạng với các giao thức tiêu biểu	39
2.6. Kết luận Chương 2	44

CHƯƠNG 3. ĐỊNH TUYẾN CẢI THIỆN HIỆU NĂNG MẠNG MANET	45
3.1. Giao thức định tuyến A-WCETT	45
3.1.1. Cách tiếp cận và ý tưởng thiết kế	45
3.1.2. Tham số định tuyến	46
3.1.3. Đặc tả giao thức	47
3.1.4. Mô phỏng và phân tích hiệu năng mạng	50
3.2. Giao thức định tuyến MM-AODV	53
3.2.1. Cách tiếp cận và ý tưởng thiết kế	53
3.2.2. Tham số định tuyến	53
3.2.3. Đặc tả giao thức	54
3.2.4. Mô phỏng và phân tích hiệu năng mạng	56
3.3. Giao thức định tuyến Q-AODV	60
3.3.1. Cách tiếp cận và ý tưởng thiết kế	60
3.3.2. Tham số định tuyến	60
3.3.3. Đặc tả giao thức	61
3.3.4. Mô phỏng và phân tích hiệu năng mạng	65
3.4. Kết luận Chương 3	70
CHƯƠNG 4. ĐỊNH TUYẾN NÂNG CAO TUỔI THỌ MẠNG MANET	71
4.1. Định tuyến tiết kiệm năng lượng	71
4.1.1. Giới thiệu	71
4.1.2. Giao thức định tuyến AERP	72
4.1.3. Giao thức định tuyến HPLR	77
4.1.4. Đánh giá hiệu năng	79
4.2. Giải pháp phối hợp mạng MANET và đám mây	83
4.2.1. Giới thiệu	83
4.2.2. Định tuyến dựa trên cơ chế phối hợp của các máy chủ	85
4.2.3. Phân tích hiệu quả của cơ chế đề xuất	86
4.2.4. Đánh giá hiệu năng	87
4.3. Kết luận Chương 4	90
KẾT LUẬN	91
HƯỚNG PHÁT TRIỂN CỦA ĐỀ TÀI LUẬN ÁN	93
CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ	94
TÀI LIỆU THAM KHẢO	95
PHỤ LỤC	102

BẢNG DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU

Ký hiệu	Ý nghĩa
P_s	Số gói tin gửi bởi nút nguồn
P_r	Số gói tin nhận được tại nút đích
t_s	Thời gian gửi gói tin tại nút nguồn
t_r	Thời gian nhận gói tin tại nút đích
KT	Kích thước gói tin
T	Thời gian thực hiện một mô phỏng
<i>Packetrouting</i>	Tổng số gói tin định tuyến trong một mô phỏng
$R_j(t)$	Dự kiến tuổi thọ tối thiểu của tuyến j
d_f	Xác suất truyền thành công gói tin
d_r	Xác suất nhận thành công gói tin
$ETX_{(i)}$	Số lần truyền dự kiến trên liên kết i
ETX	Tổng ETX của các chặng thuộc tuyến p
B	Bảng thông của kết nối
$ETT_{(i)}$	Chi phí ETT trên liên kết i
ETX	Chi phí ETT trên tuyến p
β	Trọng số cân bằng
E_i	Năng lượng còn lại của nút mạng i
E_{max}	Năng lượng khởi tạo ban đầu của mỗi nút mạng
TCE	Tổng năng lượng tiêu thụ
p	Tuyến đường giữa một cặp nút nguồn-đích
P	Tập các tuyến đường giữa một cặp nút nguồn-đích
l	Liên kết trực tiếp giữa hai nút mạng

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

Từ viết tắt	Thuật ngữ Tiếng Anh	Thuật ngữ Tiếng Việt
1		
3MRP	Multimedia Multimetrix Map-Aware Routing Protocol	Giao thức định tuyến đa tham số cho ứng dụng mạng đa phương tiện dựa trên vị trí
4G/5G	4/5 Mobile Generation	Thế hệ mạng di động thứ 4/5
A		
A-WCETT	Advance Weighted Cumulative Expected Transmission Time Routing Protocol	Giao thức định tuyến trọng số tích lũy ETT cải tiến
ACK	Acknowledgement	Xác nhận
AERP	An Advanced Energy Efficient and High Performance Routing Protocol	Giao thức định tuyến hiệu quả năng lượng và đảm bảo hiệu năng
ALMEL-AODV	Alternate Link Maximum Energy Level-AODV	Giao thức định tuyến dựa trên mức năng lượng của liên kết
AODV	Ad-Hoc On Demand Distance Vector	Định tuyến theo yêu cầu
B		
BA	Back Agent	Tác tử trả lời
BBU-AODV	Balanced Battery Usage Ad hoc On-demand Distance Vector	Giao thức định tuyến cân bằng pin theo vector khoảng cách
BER	Bit Error Rate	Tỷ lệ Bit lỗi
C		
CBLTR	Cluster-Base Life-Time Routing	Giao thức định tuyến phân cụm dựa trên tuổi thọ của nút mạng
CBR	Constant Bit Rate	Tốc độ bit không đổi
CLDBRP	Cross Layer Decision Based Routing Protocol	Giao thức định tuyến dựa trên quyết định xuyên lớp
CMMBCR	Conditional MMBCR	Định tuyến dựa trên tham số pin tối thiểu- tối đa và điều kiện
CORA	Control Overhead Reduction Algorithm	Thuật toán giảm gói tin điều khiển
C-RAN	Cloud- Radio Access Network	Mạng truy nhập vô tuyến đám mây
D		
DSDV	Destination Sequenced Distance Vector	Giao thức định tuyến vector khoảng cách theo thứ tự đích
DSN	Destination Sequence Number	Số thứ tự định danh đích

Từ viết tắt	Thuật ngữ Tiếng Anh	Thuật ngữ Tiếng Việt
DSR	Dynamic Source Routing	Giao thức định tuyến nguồn động
E		
ESDSR	Energy Saving DSR	Giao thức định tuyến tiết kiệm năng lượng dựa trên DSR
ETT	Expected Transmission Time	Thời gian truyền kỳ vọng
ETX	Expected Transmission Count	Số lần truyền dự kiến
F		
FA	Forward Agent	Tác tử chuyển tiếp
G		
GPS	Global Poisioning System	Hệ thống định vị toàn cầu
H		
HCESDSR	Hop Count based Energy Saving Dynamic Source Routing	Định tuyến nguồn động tiết kiệm năng lượng theo số hop
HPLR	High Performance Longer Lasting Network Lifetime Routing Protocol	Giao thức định tuyến hiệu năng cao và tăng tuổi thọ của mạng
I		
ID	Identify	Định danh gói tin
IDVR	Intersection Dynamic VANET Routing	Giao thức định tuyến mạng các phương tiện giao thông
IETF	The Internet Engineering Task Force	Nhóm đặc trách kỹ thuật Internet
L		
LQ	Queue Length	Độ dài hàng đợi
M		
MAC	Medium Access Control	Điều khiển truy cập môi trường
MANET	Mobile Ad hoc Network	Mạng di động tùy biến
MAR-AODV	Mobile Agent -AODV	Giao thức định tuyến AODV dựa trên tác tử di động
MBCR	Minimum Battery Cost Routing	Định tuyến số liệu pin tối thiểu
MM-AODV	Multi-Metric AODV	Giao thức định tuyến đa tham số
MMBCR	Max - Minimum Battery Cost Routing	Định tuyến dựa trên tham số pin tối thiểu- tối đa
MPR	Multi-Point Relay	Chuyển tiếp đa điểm
MQSPR	Multiple QoS Parameters based Routing protocol	Giao thức định tuyến sử dụng đa tham số đảm bảo QoS
MTPR	Minimal Total Power Routing	Giao thức định tuyến tối thiểu hóa công suất

Từ viết tắt	Thuật ngữ Tiếng Anh	Thuật ngữ Tiếng Việt
MTPR	Minimal Total Power Routing	Định tuyến với tổng công suất tối thiểu
N		
NP-complete	Non-deterministic Polynomial-time Complete	Bài toán có độ phức tạp không xác định trong thời gian đa thức
NS2	Network Simulator 2	Phần mềm mô phỏng mạng
O		
OLSR	Optimized Link State Routing Protocol	Giao thức định tuyến tối ưu đường liên kết
OSPF	Open Shortest Path First	Giao thức định tuyến theo trạng thái đường liên kết
OSI	Open Systems Interconnection	Mô hình tham chiếu 7 lớp
P		
PLR	Packet Loss Ratio	Tỷ lệ mất gói tin
PRP	High-Performance Routing Protocol	Giao thức định tuyến hiệu năng cao
Q		
Q-AODV	Quality-AODV	Giao thức định tuyến đảm bảo chất lượng dịch vụ
R		
RREP	Route Reply	Gói tin trả lời lộ trình
RREQ	Route Request	Gói tin yêu cầu lộ trình
RRER	Router Error	Gói tin điều khiển báo lỗi
S		
SNR	Signal to Noise Ratio	Tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu
SSA	Signal Stability-based Adaptive Routing Protocol	Giao thức định tuyến thích nghi dựa trên cường độ tín hiệu
T		
TCP	Transmission Control Protocol	Giao thức truyền tin cậy
TCE	Total Consumed Energy	Tổng năng lượng tiêu thụ
TORA	Temporally Ordered Routing Algorithm	Thuật toán định tuyến theo thứ tự thời gian
TTL	Time To Live	Thời gian sống của gói tin
V		
VANET	Vehicular Ad-hoc Network	Mạng tùy biến các phương tiện giao thông
VoD	Video on Demand	Dịch vụ video theo yêu cầu
VoIP	Voice over Internet Protocol	Truyền âm thanh dựa trên IP
W		
WCETT	Weighted Cumulative Expected Transmission Time	Giao thức định tuyến sử dụng trọng số tích lũy ETT

DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU

Bảng 2.1. Ba trạng thái năng lượng của nút mạng.	31
Bảng 2.2. Các tham số mô phỏng.	40
Bảng 3.1. Ảnh hưởng của tham số β và cách tính chi phí $A-WCETT$	49
Bảng 3.2. Các tham số mô phỏng.	50
Bảng 3.3. Các tham số mô phỏng.	56
Bảng 3.4. Bộ hệ số hiệu năng mô phỏng.	57
Bảng 3.5. Bảng tham số mô phỏng.	65
Bảng 4.1. Minh họa phương thức tính AERP.	76
Bảng 4.2. Bảng tham số mô phỏng.	79

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ

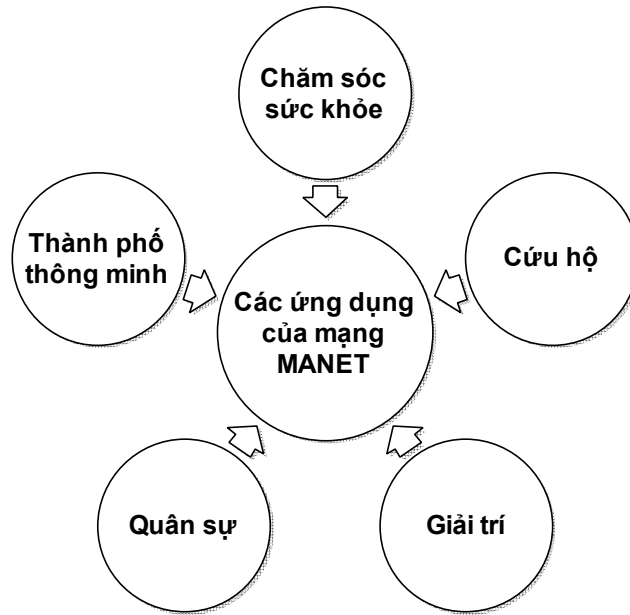
Hình 1. Minh họa một số ứng dụng của mạng MANET.	2
Hình 1.1. Mô hình đồ thị của mạng MANET.	7
Hình 1.2. Các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu năng của mạng MANET [83].	8
Hình 1.3. Một số ứng dụng của MANET phục vụ con người.	10
Hình 1.4. Thống kê số bài báo đề xuất các giao thức định tuyến [83].	12
Hình 1.5. Các tham số định tuyến được khảo sát [83].	13
Hình 1.6. Xác định bài toán nghiên cứu.	18
Hình 2.1. Phát quảng bá gói tin yêu cầu tìm đường RREQ.	21
Hình 2.2. Phát định danh gói tin RREP trả về thông tin đường đi.	21
Hình 2.3. Các tham số cơ bản theo hướng tiếp cận lưu lượng [83].	24
Hình 2.4. Mô hình hàng đợi của các nút di động.	25
Hình 2.5. Ba trạng thái xác định tuyến đường của AODV.	37
Hình 2.6. Tiến trình xác định nút MPR trong OLSR.	38
Hình 2.7. Tỷ lệ phân phối trung bình - kịch bản di động.	41
Hình 2.8. Thông lượng trung bình - kịch bản di động.	41
Hình 2.9. Thời gian trễ trung bình - kịch bản di động.	41
Hình 2.10. Tải định tuyến trung bình - kịch bản di động.	41
Hình 2.11. Tỷ lệ phân phối trung bình - kịch bản lưu lượng.	43
Hình 2.12. Thông lượng trung bình - kịch bản lưu lượng.	43
Hình 2.13. Thời gian trễ trung bình - kịch bản lưu lượng.	43
Hình 2.14. Tải định tuyến trung bình - kịch bản lưu lượng.	43
Hình 3.1. Đề xuất cấu trúc của tác tử di động: a) A_Request; b) A_Reply.	46
Hình 3.2. Minh họa các tuyến đường ứng viên sau thủ tục tìm kiếm.	49
Hình 3.3. Đánh giá hiệu năng dựa theo tiêu chí: Trễ trung bình.	51
Hình 3.4. Đánh giá hiệu năng dựa theo tiêu chí: Thông lượng trung bình.	52
Hình 3.5. Đánh giá hiệu năng dựa theo tiêu chí: Tỷ lệ phân phối gói tin.	52
Hình 3.6. Đánh giá hiệu năng dựa theo tiêu chí: Tỷ lệ phân phối gói tin.	57
Hình 3.7. Đánh giá hiệu năng dựa theo tiêu chí: Trễ trung bình.	58
Hình 3.8. Đánh giá hiệu năng dựa theo tiêu chí: Thông lượng trung bình.	59
Hình 3.9. Thủ tục xử lý gói RREQ tại các nút trung gian (Quality-check).	62
Hình 3.10. Tập tuyến đường ứng viên giữa một cặp nút S-D.	63

Hình 3.11. Tỷ lệ phân phối gói tin - mô hình Adaptive.	66
Hình 3.12. Thông lượng trung bình - mô hình Adaptive.....	67
Hình 3.13. Trễ trung bình - mô hình Adaptive.	67
Hình 3.14. Tỷ lệ phân phối gói tin - mô hình Admission.....	68
Hình 3.15. Trễ trung bình - mô hình Admission.	69
Hình 3.16. Tải định tuyến - mô hình Admission.	70
Hình 4.1. Xác lập và duy trì tuyến đường trong giao thức AERP.....	73
Hình 4.2. Thủ tục Energy-check.....	73
Hình 4.3. Các tuyến đường ứng viên thu được sau tiến trình tìm đường.	74
Hình 4.4. Thay đổi định dạng gói tin điều khiển giao thức AODV.	76
Hình 4.5. Tuổi thọ của mạng.	80
Hình 4.6. Tỷ lệ phân phối gói tin trung bình.	81
Hình 4.7. Trễ trung bình.	82
Hình 4.8. Thông lượng trung bình.	82
Hình 4.9. Mô hình kiến trúc mạng Cloud-assited MANET.	83
Hình 4.10. Hoạt động của cơ chế hợp tác giữa các Super-Peer.....	85
Hình 4.11. Minh họa lộ trình và chi phí thực hiện giao dịch.	88
Hình 4.12. Chi phí thực hiện giao dịch tìm kiếm khi có 50 máy chủ.....	89
Hình 4.13. Chi phí thực hiện giao dịch tìm kiếm khi có 100 máy chủ.....	90

MỞ ĐẦU

Trong những năm gần đây, sự phát triển nhanh chóng của các thiết bị di động (máy tính xách tay, thiết bị cầm tay PDA, điện thoại thông minh, v.v.) và ứng dụng đa phương tiện đã tạo nên một cuộc cách mạng mới trong ngành truyền thông dữ liệu. Theo báo cáo của Cisco năm 2017, lưu lượng dữ liệu di động toàn cầu đã tăng 18 lần trong vòng 5 năm qua, chiếm 63% tổng lưu lượng mạng và đạt 7,2 exabytes mỗi tháng với trên 8 tỉ thiết bị di động tham gia kết nối mạng. Dự kiến đến năm 2021, lưu lượng dữ liệu di động toàn cầu sẽ tăng 7 lần so với hiện tại và có trên 11,6 tỉ thiết bị di động tham gia kết nối mạng. Trong đó, lưu lượng dữ liệu đa phương tiện chiếm $\frac{3}{4}$ lưu lượng mạng toàn cầu [18]. Để đáp ứng yêu cầu kết nối các thiết bị và khả năng truyền tải dữ liệu ngày càng gia tăng, công nghệ mạng di động thế hệ thứ 5 (5G) đang được hình thành và phát triển.

Nhiều ứng dụng dựa trên các thiết bị di động hiện nay đòi hỏi mạng kết nối chúng phải linh hoạt, có thể kết nối mọi lúc, mọi nơi mà không bị giới hạn hay phụ thuộc vào một kiến trúc hạ tầng nhất định. Trong số những công nghệ mạng thỏa mãn tốt nhất yêu cầu đặt ra, mạng di động tùy biến (mạng MANET - Mobile Ad-hoc Network) chiếm một vị trí quan trọng và được dự đoán sẽ rất phổ biến trong tương lai. Ra đời từ những năm 1970, MANET là một kiểu mạng di động có ưu điểm vượt trội trong truyền thông dữ liệu: *hạ tầng linh hoạt, hỗ trợ di động, cho phép kết nối tốt hơn, đảm bảo chuyển giao ổn định giữa các mạng khác nhau, v.v.* Mạng MANET luôn được xem là một công cụ giao tiếp rất thuận tiện, đặc biệt, đã có nhiều ứng dụng thiết thực phục vụ con người trong các lĩnh vực như chăm sóc sức khỏe [5], [51], cứu hộ, khắc phục thảm họa [12], [60], giải trí [59], [84], quân sự [61], giao thông thông minh [20], [56], và thành phố thông minh [4], được minh họa trong Hình 1 và rất nhiều các lĩnh vực khác đã được chỉ ra trong [8].



Hình 1. Minh họa một số ứng dụng của mạng MANET.

Về bản chất, mạng MANET là mạng tự tổ chức, được hình thành tạm thời giữa các thiết bị di động mà không đòi hỏi phải có một hạ tầng cố định. Điều này có nghĩa là mạng MANET cho phép nhiều thiết bị kết nối mạng trong những khu vực không có hạ tầng truyền thông. Mỗi nút di động khác nhau trong mạng MANET có thể có những đặc điểm riêng về nguồn năng lượng, bộ phận thu phát sóng, khả năng tính toán, v.v. Hơn nữa, chúng có thể di chuyển tự do về mọi hướng theo các tốc độ khác nhau và giao tiếp với các nút mạng khác một cách tùy ý. Các nút mạng tự quyết định việc kết nối mạng và giữa chúng có thể hình thành một mô hình mạng bất kỳ.

Tương tự mạng không dây truyền thống, mạng MANET phải đối mặt với các bài toán: *quản lý công suất, bảo mật và tối ưu băng thông*. Ngoài ra, vấn đề thiếu hạ tầng cố định và kiểu truyền thông đa chặng trong mạng MANET cũng làm phát sinh nhiều bài toán mới cần phải giải quyết (Ví dụ, bài toán *định tuyến, duy trì topo mạng, quản lý các nút theo không gian và phát hiện thiết bị, v.v.*). Các bài toán của mạng MANET luôn nhận được sự quan tâm đặc biệt của các nhà khoa học và đã được nghiên cứu từ rất sớm. Nhiều giải pháp đã được đề xuất, góp phần nâng cao khả năng ứng dụng của mạng MANET. Tuy nhiên, để đáp ứng nhu cầu kết nối thiết bị và truyền tải dữ liệu của mạng tương lai, *hiệu năng* của mạng MANET cần phải được cải thiện. Đây là hướng nghiên cứu cơ bản, trọng tâm của mạng MANET hiện nay.

Hiệu năng của mạng MANET phụ thuộc vào quy mô của mạng, mô hình truyền thông và môi trường giao tiếp vô tuyến [24], [45], [88]. Trong mạng MANET, vì các nút mạng di động phải hợp tác với nhau để truyền gói tin, giao thức định tuyến có vai trò đặc biệt quan trọng đối với vấn đề cải thiện hiệu năng mạng [82]. Vì không sử dụng một hạ tầng mạng cố định và do đặc tính biến động mạnh của các nút mạng, định tuyến trong mạng MANET là một thách thức rất lớn. Hơn nữa, sự thiếu thốn về tài nguyên, nhất là năng lượng và băng thông càng làm cho việc truyền thông trong mạng MANET thực sự khó khăn. Tuy vậy, hoạt động nghiên cứu đề xuất, cải tiến giao thức định tuyến cho mạng MANET đã và đang diễn ra rất sôi động. Chỉ tính riêng những công trình khoa học đăng tải trên IEEE Xplore Digital Library trong 8 năm gần đây, đã có khoảng 38 giao thức định tuyến cho mạng MANET được thiết lập. Điều này xuất phát từ thực tế đòi hỏi phải có các giao thức định tuyến phù hợp để đáp ứng yêu cầu mới, ngày một cao hơn từ các ứng dụng về tiêu chuẩn, chất lượng và hiệu quả của các dịch vụ mạng. Chẳng hạn, một số giao thức tiêu biểu đã được tiêu chuẩn hóa để trở thành giao thức định tuyến chuẩn của mạng MANET. Song, chính các giao thức định tuyến này cũng sớm bộc lộ những hạn chế. Ví dụ, hai giao thức kinh điển đã được IETF chuẩn hóa là AODV [10] và DSDV [26] đều sử dụng số chặng (hop-count) làm tham số định tuyến. Theo [24], tham số này là không hiệu quả đối với yêu cầu đảm bảo chất lượng dịch vụ của các ứng dụng đa phương tiện.

Qua phân tích ở trên có thể khẳng định: cải thiện hiệu năng của mạng MANET là hướng nghiên cứu có tính thời sự và cấp thiết. Trong đó, việc thiết lập được các giao thức định tuyến hiệu quả, phù hợp sẽ là chìa khóa cho vấn đề nghiên cứu đặt ra. Đây là chủ đề nghiên cứu mở và rất lý thú. Do vậy, nghiên cứu sinh đã chọn đề tài “**Nghiên cứu giải pháp cải thiện hiệu năng mạng MANET**” cho luận án của mình.

1. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

Trong luận án, nghiên cứu sinh hướng tới xây dựng các mô hình và chương trình tính toán nhằm khảo sát, đánh giá và cải thiện hiệu năng của mạng MANET. Đây chính là ý nghĩa khoa học của luận án. Ý nghĩa thực tiễn mà nghiên cứu sinh hi vọng đạt được thể hiện ở các giao thức, giải thuật mà luận án đề xuất nhằm cải thiện hiệu năng cho MANET, từ đó góp phần nâng cao chất lượng truyền tin của mạng MANET.

2. Mục tiêu, kết quả cần đạt được của luận án

Từ các phân tích trên, mục tiêu của luận án là nghiên cứu, đề xuất các cơ chế, giao thức nhằm cải thiện hiệu năng mạng MANET. Bên cạnh đó, luận án cũng quan tâm đến các giải pháp nâng cao tuổi thọ mạng trong mối tương quan với hiệu năng nhằm góp phần nâng cao chất lượng dịch vụ truyền tin cũng như mở rộng khả năng của mạng MANET. Một số kết quả đạt ra của luận án là:

- Đề xuất các giao thức định tuyến cải thiện hiệu năng cho mạng MANET.
- Đề xuất các giải pháp nhằm nâng cao tuổi thọ mạng cho mạng MANET.

Mô phỏng, đánh giá và so sánh hiệu năng các giao thức, giải pháp đề xuất với các giao thức, giải pháp truyền thống của mạng MANET dựa trên phần mềm mô phỏng sự kiện rời rạc (NS2) và đề xuất các giải pháp áp dụng.

3. Phạm vi và đối tượng nghiên cứu

Dựa trên mục tiêu và kết quả cần đạt, phạm vi nghiên cứu của luận án là tập trung vào đề xuất các giao thức, giải pháp định tuyến nhằm cải thiện hiệu năng, kéo dài tuổi thọ cho mạng MANET. Đối tượng nghiên cứu chính của luận án là hệ thống mạng MANET, hiệu năng, tuổi thọ của hệ thống này. Tham số hiệu năng của hệ thống được đánh giá trong luận án này là tỷ lệ phân phối gói tin (*PDR*), thời gian trễ (*Delay*), thông lượng (*Throughput*).

4. Phương pháp nghiên cứu

Luận án thực hiện nghiên cứu lý thuyết và mô phỏng. Về lý thuyết, luận án thực hiện khảo sát, phân tích, tổng hợp đánh giá các nghiên cứu liên quan trong và ngoài nước, từ đó xác định các vấn đề nghiên cứu khả thi, hệ thống hóa các vấn đề cần nghiên cứu, xây dựng mô hình bài toán, đề xuất giải thuật khả thi, mô phỏng, phân tích và đánh giá hiệu quả của giải thuật.

5. Bố cục của luận án

Với các mục tiêu nghiên cứu đã nêu ở trên, kết quả nghiên cứu của luận án gồm ba phần: Mở đầu, Nội dung và Kết luận. Phần Nội dung gồm 04 chương:

Chương I, với tiêu đề “**Mạng MANET và bài toán cải thiện hiệu năng**” trình bày các nội dung liên quan đến vấn đề nghiên cứu của luận án, gồm: Tổng quan về mạng MANET, các vấn đề chính liên quan đến hiệu năng, nguyên lý định tuyến trong MANET, tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước, và cuối cùng, luận án xác định bài toán nghiên cứu.

Nhằm tìm kiếm phương thức giải quyết các vấn đề nghiên cứu đã được xác định. **Chương II**, với tiêu đề “**Định tuyến trong mạng MANET**” trình bày các nội dung liên quan đến vấn đề định tuyến trong mạng MANET, gồm: khảo sát các tham số và giao thức định tuyến, đánh giá hiệu năng các giao thức định tuyến cho mạng MANET. Một phần nội dung của Chương 2 đã được công bố trong 02 bài báo: 01 bài đăng trên tạp chí Scopus, Journal of Communications [J1] và 01 bài đăng trên Hội nghị Khoa học Quốc gia về CNTT & TT lần thứ 11 (FAIR 2018) [C1].

Chương 3, với tiêu đề “**Định tuyến cải thiện hiệu năng mạng MANET**” trình bày 03 giao thức định tuyến đề xuất nhằm cải thiện hiệu năng cho 03 cấu trúc MANET, gồm: (1) Giao thức định tuyến A-WCETT để cải thiện hiệu năng cho các mạng MANET hoạt động đa kênh; (2) Giao thức định tuyến MM-AODV để cải thiện hiệu năng cho mạng MANET và (3) Giao thức định tuyến Q-AODV nhằm đảm bảo chất lượng dịch vụ cho các mạng MANET đa phương tiện. Một phần nội dung của Chương 3 đã được công bố trong 03 bài báo: 01 bài trên Tạp chí Công nghệ thông tin và truyền thông (Chuyên san các công trình nghiên cứu phát triển CNTT & TT) [J2]; 01 bài tại Hội nghị quốc tế ACIIDS 2018, Springer [C2] và 01 bài trên tạp chí quốc tế Scopus, Journal of Communications [J3].

Chương 4, với tiêu đề “**Định tuyến nâng cao tuổi thọ mạng MANET**” trình bày các giải pháp nhằm nâng cao tuổi thọ cho mạng MANET, gồm: (1) Giao thức định tuyến AERP nhằm tăng tuổi thọ cho mạng MANET, (2) giao thức định tuyến HPLR được cải tiến từ giao thức AERP nhằm cải thiện hiệu năng và tuổi thọ cho mạng MANET và (3) giao thức định tuyến kết hợp tìm kiếm dựa trên cơ chế phối hợp giữa các máy chủ đám mây trong mạng MANET được hỗ trợ bởi đám mây (Cloud-assited MANET) nhằm mở rộng không gian hoạt động và tuổi thọ của MANET. Các đóng góp của luận án được trình bày trong chương này đã được công bố trong 03 bài

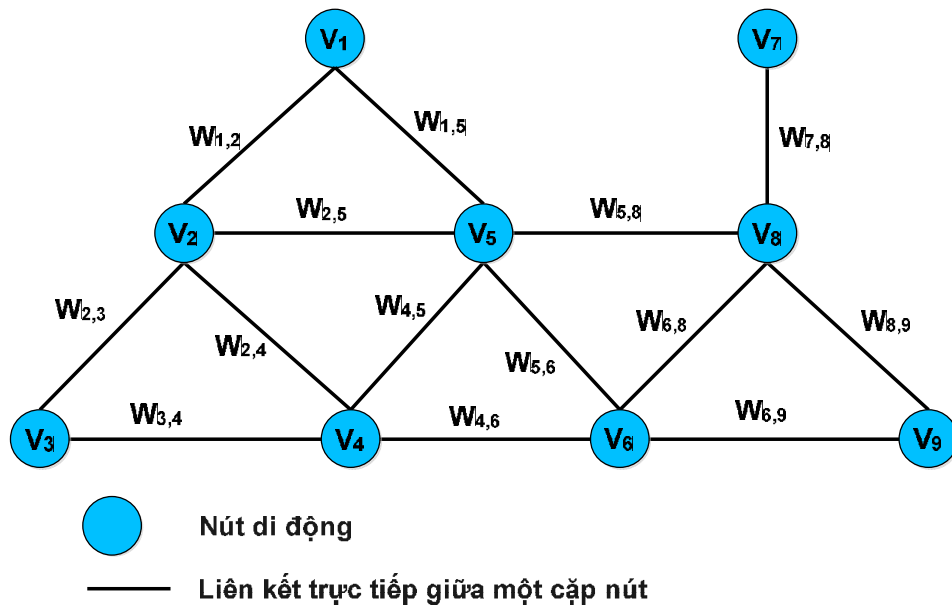
báo: 01 bài đăng trên tạp chí Scopus, Journal of Communications [J4]; 01 bài đăng trên Hội nghị khoa học quốc tế lần thứ 10, Advanced Technologies for Communications (ATC 2018), IEEE Xplore [C4] và 01 bài đăng trên Hội nghị khoa học quốc gia về CNTT & TT lần thứ 8, FAIR 2015 [C3].

Mỗi giao thức hoặc cơ chế đề xuất đều được trình bày theo cấu trúc gồm: giới thiệu, mô tả thiết kế, mô phỏng và phân tích kết quả. Trong phần **Kết luận**, trình bày tóm tắt và bàn luận những đóng góp chính và mới của luận án, cả về ưu điểm và hạn chế, từ đó gợi mở hướng phát triển tiếp theo.

CHƯƠNG 1. MANET VÀ BÀI TOÁN CẢI THIẾN HIỆU NĂNG

Tóm tắt: Trong chương này luận án trình bày về mô hình, các yếu tố chính ảnh hưởng và tiêu chí đánh giá hiệu năng mạng MANET; khảo sát các nghiên cứu trong và ngoài nước liên quan đến hiệu năng mạng MANET để từ đó tìm ra các hạn chế của các nghiên cứu trước đây và xác định cụ thể bài toán nghiên cứu của luận án.

1.1. Mô hình hệ thống mạng MANET



Hình 1.1. Mô hình đồ thị của mạng MANET.

Để trình bày nguyên lý và những ý tưởng chính của giao thức, luận án sử dụng một đồ thị có trọng số G để biểu diễn mô hình mạng MANET như sau:

Định nghĩa 1.1: Gọi $G = (V, E)$ là đồ thị truyền thông trong mạng MANET. Khi đó $V = \{V_1, \dots, V_n\}$ là tập hữu hạn các đỉnh của G , E là tập hữu hạn các cạnh. Với mỗi cặp nút V_i, V_j , chúng ta có $E_{ij} = (V_i, V_j)$ nếu hai nút liên kết trực tiếp với nhau.

Để biểu diễn khả năng tính toán và lựa chọn tuyến đường truyền tin phù hợp của giao thức, luận án mô hình hóa kiến trúc liên mạng bởi một đồ thị có trọng số. Mỗi cạnh E_{ij} của cặp nút (V_i, V_j) sẽ được thiết lập một trọng số $W_{i,j}$. Ở đây, $W_{i,j}$ biểu diễn giá trị của các tham số định tuyến. Lưu ý, trong mạng MANET hai nút mạng bất kỳ có thể có kết nối trực tiếp (tức là một cạnh của đồ thị) hoặc kết nối gián tiếp thông qua các nút trung gian (tức là một đường đi trong đồ thị). Vì vậy, các tuyến đường từ

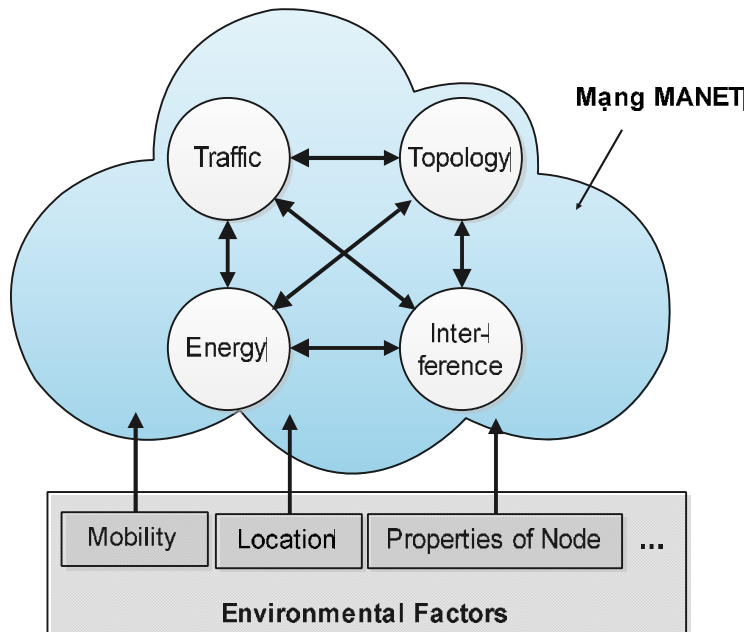
nút nguồn đến nút đích có thể được biểu diễn bởi các đường đi trên đồ thị. Hình 1.1 là một đồ thị biểu diễn một mạng MANET gồm 9 nút di động.

1.2. Hiệu năng mạng MANET

Trong phần này, luận án phân tích các yếu tố ảnh hưởng và tiêu chí đánh giá hiệu năng mạng MANET.

1.2.1. Các yếu tố ảnh hưởng

Hiệu năng của mạng MANET bị ràng buộc bởi rất nhiều yếu tố khác nhau. Những vấn đề này được biết đến như là các bài toán với độ phức tạp đầy đủ (NP-complete) [24], [45]. Để đơn giản hóa, có thể chia các yếu tố này thành hai loại chính: các yếu tố từ môi trường ngoài và các yếu tố nội tại trong mạng (Hình 1.2).



Hình 1.2. Các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu năng của mạng MANET [83].

- a) *Các yếu tố môi trường ngoài*, là các yếu tố tác động từ bên ngoài, khách quan lên mạng. Nói cách khác, các yếu tố môi trường ngoài là các thông số đầu vào, không thể thay đổi, ví dụ: i) vị trí và thuộc tính di động của nút mạng, ii) nhiễu bên ngoài, iii) vị trí thiết lập mạng, v.v.
- b) *Các yếu tố nội tại trong mạng*, được định nghĩa là các yếu tố trực tiếp hoặc gián tiếp sinh ra do hoạt động của hệ thống mạng, ví dụ: i) lưu lượng mạng, ii) nhiễu nội mạng, iii) năng lượng tiêu thụ, iv) cấu trúc mạng động, v.v.

1.2.2. Các tiêu chí đánh giá hiệu năng thông qua mô phỏng

Tỷ lệ phân phối gói tin trung bình: Là tỷ lệ phần trăm gói tin nhận được bởi nút đích trên tổng số gói tin gửi từ nút nguồn trong một mô phỏng, ký hiệu là PDR , được xác định như sau:

$$PDR = \frac{P_r}{P_s} \times 100\% \quad (1.1)$$

Trễ đầu-cuối trung bình: Là tổng thời gian trễ trên tổng số gói tin nhận được bởi nút đích (không tính các gói bị mất) trong một mô phỏng, ký hiệu là $Delay_{avg}$, được xác định như sau:

$$Delay_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n (t_r - t_s)}{P_r} \quad (1.2)$$

Thông lượng trung bình: Là tích số gói tin nhận thành công và kích thước mỗi gói trên tổng thời gian thực hiện mô phỏng. Đơn vị tính là bit/giây (bps), ký hiệu là $Throughput_{avg}$, được xác định như sau:

$$Throughput_{avg} = \frac{P_r \times KT}{T} \quad (1.3)$$

Tải định tuyến: Được tính bằng tổng số gói tin định tuyến trên tổng số gói dữ liệu nhận được bởi nút đích trong toàn bộ một mô phỏng, ký hiệu là $Routing Overhead$, được xác định như sau:

$$Routing Overhead = \frac{PacketRouting}{P_r} \quad (1.4)$$

Tuổi thọ của mạng: Là khoảng thời gian từ khi mạng bắt đầu hoạt động đến khi nút mạng đầu tiên bị hết năng lượng hay chính xác hơn là không đủ năng lượng để thu/phát các gói tin, đơn vị tính là giây (s).

Năng lượng còn lại trung bình của nút mạng: Là tổng năng lượng của toàn bộ hệ thống trên tổng số nút mạng. Đơn vị tính là Joules (J).

Trong đó:

P_r , là tổng số gói tin dữ liệu nhận thành công bởi nút đích trong toàn bộ tiến trình mô phỏng.

P_s , là tổng số gói tin dữ liệu gửi bởi nút nguồn trong toàn bộ tiến trình mô phỏng.

t_r , là thời điểm nhận gói tin tại nút đích.

t_s , là thời điểm gửi gói tin tại SP nguồn.

T , là thời gian toàn bộ tiến trình mô phỏng.

KT , là kích thước gói tin.

n , là số gói tin.

PacketRouting, là tổng số gói tin định tuyến trong một kịch bản mô phỏng.

1.3. Tình hình nghiên cứu liên quan đến luận án

Trong những năm gần đây, mạng MANET đã được tập trung nghiên cứu và ứng dụng mạnh mẽ trong y tế [5], quân sự [28], [61] dự phòng và cứu trợ thiên tai [12], như được thể hiện trong Hình 1.3. Do tính chất di động của các nút mạng, giao thức định tuyến trong mạng MANET phải được thiết kế đặc biệt để đảm bảo các yếu tố như tiết kiệm năng lượng, chất lượng dịch vụ cũng như chống lại các hành vi tấn công mạng. Trong thời gian qua, các giao thức định tuyến không ngừng được đề xuất với những cải tiến để đáp ứng những thay đổi môi trường và ứng dụng mạng khác nhau.



Hình 1.3. Một số ứng dụng của MANET phục vụ con người.

1.3.1. Tình hình nghiên cứu trong nước

Tại Việt Nam, theo tìm hiểu của nghiên cứu sinh, số lượng các kết quả nghiên cứu về các vấn đề liên quan đến mạng MANET còn ít. Dưới đây là một số kết quả nghiên cứu điển hình đã được công bố.

Theo hướng cải thiện hiệu quả định tuyến, trong tài liệu [1], nhóm nghiên cứu Cung Trọng Cường, Võ Thanh Tú, Nguyễn Thúc Hải thuộc Đại học Khoa học Huế và Đại học Bách Khoa Hà nội công bố một thuật toán sử dụng tác tử di động nhằm nâng cao hiệu quả giao thức định tuyến AODV trong mạng MANET, trọng tâm của nghiên cứu này là đề xuất một cơ chế lựa chọn lộ trình nhằm cân bằng lưu lượng giữa các nút trong toàn mạng để giảm nghẽn bằng cách thiết lập hàm đánh giá mật độ lưu lượng qua mỗi nút. Kết quả mô phỏng cho thấy, giao thức MAR-AODV có xác suất nghẽn gói tin nhỏ hơn giao thức AODV gốc.

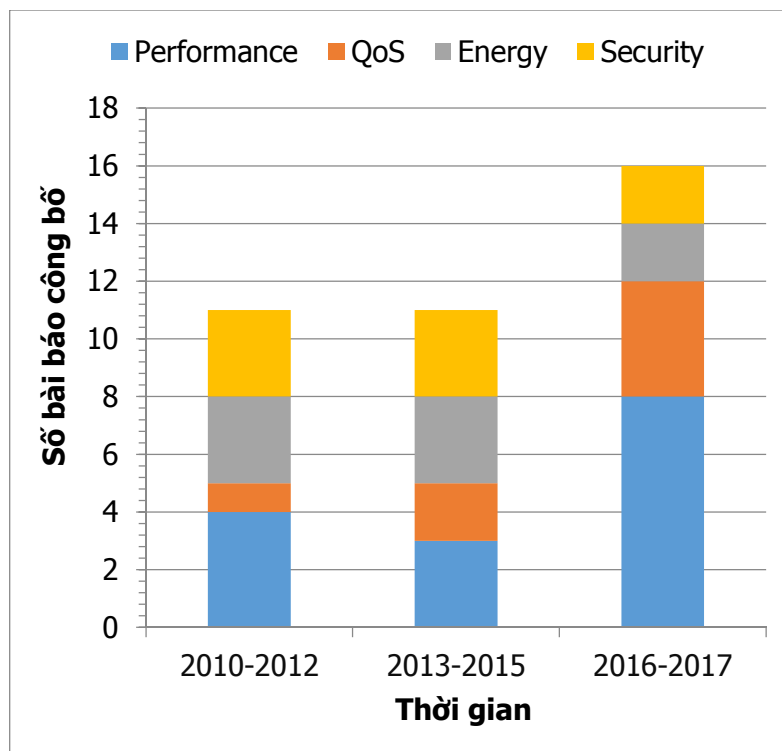
Hiện tại, một số hướng nghiên cứu về bảo mật MANET cũng đang được các nhóm triển khai nghiên cứu. Trong [2], nhóm nghiên cứu Lương Thái Ngọc, Võ Thanh Tú thuộc Đại học Đồng Tháp và Đại học Khoa học Huế đã đề xuất giải pháp phát hiện tấn công ngập lụt trên mạng MANET. Trọng tâm của giải pháp là đề xuất giao thức định tuyến SMA-AODV sử dụng tác tử di động SMA nhằm phát hiện hành vi tấn công ngập lụt. Kết quả mô phỏng trên NS2 cho thấy, giao thức đề xuất có khả năng phát hiện tấn công ngập lụt gói RREQ và cải thiện tỷ lệ phân phối gói tin so với giao thức AODV truyền thống.

Theo hướng tiết kiệm năng lượng, trong tài liệu [80], nhóm nghiên cứu Nguyễn Trung Dũng, Nguyễn Văn Đức, Nguyễn Thanh Tùng, Phạm Trọng Hiếu và Phạm Văn Tiến thuộc Đại học Bách Khoa Hà nội và Đại học Nguyễn Tất Thành đã công bố một giao thức định tuyến hiệu quả năng lượng. Trọng tâm của nghiên cứu là đề xuất hai thuật toán gồm: (1) Avoid Bad Route (ABR) để tránh các tuyến đường có nút cạn kiệt năng lượng và (2) Routing Dual Criterion (RDC) nhằm lựa chọn tuyến đường tối ưu. Cả hai thuật toán đều dựa trên tham số năng lượng. Kết quả mô phỏng cho thấy, tuổi thọ và thông lượng mạng được cải thiện so với các giao thức định tuyến truyền thống.

1.3.2. Tình hình nghiên cứu trên thế giới

Để làm rõ cách tiếp cận cũng như xu hướng nghiên cứu vấn đề định tuyến cho mạng MANET trên thế giới, từ đó, làm căn cứ đề xuất các giải pháp cụ thể ở Chương 3 và Chương 4, nghiên cứu sinh đã thực hiện khảo sát các giao thức định tuyến cho mạng MANET được công bố trên cơ sở dữ liệu IEEE Xplore Digital Library trong

vòng 8 năm qua. Các giao thức khảo sát được thống kê trong Phục lục 1. Dựa trên mục tiêu, mỗi giao thức khảo sát được phân vào một trong bốn nhóm sau: *cải thiện hiệu năng tổng thể, đảm bảo QoS, hiệu quả năng lượng và bảo mật*.

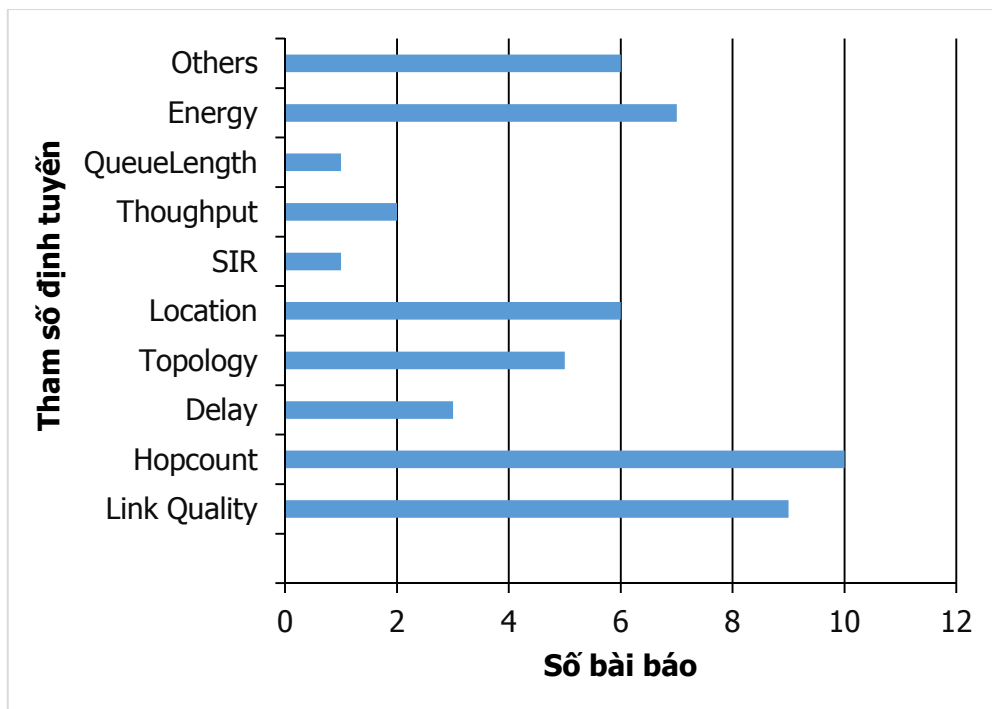


Hình 1.4. Thống kê số bài báo đề xuất các giao thức định tuyến [83].

Phân tích kết quả khảo sát, luận án xác định được một số vấn đề cụ thể như sau: Khoảng 38 giao thức định tuyến đã được đề xuất cho mạng MANET trong vòng 8 năm qua, 100% các nghiên cứu đã đề xuất các giao thức định tuyến mới và thực hiện so sánh hiệu năng với một số giao thức định tuyến khác dựa trên các phần mềm mô phỏng. Các nghiên cứu nhằm cải thiện hiệu năng có số lượng cao nhất và chiếm khoảng 40% tổng số nghiên cứu. Trên 90% các đánh giá hiệu năng được thực hiện trên các phần mềm mô phỏng truyền thống như NS2, OPNET, Glomosim. Khoảng 10% số nghiên cứu sử dụng các mô phỏng tự xây dựng. Khoảng 85% các nghiên cứu đánh giá hiệu quả của giao thức đề xuất bằng cách so sánh với các giao thức chuẩn của MANET. Hai giao thức định tuyến phổ biến nhất được sử dụng để so sánh hiệu năng với các giao thức đề xuất là AODV và DSR. Để đánh giá hiệu năng của giao thức đề xuất, các nghiên cứu sử dụng các tiêu chí hiệu năng như: tỷ lệ phân phối gói tin, thông lượng, trễ đầu-cuối và tải định tuyến. Khoảng 90% các nghiên cứu trình

bày 2 trong 4 tiêu chí ở trên. Hai tiêu chí phổ biến nhất được sử dụng trong các nghiên cứu là tỷ lệ phân phối gói tin và trễ đầu-cuối.

Quan sát Hình 1.4 cho thấy, số lượng công trình nghiên cứu luôn tăng theo thời gian và tăng nhanh trong 2 năm gần đây (giai đoạn 2016-2017), các đề xuất tập trung vào hai hướng: (1) cải thiện hiệu năng tổng thể và (2) đảm bảo QoS. Hai hướng nghiên cứu này luôn cao hơn các hướng khác và chiếm khoảng 75% tổng số các giao thức được đề xuất trong giai đoạn 2016-2017. Hơn thế, nhiều nghiên cứu đã chỉ ra, trong bối cảnh mạng 5G, với sóng siêu cao tần có băng thông cực lớn và hệ thống ăng ten dày đặc sẽ cho phép mạng MANET cải thiện thông lượng và trễ đầu-cuối. Tuy nhiên, mật độ các trạm cơ sở và thiết bị cao trong 5G cũng là một thách thức lớn đến khả năng phân phối gói tin của MANET. Do đó, định tuyến cải thiện hiệu năng và đảm bảo QoS cho mạng MANET sẽ tiếp tục là các chủ đề nghiên cứu thời sự và được quan tâm trong tương lai.



Hình 1.5. Các tham số định tuyến được khảo sát [83].

Rõ ràng, mỗi tham số định tuyến được thiết kế nhằm đạt được những mục tiêu nhất định. Hình 1.5 trình bày các tham số định tuyến sử dụng trong các giao thức được khảo sát. Kết quả cho thấy, các tham số định tuyến phổ biến nhất là: *số chặng* (hop-count), *chất lượng liên kết* và *năng lượng*. Hơn thế, thống kê các giao thức khảo

sát trong Phụ lục 1 cho thấy: các giao thức định tuyến gần đây có xu hướng sử dụng đa tham số. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra, để thỏa mãn các điều kiện chất lượng dịch vụ phức tạp, xu hướng này là cần thiết. *Do đó, vấn đề định tuyến đa tham số và lựa chọn các tham số phù hợp cần được nghiên cứu.*

Tổng hợp các kết quả khảo sát cho thấy, nhằm cải thiện hiệu năng cho mạng MANET, trong những năm gần đây tình hình nghiên cứu trên thế giới diễn ra rất sôi động với một số hướng như sau:

Tiếp cận theo ***hướng sử dụng MANET đa kênh***, nhằm cải thiện hiệu năng cho MANET, trong tài liệu [71], nhóm nghiên cứu đã đề xuất một giao thức định tuyến cho MANET hoạt động theo mô hình đa kênh. Trọng tâm của đề xuất là sử dụng tham số định tuyến ETT để tính chi phí tuyến đường và trọng số bình quân β để hạn chế nhiều đồng kênh. Kết quả mô phỏng cho thấy, hiệu năng của giao thức WCETT cải thiện đáng kể so với các giao thức định tuyến truyền thống như AODV hay DSR.

Rõ ràng, với đặc tính di động, cấu trúc của mạng MANET luôn thay đổi. Vấn đề cố định giá trị các tham số trong một môi trường mạng có cấu trúc biến đổi nhanh là không thích hợp. Do đó, giá trị các tham số định tuyến cần được xem xét một cách linh hoạt tùy theo tùy theo điều kiện của mạng là vấn đề cần nghiên cứu.

Tiếp cận theo hướng ***định tuyến sử dụng đa tham số***: Trong tài liệu [3], nhóm nghiên cứu đã đề xuất 3 thuật toán để cải thiện hiệu năng của các giao thức định tuyến dựa trên phân cụm, gồm CBLTR là giao thức để bầu các nút chủ cụm dựa trên tuổi thọ của nút; IDVR là giao thức lựa chọn tuyến đường tối ưu dựa trên *vị trí hiện tại, vị trí đích và thông lượng*, và cuối cùng, là thuật toán CORA để giảm số gói tin điều khiển trong mỗi cụm. Kết quả mô phỏng trên MATLAB cho thấy, giao thức đề xuất cải thiện hiệu năng trên các tiêu chí như: tỷ lệ phân gói tin, thông lượng và trễ so với các giao thức truyền thống. Cũng theo hướng này, trong tài liệu [4], nhóm nghiên cứu đã đề xuất một giao thức định tuyến, được đặt tên là 3MRP để gửi các thông điệp video trong các thành phố thông minh. 3MRP sử dụng 5 tham số định tuyến (*khoảng cách, hướng, mật độ, băng thông và tỷ lệ tổn thất lớp MAC*) để lựa chọn tuyến đường tối ưu. Kết quả mô phỏng trên NS2 cho thấy, 3MRP cải thiện trễ và tỷ lệ phân phối gói tin so với một số các giao thức định tuyến đã được đề xuất.

Tiếp cận theo hướng **định tuyến đảm bảo QoS**: Trong tài liệu [65], nhóm nghiên cứu đề xuất một giao thức mới, gọi là MQSPR để cải thiện hiệu năng tổng thể cho truyền thông giữa máy bay và mặt đất. MQSPR sử dụng 3 tham số định tuyến là: *chu kỳ khả dụng của tuyến* (path availability period), *tải còn lại của tuyến* (residual path load capacity) và *trễ đầu-cuối* (path latency) để lựa chọn tuyến đường và tối ưu hóa lược đồ quảng bá nhằm tối thiểu hóa tràn lụt. Mục đích chính của giao thức đề xuất là lựa chọn các kết nối tin cậy, cân bằng tải và giảm trễ để đáp ứng các yêu cầu của dịch vụ thông tin hàng không dân dụng. Kết quả thực nghiệm cho thấy, MQSPR cải thiện tỷ lệ phân phối gói tin và thực hiện cân bằng tải tuyến đường. Cũng theo hướng này, trong tài liệu [75], nhóm nghiên cứu đề xuất một giao thức định tuyến CLDBRP, nhằm mục đích chọn tuyến đường với tỷ lệ phân phối gói tin cao nhất nhằm đáp ứng yêu cầu QoS. Giao thức đề xuất hoạt động trong môi trường VANET, sử dụng chất lượng kênh để ra quyết định lựa chọn tuyến đường. Kết quả mô phỏng với các kịch bản khác nhau về mật độ và tính di động cho thấy, giao thức đề xuất cải thiện hiệu năng của hệ thống trên tiêu chí tỷ lệ mất gói tin.

Khảo sát các nghiên cứu gần đây về chủ đề **định tuyến tiết kiệm năng lượng** cho MANET trong các tài liệu [11], [86], [90] cho thấy hai hướng tiếp cận chính là *điều khiển công suất* và *phân phối lưu lượng mạng (phân phối tải)*. Theo đó, hướng *điều khiển công suất* xác định những tuyến đường tối ưu sao cho tổng công suất tiêu thụ để truyền gói tin từ nút nguồn đến nút đích là nhỏ nhất [41], [77], [87].

Một hướng tiếp cận quan trọng khác là *phân phối tải*. Mục tiêu chính của phân phối tải là cân bằng việc sử dụng năng lượng giữa các nút nhằm tối đa hóa tuổi thọ mạng bằng cách tránh sử dụng các nút có mức năng lượng thấp khi lựa chọn tuyến đường [27], [34]. Mục đích cụ thể của hướng này là cân bằng việc sử dụng năng lượng của tất cả các nút di động bằng cách chọn một tuyến đường với các nút giàu năng lượng hơn là tuyến ngắn nhất. Điều này có thể dẫn đến các tuyến đường dài hơn, nhưng các gói tin được định tuyến chỉ thông qua các nút trung gian có dung lượng pin còn lại cao. Các giao thức dựa trên cách tiếp cận này không nhất thiết phải cung cấp tuyến với chi phí năng lượng thấp nhất, nhưng ngăn các nút nhất định bị quá tải, do đó, tuổi thọ mạng dài hơn. Một trong các giao thức định tuyến tiêu biểu và đầu

tiên được đề xuất cho MANET theo hướng này là MBCR [17]. Ý tưởng chính của đề xuất là sử dụng năng lượng còn lại của mỗi nút làm chi phí định tuyến và lựa chọn tuyến có tổng mức năng lượng còn lại cao nhất trong số các tuyến ứng viên. Nhận thấy hạn chế của MBCR là không loại trừ được các tuyến đường có tổng năng lượng là cao nhất nhưng lại chứa nút cạn kiệt năng lượng. Trong [17], nhóm nghiên cứu tiếp tục cải tiến MBCR thành giao thức MMBCR với ý tưởng chính là chọn tuyến có mức năng lượng tối thiểu lớn nhất.

Vẫn theo hướng tiếp cận *phân phối tải*, gần đây, một số nghiên cứu đề xuất sử dụng chi phí kết hợp giữa mức năng lượng còn lại và số chặng. Theo đó, trong [34], đề xuất một giao thức định tuyến, gọi là HCESDSR nhằm tăng tuổi thọ cho MANET. Ý tưởng chính của đề xuất là định nghĩa một tham số, gọi là *tuổi thọ tối thiểu dự kiến của tuyến đường*. Dựa vào đó, hàm chi phí sẽ lựa chọn tuyến đường có *tuổi thọ tối thiểu dự kiến trung bình* cao nhất. Kết quả mô phỏng trên NS2 cho thấy, giao thức đề xuất cải thiện tuổi thọ của mạng cũng như giảm thời gian trễ do hạn chế được số chặng so với các giao thức DSR và ESDSR. Cũng theo hướng này, trong [27] đã đề xuất một giao thức, được gọi là BBU-AODV sử dụng ba tham số định tuyến là: *năng lượng còn lại, số chặng và ngưỡng năng lượng* để tăng tối đa tuổi thọ của MANET bằng cách tránh đi qua các tuyến đường có chứa nút cạn kiệt năng lượng và cân bằng tổng mức năng lượng tiêu thụ của các nút trong toàn mạng. Do chỉ tập trung xem xét mức năng lượng còn lại của nút, dẫn đến, sau một thời gian hoạt động nhất định, các tuyến có số hop lớn nhưng giàu năng lượng nhất sẽ được lựa chọn và do đó, trễ trung bình ngày càng tăng cao. Thực tế cho thấy, các ứng dụng mạng, đặc biệt là các ứng dụng đa phương tiện đều yêu cầu một giới hạn trễ nhất định. Do đó, vấn đề mở rộng tối đa tuổi thọ mạng cần được xem xét một cách cân bằng với các yếu tố khác như trễ, thông lượng để đảm bảo sự tồn tại của mạng là hữu ích.

Mặc dù bị giới hạn về tài nguyên và năng lực tính toán, MANET đã khẳng định được ưu điểm vượt trội trong truyền thông: hạ tầng linh hoạt, hỗ trợ di động, cho phép kết nối tốt hơn, đảm bảo chuyển giao ổn định giữa các mạng khác nhau, v.v. Nhờ đó, chúng hứa hẹn những đóng góp quan trọng vào sự phát triển của Internet [8], [79]. Để mở rộng khả năng của mạng MANET, một số nghiên cứu gần đây đề xuất kết hợp

MANET và đám mây tạo thành cấu trúc mạng Cloud-assisted MANET [29], [32], [55]. Các nghiên cứu đã chỉ ra sự hỗ trợ của đám mây mang lại những khả năng mới, vượt trội cho MANET [55], [69]. Tuy nhiên, thực tế đặt ra là: MANET không có cấu trúc cố định, cấu hình liên tục biến đổi và thường xuyên mất kết nối [39], [55]. Đây là những thách thức chính đối với giải pháp kết hợp MANET và đám mây.

1.4. Xác định bài toán nghiên cứu

Dựa trên khảo sát và phân tích tình hình nghiên cứu trong nước và trên thế giới trong Mục 1.3, nghiên cứu sinh xác định được một số hướng nghiên cứu nhằm giải quyết bài toán cải thiện hiệu năng mạng MANET, như sau:

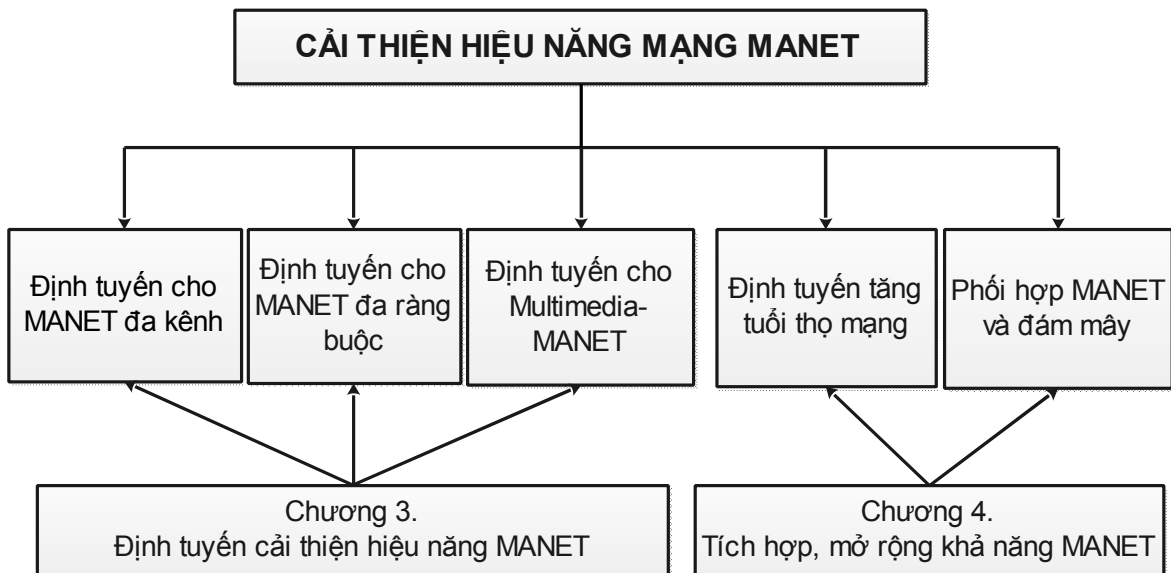
Vấn đề thứ nhất: Nghiên cứu và đề xuất các giao thức định tuyến. Khảo sát các nghiên cứu cho thấy, do đặc tính di động của các nút mạng, định tuyến là vấn đề chính nhằm cải thiện hiệu năng mạng. Do đó, đề xuất các giao thức định tuyến nhằm cải thiện hiệu năng MANET đặc biệt được quan tâm. Trong vấn đề này, ba vấn đề chi tiết cần nghiên cứu, cụ thể như sau:

- ***Định tuyến với cấu trúc mạng MANET đa kênh:*** Để cải thiện hiệu năng MANET, một số nghiên cứu đề xuất cấu trúc mạng MANET hoạt động đa kênh và sử dụng tham số định tuyến có giá trị cố định. Tuy nhiên, trong môi trường mạng có tính biến động cao như MANET, giá trị các tham số định tuyến cần được biến đổi theo sự biến động của cấu trúc mạng. Do đó các giao thức định tuyến cho MANET hoạt động đa kênh cần được nghiên cứu, đề xuất.
- ***Định tuyến đa tham số:*** Các giao thức định tuyến sử dụng một tham số để xác định tuyến đường có nhiều hạn chế. Do đó, lựa chọn và xác định các tham số định tuyến phù hợp để đưa vào hàm tính chi phí tuyến đường (định tuyến đa tham số) là xu hướng tất yếu cần được xem xét, nghiên cứu.
- ***Định tuyến đảm bảo QoS:*** Kết quả khảo sát cho thấy, các ứng dụng đa phương tiện hoạt động trên MANET đang được tập trung nghiên cứu. Tuy nhiên, do hiệu năng của MANET thấp trong khi các ứng dụng này thường có các yêu cầu đảm bảo chất lượng như băng thông, trễ. Do đó, các giao thức định tuyến đảm bảo QoS cho các ứng dụng đa phương tiện cần được nghiên cứu.

Vấn đề thứ hai: Tích hợp, mở rộng khả năng của MANET. Mặc dù đã khẳng định được ưu điểm vượt trội và được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như đã giới thiệu. Nhưng do bị giới hạn về tài nguyên và năng lực tính toán, các mạng MANET cần được tích hợp nhằm mở rộng khả năng cũng như sử dụng năng lượng hiệu quả hơn. Trong vấn đề này, hai giải pháp chi tiết cần nghiên cứu, cụ thể như sau:

- **Giải pháp tăng tuổi thọ mạng:** Mỗi nút mạng đóng vai trò như một bộ định tuyến để truyền/nhận và chuyển tiếp gói tin. Do đó, khi một nút mạng bị suy giảm năng lượng và không có khả năng thu/phát, hiệu năng mạng bị suy giảm mạnh, trong tình huống xấu nhất có thể dẫn đến phân vùng mạng. Để hạn chế điều này, các giao thức định tuyến tiết kiệm năng lượng cần được nghiên cứu đề xuất.
- **Giải pháp phối hợp MANET và đám mây:** Kết hợp đám mây và MANET tạo thành cấu trúc mạng Cloud-assited MANET mang lại những khả năng mới, vượt trội cho mạng MANET. Tuy nhiên, vấn đề thường xuyên mất kết nối trong mạng Cloud-assited MANET sẽ tiêu thụ rất nhiều tài nguyên dẫn đến giảm tuổi thọ của mạng. Do đó, vấn đề này cần được nghiên cứu và đề xuất.

Các vấn đề cần nghiên cứu được mô hình hóa và trình bày trong Hình 1.6.



Hình 1.6. Xác định bài toán nghiên cứu.

1.5. Kết luận Chương 1

Nội dung Chương 1 đã trình bày khái quát về mô hình, nguyên lý hoạt động, các tham số và yếu tố ảnh hưởng đến hiệu năng hệ thống mạng MANET. Qua khảo sát, phân tích và đánh giá tình hình nghiên cứu trong nước và thế giới cho thấy các hạn chế của các nghiên cứu trước đây trong vấn đề cải thiện hiệu năng mạng MANET. Trên cơ sở các hạn chế này, hướng nghiên cứu của luận án được xác định là đề xuất các giao thức định tuyến nhằm cải thiện hiệu năng cho các cấu trúc mạng MANET khác nhau; đề xuất các cơ chế, giải pháp nhằm mở rộng khả năng, nâng cao tuổi thọ của mạng MANET.

CHƯƠNG 2. ĐỊNH TUYẾN TRONG MẠNG MANET

Tóm tắt ⁽¹⁾: Chương 1 của luận án đã xác định được định tuyến là vấn đề cơ bản trong việc cải thiện hiệu năng mạng MANET. Trong chương 2, để làm rõ hơn vấn đề định tuyến và nhằm tìm ra phương thức để giải quyết các bài toán đã được xác định, luận án thực hiện một khảo sát các tham số và giao thức định tuyến gần đây được đề xuất cho mạng MANET. Kết quả cho thấy, nhằm cải thiện hiệu năng MANET, với mỗi cấu trúc, ứng dụng MANET, cần có các giải pháp khác nhau, phù hợp với cấu trúc, ứng dụng đó. Khảo sát các giao thức định tuyến tiêu biểu của MANET cho thấy, giao thức định tuyến AODV cho hiệu năng mạng ổn định và tốt hơn các giao thức khác. Do đó, cải tiến giao thức AODV nhằm đáp ứng các yêu cầu, nhiệm vụ của các cấu trúc mạng khác nhau là phù hợp.

2.1. Nguyên lý định tuyến trong mạng MANET

Khảo sát các giao thức định tuyến cho MANET, dựa theo phương thức định tuyến, có thể phân các giao thức định tuyến vào hai nhóm chính: định tuyến chủ động và định tuyến theo yêu cầu.

2.1.1. Định tuyến chủ động

Định tuyến chủ động, là phương thức định tuyến dựa trên bảng định tuyến để xác định đường đi giữa các nút trong mạng. Định tuyến chủ động sử dụng một bảng định tuyến để xác định đường đi đến tất cả các nút trong mạng. Các nút thường xuyên được cập nhật thông tin định tuyến về kiến trúc mạng và trạng thái đường liên kết để làm mới bảng định tuyến. Điều này cho phép bảng định tuyến kiểm soát được toàn bộ tình trạng các liên kết trong mạng tốt hơn. Tuy nhiên, trong một mạng có tính động cao, các thông tin cập nhật bảng định tuyến liên tục được trao đổi trong mạng với một tần suất lớn, điều này có thể làm ảnh hưởng lớn đến băng thông của mạng.

Một trong các giao thức định tuyến chủ động điển hình là OLSR [57], được cải tiến từ giao thức trạng thái đường liên kết, sử dụng ba cơ chế cho việc định tuyến:

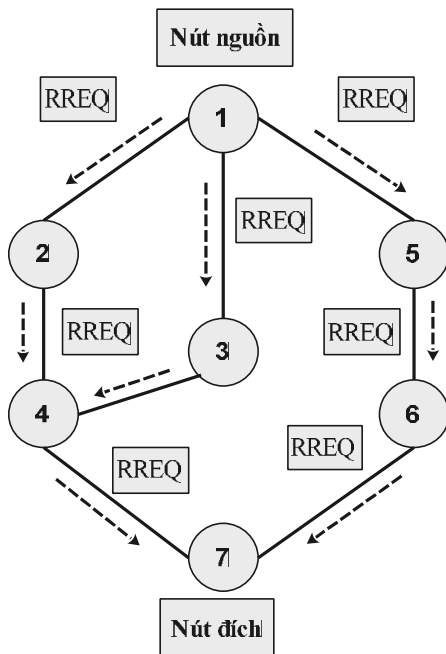
¹ Một phần nội dung của Chương 2 đã được công bố trên tạp chí Scopus, Journal of Communications [J1] và Hội nghị Khoa học Quốc gia về CNTT & TT lần thứ 11, FAIR'11, 2018 [C1].

- (1) Gửi gói tin Hello cho các nút lân cận theo chu kỳ;
- (2) Kiểm soát các gói tin gửi quảng bá nhờ cơ chế chuyển tiếp đa điểm;
- (3) Xác định đường truyền bởi thuật toán tìm đường đi ngắn nhất.

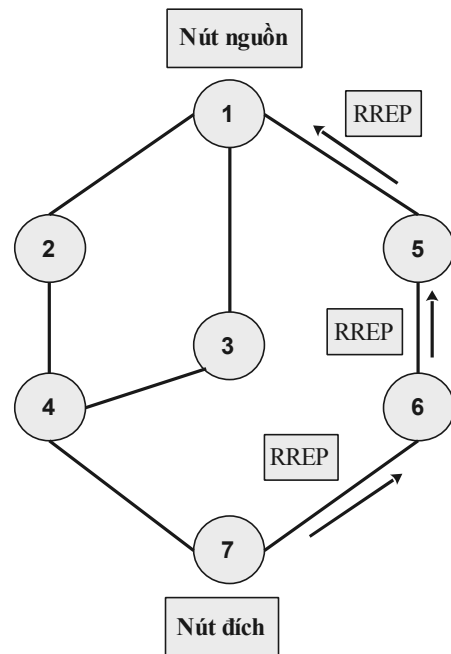
OLSR được đề xuất nhằm làm giảm tình trạng quá tải bằng cách bầu ra một số ít các nút đóng vai trò là nút chuyển tiếp trung tâm (MPR). Chỉ các nút MPR mới có khả năng chuyển tiếp gói tin quảng bá. Phương thức này nhằm hạn chế số lượng và kích thước gói tin quảng bá. Để thực hiện chọn một nút MPR, các nút gửi gói tin Hello trong phạm vi hai chặng. Dựa trên thông tin nhận được từ gói tin trả lời, các nút mạng thực hiện chọn nút MPR trong vùng. Giao thức OLSR có hiệu năng tốt hơn trong môi trường mạng dày đặc và lưu lượng dữ liệu lớn, tuy nhiên, hạn chế của OLSR là chiếm dụng nhiều tài nguyên mạng.

2.1.2. Định tuyến theo yêu cầu

Định tuyến theo yêu cầu, là phương thức định tuyến dựa trên yêu cầu truyền tin của nút mạng. Bất kì khi nào cần truyền dữ liệu, nút nguồn sẽ khám phá và tìm ra một tuyến đường đến nút đích.



Hình 2.1. Phát quảng bá gói tin yêu cầu tìm đường RREQ.



Hình 2.2. Phát định danh gói tin RREP trả về thông tin đường đi.

Hai giao thức định tuyến theo yêu cầu tiêu biểu đã được IETF chuẩn hóa cho mạng MANET là AODV [10] và DSR [26]. Quá trình khám phá tuyến đường được bắt đầu khi nút nguồn gửi các gói tin quảng bá tìm đường RREQ. Sau đó, các gói tin này sẽ được chuyển tiếp qua các nút trung gian để tới nút đích (Hình 1.3). Nút đích hoặc nút trung gian (nút biết về tuyến đường đến đích) sẽ phản hồi bằng cách gửi gói tin định danh RREP về nút nguồn (Hình 1.4). Khi nút nguồn nhận được gói tin RREP, tuyến đường được thiết lập và có thể bắt đầu truyền dữ liệu. Bên cạnh chức năng khám phá tuyến đường, các giao thức định tuyến theo yêu cầu có thủ tục bảo trì tuyến đường sử dụng các gói tin báo lỗi RERR.

2.2. Tham số định tuyến

Định tuyến cho mạng MANET không chỉ nhằm mục tiêu lựa chọn ra tuyến đường ngắn nhất mà còn phải đảm bảo tuyến đường sẽ cải thiện hiệu năng chung của toàn mạng và đáp ứng được các yêu cầu QoS (nếu có). Mỗi yêu cầu QoS được ánh xạ thành các tham số định tuyến tham gia vào hàm quyết định lựa chọn tuyến đường. Nhìn chung, một tham số định tuyến được thiết kế dựa trên các mục tiêu khi xây dựng mạng, gồm:

Mục tiêu chính: Đối với bất kỳ tham số định tuyến nào được chọn, phải tồn tại thuật toán hiệu quả để tính toán đường đi.

Mục tiêu tối ưu hóa: Bên cạnh mục tiêu chính, tham số định tuyến còn phải đạt được mục tiêu theo yêu cầu của mỗi ứng dụng, như: đảm bảo QoS, cải thiện hiệu năng hoặc hiệu quả năng lượng, vv. Lưu ý rằng, các yêu cầu QoS phải được ánh xạ thành những điều kiện ràng buộc khi ra quyết định lựa chọn tuyến đường. Rõ ràng, các mạng MANET với các mục tiêu khác nhau sẽ cần sử dụng tham số định tuyến khác nhau. Ví dụ, một ứng dụng video thời gian thực cần có trễ thấp. Do đó, cần ràng buộc tham số *delay* vào quá trình tính chi phí định tuyến.

Khảo sát các tham số định tuyến nhằm cung cấp một cách nhìn tổng quan về việc đề xuất và sử dụng các tham số định tuyến cho mạng MANET.

2.2.1. Đặc điểm của tham số định tuyến

Động và tĩnh: Một tham số định tuyến là động nếu nó có giá trị thay đổi theo thời gian. Đây là trường hợp của hầu hết các tham số định tuyến như *số hop*, *trễ*, *hàng đợi của nút mạng*, v.v. Ngược lại, tham số định tuyến đó là tĩnh như *số giao diện của một nút mạng* hoặc *năng lượng tối đa của một nút*.

Đối xứng/bất đối xứng: Cho $W_{(i,j)}$ là chi phí từ nút i đến nút j và $W_{(j,i)}$ là chi phí chiều ngược lại. Một tham số là đối xứng nếu $W_{(i,j)}=W_{(j,i)}$ với tất cả các liên kết.

Số chiều của tham số: Được xác định bởi số các tham số tham gia vào quá trình tính toán. Các giao thức định tuyến cơ bản như AODV hay DSR sử dụng tham số một chiều là số chặng. Một số giao thức định tuyến mới được đề xuất là các giao thức định tuyến đa chiều. Về toán học, giao thức định tuyến đa chiều là các vector tham số. Trong [3], các tác giả đề xuất một tham số định tuyến ba chiều gồm *thông lượng*, *vị trí hiện tại* và *vị trí đích*. Tham số đa chiều còn được gọi là đa tham số bởi vì chúng có thể được phân hủy thành các tham số một chiều. Trong [28], các tác giả sử dụng ba tham số là *năng lượng*, *trễ* và *băng thông* và tích hợp thành tham số một chiều thông qua một hàm toán học.

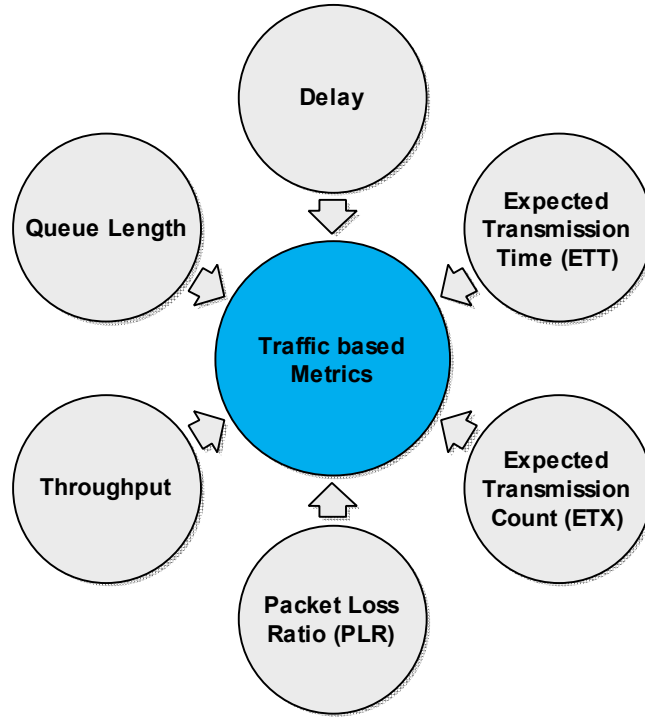
Tham số kết hợp: Tham số kết hợp được tính toán từ các tham số định tuyến một chiều khác nhau thông qua một hàm toán học. Ví dụ điển hình là tham số Mobility Factor [76]. Tham số này được xác định dựa trên sự kết hợp *vận tốc*, *hướng*, và *thời gian tạm dừng* (pause time) của một nút.

Lớp cung cấp thông tin: Đặc điểm này mô tả lớp nào thuộc mô hình OSI cung cấp các thông tin để tính giá trị của tham số định tuyến. Theo truyền thống, các giá trị tham số định tuyến chỉ được xác định bởi các thông tin trong lớp mạng. Gần đây, một số nghiên cứu đề xuất hướng tiếp cận định tuyến xuyên lớp như giao thức định tuyến hiệu quả năng lượng dựa trên thông tin định tuyến được cung cấp từ lớp vật lý trong tài liệu số [87].

2.2.2. Tham số dựa trên lưu lượng

Khi sử dụng mạng MANET cho các ứng dụng truyền thông khác nhau hoặc kết nối với Internet, nhiều mục tiêu thiết kế liên quan đến lưu lượng mạng: Thông lượng cao, thời gian trễ nhỏ và các giới hạn liên quan đến chất lượng kết nối. Rõ ràng, định

tuyến tiếp cận theo hướng lưu lượng truy cập là ý tưởng rất hay. Rất nhiều các tham số đã được đề xuất để làm điều này. Một số tham số định tuyến dựa trên lưu lượng tiêu biểu được trình bày trong Hình 2.1.



Hình 2.3. Các tham số cơ bản theo hướng tiếp cận lưu lượng [83].

2.2.2.1. Tham số thời gian trễ

Thời gian trễ (Delay) được xác định bằng cách đo thời gian gửi và nhận một gói tin định danh giữa hai nút lân cận. Có hai phương thức thường được sử dụng để thực hiện phép đo này là: phương thức chủ động và phương thức kết hợp (Mục 2.4).

Thời gian trễ có thể chia làm 6 giai đoạn khác nhau: Trễ hàng đợi (Q_S, Q_R), trễ xử lý (P_S, P_R), trễ truyền dẫn T , trễ lan truyền D_P . Giả sử băng thông đường truyền giữa hai nút (i, j) là B , thời gian trễ truyền dẫn một gói tin b bit là, $T = B/b$. Như vậy, trễ tổng thể $D_{i,j}$ được xác định theo công thức sau:

$$D_{i,j} = P_S + Q_S + D_P + \frac{B}{b} + Q_R + P_R \quad (2.1)$$

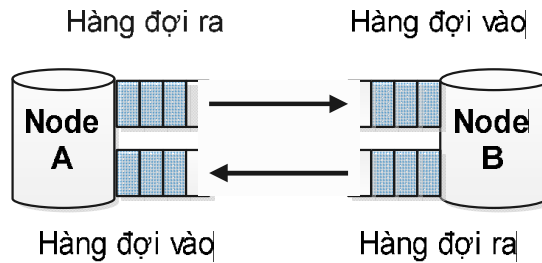
Giả sử $D_{i,j}$ và $D_{j,k}$ lần lượt là trễ của hai chặng liên tiếp đi từ nút i đến nút k thông qua nút j , thì tổng thời gian trễ được xác định là:

$$D_{i,k} = D_{i,j} + D_{j,k} + 2 \times Cov(D_{i,j}, D_{i,j}) \quad (2.2)$$

Trong đó, $Cov(D_{i,j}, D_{i,j})$ là trữ hiệp phương sai của hai liên kết. Việc tính toán trữ phương sai trở nên phức tạp khi số liên kết tăng lên. Để loại bỏ vấn đề này, trữ đầu cuối được sử dụng để đo thời gian trễ của một tuyến đường [30].

2.2.2.2. Tham số độ dài hàng đợi

Mỗi nút mạng có một hàng đợi đến và hàng đợi đi để lưu trữ các gói tin nếu giao diện mạng chưa thể chuyển tiếp chúng ngay lập tức. Tỷ lệ độ dài hàng đợi đóng vai trò quan trọng xác định thời gian trễ khi một gói tin đi qua nút. Nếu hàng đợi trống, thiết bị có thể tiếp nhận và xử lý ngay các lưu lượng truy cập, ngược lại, các lưu lượng phải được sắp xếp vào hàng đợi để chờ xử lý.



Hình 2.4. Mô hình hàng đợi của các nút di động.

Thông thường, hàng đợi của mỗi nút mạng có chiều dài giới hạn. Một nút mạng sẽ không nhận thêm các gói tin khi hàng đợi đã đầy. Nhiều nghiên cứu đã đề xuất sử dụng độ dài hàng đợi (Queue Length) như là một tham số định tuyến [28], [82].

2.2.2.3. Tham số Băng thông

Băng thông (Bandwidth) xác định khả năng dữ liệu có thể được gửi trên một liên kết trong một khoảng thời gian. Băng thông của một liên kết tương đương với tốc độ truyền của liên kết đó. Tham số băng thông được dùng phổ biến, đặc biệt đối với các ứng dụng phải đảm bảo QoS [38], [46]. Băng thông của một tuyến đường được xác định bằng băng thông của liên kết nhỏ nhất.

$$BW_{(p)} = \min_{l \in p} (BW_{(l)}) \quad (2.3)$$

Trong [38], các tác giả thực hiện một mô phỏng so sánh thông lượng giữa hai tham số: băng thông và hop-count. Kết quả cho thấy, thông lượng trung bình của mạng khi sử dụng tham số băng thông tăng trên 20% so với tham số hop-count.

2.2.2.4. Tham số tỷ lệ mất gói

Tỷ lệ mất gói PLR là một chỉ số quan trọng cho tất cả các ứng dụng mạng. Tỷ lệ mất gói cao làm giảm chất lượng truyền thông trong các giao thức không tin cậy (ứng dụng voice hoặc video) và dẫn đến số lần truyền lại, thời gian trễ cao trong các giao thức tin cậy. Kết quả là hiệu năng hệ thống giảm. Trong mạng MANET, nhiễu hoặc tính di động của nút là các nguyên nhân chính gây mất gói tin.

Khi một tuyến được thiết lập, khả năng mất gói tin tăng theo xác suất. Do đó, PLR của một tuyến p được xác định như sau:

$$PLR_p = 1 - \prod_{l \in p} (1 - PLR_l) \quad (2.4)$$

Để đánh giá hiệu quả của tham số PLR, Yarvis và cộng sự trong tài liệu số [49] đã thực hiện một thực nghiệm bằng cách sử dụng PLR làm tham số định tuyến thông qua việc gán mỗi liên kết một trọng số PLR. Kết quả cho thấy, tham số PLR cải thiện tỷ lệ mất gói tin đầu-cuối của tuyến đường khoảng từ 20% - 32% so với khi sử dụng tham số hop-count.

2.2.2.5. Tham số ETX

Số lần truyền dự kiến (ETX) là một trong các tham số đầu tiên được thiết kế dành riêng cho mạng MANET. Tham số định tuyến hop-count không phải là phương án tối ưu cho MANET. Couto và cộng sự [19] đã đề xuất một tham số dựa trên tỷ lệ mất gói tin hai chiều nhằm mục đích dự đoán số lần truyền yêu cầu (bao gồm cả truyền lại) để gửi thành công một gói tin qua một liên kết. Theo Koksals và cộng sự [14], giảm thiểu số lần truyền không chỉ tối ưu hóa thông lượng tổng thể mà còn giảm tổng năng lượng tiêu thụ với giả thiết công suất truyền dẫn không đổi.

Gọi d_f là xác suất truyền thành công một gói tin và d_r là xác suất nhận thành công một gói tin ACK trên một liên kết. Số lần truyền dự kiến ETX trên liên kết l là:

$$ETX = \frac{1}{d_f \times d_r} \quad (2.5)$$

ETX của một tuyến đường p bằng tổng ETX trên các liên kết.

$$ETX_p = \sum_{l \in p} ETX_l \quad (2.6)$$

Để so sánh hiệu năng, Couto và cộng sự đã thực nghiệm lần lượt trên cùng một cấu trúc mạng MANET theo hai tham số định tuyến là: ETX và hop-count. Kết quả thực nghiệm cho thấy, ETX cải thiện thông lượng cao gấp hai lần tham số hop-count khi nút mạng có mức di động thấp và giảm dần khi nút mạng có tính di động tăng lên. Đặc biệt ETX là một trong số ít các tham số đã được thực hiện thực tế để làm tham số định tuyến trong giao thức OLSR, được đặt tên là OLSRD [58].

Giá trị tham số ETX được xác định dựa trên tỷ lệ mất gói tin hai chiều và không xem xét đến băng thông của tuyến đường. Nói cách khác, ETX dựa vào độ tin cậy của tuyến đường mà chưa xem xét đến băng thông của tuyến. Đây chính là điểm hạn chế của ETX.

2.2.2.6. Tham số ETT

Nhận thấy hạn chế của ETX, Draves và cộng sự [67], [71] đã đề xuất tham số ETT, cải tiến từ tham số ETX. Gọi S là kích thước của gói tin thăm dò và B là băng thông của liên kết l . Thời gian truyền dự kiến trên liên kết l (ETT_l) được xác định như sau:

$$ETT_l = ETX_l \times \frac{S}{B} \quad (2.7)$$

ETT của tuyến đường p bằng tổng ETT của các liên kết

$$ETT_p = \sum_{l \in p} ETT_l \quad (2.8)$$

Do ràng buộc băng thông vào tham số định tuyến, ETT chọn được những con đường tin cậy và có băng thông tốt nhất. Để đo băng thông trên mỗi liên kết, các tác giả sử dụng kỹ thuật tác tử di động, xem chi tiết trong (Mục 2.3). Tất nhiên, điều này có thể làm tăng lưu lượng mạng nhưng không đáng kể.

2.2.2.7. Tham số WCETT

Nhận thấy vấn đề nhiễu đồng kênh xảy ra khi sử dụng tham số định tuyến ETT cho mạng MANET hoạt động đa kênh. Để giải quyết vấn đề này, Draves và cộng sự [67] tiếp tục đề xuất tham số định tuyến WCETT với mục đích đặc biệt là giảm nhiễu đồng kênh khi các giao diện hoạt động trong chế độ đa kênh. Giải pháp thực hiện là cố gắng giảm thiểu số lượng các nút sử dụng cùng một kênh trên cùng một tuyến. Kỹ

thuật cụ thể là sử dụng một trọng số bình quân để cân bằng giữa tổng chi phí toàn tuyến với ảnh hưởng của kênh bị thắt nút cổ chai. Kết quả mô phỏng cho thấy, hiệu năng của MANET được cải thiện vượt trội khi sử dụng tham số WCETT so với các tham số thông thường.

2.2.3. Tham số dựa trên thông tin vô tuyến

Thực tế cho thấy, lớp vật lý của các nút mạng không dây phức tạp và bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố, đặc biệt là hiện tượng can nhiễu so với mạng có dây. Vấn đề này không chỉ gây khó khăn cho các nhà phát triển lớp vật lý mà còn ảnh hưởng đến khả năng định tuyến.

2.2.3.1. Tham số Signal Strength

Các công nghệ không dây sử dụng gói tín hiệu (beacon) để phát hiện và trao đổi thông tin với các nút lân cận qua môi trường vô tuyến. Thông qua phương pháp này, nút mạng có thể xác định cường độ tín hiệu tại nút đích. Độ mạnh của tín hiệu có thể được xem như một dấu hiệu xác định chất lượng liên kết và khoảng cách giữa hai nút. Trong [68], Dube và cộng sự đề xuất giao thức định tuyến SSA, sử dụng tham số cường độ tín hiệu. Kết quả mô phỏng cho thấy, số tuyến đường cần thiết lập lại giảm hơn 60% khi sử dụng tham số này so với khi sử dụng tham số hop-count và giải pháp này đặc biệt hiệu quả trong môi trường mạng có mật độ nút mạng cao. Tuy nhiên, chất lượng của một liên kết không chỉ phụ thuộc vào cường độ tín hiệu mà còn cần xem xét đến tỷ lệ nhiễu.

2.2.3.2. Tham số SNR

Thông thường, tỷ lệ tín hiệu/nhiều (SNR) được sử dụng làm thước đo chất lượng kênh. Về lý thuyết, SNR là một chỉ số đánh giá chính xác năng lực của một liên kết [7], [45]. Nhưng Lampe và cộng sự [48] đã chỉ ra, tham số SNR chỉ thể hiện tốt nhất năng lực của một liên kết chỉ trong trường hợp có nhiễu trắng Gaussian.

2.2.3.3. Tham số BER

Gần giống với SNR, tham số BER được xác định bởi mức độ phải thực hiện sửa lỗi và số lần yêu cầu truyền lại trên một liên kết. Nói cách khác, điều này phản ánh độ tin cậy và mức tiêu thụ năng lượng của liên kết [71].

2.2.4. Tham số dựa trên vị trí và di động

Trong một số hệ thống mà mỗi nút đều biết thông tin vị trí của các nút khác thông qua hệ thống định vị toàn cầu (GPS), các hệ thống này có thể sử dụng vị trí vật lý của nút mạng làm tham số định tuyến.

2.2.4.1. Tham số Location

Một khảo sát đầy đủ về các tham số định tuyến dựa vào vị trí cho mạng MANET được trình bày trong [81]. Đơn giản nhất trong việc sử dụng thông tin vị trí làm tham số định tuyến là sử dụng khoảng cách địa lý. Thực tế cho thấy, mặc dù khoảng cách có mối quan hệ với cường độ tín hiệu nhưng trong môi trường vô tuyến, chất lượng của liên kết bị suy giảm mạnh khi gặp vật cản như cây xanh hoặc tòa nhà. Khi đó, cường độ tín hiệu có thể phản ánh chất lượng liên kết tốt hơn khoảng cách địa lý. Đồng thời, chất lượng và sự ổn định của một liên kết còn phụ thuộc vào tốc độ di chuyển của nút mạng. Một nút di chuyển nhanh, sẽ có xác suất gãy liên kết cao.

2.2.4.2. Tham số Mobility

Johansson và cộng sự [63] định nghĩa một tham số định tuyến dựa vào mức độ di động của nút như sau:

Giả sử $l(x, t)$ là vị trí của nút x tại thời điểm t trên liên kết l . Thì, vận tốc tương đối giữa nút x và nút y tại thời điểm t là:

$$v(x, y, t) = \frac{d}{dt} \times (l(x, t) - l(y, t)) \quad (2.11)$$

Gọi $M_{x,y}$ là độ đo tính di động giữa cặp nút (x, y) , được xác định bởi tốc độ tương đối của chúng trong một khoảng thời gian T , theo công thức sau:

$$M_{xy} = \frac{1}{T} \times \int_{t_0 \leq t \leq t_0+T} |v(x, y, t)| dt \quad (2.12)$$

Để thu được tham số định tuyến cho cả tuyến đường, phép đo trong công thức (2.12) được thực hiện cho tất cả các cặp nút, kết quả như sau:

$$M = \frac{1}{|x,y|} \times \sum_{x,y} M_{xy} = \frac{2}{n(n-1)} \times \sum_{x=1}^n \sum_{y=x+1}^n M_{xy} \quad (2.13)$$

Trong đó $|x,y|$ là số các cặp (x,y) khác nhau và n là số nút trong kịch bản.

Để thu được giá trị của tham số định tuyến, phương pháp này phải dựa vào các hệ thống định vị (ví dụ, như GPS) và thông tin do các lớp dưới cung cấp dẫn đến thời gian trễ cao và không phù hợp với cấu trúc mạng động của MANET. Do đó chỉ có thể áp dụng với các trường hợp đặc biệt và không có tính phổ biến.

2.2.5. Tham số dựa trên năng lượng

Do đặc tính di động, các nút mạng di động sử dụng pin để lưu trữ năng lượng. Do đó, hiệu quả sử dụng năng lượng là vấn đề đặc biệt quan trọng. Giảm thiểu năng lượng tiêu thụ cho mỗi gói tin là cách tiếp cận cơ bản nhất của các tham số định tuyến dựa trên năng lượng. Một khảo sát về các giao thức định tuyến hiệu quả năng lượng cho mạng MANET đã được trình bày trong tài liệu [42].

Năng lượng của một nút mạng bị tiêu thụ bởi các hoạt động chính sau:

- Khi truyền hoặc nhận một gói tin (bao gồm cả các gói tin định tuyến, gói dữ liệu và các gói tin truyền lại).
- Do lắng nghe trên từ môi trường vô tuyến (overhearing).

Nhiều tham số định tuyến tiếp cận theo hướng năng lượng đã được đề xuất, tập trung vào hai hướng tiếp cận sau: (1) *điều khiển công suất* (tối thiểu hóa tổng mức tiêu thụ năng lượng) và (2) *tối đa hóa tuổi thọ mạng*. Tuổi thọ mạng MANET được tính từ khi mạng bắt đầu hoạt động đến khi một nút đầu tiên hết năng lượng hay chính xác hơn là không đủ năng lượng để gửi hoặc nhận gói tin.

2.2.5.1. Tham số MTPR

Mục tiêu của *hướng điều khiển công suất* nhằm tối thiểu hóa mức tiêu thụ năng lượng. Theo hướng này, Singh và cộng sự [73] đã đề xuất tham số định tuyến MTPR.

Đặt e_l là phần năng lượng tiêu thụ để truyền hoặc nhận một gói tin trên liên kết l . Vậy tổng năng lượng tiêu thụ để truyền một gói tin từ nút nguồn S đến nút đích D trên tuyến đường p được xác định theo công thức sau:

$$E_p = \sum_{l \in p} e_l \quad (2.14)$$

Các nghiên cứu cho thấy, tham số định tuyến này có xu hướng lựa chọn tuyến đường qua nhiều chặng ngắn hơn là tuyến đường có số chặng nhỏ nhưng dài. Mặc dù

giải pháp này có hiệu quả năng lượng và ít gây nhiễu hơn, nhưng nó sẽ gây ra hiện tượng tắc nghẽn tại một số nút chính (các nút cổ chai) do lưu lượng tập trung đi vào các tuyến đường có tổng mức tiêu thụ năng lượng thấp. Để giảm nguy cơ này, với các hệ thống hoạt động đa kênh, Michail và cộng sự [9] đã đề xuất một trọng số năng lượng dựa trên số kênh còn trống của nút mạng tại thời điểm xét.

2.2.5.2. Dung lượng pin còn lại

Theo hướng tối đa hóa tuổi thọ, với mục tiêu cân bằng năng lượng tiêu thụ trong mạng, Chao và cộng sự [15] đã đề xuất tham số định tuyến dựa trên dung lượng pin còn lại. Tỷ lệ dung lượng pin còn lại của nút, R_{brc} được xác định theo công thức sau:

$$R_{brc} = \frac{E_i}{E_{max}} = \frac{\text{Battery remaining capacity}}{\text{Battery full capacity}} \quad (2.15)$$

Để hạn chế các tuyến đường giàu năng lượng nhưng lại chứa nút cạn kiệt năng lượng, Gupta và Das [36] đề xuất định nghĩa 3 cấp độ xác định tình trạng năng lượng của một nút để làm căn cứ thực hiện định tuyến, Bảng 2.1.

Bảng 2.1. Ba trạng thái năng lượng của nút mạng.

Cấp độ	Tỷ lệ dung lượng pin còn lại	Phương thức thực hiện
1	$E_i < 10\%$	Tránh sử dụng khi có tuyến đường khác
2	$10\% \leq E_i < 20\%$	Không sử dụng khi không cần thiết
3	$E_i \geq 20\%$	Sử dụng bình thường

2.2.5.3. Tham số MBCR

Cũng theo hướng tối đa hóa tuổi thọ mạng, để cải thiện hiệu quả sử dụng năng lượng, Singh và cộng sự [17], [73] đề xuất tham số định tuyến gọi là MBCR nhằm mục đích sử dụng các tuyến đường giàu năng lượng hơn. Theo đó, các tác giả định nghĩa c_t^i là dung lượng pin của nút n_i tại thời điểm t và $f_i(c_t^i)$ là hàm xác định mức năng lượng của nút n_i được xác định theo công thức sau:

$$f_i(c_t^i) = \frac{1}{c_t^i} \quad (2.16)$$

Khi dung lượng của pin giảm, giá trị hàm $f_i(c_t^i)$ của nút n_i sẽ tăng. Gọi R_p là tổng mức năng lượng còn lại trên tuyến p có D nút, ta có:

$$R_p = \sum_{i=0}^{D_p-1} f_i(c_t^i) \quad (2.17)$$

Để tìm được tuyến đường với dung lượng pin còn lại lớn nhất, cần chọn tuyến p với giá trị hàm tham số nhỏ nhất, $R_p = \min\{R_p | p \in P\}$, trong đó P là tập các tuyến đường ứng viên từ nút nguồn đến nút đích. Do đưa tham số dung lượng pin còn lại vào trong hàm tính chi phí nên MBCR luôn tìm được tuyến đường có tổng dung lượng pin còn lại cao nhất. Tuy nhiên, hạn chế của MBCR là không loại trừ được các tuyến đường có tổng dung lượng là lớn nhất nhưng chứa nút cạn kiệt năng lượng.

2.2.5.4. Tham số MMBCR

Để giải quyết hạn chế của tham số MBCR, [17] đề xuất giao thức MMBCR với mục đích là loại trừ được các tuyến đường có tổng dung lượng là lớn nhất nhưng lại có thể chứa nút cạn kiệt năng lượng. Do đó, MMBCR xác định mức năng lượng nhỏ nhất trong mỗi tuyến đường j như sau:

$$R_j = \max_{i \in j} f_i(c_t^i) \quad (2.18)$$

Tương tự MBCR, MMBCR sẽ chọn tuyến p thu được từ công thức sau:

$$R_p = \min\{R_j | j \in P\}. \quad (2.19)$$

Tham số này luôn cố gắng tránh tuyến đường có các nút mạng cạn kiệt năng lượng. Do đó, tuổi thọ của mạng có thể được cải thiện. Tuy nhiên, MMBCR vẫn chưa đảm bảo lựa chọn được tuyến đường có tổng công suất truyền tối thiểu. Để giải quyết điều này, tham số CMMBCR được đề xuất, cụ thể như sau.

2.2.5.5. Tham số CMMBCR

Tham số CMMBCR [17] được cải tiến từ MMBCR, bổ sung một khái niệm gọi là *ngưỡng* năng lượng của pin (*Threshold*) để kéo dài tuổi thọ của mỗi nút và sử dụng năng lượng pin hiệu quả hơn, ra quyết định chọn tuyến đường theo các tiêu chí sau:

- Nếu tất cả các nút thuộc tuyến đường khả dụng của cặp nút nguồn-đích đều có dung lượng pin cao hơn *ngưỡng* thì tuyến đường có tổng công suất truyền nhỏ nhất sẽ được chọn.

- Nếu trong các tuyến khả dụng tồn tại nút có mức năng lượng pin thấp hơn *ngưỡng* thì tuyến đường được chọn theo giao thức MMBCR.

Để đánh giá hiệu quả của các tham số định tuyến dựa trên năng lượng, trong [25], Kim và cộng sự tiến hành mô phỏng và so sánh hiệu năng giữa MTPR, MMBCR và CMMBCR. Kết quả cho thấy, trong mạng dày đặc, MTPR là thích hợp hơn do mức tiêu thụ năng lượng tổng thể giảm. Ngược lại, trong mạng thưa thớt, MMBCR thực hiện tốt hơn do hạn chế được vấn đề phân vùng mạng.

2.3. Bài toán lựa chọn tham số định tuyến

Trong phần này trình bày một số kết quả về vấn đề định tuyến đa ràng buộc, và sau đó thảo luận vấn đề lựa chọn tham số định tuyến dựa trên các phân tích của nghiên cứu sinh.

Như đã đề cập trong Mục 2.2, tham số định tuyến cho các ứng dụng MANET nói chung không chỉ lựa chọn ra tuyến đường ngắn nhất mà còn phải đảm bảo tuyến đường sẽ cải thiện hiệu năng chung của toàn mạng và đáp ứng được các yêu cầu QoS (nếu có). Một tham số định tuyến được lựa chọn phải đảm bảo ít nhất hai tiêu chí sau:

- Tồn tại thuật toán để xác định đường đi trong thời gian thực.
- Phản ánh được các đặc tính cơ bản của một mạng. Các yêu cầu *QoS* cần được ánh xạ thành những điều kiện ràng buộc khi chọn tuyến.

2.3.1. Đơn tham số

Các thuật toán tính chi phí tuyến đường dựa trên đơn tham số như Hop-count hoặc delay đã được biết đến và sử dụng rộng rãi trong các mạng hiện tại. Để ánh xạ nhiều điều kiện ràng buộc vào một tham số duy nhất, một cách tiếp cận khả thi là trộn các yêu cầu chất lượng dịch vụ vào thành một yêu cầu duy nhất, từ đó ánh xạ thành một tham số định tuyến và sử dụng nó làm cơ sở cho việc ra quyết định định tuyến. Ví dụ, một tham số định tuyến hỗn hợp M có thể được kết hợp từ các chi phí như BW (Băng thông), $Delay$ (thời gian trễ) thông qua một hàm chi phí như sau:

$$f(p) = \frac{\sum_{i=1}^P Delay_i}{\min_{i \in P} BW_i} \quad (2.20)$$

Theo đó, thuật toán định tuyến sẽ lựa chọn tuyến đường với băng thông lớn và thời gian trễ nhỏ nhất để đảm bảo QoS của người sử dụng.

2.3.2. Đa tham số

Nhiều tham số có thể mô hình hóa một hệ thống mạng với các yêu cầu chất lượng dịch vụ chính xác hơn. Có ba phương thức cơ bản để tính chi phí của một tuyến đường, cụ thể như sau:

Gọi $D_{i,j}$ là chi phí của liên kết (i, j) , thuộc tuyến $p = \{i, j, k, \dots, l, m\}$ là tập các nút mạng của tuyến.

Định nghĩa 2.1: Chi phí của tuyến đường p là tổng (Additive), nếu:

$$D_p = D_{i,j} + D_{j,k} + \dots + D_{l,m} \quad (2.21)$$

Định nghĩa 2.2: Chi phí của tuyến đường p là tích (Multiplicative), nếu

$$D_p = D_{i,j} \times D_{j,k} \times \dots \times D_{l,m} \quad (2.22)$$

Định nghĩa 2.3: Chi phí của tuyến đường p là cực tiểu (Minimum), nếu

$$D_p = \min\{D_{i,j}, D_{j,k}, \dots, D_{l,m}\} \quad (2.23)$$

Xem xét các tham số định tuyến như *trễ*, *băng thông*, *tỷ lệ mất gói tin*, v.v. Rõ ràng, tham số *trễ* được xác định theo phương thức tính tổng (2.21), tham số *tỷ lệ mất gói tin* được xác định theo phương thức tích (2.22), và tham số *băng thông* được xác định theo phương thức cực tiểu (2.23) hay còn được gọi là băng thông nghẽn cổ chai (Bottleneck Bandwidth). Tham số *xác suất mất gói tin* có thể chuyển thành tham số tương đương, là *xác suất truyền gói tin thành công* (2.24):

$$D_p = 1 - ((1 - D_{i,j}) \times (1 - D_{j,k}) \dots \times (1 - D_{l,m})) \quad (2.24)$$

Một quy trình truyền dữ liệu điển hình gồm hai bước: (1) tìm kiếm nút nguồn và (2) truyền dữ liệu. Quá trình truyền dữ liệu chỉ được thiết lập sau khi định tuyến đã tìm thấy tuyến đường đến nút đích đáp ứng yêu cầu của người sử dụng. Vì vậy, các yêu cầu QoS (nếu có) phải được xem xét và phản ánh thành các tham số ràng buộc trong quá trình định tuyến.

Để đảm bảo lựa chọn được tuyến đường tối ưu, các giao thức định tuyến cần có một mô hình tính toán với nhiều tham số ràng buộc như: *băng thông, trễ và tỷ lệ mất gói tin*, v.v. Tuy nhiên, để có thể xác định tuyến đường trong thời gian thực, số lượng các tham số định tuyến phải được xem xét. Trong [24], [45], các nghiên cứu đã chỉ ra, khi có nhiều hơn hoặc bằng 2 tham số kiểu *additive* hoặc *multiplicative* tham gia, bài toán xác định tuyến đường tối ưu sẽ có độ phức tạp NP-Complete. Do đó, các nghiên cứu thường tìm cách hạn chế các tham số ràng buộc để đưa về dạng bài toán có thể giải được trong thời gian thực.

2.4. Phương thức thu nhận thông tin định tuyến

Có nhiều cách để thu được các thông tin định tuyến, cụ thể như sau:

Phương thức nút (Node Method): Các thông tin này do nút mạng cung cấp, có thể là các giá trị cố định như số giao diện của một nút, hoặc giá trị biến đổi như độ dài hàng đợi hay năng lượng pin còn lại của nút.

Phương thức thụ động (Reactive Method): Phương thức này thu nhận thông tin định tuyến thông qua việc giám sát lưu lượng đến và đi khỏi một nút mạng để có thể ước lượng được băng thông có sẵn của một liên kết.

Phương thức kết hợp (Piggyback): Phương thức này được thực hiện bằng cách chèn thông tin thăm dò vào các gói tin lưu lượng hoặc gói tin định tuyến mà không cần tạo ra các gói tin riêng để đo. Đây là một phương pháp phổ biến để tính tham số định tuyến của cả một tuyến đường. Tại mỗi nút, các gói tin sẽ tính toán giá trị tham số của liên kết, và đưa vào phần tiêu đề của gói tin điều khiển như RREQ hoặc RREP để cung cấp thông tin cho nút ra quyết định lựa chọn tuyến đường [82].

Phương thức thăm dò chủ động: Phương thức này tạo ra các gói tin đặc biệt để đo các thuộc tính của một liên kết. Điển hình của phương thức này là kỹ thuật sử dụng tác tử di động. Trong khoa học máy tính, tác tử là một thực thể (phần mềm/dữ liệu/gói tin) có khả năng hoạt động trong môi trường, tương tác với các tác tử khác hoặc thực hiện một mục tiêu cụ thể. Một tác tử di động ứng dụng trong môi trường mạng MANET là các gói tin nhỏ (gói tin thăm dò) được gửi theo chu kỳ giữa các nút lân cận để chủ động thu thập giá trị các tham số định tuyến, phục vụ cho việc tính

toán chi phí tuyến đường. Bằng cách này, A-WCETT thu nhận được xác suất gửi và nhận gói tin để từ đó xác định độ tin cậy của một liên kết [2].

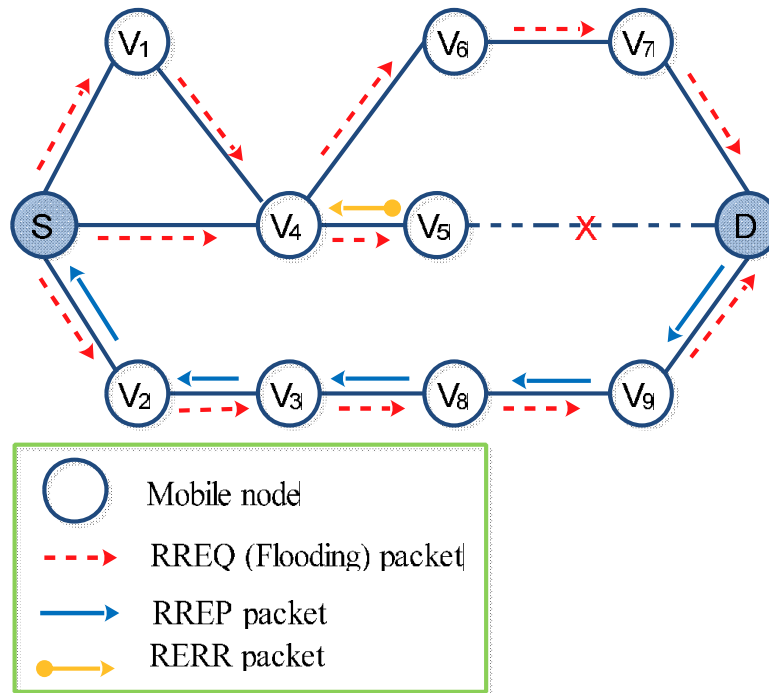
2.5. Một số giao thức định tuyến tiêu biểu

Khảo sát cho thấy, nghiên cứu luôn có xu hướng kế thừa, đa số các giao thức định tuyến được đề xuất dựa trên cơ sở cải tiến từ những giao thức định tuyến tiêu biểu đã có. Do đó, để đề xuất các giao thức, giải pháp cải thiện hiệu năng cho mạng MANET, luận án đã thực hiện một phân tích và so sánh hiệu năng khi lần lượt sử dụng 4 giao thức định tuyến tiêu biểu cho MANET, gồm: AODV và DSR (định tuyến theo yêu cầu) và OLSR và DSDV (định tuyến chủ động) trong các kịch bản khác nhau về lưu lượng mạng và mức di động. Các phân tích, kịch bản và kết quả được trình bày trong phần tiếp theo.

2.5.1. Giao thức định tuyến AODV và DSR

Trong mạng MANET, hai giao thức định tuyến tiêu biểu đã được IETF chuẩn hóa là AODV [10] và DSR [26]. Đây là các giao thức định tuyến theo yêu cầu, hoạt động dựa trên nguyên tắc: bất kì khi nào cần truyền dữ liệu, nút nguồn sẽ khám phá và tìm ra một tuyến đường đến nút đích.

Quá trình khám phá tuyến đường được bắt đầu khi nút nguồn gửi các gói tin quảng bá tìm đường RREQ. Sau đó, các gói tin này sẽ được chuyển tiếp qua các nút trung gian để cuối cùng tới nút đích. Nút đích hoặc nút trung gian (nút biết về tuyến đường đến đích) sẽ phản hồi bằng cách gửi gói tin định danh RREP về nút nguồn. Khi nút nguồn nhận được gói tin RREP, tuyến đường được thiết lập và có thể bắt đầu truyền dữ liệu. Bên cạnh chức năng khám phá tuyến đường, AODV và DSR còn có thủ tục bảo trì tuyến đường sử dụng các gói tin báo lỗi RERR.



Hình 2.5. Ba trạng thái xác định tuyến đường của AODV.

Các bước để xác định tuyến đường của giao thức định tuyến theo yêu cầu được mô hình hóa như trong Hình 2.5. Mặc dù đều được thiết kế để phù hợp với các đặc điểm của mạng MANET, giữa AODV và DSR có một số khác biệt. AODV không xây dựng trước một tuyến đường để truyền dữ liệu từ nguồn đến đích. Tuyến đường truyền sẽ được quyết định bởi mỗi nút mạng khi có dữ liệu đến, dựa vào các thông tin hiện trạng hệ thống mà nút đó thu được. Đồng thời, AODV còn sử dụng một chuỗi số tuần tự nguồn/đích để xác định ra tuyến đường mới cũng như tránh định tuyến lặp vòng. Trong khi đó, DSR xây dựng tuyến đường tại nút nguồn. Nút nguồn sẽ xác định đầy đủ chuỗi chặng (hop) từ nút nguồn tới nút đích để truyền tin. Do vậy, cấu trúc các gói tin RREQ và RREP của DSR phải được mở rộng thêm để chứa thông tin địa chỉ của các nút trung gian. Ngoài ra, khác với AODV không có cơ chế lưu trữ thông tin định tuyến, DSR duy trì một bộ nhớ tạm để lưu các tuyến đường và sử dụng chúng cho tới khi không còn hợp lệ.

Cả AODV và DSR đều sử dụng ít tài nguyên, tiết kiệm năng lượng và hỗ trợ tốt các đặc tính của kiến trúc/tổ chức mạng tùy biến như: tự tổ chức, tự cấu hình và di động. Trong một so sánh hiệu năng trong tài liệu [72], AODV phân phối được trên 90% gói tin, trong khi hiệu năng của DSR đạt giá trị tốt nhất khi số chặng trong tuyến đường thấp. Tuy nhiên, sử dụng AODV cho mạng MANET sẽ có nhiều điểm thuận

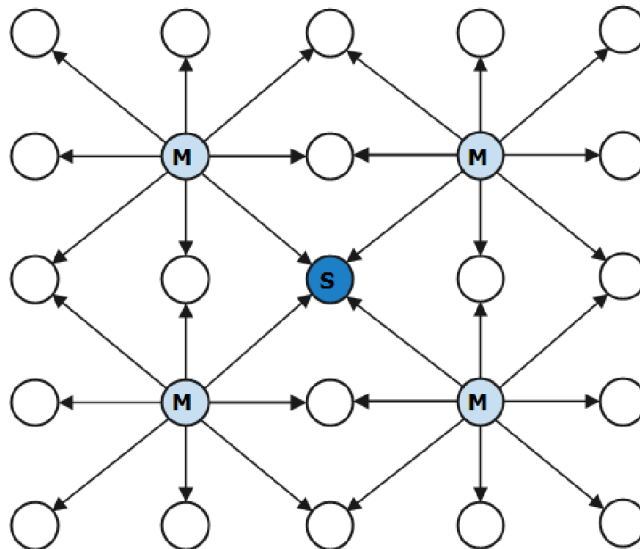
lợi hơn so với DSR. Lý do chính là vì quy mô lớn và tính chất biến động rất cao của mạng MANET. Khi đó, quá trình khám phá tuyến đường của DSR có thể dẫn đến việc không thể đoán định độ dài của gói tin điều khiển.

2.5.2. Giao thức định tuyến OLSR và DSDV

Giao thức định tuyến chủ động sử dụng bảng định tuyến để xác định đường đi đến các nút trong mạng. Các nút thường xuyên được cập nhật thông tin về kiến trúc mạng và trạng thái đường liên kết để làm mới bảng định tuyến. Điều này cho phép bảng định tuyến kiểm soát được toàn bộ tình trạng các liên kết trong mạng tốt hơn. Tuy nhiên, trong một mạng có tính động cao, các thông tin định tuyến liên tục được trao đổi trong mạng có thể làm ảnh hưởng lớn đến băng thông của mạng.

Giao thức định tuyến OLSR [57] là một phiên bản cải tiến từ giao thức trạng thái đường liên kết, sử dụng ba cơ chế cho việc định tuyến:

- (1) Gửi gói tin Hello cho các nút lân cận theo chu kỳ.
- (2) Kiểm soát các gói tin quảng bá nhờ cơ chế chuyển tiếp đa điểm.
- (3) Xác định tuyến đường bởi thuật toán tìm đường đi ngắn nhất.



Hình 2.6. Tiến trình xác định nút MPR trong OLSR.

OLSR được đề xuất nhằm làm giảm tình trạng quá tải các gói tin quảng bá bằng cách bầu ra một số ít các nút đóng vai trò là nút chuyển tiếp trung tâm (MPR). Chỉ các nút này mới có khả năng chuyển tiếp gói tin quảng bá, điều này làm giảm số gói tin quảng bá cũng như kích cỡ của gói tin điều khiển. Để thực hiện bầu một nút MPR,

các nút gửi gói tin Hello trong phạm vi hai chặng để xác định nút lân cận, sau đó, các nút này thực hiện bầu nút đóng vai trò MPR trong vùng (xem Hình 2.6). Giao thức OLSR có hiệu năng tốt hơn trong môi trường mạng dày đặc và lưu lượng dữ liệu lớn, tuy nhiên, hạn chế của OLSR là chiếm dụng nhiều tài nguyên mạng.

Cũng như giao thức định tuyến OLSR, DSDV [16] là một giao thức định tuyến chủ động nhưng sử dụng tham số định tuyến là vector khoảng cách (hop-count) để lựa chọn tuyến đường. DSDV được đề xuất nhằm giải quyết vấn đề lặp vòng bằng cách thêm một trường số tuần tự vào trong bảng định tuyến. Không giống như giao thức định tuyến trạng thái đường liên kết, DSDV không có một bản đồ đường đi đến toàn bộ các nút trong mạng. Mỗi nút duy trì một bảng định tuyến đến các nút đích mà nó biết và thông tin này được trao đổi, cập nhật theo chu kỳ. Khi lựa chọn tuyến đường, DSDV ưu tiên sử dụng tuyến đường có số tuần tự cao nhất, trong trường hợp có nhiều tuyến đường có cùng số tuần tự, giao thức sẽ ưu tiên chọn tuyến đường có số hop-count thấp hơn. Do sử dụng phương thức cập nhật thông tin định tuyến theo chu kỳ, DSDV thường gây lãng phí tài nguyên hệ thống trong trường hợp kiến trúc mạng ít có sự thay đổi cũng như tình trạng quá tải khi các tuyến đường tồn tại trong bảng định tuyến thời gian dài mà không được sử dụng.

2.5.3. Đánh giá hiệu năng mạng với các giao thức tiêu biểu

Để đánh giá hiệu năng của bốn giao thức định tuyến tiêu biểu đã được phân tích: AODV, DSR, OLSR và DSDV. Một hệ thống mô phỏng trên NS2, phiên bản 2.34 với sự thay đổi về tốc độ di chuyển của nút mạng (kịch bản di động) và số kết nối đầu-cuối (kịch bản lưu lượng) đã được thiết lập. Các nút di động được bố trí ngẫu nhiên trong vùng có diện tích 1000m×1000m.

Trong kịch bản di động, số kết nối đầu – cuối được thiết lập là 50 trong tất cả các mô phỏng. Tốc độ di chuyển của nút mạng được thiết lập ngẫu nhiên trong khoảng $[0, V_{max}]$, trong đó, V_{max} lần lượt là: 5, 10, 15 và 20 (m/s), tương ứng với tốc độ di chuyển trong khoảng (15 - 70) (km/h) là tốc độ di chuyển thực của các phương tiện giao thông trong khu vực đô thị. Xem xét hiệu năng của các giao thức với các tốc độ di chuyển như trên còn nhằm mục đích tìm kiếm một giao thức truyền thông phù hợp cho các phương tiện khi di chuyển trong các đô thị thông minh. Trong kịch bản thay

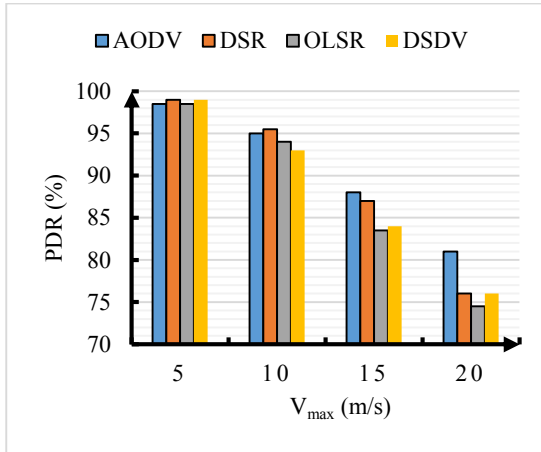
đổi về lưu lượng mạng, trong các mô phỏng, chúng tôi thiết lập số kết nối đầu-cuối lần lượt là: 20, 40, 60 và 80. Tốc độ di chuyển tối đa của nút mạng trong tất cả các mô phỏng đều được thiết lập với cùng một giá trị $V_{max} = 10$ (m/s). Các tham số mô phỏng chi tiết được trình bày trong Bảng 2.2.

Bảng 2.2. Các tham số mô phỏng.

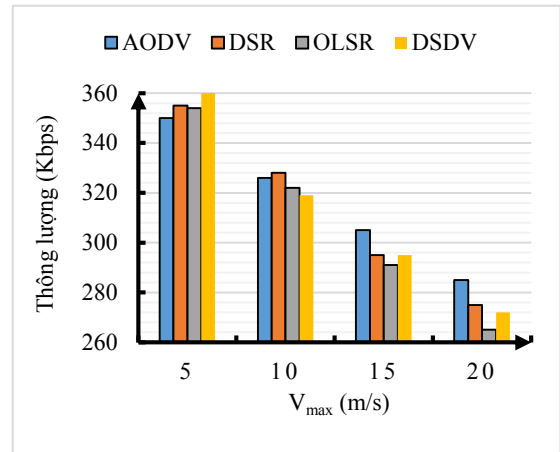
Tham số	Giá trị
Vùng mô phỏng	1000m×1000m
Số nút di động	300
Thời gian mô phỏng	600 s
Loại lưu lượng	CBR
Thông lượng truyền	2 Mbit/s
Kích thước gói tin	512 byte
Lớp MAC	802.11
Lớp vận chuyển	UDP
Mô hình di động	Random Way Point
Tốc độ của nút di động	(5-20) m/s
Vùng truyền	100 m

2.5.3.1. Kích bản di động

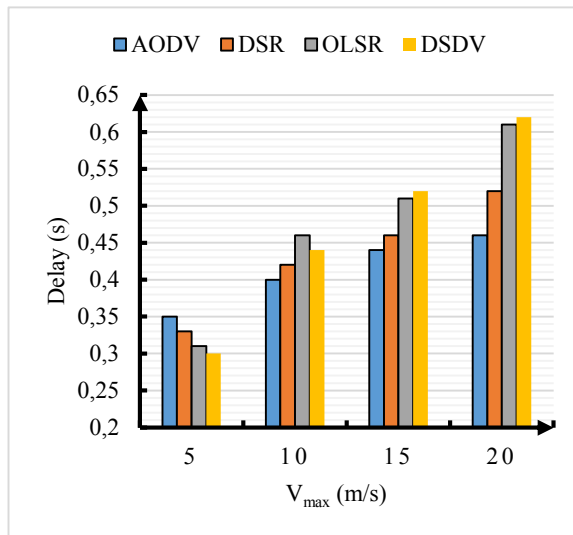
Kết quả mô phỏng cho thấy, nhìn chung, khi tốc độ di chuyển của nút mạng tăng lên thì tỷ lệ phân phối gói tin (Hình 2.7) và thông lượng (Hình 2.8) có xu hướng giảm. Ngược lại, thời gian trễ (Hình 2.9) và tải định tuyến (Hình 2.10) có xu hướng tăng lên với tất cả các giao thức. Một điểm chung là tải định tuyến của các giao thức OLSR và DSDV đều cao hơn AODV và DSR trong hầu hết các mô phỏng. Điều này là hoàn toàn phù hợp với các tính toán lý thuyết. Do OLSR và DSDV là hai giao thức hoạt động theo phương thức chủ động nên các gói tin định tuyến được gửi quảng bá theo chu kỳ. Ngược lại, AODV và DSR là các giao thức định tuyến theo yêu cầu. Do đó, hạn chế được số gói tin định tuyến.



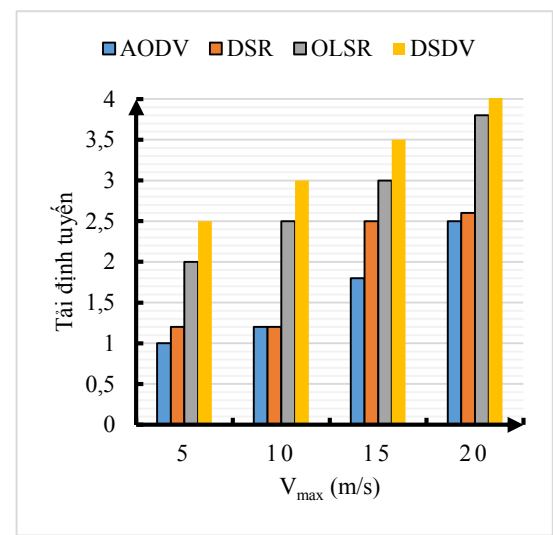
Hình 2.7. Tỷ lệ phân phối trung bình - kịch bản di động.



Hình 2.8. Thông lượng trung bình - kịch bản di động.



Hình 2.9. Thời gian trễ trung bình - kịch bản di động.



Hình 2.10. Tải định tuyến trung bình - kịch bản di động.

Khi tốc độ di chuyển của các nút di động thấp, $V_{max} = 5$ (m/s), tỷ lệ phân phối gói tin của tất cả các giao thức đều rất cao và đều đạt từ 98% trở lên trong khi thời gian trễ của OLSR thấp nhất. Tuy nhiên, khi vận tốc di chuyển của nút mạng tăng lên, tỷ lệ phân phối gói tin và thông lượng của các giao thức OLSR và DSDV giảm và thời gian trễ tăng nhanh so với các giao thức AODV và DSR. Đặc biệt các tiêu chí hiệu năng của AODV được cải thiện rõ rệt nhất khi $V_{max} = 20$ (m).

Kết quả mô phỏng cho thấy, trong môi trường MANET, đặc tính di động của nút mạng có ảnh hưởng rõ rệt đến hiệu năng của hệ thống. Rõ ràng, khi các nút mạng di chuyển với vận tốc cao, các liên kết có xác suất đứt cao hơn, dẫn đến phải thiết lập

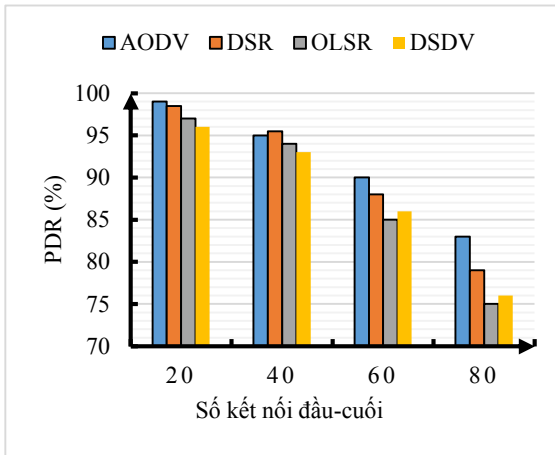
lại tuyến đường cũng như truyền lại dữ liệu. Kết quả, tỷ lệ phân phối gói tin và thông lượng sẽ giảm nhanh trong khi thời gian trễ và tải định tuyến sẽ tăng nhanh.

Nhìn chung, trong điều kiện nút mạng có tốc độ di chuyển thấp, các giao thức định tuyến chủ động như OLSR hoạt động khá tốt. Tuy nhiên, khi nút mạng di chuyển ở tốc độ cao, cấu trúc mạng liên tục biến đổi, giao thức định tuyến chủ động thể hiện rõ hạn chế với thời gian trễ lớn và tỷ lệ phân phối gói tin, thông lượng suy giảm nhanh so với các giao thức định tuyến phản ứng. Hơn thế, chi phí tải định tuyến của các giao thức phản ứng cũng thấp hơn rất nhiều so với các giao thức chủ động.

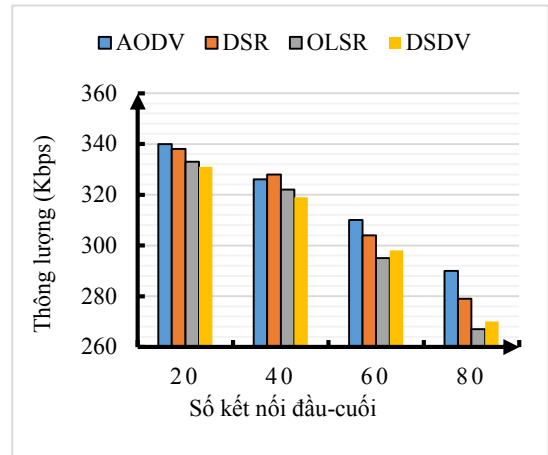
2.5.3.2. Kích bản lưu lượng

Kết quả mô phỏng cho thấy, tương tự như kịch bản di động, khi lưu lượng mạng tăng lên (số kết nối đầu – cuối tăng) thì tỷ lệ phân phối gói tin (Hình 2.11) và thông lượng (Hình 2.12) có xu hướng giảm. Ngược lại, thời gian trễ (Hình 2.13) và tải định tuyến (Hình 2.14) có xu hướng tăng lên với tất cả các giao thức.

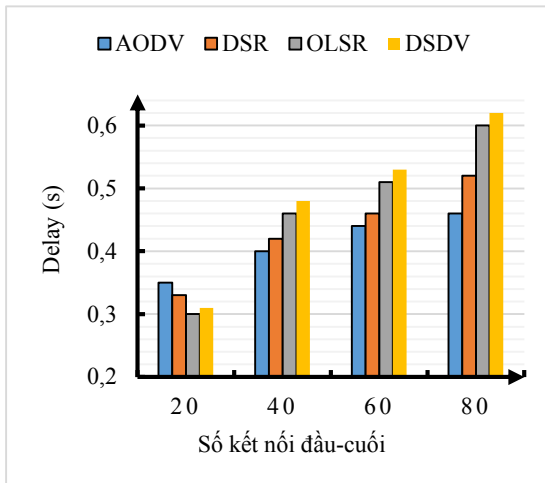
Khi lưu lượng mạng thấp (số kết nối đầu – cuối bằng 20), mức độ chênh lệch giữa các giao thức là không nhiều. Tỷ lệ phân phối gói tin của tất cả các giao thức đều rất cao và đều đạt trên 97%, trong khi thời gian trễ của OLSR thấp nhất. Tuy nhiên, khi lưu lượng mạng tăng lên, tỷ lệ phân phối gói tin và thông lượng của các giao thức OLSR và DSDV giảm và thời gian trễ tăng nhanh so với các giao thức AODV và DSR. Đặc biệt các tiêu chí hiệu năng của AODV được cải thiện rõ rệt nhất khi số kết nối đầu – cuối bằng 80. Rõ ràng, khi lưu lượng mạng tăng lên, khả năng đụng độ và tắc nghẽn xảy ra thường xuyên hơn. Đây là nguyên nhân chính dẫn đến truyền lại, từ đó làm tăng thời gian trễ, tải định tuyến cũng như giảm thông lượng và tỷ lệ phân phối gói tin trên toàn hệ thống.



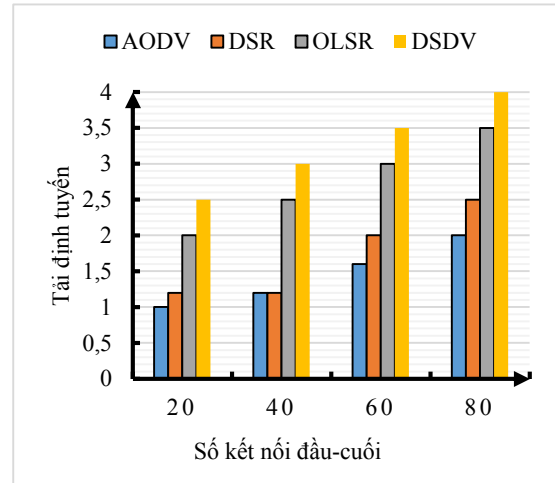
Hình 2.11. Tỷ lệ phân phối trung bình - kích bản lưu lượng.



Hình 2.12. Thông lượng trung bình - kích bản lưu lượng.



Hình 2.13. Thời gian trễ trung bình - kích bản lưu lượng.



Hình 2.14. Tải định tuyến trung bình - kích bản lưu lượng.

Nhìn chung, trong điều kiện mạng có lưu lượng thấp, các giao thức định tuyến chủ động như OLSR hoạt động khá tốt. Tuy nhiên, khi lưu lượng mạng hoặc tốc độ di chuyển của nút mạng tăng cao, các giao thức định tuyến theo yêu cầu như AODV có các chỉ số hiệu năng vượt trội so với các giao thức còn lại. Hơn thế, chi phí tải định tuyến của các giao thức theo yêu cầu cũng thấp hơn rất nhiều so với các giao thức chủ động. Điều này phản ánh khả năng tiết kiệm năng lượng của giao thức định tuyến theo yêu cầu so với giao thức định tuyến chủ động.

2.6. Kết luận Chương 2

Do thuộc tính tự tổ chức của MANET, định tuyến là được coi là một vấn đề đầy thách thức. Khảo sát các tham số và giao thức định tuyến cung cấp một cách thức để thiết kế các giao thức định tuyến mới cho MANET. Trong chương này, luận án đã tiến hành khảo sát các tham số và giao thức định tuyến đề xuất cho mạng MANET công bố trên cơ sở dữ liệu của thư viện số **IEEE Xplore** trong giai đoạn 2010- 2017. Kết quả cho thấy, cải thiện hiệu năng là hướng nghiên cứu cấp thiết, định tuyến là vấn đề chính trong việc nâng cao hiệu năng MANET. Hơn thế, nghiên cứu luôn có tính kế thừa, do đó, đa số các giao thức đề xuất mới cho MANET được cải tiến dựa trên các giao thức định tuyến tiêu biểu đã biết. So sánh hiệu năng một số giao thức tiêu biểu cho MANET trong các kịch bản khác nhau về di động và lưu lượng mạng cho thấy, giao thức AODV có hiệu năng tương đối ổn định trong đa số các kịch bản. Do đó, nghiên cứu, đề xuất các giao thức định tuyến mới trên cơ sở cải tiến từ giao thức AODV là hướng nghiên cứu khả thi.

CHƯƠNG 3. ĐỊNH TUYẾN CẢI THIỆN HIỆU NĂNG MẠNG MANET

Tóm tắt ⁽²⁾: Như đã đề cập trong Chương 1 và Chương 2, định tuyến là vấn đề chính để cải thiện hiệu năng của mạng MANET. Trong Chương 3, luận án đề xuất ba thuật toán định tuyến nhằm cải thiện hiệu năng cho ba cấu trúc MANET khác nhau, cụ thể như sau: (1) Cải thiện hiệu năng mạng MANET hoạt động đa kênh, tiếp cận theo hướng tác tử di động, cải tiến từ AODV [J2]; (2) Cải thiện hiệu năng mạng MANET đơn kênh, tiếp cận theo hướng đa tham số với hàm tính chi phí dựa vào một tập gồm ba tham số: độ dài hàng đợi, chất lượng tuyến đường và số chặng, cải tiến từ AODV [C2]; Cuối cùng, để đảm bảo chất lượng dịch vụ cho các ứng dụng đa phương tiện hoạt động trên mạng MANET, luận án đề xuất giao thức Q-AODV [J3].

3.1. Giao thức định tuyến A-WCETT

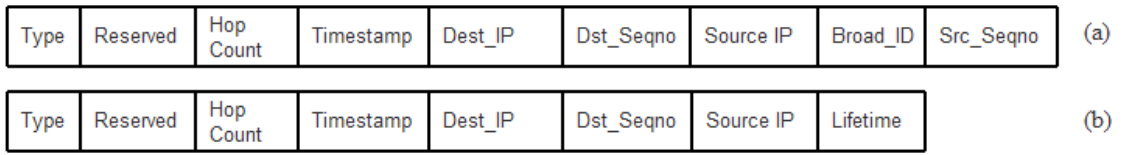
3.1.1. Cách tiếp cận và ý tưởng thiết kế

Nhằm cải thiện hiệu năng mạng MANET hoạt động đa kênh (MANET đa kênh), Draves và nhóm nghiên cứu [67] đã đề xuất giao thức định tuyến WCETT với mục đích đặc biệt là giảm nhiễu đồng kênh. Giải pháp đưa ra là cố gắng hạn chế các nút sử dụng cùng một kênh trên toàn tuyến đường. Kỹ thuật cụ thể được triển khai là dùng một trọng số bình quân (β) để cân bằng giữa tổng chi phí toàn tuyến với ảnh hưởng của kênh bị thất nút cổ chai. Về chi tiết, tài liệu số [67] không đưa ra cách xác định giá trị β (xem Mục 2.2.2.7).

Luận án đề xuất thiết lập một giao thức định tuyến mới, gọi là A-WCETT (Advance Weighted Cumulative Expected Transmission Time), trên cơ sở mở rộng giao thức định tuyến WCETT để lựa chọn tuyến đường cho mạng MANET.

Giải pháp sử dụng tác tử di động để thu thập giá trị các tham số định tuyến đã được trình bày trong (Mục 2.4). Trong phần này, để có thể cập nhật thông tin về đường đi trước khi ra quyết định định tuyến, các nút mạng lân cận cần cập nhật thông tin của nhau. Luận án sử dụng một tác tử di động để cập nhật các thông tin này.

² Một phần nội dung của Chương 3 đã được công bố trên các Tạp chí CNTT & TT [J2], Tạp chí quốc tế Scopus, Journal of Communications [J3] và Hội nghị Khoa học quốc tế lần thứ 10, ACIIDS 2018, Springer [C2].



Hình 3.1. Đề xuất cấu trúc của tác tử di động: a) A_Request; b) A_Reply.

Trong Hình 3.1 là cấu trúc tác tử di động đề xuất. Trong đó, trường *Timestamp* được dùng để xác định khoảng thời gian cần truyền một gói tin giữa hai nút lân cận. Ý nghĩa của các trường còn lại tương tự như mô tả trong tài liệu [1]. Luận án thiết lập hai loại tác tử, lần lượt được đặt tên là *A_Request* và *A_Reply*, tương ứng với hai nhiệm vụ: yêu cầu thông tin và trả lời thông tin. Cứ mỗi 20ms, một nút mạng bất kỳ gửi các gói tin thăm dò *A_Request* đến các nút lân cận với nó. Khi nhận được gói tin *A_Request*, các nút lân cận có nhiệm vụ gửi trả về gói tin *A_Reply* để cung cấp thông tin cho nút yêu cầu. Dựa trên các thông tin thu thập được, mỗi nút sẽ ra quyết định lựa chọn tuyến đường phù hợp nhất.

3.1.2. Tham số định tuyến

Trong giao thức AODV [10], chi phí của tuyến đường được tính bằng tổng số chặng từ nguồn đến đích. Tuy nhiên, quyết định lựa chọn tuyến đường dựa trên chi phí này chưa phải là phương án tối ưu đã được chỉ ra trong nhiều nghiên cứu. Để cải thiện hiệu năng mạng MANET, Couto và nhóm nghiên cứu [19] đề xuất tham số định tuyến ETX (Mục 2.2.2.5).

Để xác định ETX, mỗi nút gửi các gói tin thăm dò tới các nút láng giềng. Sau đó, dựa vào số gói tin thăm dò gửi đi và số gói tin phản hồi nhận được, mỗi nút đánh giá được khả năng truyền tin thành công. Lần lượt ký hiệu d_f và d_r là xác suất gửi một gói dữ liệu thành công và xác suất gói tin ACK nhận được. Khi đó, xác suất một sự kiện truyền/nhận thành công trên một liên kết là $d_f \times d_r$. Số lần truyền dự kiến trên một liên kết giữa hai nút liên kết l được xác định theo công thức sau:

$$ETX = \frac{1}{d_f \times d_r} \quad (3.1)$$

ETX của tuyến đường p , là tổng ETX của các liên kết l , với l thuộc p .

$$ETX_{(p)} = \sum_{l \in p} ETX_{(l)} \quad (3.2)$$

Để ràng buộc băng thông vào quyết định lựa chọn tuyến đường, tham số ETX được xác định như sau. Ký hiệu S là kích cỡ của gói tin (ví dụ, 1024 byte) và B là băng thông trên liên kết l . ETT của kết nối l được xác định theo công thức sau:

$$ETT_{(l)} = ETX_{(l)} \times (S/B) \quad (3.3)$$

Bằng việc đưa băng thông kết nối vào tính toán chi phí của đường đi, chi phí ETT không những ràng buộc các can thiệp vật lý (liên quan đến tỷ lệ tổn thất gói tin), mà còn chịu ảnh hưởng từ chất lượng mỗi kết nối.

Khi sử dụng ETT, chi phí của một tuyến đường bằng tổng chi phí của các kết nối thuộc tuyến đường đó. Tuy nhiên, chi phí thực sự có thể khác với chi phí tính toán được do chưa tính đến nhiều đồng kênh khi các nút mạng sử dụng cùng một kênh truyền. Để cải thiện điều này, Draves và nhóm nghiên cứu [67], [71] đã đề xuất chi phí trọng số tích lũy thời gian truyền (WCETT) với mục đích đặc biệt là giảm nhiều đồng kênh. Giải pháp thực hiện là cố gắng giảm thiểu số lượng các nút sử dụng cùng một kênh trên toàn tuyến đường. Kỹ thuật cụ thể được triển khai là dùng một trọng số bình quân β để cân bằng giữa tổng chi phí toàn tuyến với ảnh hưởng của kênh bị thất nút cổ chai. Về chi tiết, Draves và nhóm nghiên cứu không đưa ra cách xác định giá trị β , nhưng dựa trên kết quả thực nghiệm để xác định $\beta = 0,5$ là phù hợp.

3.1.3. Đặc tả giao thức

Cũng giống như WCETT, A-WCETT là một giao thức định tuyến theo yêu cầu, hoạt động dựa trên nguyên lý, mỗi khi có yêu cầu truyền dữ liệu, nút nguồn sẽ khám phá và xác định tuyến đường từ nút nguồn đến nút đích. Cấu trúc gói tin điều khiển và tiến trình tìm đường của A-WCETT hoàn toàn giống như WCETT [67].

Luận án đề xuất một phương pháp xác định giá trị β động, tùy thuộc vào tỷ lệ giữa các kênh, cụ thể như sau:

Xét tuyến đường p gồm D chặng. Tổng thời gian truyền của các chặng cùng trên kênh j (giả sử hệ thống có tối đa k kênh) được xác định như sau:

$$X_j = \sum_{\text{Chặng } i \text{ truyền trên kênh } j} ETT_{(i)}, \quad 1 \leq j \leq k \quad (3.4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta = \frac{\sum_{i=1}^D ETT_{(i)}}{\max_{1 \leq j \leq k} X_j} \\ A - WCETT = \left(\frac{\beta}{1+\beta}\right) \sum_{i=1}^D ETT_{(i)} + \left(\frac{1}{1+\beta}\right) \max_{1 \leq j \leq k} X_j \end{array} \right. \quad (3.5)$$

Có hai cách để giải thích thông số β . Thứ nhất, có thể xem nó là sự cân bằng ảnh hưởng đối với thông lượng toàn tuyến giữa kênh nút cổ chai và các kênh khác trong tuyến. Thứ hai, xem nó là sự thể hiện mối quan hệ giữa chặng có ảnh hưởng nhất và toàn tuyến. Trọng số bình quân được xem là nỗ lực để cân bằng hai vấn đề này. Mặt khác, tổng thời gian truyền trên tuyến p ($\sum_{i=1}^D ETT_{(i)}$) thường luôn lớn hơn thời gian truyền trên kênh có kết nối thất nút cổ chai ($\max_{1 \leq j \leq k} X_j$) nhiều lần. Do đó, để đảm bảo sự cân bằng ảnh hưởng giữa hai yếu tố này, luận án xác định hệ số ràng buộc β như công thức (3.5). Theo đó, tuyến đường tối ưu được xác định theo (3.4) và (3.5). Hoạt động của giao thức A-WCETT được mô tả bằng mã giả, Thuật toán 3.1 như sau:

Thuật toán 3.1: Thuật toán lựa chọn tuyến đường A-WCETT

```

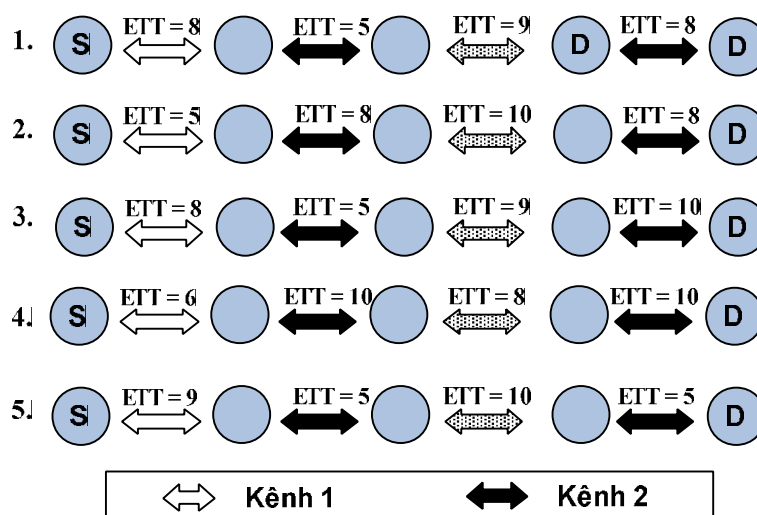
1  P=routeset(S,D)
2  Cost= $\infty$ , Selectedroute={ $\emptyset$ }
3  for each p in P
4      X[k]={ $\emptyset$ }, Total=0
5      for j=1 to sizeof(route[p])
6          Total=Total+ETT[j]
7          If link[j].chanel=k then X[k]=X[k]+ETT[j]
8      Endfor
9       $\beta$ =Total/max(X[k])
10     Calculator(A-WCETT[i]) //Theo công thức (3.5)
11 endfor
12 Cost =  $\infty$ 
13 for each p in P
14     If Cost< A-WCETT[p] then
15         Cost=A-WCETT[p]; Selectedroute=routset[p]
16 return(Selectedroute, Cost)

```

Tại bước 1, thuật toán nhận được tập tuyến đường ứng viên sau khi kết thúc thủ tục tìm đường. Từ bước 3 đến bước 10, thuật toán xác định chi phí A-WCETT của mỗi tuyến theo công thức (3.5). Tại bước 12 đến 16, thuật toán trả về tuyến đường được chọn.

Ví dụ 3.1:

Giả thiết, sau thủ tục tìm đường, nút nguồn nhận được 05 tuyến với đặc điểm các tuyến được thể hiện trong Hình 3.2. Giao thức A-WCETT xác định chi phí các tuyến theo các công thức (3.4) và (3.5). Ví dụ cụ thể cách tính hàm A-WCETT với các giá trị β khác nhau được trình bày trong Bảng 3.1.



Hình 3.2. Minh họa các tuyến đường ứng viên sau thủ tục tìm kiếm.

Bảng 3.1. Ảnh hưởng của tham số β và cách tính chi phí A-WCETT.

Tuyến	Tổng (ETT)	Max (X_j)	WCETT ($\beta=0.1$)	WCETT ($\beta=0.5$)	WCETT $\beta=0.9$	β đề xuất	A-WCETT
1	30	17	28.7	23.5	18.3	1.76	25.30
2	31	16	29.5	23.5	17.5	1.94	25.89
3	32	17	30.5	24.5	18.5	1.88	26.79
4	34	20	32.6	27	21.4	1.7	28.81
5	29	19	28	24	20	1.52	25.05

Kết quả tính toán trong Bảng 3.1 cho thấy sự không ổn định trong quyết định chọn tuyến của WCETT. Với các giá trị β khác nhau, WCETT chọn các tuyến khác nhau, cụ thể như sau:

- $\beta=0.1$, sẽ chọn tuyến số 5, $WCETT_{(min)}=28$
- $\beta=0.5$, sẽ chọn tuyến số 1 hoặc 2, $WCETT_{(min)}=23.5$
- $\beta=0.9$, sẽ chọn tuyến số 2, $WCETT_{(min)}=17.5$

Trong khi A-WCETT với hệ số β được tính theo phương pháp đề xuất luôn chọn được tuyến đường phù hợp và ổn định, tuyến 5 với $A-WCETT_{(min)}=25.05$.

3.1.4. Mô phỏng và phân tích hiệu năng mạng

3.1.4.1. Các tham số mô phỏng

Trong mục này, luận án thiết lập một mô phỏng trên phần mềm NS2 phiên bản 2.34 để đánh giá hiệu năng hệ thống mạng MANET theo các tiêu chí: thời gian trễ trung bình, thông lượng trung bình và tỷ lệ phân phối gói tin. Các giao thức định tuyến được mô phỏng lần lượt là: AODV, WCETT và A-WCETT.

Bảng 3.2. Các tham số mô phỏng.

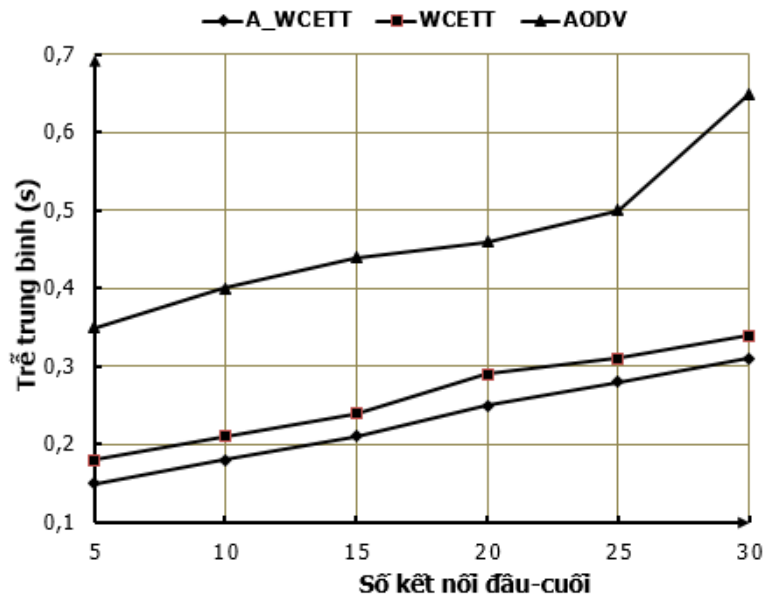
Tham số	Giá trị
Vùng mô phỏng	500×500 (m)
Số nút di động	100
Loại lưu lượng	CBR
Thông lượng truyền	11 (Mbit/s)
Kích thước gói tin	1024 (byte)
Thời gian mô phỏng	150 (giây)
Lớp MAC	802.11b
Lớp vận chuyển	UDP
Tốc độ di chuyển	2 (m/s)

Hệ thống mô phỏng gồm 100 nút di động được bố trí ngẫu nhiên trong vùng có diện tích 500m×500m, sử dụng chuẩn IEEE 802.11b ở tốc độ 11 (Mbit/s) và sử dụng kiểu lưu lượng truyền UDP. Mô phỏng được thực hiện trong 150 giây. Số kết nối đầu-

cuối trong các mô phỏng lần lượt là: 5, 10, 15, 20, 25 và 30. Các tham số mô phỏng được tóm tắt trong Bảng 3.2.

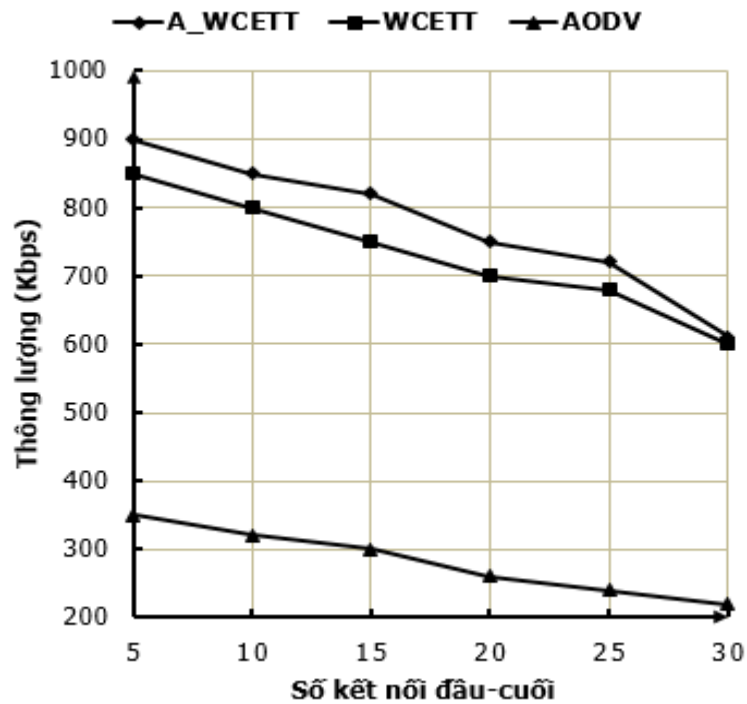
3.1.4.2. Kết quả và phân tích

Trong kịch bản đầu tiên, Hình 3.3 trình bày hiệu năng của ba giao thức theo tiêu chí trễ trung bình. Kết quả cho thấy, hai giao thức WCETT và A-WCETT có thời gian trễ thấp hơn hẳn giao thức AODV. Điều này phản ánh kết quả mô phỏng phù hợp với các tính toán lý thuyết. Thực chất, do WCETT và A-WCETT hoạt động đa kênh, nên có tốc độ truyền dữ liệu cao hơn và giảm tắc nghẽn trong hệ thống. Tuy nhiên, khi số kết nối đầu-cuối tăng lên đến 20, trễ của cả ba giao thức đều có xu hướng tăng. Mặc dù vậy, trễ do AODV gây ra vẫn cao hơn so với hai giao thức còn lại.

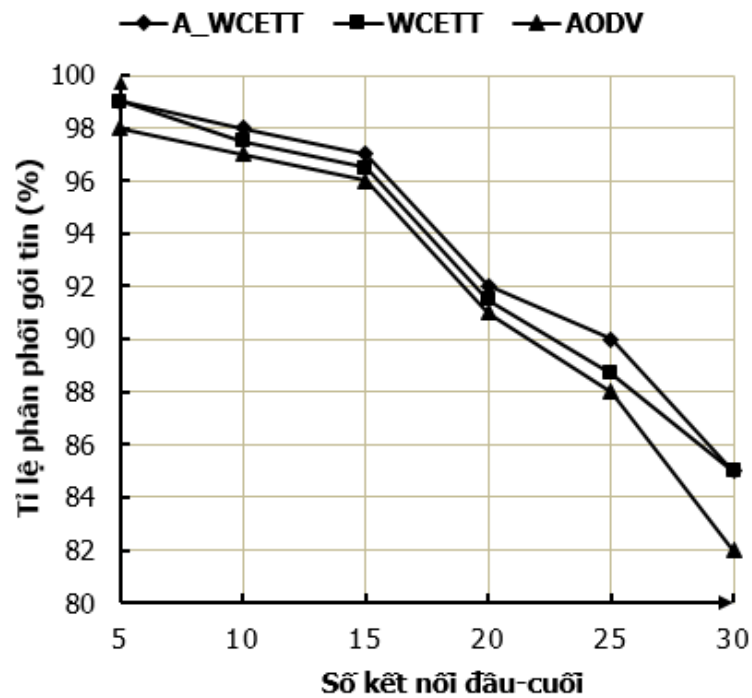


Hình 3.3. Đánh giá hiệu năng dựa theo tiêu chí: Trễ trung bình.

Trong kịch bản thứ 2, Hình 3.4 trình bày hiệu năng của ba giao thức theo tiêu chí: thông lượng trung bình. Kết quả cho thấy thông lượng của A-WCETT luôn cao hơn hai giao thức còn lại. Cụ thể, A-WCETT và WCETT có thông lượng cao hơn gần 3 lần giao thức AODV. Tuy nhiên, khi số kết nối đầu-cuối tăng, thông lượng hệ thống của cả ba giao thức đều giảm. Đặc biệt, khi số này tăng đến 25, thông lượng hệ thống giảm mạnh do khả năng xung đột môi trường và tắc nghẽn hệ thống cao hơn. Trong trường hợp số kết nối đầu-cuối quá lớn, MANET có xu hướng tắc nghẽn trên diện rộng và A-WCETT sẽ không cải thiện được hơn WCETT.



Hình 3.4. Đánh giá hiệu năng dựa theo tiêu chí: Thông lượng trung bình.



Hình 3.5. Đánh giá hiệu năng dựa theo tiêu chí: Tỷ lệ phân phối gói tin.

Trong kịch bản thứ 3, Hình 3.5 trình bày hiệu năng của ba giao thức theo tiêu chí: tỷ lệ phân phối gói tin. Kết quả cho thấy: tỷ lệ phân phối gói tin của cả ba giao thức đều rất cao khi số lưu lượng truyền thấp, đạt gần 99%. Khi số lưu lượng tăng lên đến 25, tỷ lệ phân phối gói tin có xu hướng giảm mạnh.

Từ các kết quả mô phỏng chi tiết cho thấy: giao thức A-WCETT cải thiện độ trễ và thông lượng tốt hơn giao thức WCETT do được tối ưu về tham số β . Hai giao thức A-WCETT và WCETT hoạt động đa kênh nên tăng thông lượng và giảm tắc nghẽn toàn hệ thống. Nhờ những cải tiến đó mà chúng đạt được thời gian trễ thấp và thông lượng cải thiện so với giao thức AODV.

Một vấn đề rất cần quan tâm đối với hiệu quả của giao thức A-WCETT, đó là chi phí hệ thống liên quan đến sử dụng tác tử di động. Tuy nhiên, trong tài liệu [1] đã chứng minh được rằng việc tích hợp tác tử di động chỉ làm tăng độ trễ truyền tải với mức độ không đáng kể.

3.2. Giao thức định tuyến MM-AODV

3.2.1. Cách tiếp cận và ý tưởng thiết kế

Rõ ràng, nhiều tham số sẽ phản ánh được chính xác hơn các ràng buộc trong quá trình lựa chọn tuyến đường nhưng cũng đồng thời làm tăng tài nguyên tiêu thụ (băng thông, năng lượng, và thời gian trễ). Dựa trên kết quả khảo sát các giao thức định tuyến được đề xuất trong giai đoạn 2010-2017 cho thấy, các giao thức định tuyến được đề xuất gần đây đều tiếp cận theo hướng đa tham số và đặc biệt, các tham số được sử dụng nhiều nhất là: số hop, chất lượng liên kết và độ dài hàng đợi.

Nhằm cải thiện hiệu năng cho mạng MANET đa tham số, luận án đề xuất một giao thức định tuyến, cải tiến từ AODV gọi là MM-AODV. Hàm tính chi phí kết hợp giữa ba tham số: *độ dài hàng đợi của nút mạng, chất lượng liên kết và số chặng* để ra quyết định chọn tuyến đường. Hơn thế, luận án cũng thiết lập bộ tham số hiệu năng (α, β, γ). Tùy theo giá trị bộ hệ số được thiết lập, giao thức MM-AODV sẽ lựa chọn cơ chế định tuyến dựa trên: Số chặng nhỏ nhất ($\alpha = 1$), Chất lượng tuyến đường ($\beta = 1$) hay Độ dài hàng đợi ($\gamma = 1$) hoặc lựa chọn cơ chế với bộ hệ số cân bằng ($\alpha = \beta = \gamma = 1/3$). Các vấn đề chi tiết được luận án trình bày như sau.

3.2.2. Tham số định tuyến

Giao thức định tuyến AODV truyền thống lựa chọn tuyến đường dựa trên số chặng (hop-count) nhỏ nhất. Tuy nhiên, các nghiên cứu đã chỉ ra những hạn chế khi giao thức định tuyến sử dụng đơn tham số định tuyến hop-count [24]. Chú ý rằng, hiệu năng mạng được đánh giá qua ba tiêu chí chính là: Thông lượng, thời gian trễ và

tỷ lệ phân phối gói tin. Để cải thiện hiệu năng của mạng, luận án đề xuất hàm tính chi phí với ba tham số định tuyến như sau:

Số chặng $h_{(p)}$: Là số chặng giữa nút nguồn và nút đích của tuyến đường p .

Chất lượng liên kết $ETX_{(l)}$: Tham số này phản ánh chất lượng của một liên kết. Để cải thiện hiệu năng mạng MANET, Couto và cộng sự [19] đã đề xuất tham số định tuyến ETX để tính chi phí tuyến đường. Tham số này đã được mô tả trong (Mục 2.2.2.5). Lần lượt ký hiệu d_f và d_r là xác suất gửi và nhận một gói tin thành công trên liên kết l . Khi đó, xác suất dự kiến truyền/nhận thành công một gói tin trên liên kết l (một kết nối giữa hai nút liền kề) được xác định theo công thức sau:

$$ETX = \frac{1}{d_f \times d_r} \quad (3.6)$$

ETX của một tuyến đường, là tổng các ETX của các liên kết trên tuyến đường đó.

Độ dài hàng đợi $LQ_{(i)}$: Tham số này phản ánh khả năng xử lý của nút mạng và được mô tả trong Mục 2.2.2.2. Rõ ràng, mỗi nút mạng có cấu hình và khả năng khác nhau (RAM, CPU, v.v.). Do đó, tốc độ xử lý và bộ đệm hàng đợi là khác nhau. Một nút mạng có bộ đệm hàng đợi rộng sẵn sàng nhận và xử lý gói tin hơn một nút mạng có bộ đệm hàng đợi đầy. Kết quả là, các gói tin sẽ được xử lý nhanh hơn và thời gian trễ giảm xuống. Tỷ lệ độ dài hàng đợi của một nút mạng i được đánh giá theo công thức sau:

$$LQ_{(i)} = \frac{L_i}{L_{max}} \quad (3.7)$$

Trong đó, L_i và L_{max} lần lượt là số gói tin trong hàng đợi lớp MAC và kích cỡ hàng đợi lớn nhất của nút i .

3.2.3. Đặc tả giao thức

Cũng giống như giao thức định tuyến AODV đã được chuẩn hóa bởi IETF cho mạng MANET. MM-AODV là một giao thức định tuyến theo yêu cầu, hoạt động dựa trên nguyên lý, mỗi khi có yêu cầu truyền dữ liệu, nút nguồn sẽ khám phá và xác định tuyến đường từ nút nguồn đến nút đích.

Tiến trình khám phá tuyến đường bắt đầu với việc nút nguồn gửi quảng bá gói tin tìm đường RREQ với phần tiêu đề đã được thay đổi như sau $\{ETX, LQ, AODV\}$, tham số $Path$ sẽ nhận được giá trị từ trường $Hop-count$ trong phần tiêu đề mặc định của AODV. Sau đó, những gói tin này sẽ được chuyển tiếp thông qua các nút trung gian để tới nút đích. Một điểm khác so với phương thức gửi gói tin RREQ trong giao thức AODV truyền thống là, tại mỗi nút trung gian, khi nhận được gói tin RREQ, nút trung gian sẽ tiến hành cập nhật các giá trị ETX và LQ .

Để tính chi phí tuyến đường, luận án đề xuất hàm tính chi phí CP như sau:

$$CP_{(p)} = \begin{cases} \alpha \times h_{(p)} + \beta \times ETX_{(p)} + \gamma \times LQ_{(p)} \\ \alpha + \beta + \gamma = 1 \end{cases} \quad (3.8)$$

Do đó, chi phí của tuyến đường p có D chặng được xác định như sau:

$$CP_{(p)} = \sum_{i=1}^{D-1} CP_{(i)} \quad (3.9)$$

Dựa vào chi phí $CP_{(p)}$ trong công thức (3.9) nút đích sẽ lựa chọn tuyến có chi phí thấp nhất để ra quyết định chọn tuyến. Theo đó, thuật toán lựa chọn tuyến đường của MM-AODV được mô tả bằng mã giả (Thuật toán 3.2) như sau:

Thuật toán 3.2: Thuật toán lựa chọn tuyến đường MM-AODV	
1	P =routeset(S,D)
2	Cost= ∞ , Selectedroute= $\{\emptyset\}$
3	Setup performance factors (α, β, γ)
4	for each p in P
5	Calculator(CP[p]) //Theo công thức (3.9)
6	endfor
7	Cost=min(CP[p])
8	Selectedroute=routeset[p]
9	return (Selectedroute, Cost)

Tại bước 1, thuật toán nhận được tập tuyến đường ứng viên sau khi kết thúc thủ tục tìm đường. Tại bước 3, thuật toán xác định giá trị bộ hệ số hiệu năng (α, β, γ) . Từ bước 4 đến bước 6, thuật toán xác định chi phí mỗi tuyến đường theo các công thức (3.8) và (3.9). Tại bước 7 và 8, thuật toán xác định tuyến đường được lựa chọn với chi phí thấp nhất. Tại bước 9, thuật toán trả về tuyến đường được chọn.

3.2.4. Mô phỏng và phân tích hiệu năng mạng

3.2.4.1. Các tham số mô phỏng

Trong phần này, một mô phỏng được thiết lập để đánh giá hiệu năng hệ thống MANET hoạt động theo giao thức đề xuất là MM-AODV (trên phần mềm mô phỏng NS2 phiên bản 2.34). Hệ thống mô phỏng gồm 200 nút di động được bố trí ngẫu nhiên trong một vùng có diện tích $1.000\text{m} \times 1.000\text{m}$, sử dụng chuẩn IEEE 802.11b ở tốc độ 11Mbit/s với 30 kết nối đầu – cuối truyền kiểu CBR. Mô phỏng được thực hiện trong 300 giây. Các thông số mô phỏng được tóm tắt trong Bảng 3.3.

Bảng 3.3. Các tham số mô phỏng.

Tham số	Giá trị
Thời gian mô phỏng	300 (s)
Vùng mô phỏng	1.000×1.000 (m)
Số nút di động	200
Tốc độ di chuyển của nút	2 (m/s)
Mô hình di động	Random Waypoint
Loại lưu lượng	CBR
Kích thước gói tin	512 (byte)
Lớp MAC	802.11g

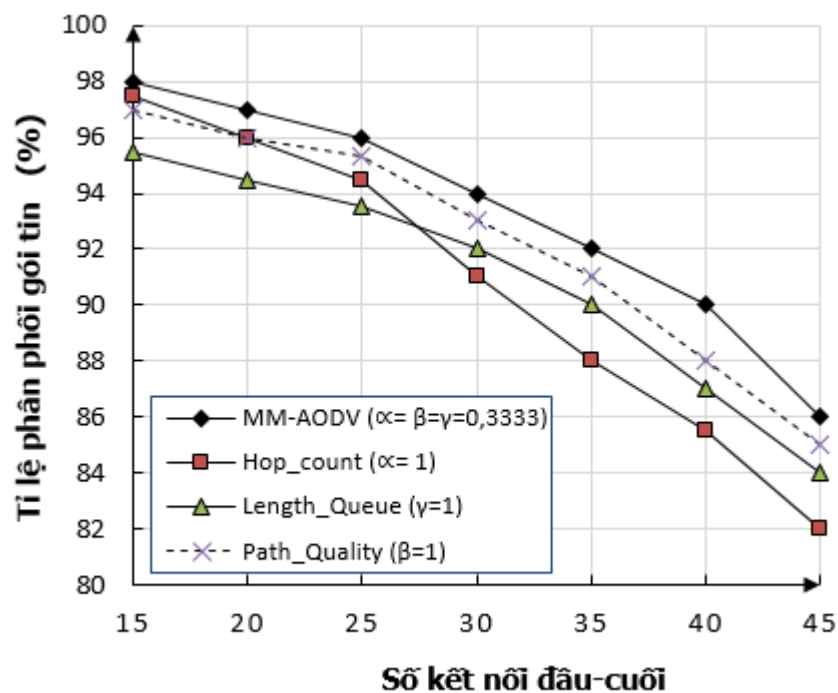
Trong mô phỏng này, bộ tham số hiệu năng (α, β, γ) có giá trị như trong Bảng 3.4. Việc quyết định lựa chọn một bộ hệ số tích hợp thỏa mãn tất cả các điều kiện như mật độ mạng, lưu lượng truyền, cấu trúc mạng, tốc độ di chuyển của các nút là không khả thi. Tuy nhiên, trong giao thức đề xuất, tùy theo yêu cầu, đặc điểm và cấu trúc mạng mà chúng ta có thể thiết lập bộ hệ số hiệu năng (α, β, γ) với các giá trị phù hợp.

Bảng 3.4. Bộ hệ số hiệu năng mô phỏng.

(α, β, γ)	Cơ chế định tuyến
$(1/3, 1/3, 1/3)$	Định tuyến với bộ hệ số hiệu năng cân bằng
$(1, 0, 0)$	Định tuyến dựa vào số chặng (tương tự AODV)
$(0, 1, 0)$	Định tuyến dựa vào chất lượng liên kết (tương tự ETX)
$(0, 0, 1)$	Định tuyến dựa vào tỷ lệ độ dài hàng đợi của nút

Cần chú ý, khi bộ hệ số $(\alpha = 0, \beta = 0, \gamma = 1)$ có nghĩa rằng giao thức MM-AODV sử dụng cơ chế định tuyến số chặng nhỏ nhất, khi đó, MM-AODV hoạt động theo cơ chế của giao thức AODV thông thường.

3.2.4.2. Kết quả và phân tích

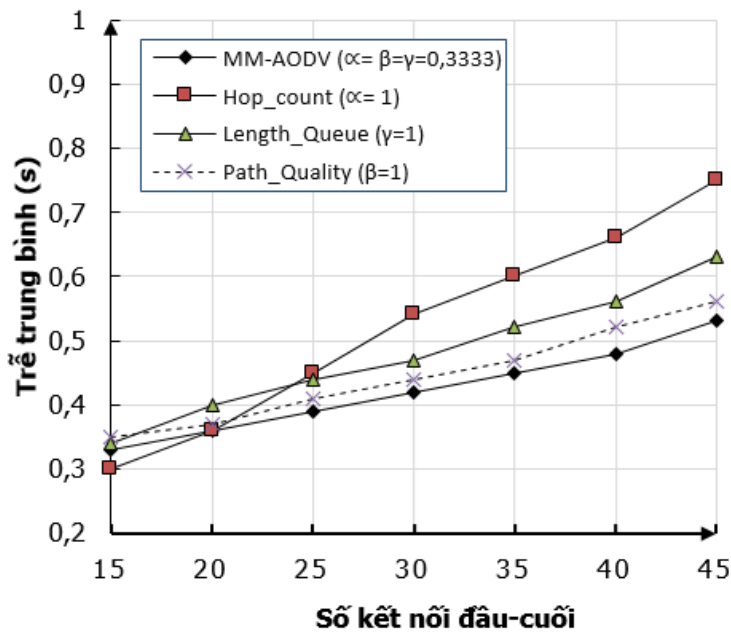


Hình 3.6. Đánh giá hiệu năng dựa theo tiêu chí: Tỷ lệ phân phối gói tin.

Trong kịch bản đầu tiên, Hình 3.6, trình bày hiệu năng theo tiêu chí: tỷ lệ phân phối gói tin trung bình. Kết quả cho thấy, khi số kết nối đầu-cuối trong mạng dưới 25 cặp, giao thức MM-AODV ($\alpha = 1$) sử dụng tiêu chí số chặng ngắn nhất (tương tự như giao thức AODV) cho tỷ lệ phân phối khá tốt. Tuy nhiên, khi lưu lượng mạng tăng lên, tỷ lệ phân phối của giao thức MM-AODV dựa vào các tham số như chất lượng

tuyến đường (Path_Quality), độ dài hàng đợi (Length_Queue) đều tốt hơn cơ chế định tuyến dựa vào số chặng nhỏ nhất. Trong đó giao thức MM-AODV với bộ hệ số cân bằng ($\alpha = \beta = \gamma = 1/3$) có tỷ lệ phân phối gói tin ổn định và cao nhất.

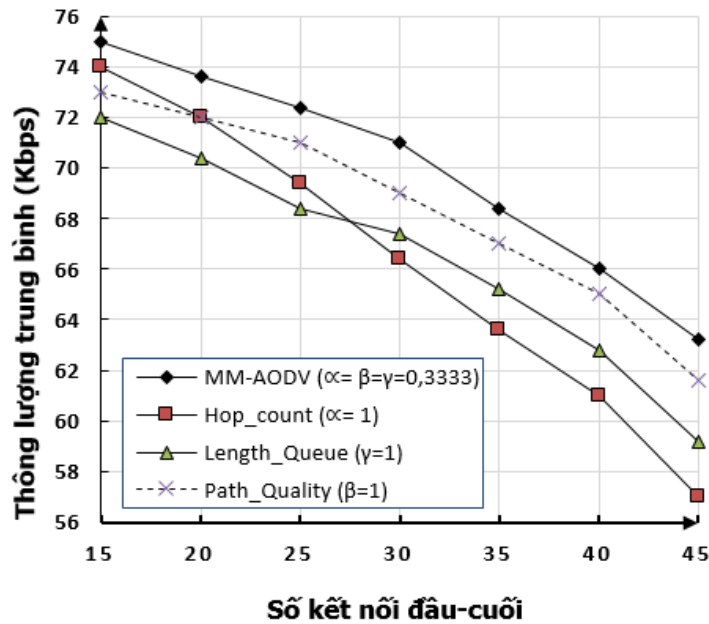
Trong kịch bản thứ 2, Hình 3.7, trình bày hiệu năng mạng MANET theo tiêu chí: trễ trung bình với các bộ hệ số hiệu năng như trong Bảng 3.4. Kết quả mô phỏng cho thấy, trong tất cả các trường hợp, thời gian trễ có xu hướng tăng khi số kết nối đầu-cuối tăng. Khi số kết nối đầu-cuối dưới 25 cặp, trễ trung bình của các cơ chế định tuyến đều khá thấp và cơ chế sử dụng số chặng nhỏ nhất là thấp nhất. Tuy nhiên, khi số kết nối đầu-cuối tăng lên trên 25, cơ chế định tuyến dựa vào số chặng nhỏ nhất có trễ tăng nhanh và cao hơn tất cả các cơ chế định tuyến khác như chất lượng tuyến đường hay độ dài hàng đợi, trong khi cơ chế định tuyến với bộ hệ số cân bằng luôn cho trễ trung bình thấp nhất.



Hình 3.7. Đánh giá hiệu năng dựa theo tiêu chí: Trễ trung bình.

Kịch bản thứ 3, Hình 3.8, trình bày hiệu năng theo tiêu chí: thông lượng trung bình. Kết quả mô phỏng cho thấy, trong tất cả các trường hợp, thông lượng có xu hướng tăng khi số kết nối đầu-cuối tăng. Tuy nhiên, khi số kết nối đầu-cuối thấp (dưới 20 cặp), thông lượng của cơ chế định tuyến dựa vào số chặng nhỏ nhất khá tốt, ngược lại, khi số kết nối đầu-cuối tăng lên (trên 25 cặp), thông lượng của cơ chế định tuyến

dựa vào số chặng suy giảm nhanh và thấp hơn so với các cơ chế định tuyến khác. Cơ chế định tuyến với bộ hệ số cân bằng luôn cho thông lượng cao nhất.



Hình 3.8. Đánh giá hiệu năng dựa theo tiêu chí: Thông lượng trung bình.

Kết quả mô phỏng cho thấy, khi số kết nối đầu-cuối thấp, cơ chế định tuyến dựa trên số chặng phát huy ưu điểm và luôn cho trễ trung bình thấp nhất; thông lượng và tỷ lệ phân phối gói tin khá cao. Tuy nhiên, khi lưu lượng truyền trong mạng tăng lên, hiện tượng xung đột và tắc nghẽn thường xuyên xảy ra với mức độ ngày càng nghiêm trọng, khi đó, cơ chế định tuyến với số chặng bộc lộ hạn chế, dẫn đến tỷ lệ phân phối gói tin giảm, kéo theo thông lượng giảm và trễ trung bình tăng nhanh. Khi đó, các cơ chế định tuyến dựa vào chất lượng tuyến đường hay độ dài hàng đợi hoặc phối hợp giữa các tham số trên sẽ phát huy ưu điểm. Kết quả cũng cho thấy, giao thức định tuyến MM-AODV với bộ hệ số cân bằng ($\alpha = \beta = \gamma = 1/3$) thu được các tiêu chí hiệu năng tốt nhất.

Một điểm hạn chế mà luận án chưa đánh giá trong nghiên cứu này là giao thức đề xuất sẽ tiêu tốn một mức năng lượng nhất định khi gửi các gói tin thăm dò đến các nút láng giềng trong một chặng (để nhận được các thông tin về chất lượng liên kết). Tuy nhiên, mức tiêu tốn năng lượng đó là không đáng kể đã được chỉ ra trong tài liệu [2] và cũng là giá phải trả để lựa chọn được các tuyến đường có hiệu năng cao. Một điểm hạn chế khác trong nghiên cứu này là giá trị bộ tham số hiệu năng được thiết

lập cố định trong toàn bộ tiến trình mô phỏng. Thực tế, bộ tham số hiệu năng nên được thiết lập tùy vào từng kiểu ứng dụng như Video, VoIP hoặc truyền dữ liệu thông thường. Những vấn đề này, nghiên cứu sinh sẽ tiếp tục nghiên cứu trong tương lai.

3.3. Giao thức định tuyến Q-AODV

3.3.1. Cách tiếp cận và ý tưởng thiết kế

Khảo sát cho thấy, thiết lập các ứng dụng truyền thông đa phương tiện trên MANET (Multimedia-MANET) đang rất được quan tâm nghiên cứu trong thời gian gần đây [4], [59], [84]. Tuy nhiên, hiệu năng của mạng MANET khá thấp [82] trong khi các ứng dụng đa phương tiện như video, VoIP thường có các yêu cầu nghiêm ngặt về chất lượng dịch vụ (QoS).

Thực tế cho thấy, các yêu cầu QoS rất đa dạng và phụ thuộc vào mỗi ứng dụng. Để đảm bảo giao thức định tuyến có thể tùy chỉnh và phù hợp với các ứng dụng Multimedia-MANET khác nhau, luận án đề xuất một giao thức định tuyến có thể hoạt động theo cả hai mô hình, như sau:

Mô hình thích nghi (Adaptive Model): Cung cấp tuyến đường có băng thông và trễ tốt nhất

Mô hình cam kết (Admission Model): Cung cấp tuyến đường có băng thông thỏa mãn điều kiện tối thiểu và có trễ tốt nhất.

Trong phần này, luận án đã đề xuất một giao thức định tuyến theo yêu cầu, cải thiện hiệu năng cho cấu trúc mạng Multimedia-MANET, gọi là Q-AODV. Giao thức đề xuất hoạt động tốt trong cả hai mô hình cam kết và thích nghi. Để đánh giá hiệu quả của giao thức đề xuất, các kịch bản mô phỏng với sự thay đổi về mức độ di động của nút mạng theo cả hai mô hình đã được thiết lập. Kết quả mô phỏng cho thấy, trong mô hình thích nghi, Q-AODV cải thiện đáng kể trên một số tiêu chí đánh giá hiệu năng so với các giao thức truyền thống như AODV và DSR. Trong mô hình cam kết, Q-AODV cải thiện các tiêu chí như tỷ lệ phân phối gói tin, trễ và tải định tuyến tốt hơn so với mô hình thích nghi.

3.3.2. Tham số định tuyến

Để có thể đảm bảo QoS cho các ứng dụng Multimedia-MANET, các điều kiện ràng buộc về chất lượng dịch vụ cần được ánh xạ thành các tham số định tuyến và

tham gia vào quyết định lựa chọn tuyến đường. Bài toán lựa chọn các tham số định tuyến để đảm bảo QoS cho các ứng dụng Multimedia-MANET vốn rất phức tạp. Khi có nhiều hơn một tham số định tuyến có kiểu *additive* hoặc *multiplicative* tham gia vào quá trình xác định tuyến đường, bài toán xác định tuyến đường tối ưu sẽ có độ phức tạp NP-Complete đã được chỉ ra trong Mục 2.3.2. Để giải quyết vấn đề đó, một chiến lược khả thi là lựa chọn một tham số có kiểu *additive* hoặc *multiplicative* và một tham số kiểu *minimum*.

Các tham số băng thông và trễ phản ánh một số đặc điểm cơ bản của một tuyến đường trong mạng. Chúng ta có thể xem băng thông và trễ lần lượt như *độ rộng* và *chiều dài* của một tuyến đường. Nói cách khác, bài toán định tuyến cho các ứng dụng Multimedia-MANET nhằm mục đích tìm ra tuyến đường trong mạng, thỏa mãn các ràng buộc về *dài* và *rộng*. Sử dụng các tham số định tuyến băng thông và trễ như một phương thức thỏa hiệp giữa tốc độ di chuyển và chiều dài của tuyến đường.

Do đó, trong nghiên cứu này, hai tham số định tuyến được chọn là *băng thông* (kiểu additive) và *trễ* (kiểu minimum) đã được mô tả trong các Mục 2.2.2.1 và Mục 2.2.2.3.

3.3.3. Đặc tả giao thức

Lược đồ định tuyến cho hai mô hình trên đều yêu cầu biết các thông tin về băng thông và trễ của các tuyến đường ứng viên giữa một cặp nút nguồn-đích. Trong phần tiếp theo, luận án đi sâu phân tích các kỹ thuật để xác định băng thông và trễ cũng như đề xuất giao thức định tuyến Q-AODV cho các ứng dụng Multimedia-MANET.

Cũng giống như giao thức định tuyến AODV đã được chuẩn hóa bởi IETF cho mạng MANET. Q-AODV là một giao thức định tuyến theo yêu cầu, hoạt động dựa trên nguyên lý, mỗi khi có yêu cầu truyền dữ liệu, nút nguồn sẽ khám phá và xác định tuyến đường từ nút nguồn đến nút đích.

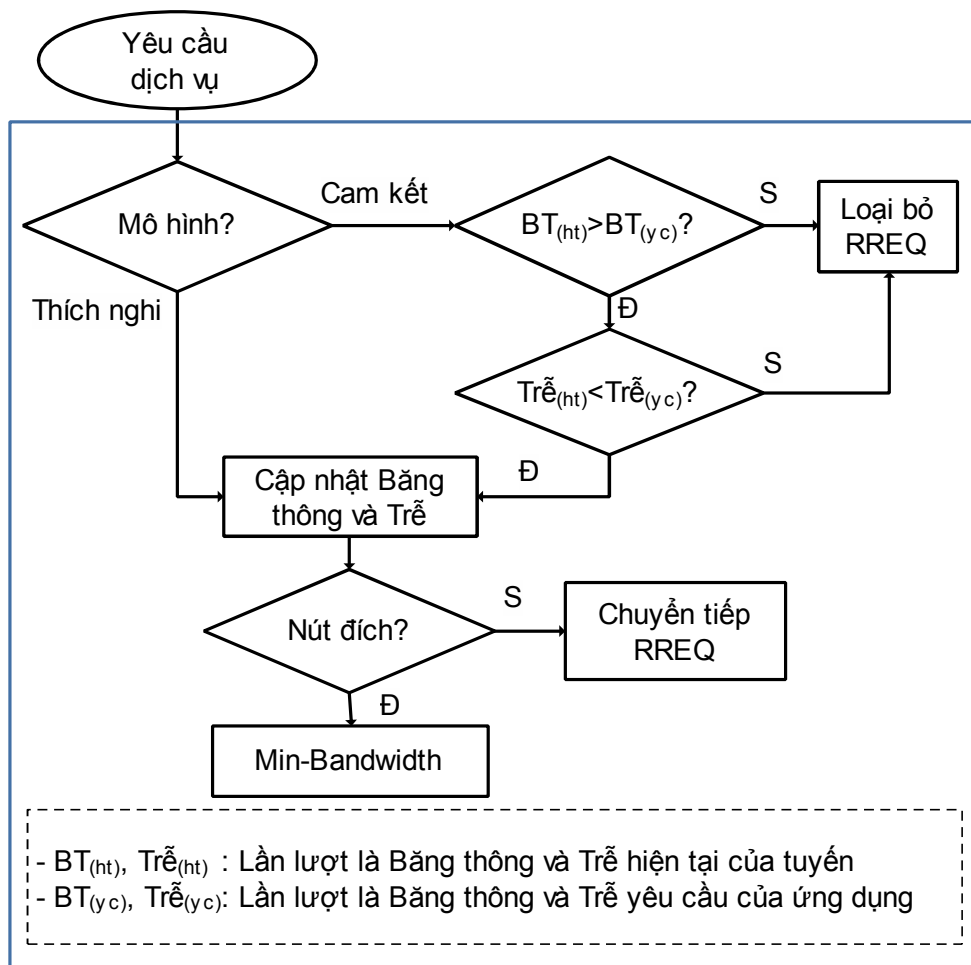
Tiến trình khám phá tuyến đường bắt đầu với việc nút nguồn gửi quảng bá gói tin tìm đường RREQ (Route Request) với phần tiêu đề đã được thay đổi như sau {*Model-Flag, Bandwidth Request, Bandwidth, Delay Request, Delay, AODV RREQ*

Header}. Sau đó, những gói tin này sẽ được chuyển tiếp thông qua các nút trung gian để tới nút đích.

Một điểm khác so với phương thức gửi gói tin RREQ trong giao thức AODV truyền thống là, tại mỗi nút trung gian, khi nhận được gói tin RREQ, nút trung gian sẽ tiến hành một thủ tục, được đặt tên là *Quality-check*, và được mô tả bởi lược đồ như trong Hình 3.9. Lược đồ này có hai nhiệm vụ chính, như sau:

(1) Thực hiện loại bỏ ngay lập tức tuyến đường không thỏa mãn điều kiện băng thông hoặc trễ theo yêu cầu. Điều này giúp giảm băng thông, năng lượng tiêu thụ và chi phí định tuyến vào các hoạt động không cần thiết.

(2) Tính toán băng thông và trễ của tuyến đường. Thông tin về băng thông và trễ của mỗi liên kết được xác định dựa vào thông tin của gói Hello. Kỹ thuật này đã được đề xuất và mô tả chi tiết trong nghiên cứu của Lei Chan và Heinzelman [46].



Hình 3.9. Thủ tục xử lý gói RREQ tại các nút trung gian (Quality-check).

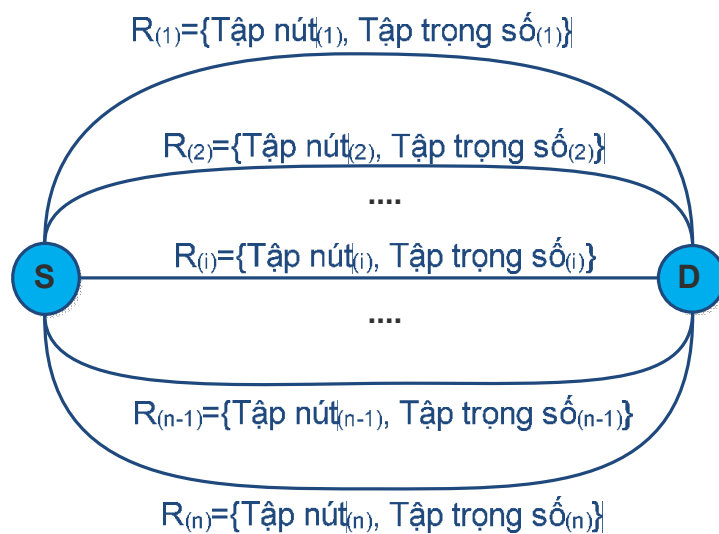
Khi nút đích nhận được gói RREQ, nó thực hiện thủ tục *Quality_check* cuối cùng. Sau khi hoàn thành thủ tục này, nút đích chưa thể khẳng định tuyến đường hiện tại có thể cung cấp băng thông tối thiểu được chỉ ra trong gói RREQ. Lý do là nhiễu can thiệp có thể ảnh hưởng trong quá trình truyền dữ liệu. Do đó, luận án đề xuất sử dụng hàm (*Min-Bandwidth*) nhằm tính giới hạn trên băng thông toàn tuyến, dựa trên mối quan hệ giữa băng thông đầu-cuối và số hop, chi tiết xem trong [46].

```

Function Min-Bandwidth(Bandwidth, HopNumber){
//Bandwidth là giá trị của trường bandwidth trong gói tin RREQ
//Hopnumber là số chặng của tuyến đường
If (HopNumber ≤ 4) then
            $Bandwidth = \frac{Bandwidth}{Hopnumber}$ 
Else
            $Bandwidth = \frac{Bandwidth}{4}$ 
Return (Bandwidth)

```

Cuối cùng, nút đích gửi định danh gói tin RREP với phần tiêu đề được sửa đổi $\{Bandwidth, Delay, AODV\ RREP\ Header\}$ đến nút nguồn. Bên cạnh thủ tục khám phá tuyến đường, giao thức còn có thủ tục bảo trì tuyến đường bằng cách sử dụng các gói tin báo lỗi RRER. Bằng cách này, nút nguồn nhận được tất cả các tuyến đường ứng viên thỏa mãn ràng buộc thông lượng tối thiểu (xem Hình 3.10).



Hình 3.10. Tập tuyến đường ứng viên giữa một cặp nút S-D.

Sau khi nhận được tập các tuyến đường ứng viên bởi thủ tục khám phá tuyến đường, để xác định được tuyến đường thỏa mãn các điều kiện ràng buộc và tối ưu, hàm tính chi phí được xác định như sau:

Gọi $Delay_{(p)}$ và $Bandwidth_{(p)}$, lần lượt là trễ đầu-cuối và băng thông tuyến p , thu được từ gói RREP. Chú ý, giá trị băng thông này đã được tính bởi nút nguồn theo hàm *Min-Bandwidth*. Theo đó, hàm chi phí của tuyến p có thể được tính như sau:

$$Cost_Delay_Bandwidth_{(p)} = \frac{Delay_{(p)}}{Bandwidth_{(p)}} \quad (3.10)$$

Đặt z và $Cost_Set$ lần lượt là tổng số tuyến đường và tập chi phí định tuyến của các tuyến đường ứng viên thỏa mãn điều kiện (1), chúng ta thu được

$$Cost_Set = \begin{pmatrix} Cost_Delay_Bandwidth_{(1)} \\ Cost_Delay_Bandwidth_{(2)} \\ \vdots \\ Cost_Delay_Bandwidth_{(z-1)} \\ Cost_Delay_Bandwidth_{(z)} \end{pmatrix} \quad (3.11)$$

$$Optimalroute = Min (Cost_Set) \quad (3.12)$$

Theo đó, tuyến đường tối ưu được xác định theo công thức (3.12). Hoạt động của giao thức Q-AODV được mô tả bằng mã giả (Thuật toán 3.3) như sau:

Thuật toán 3.3: Thuật toán lựa chọn tuyến đường Q-AODV.

```

1   P=routeset(S,D)
2   // Công thức (3.12)
3   Cost= $\infty$ , Selectedroute={ $\emptyset$ }
4   for each p in P
5       if Cost>Cost_Delay_Bandwidth(p) then
6           Cost=Cost_Delay_Bandwidth(p)
8           Selectedroute=routeset(p)
9       end if
10  end for
11  return (Selectedroute, Cost)

```

Tại bước 1, thuật toán nhận được tập tuyến đường ứng viên sau khi kết thúc thủ tục tìm đường. Từ bước 3 đến bước 9, thuật toán xác định tuyến đường theo các công thức (3.10) đến (3.12). Tại bước 11, thuật toán trả về tuyến đường được chọn.

3.3.4. Mô phỏng và phân tích hiệu năng mạng

3.3.4.1. Các tham số mô phỏng

Để đánh giá hiệu năng của giao thức đề xuất, một hệ thống MANET được thiết lập, sử dụng phần mềm mô phỏng NS2 phiên bản 2.34 nhằm so sánh hiệu năng của các giao thức: Q-AODV, AODV và DSR với các thay đổi về tốc độ di chuyển của nút mạng theo hai mô hình là Adaptive và Admission. Các mô phỏng sử dụng kiểu lưu lượng CBR với 200 nút di động được bố trí ngẫu nhiên, mô hình di động Random Waypoint trong vùng có diện tích $1500\text{m} \times 1500\text{m}$. Tốc độ di chuyển của mỗi nút được thiết lập ngẫu nhiên trong khoảng $[0, V_{max}]$, trong đó, $V_{max} = [2, 4, 6, \dots, 20]$, ứng với tốc độ di chuyển (7.2 – 72) (km/h) là tốc độ di chuyển thực của các phương tiện trong khu vực đô thị.

Bảng 3.5. Bảng tham số mô phỏng.

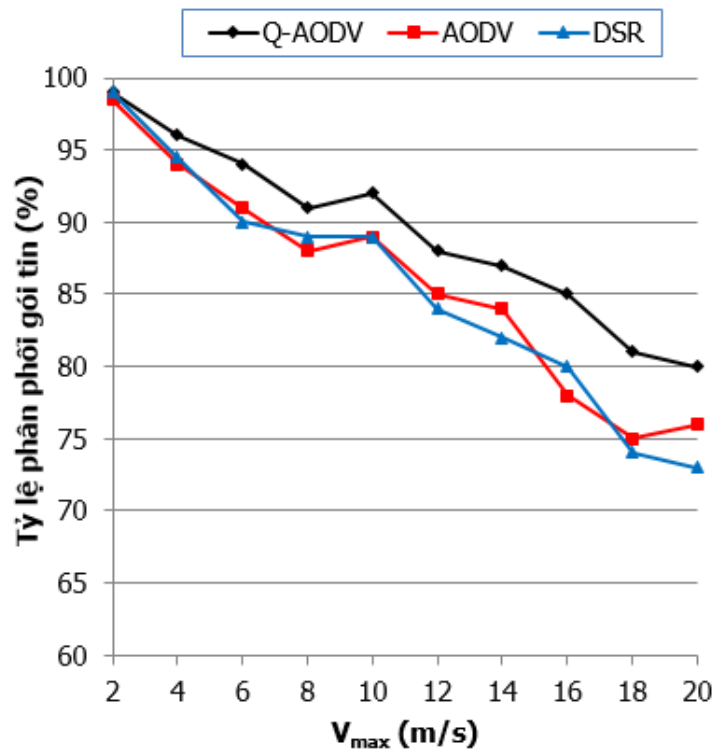
Tham số	Giá trị
Thời gian mô phỏng	500 (s)
Vùng mô phỏng	1500 (m)×1500 (m)
Số nút di động	200
Số kết nối đầu-cuối	50
Lớp MAC	802.11
Loại lưu lượng	CBR
Kích thước gói tin	1024 (byte)
Lớp vận chuyển	UDP
Băng thông yêu cầu	500 (Kbps)
Tốc độ di chuyển của nút	[2-20] (m/s)
Vùng truyền	250 (m)
Mô hình di động	Random Waypoint
Các giao thức	Q-AODV, AODV, DSR

Hiệu năng các giao thức được xem xét khi các nút có tốc độ di chuyển khác nhau trong cả hai mô hình Adaptive và Admission với cùng số kết nối đầu-cuối là 50. Các tham số mô phỏng được tóm tắt trong Bảng 3.5.

3.3.4.2. Mô hình Adaptive

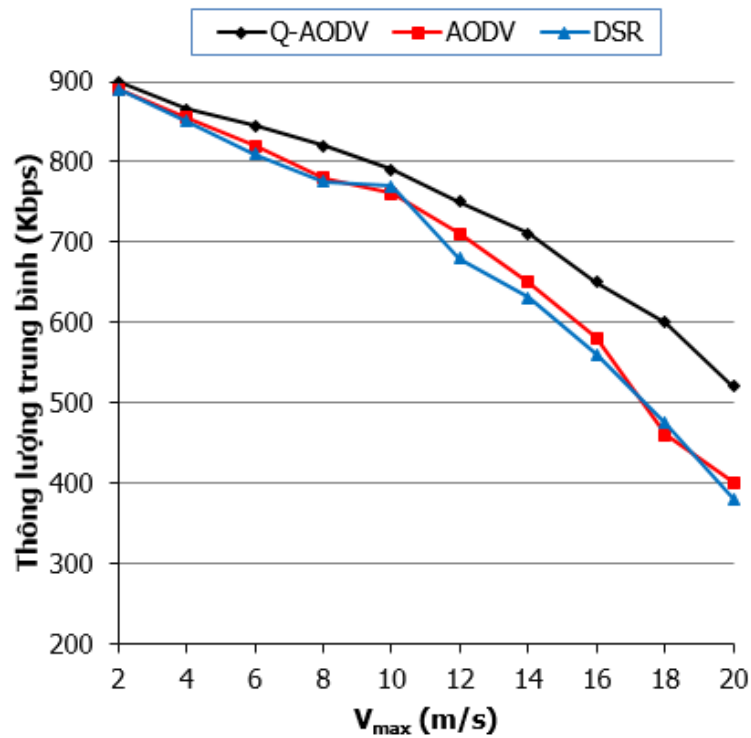
Trong các mô phỏng này, hiệu năng của giao thức Q-AODV được so sánh với các giao thức định tuyến truyền thống, không hỗ trợ QoS là AODV và DSR. Các tiêu chí hiệu năng được sử dụng là trễ, thông lượng và tỷ lệ phân phối gói tin. Kết quả mô phỏng được trình bày trong các Hình 3.11, 3.12 và 3.13.

Kết quả cho thấy, khi mức di động của nút tăng lên, cấu trúc của mạng sẽ thay đổi nhanh hơn, dẫn đến các tuyến đường thường xuyên bị đứt, làm gia tăng số gói tin phải truyền lại cũng như thiết lập lại tuyến đường. Tất cả những vấn đề đó sẽ dẫn đến tiêu thụ băng thông nhiều hơn, trễ tăng lên và tỷ lệ phân phối gói tin giảm đi.



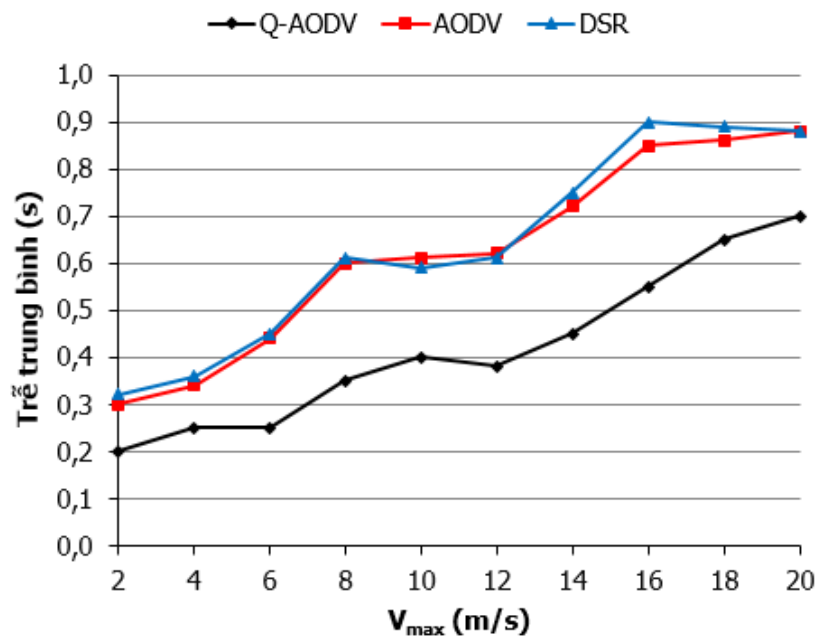
Hình 3.11. Tỷ lệ phân phối gói tin - mô hình Adaptive.

Trong Hình 3.11, kết quả mô phỏng cho thấy, tỷ lệ phân phối gói tin của cả ba giao thức đều suy giảm khi tốc độ di chuyển của nút tăng, tuy nhiên, tỷ lệ phân phối gói tin của Q-AODV được cải thiện đáng kể so với hai giao thức là AODV và cao hơn khoảng 8% tại $V_{max} = 18$ (m/s).



Hình 3.12. Thông lượng trung bình - mô hình Adaptive.

Trong Hình 3.12, tại $V_{max} = 2$ (m/s), thông lượng của cả ba giao thức đều cao và xấp xỉ nhau. Khi V_{max} tăng lên, thông lượng của cả ba giao thức đều có xu hướng giảm. Tuy nhiên, Q-AODV luôn có thông lượng được cải thiện đáng kể so với hai giao thức còn lại. Thông lượng của Q-AODV được cải thiện hơn 25% so với AODV và DSR tại $V_{max} = 20$ (m/s)

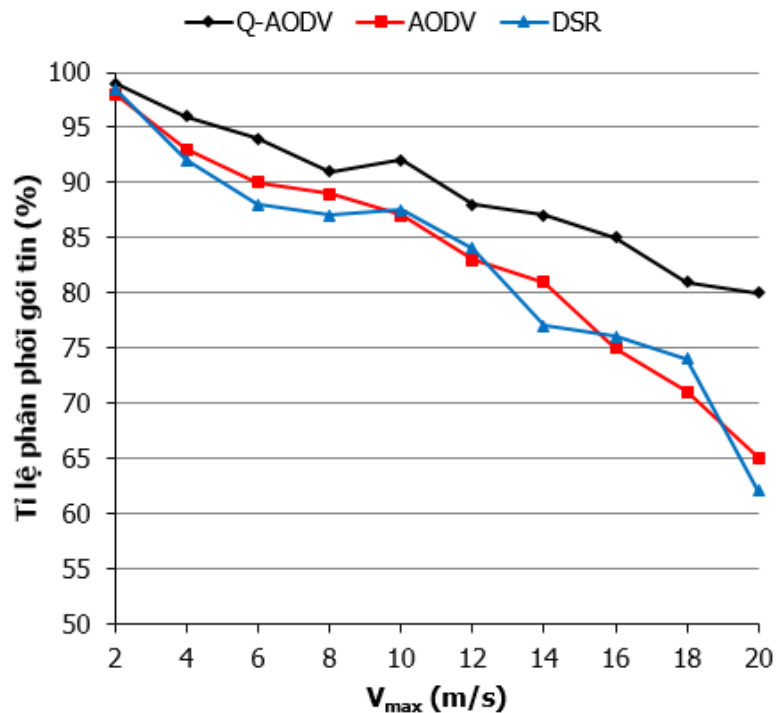


Hình 3.13. Trễ trung bình - mô hình Adaptive.

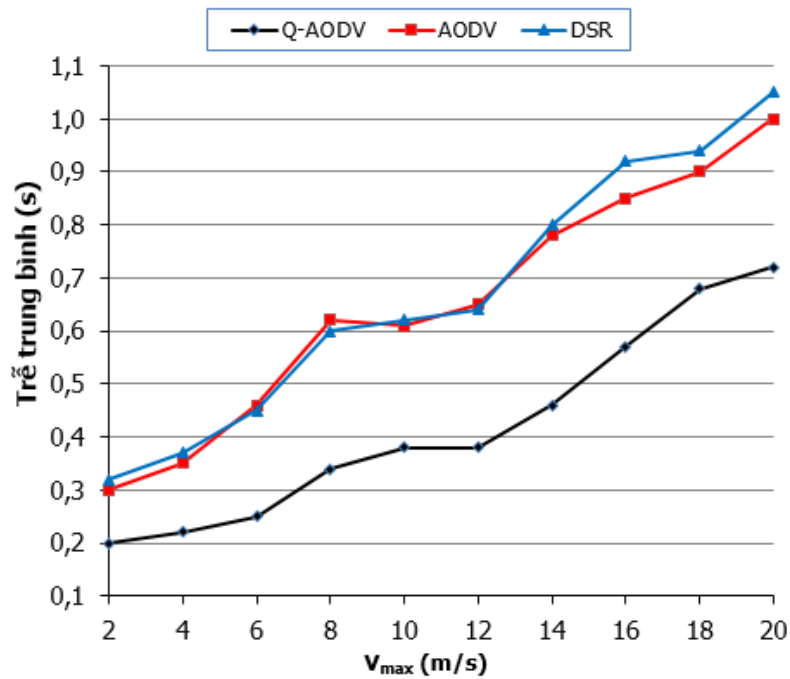
Trong Hình 3.13, trễ trung bình của cả ba giao thức đều có xu hướng tăng nhanh khi tốc độ di chuyển của nút tăng. Tuy nhiên, do có cải thiện được tỷ lệ phân phối gói tin cũng như thông lượng tuyến đường nên trễ của Q-AODV luôn thấp hơn AODV và DSR. Tại $V_{max} = 20$ (m/s), trễ của Q-AODV cải thiện lên đến khoảng 20% so với AODV và DSR.

3.3.4.3. Mô hình Admission

Kịch bản thứ hai sử dụng mô hình Admission với băng thông yêu cầu là 500 (Kbps) và đánh giá theo các tiêu chí: thông lượng, trễ và tải định tuyến. Trong mô hình Admission, các tuyến đường bị từ chối ngay lập tức nếu băng thông hỗ trợ nhỏ hơn băng thông yêu cầu. Kết quả là số tuyến đường ứng viên trả về sẽ ít hơn mô hình Adaptive. Do đó, tải định tuyến cũng như khả năng đệm độ giữa các gói tin sẽ giảm đi. Trong Hình 3.14, tỷ lệ phân phối gói tin của các giao thức đều giảm khi tốc độ di chuyển của nút mạng tăng lên. Tuy nhiên, so sánh tỷ lệ phân phối gói tin trong cả hai mô hình cho thấy, tỷ lệ phân phối gói tin của Q-AODV luôn được cải thiện tốt hơn hai giao thức còn lại. Tại $V_{max} = 20$ (m/s), tỷ lệ phân phối gói tin của Q-AODV cải thiện khoảng 15%.



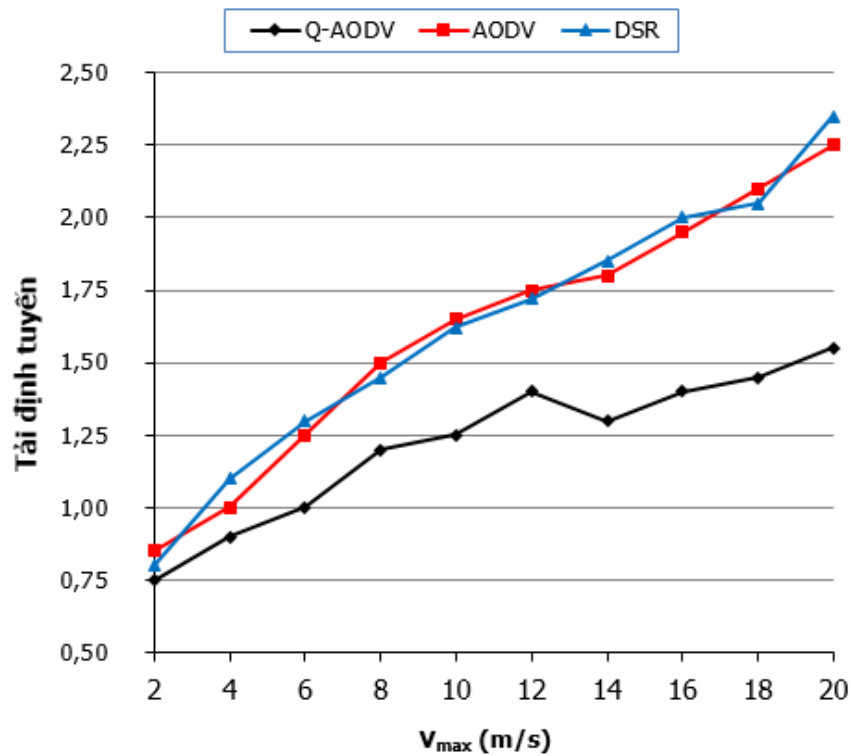
Hình 3.14. Tỷ lệ phân phối gói tin - mô hình Admission.



Hình 3.15. Trễ trung bình - mô hình Admission.

Trong Hình 3.15, trễ trung bình của cả ba giao thức đều có xu hướng tăng nhanh khi tốc độ di chuyển của nút mạng tăng. Tuy nhiên, trễ của Q-AODV được cải thiện đáng kể so với hai giao thức còn lại. So sánh trễ trong hai mô hình Adaptive và Admission cho thấy, trong khi trễ của Q-AODV không thay đổi nhiều, trễ của AODV và DSR trong mô hình Admission tăng nhanh hơn. Tại $V_{max} = 20$ (m/s), trong mô hình Admission, trễ của Q-AODV cải thiện trên 25% so với hai giao thức còn lại.

Trong mô hình Admission, khi nhận thấy một tuyến đường có băng thông nhỏ hơn băng thông yêu cầu, ngay lập tức, tiến trình gửi quảng bá gói tin RREQ dừng và loại tuyến đường đó ra khỏi tiến trình tìm đường. Kết quả là, tải định tuyến của Q-AODV được cải thiện đáng kể so với hai giao thức còn lại như kết quả thể hiện trong Hình 3.16. Hơn thế, cơ chế này còn có thể cải thiện mức tiêu thụ năng lượng và băng thông do hạn chế được các hoạt động không cần thiết.



Hình 3.16. Tải định tuyến - mô hình Admission.

3.4. Kết luận Chương 3

Do cấu trúc mạng động, định tuyến là vấn đề chính trong mạng MANET. Hiệu năng của MANET phục thuộc vào cấu trúc, vị trí triển khai, kiểu ứng dụng mạng; thuộc tính và năng lực của nút mạng. Trong phần này, luận án đã đề xuất ba giao thức định tuyến nhằm cải thiện hiệu năng cho ba cấu trúc mạng cụ thể, gồm:

- (1) Giao thức định tuyến A-WCETT cho các mạng hoạt động đa kênh [J2];
- (2) Giao thức MM-AODV cho các mạng MANET đa tham số [C2];
- (3) Giao thức Q-AODV cho các ứng dụng Multimedia-MANET [J3].

Kết quả đánh giá và so sánh hiệu năng trong một số kịch bản cụ thể cho thấy, các giao thức định tuyến đề xuất đều cải thiện hiệu năng so với các giao thức định tuyến truyền thống của MANET. Các đề xuất đều đã được công bố trên các tạp chí và hội thảo quốc tế.

CHƯƠNG 4. ĐỊNH TUYẾN NÂNG CAO TUỔI THỌ MẠNG MANET

Tóm tắt ⁽³⁾: Trong chương này, luận án đề xuất và trình bày hai giải pháp nhằm mở rộng khả năng hoạt động của mạng MANET, cụ thể như sau: (1) Giải pháp tăng tuổi thọ MANET, mà cụ thể là đề xuất giao thức định tuyến tiết kiệm năng lượng AERP [J4]. Dựa trên giao thức AERP, luận án tiếp tục đề xuất giao thức định tuyến HPLR, cải tiến từ AERP nhằm sử dụng năng lượng hiệu quả và cải thiện hiệu năng cho MANET [C4] và (2) Định tuyến kết hợp tìm kiếm dựa trên cơ chế hợp tác giữa các máy chủ cho mạng Cloud-assisted MANET [C3];

4.1. Định tuyến tiết kiệm năng lượng

4.1.1. Giới thiệu

Vấn đề tiết kiệm năng lượng đặc biệt được quan tâm và là nhu cầu bắt buộc của hầu hết các mạng thông tin di động. Yêu cầu này có một tác động đáng kể đến thiết kế hệ thống truyền thông vô tuyến thế hệ mới cũng như đòi hỏi phải có sự cải thiện những hệ thống hiện có [55], [79].

Định tuyến tiết kiệm năng lượng là một trong những điều kiện quan trọng nhất khi thiết kế giao thức định tuyến cho mạng MANET do các nút mạng di động sử dụng pin với mức năng lượng lưu trữ giới hạn. Một nút mạng khi hết năng lượng không chỉ ảnh hưởng đến chính nó mà còn ảnh hưởng đến khả năng chuyển tiếp gói tin của những nút khác cũng như hiệu năng và tuổi thọ của toàn hệ thống. Do đó, rất nhiều các nghiên cứu đã được thực hiện để nỗ lực giải quyết vấn đề này.

Khảo sát các nghiên cứu gần đây trong vấn đề định tuyến tiết kiệm năng lượng cho MANET [11], [86], [90] cho thấy hai hướng tiếp cận chính là *điều khiển công suất* và *phân phối tải*. Theo đó, hướng điều khiển công suất xác định những tuyến đường tối ưu sao cho tổng công suất tiêu thụ để truyền gói tin từ nút nguồn đến nút đích là nhỏ nhất [41], [78], [87].

³ Một phần nội dung của Chương 4 đã được công bố trên Tạp chí Scopus, Journal of Communications [J4], Hội nghị Khoa học IEEE ATC'18, 2018 [C4] và Hội nghị Khoa học Quốc gia về CNTT-TT lần thứ 8, 2015 (FAIR'8) [C3].

Một hướng tiếp cận quan trọng là *phân phối tải*. Mục tiêu chính của phân phối tải là cân bằng việc sử dụng năng lượng giữa các nút và tối đa hóa tuổi thọ mạng bằng cách tránh sử dụng các nút có mức năng lượng thấp khi lựa chọn tuyến đường trong quá trình định tuyến [27], [34]. Trong phần này, luận án đề xuất **(1) giao thức định tuyến AERP** nhằm cải thiện hiệu quả sử dụng năng lượng cho mạng MANET.

Kết quả mô phỏng cho thấy, giao thức định tuyến AERP cải thiện tuổi thọ mạng và tỷ lệ phân phối gói tin. Tuy nhiên, với phương thức định tuyến chỉ dựa trên tham số mức năng lượng còn lại, các tuyến đường dài hơn nhưng giàu năng lượng hơn sẽ được lựa chọn. Kết quả là, cùng với thời gian, trễ đầu-cuối sẽ ngày càng tăng, dẫn đến hiệu năng mạng suy giảm nhanh. Các mạng MANET nói chung và đặc biệt là các mạng MANET đa phương tiện đều có các yêu cầu cơ bản về trễ đầu-cuối, thông lượng. Do đó, hai vấn đề: đảm bảo hiệu năng và tăng tuổi thọ mạng cần được xem xét một cách cân bằng để đảm bảo sự tồn tại của mạng là hữu ích. Để giải quyết vấn đề này, luận án tiếp tục đề xuất **(2) giao thức định tuyến HPLR**, trên cơ sở cải tiến từ giao thức AERP nhằm cải thiện tuổi thọ và đảm bảo hiệu năng mạng MANET. Chi tiết các vấn đề này được trình bày trong các phần tiếp theo.

4.1.2. Giao thức định tuyến AERP

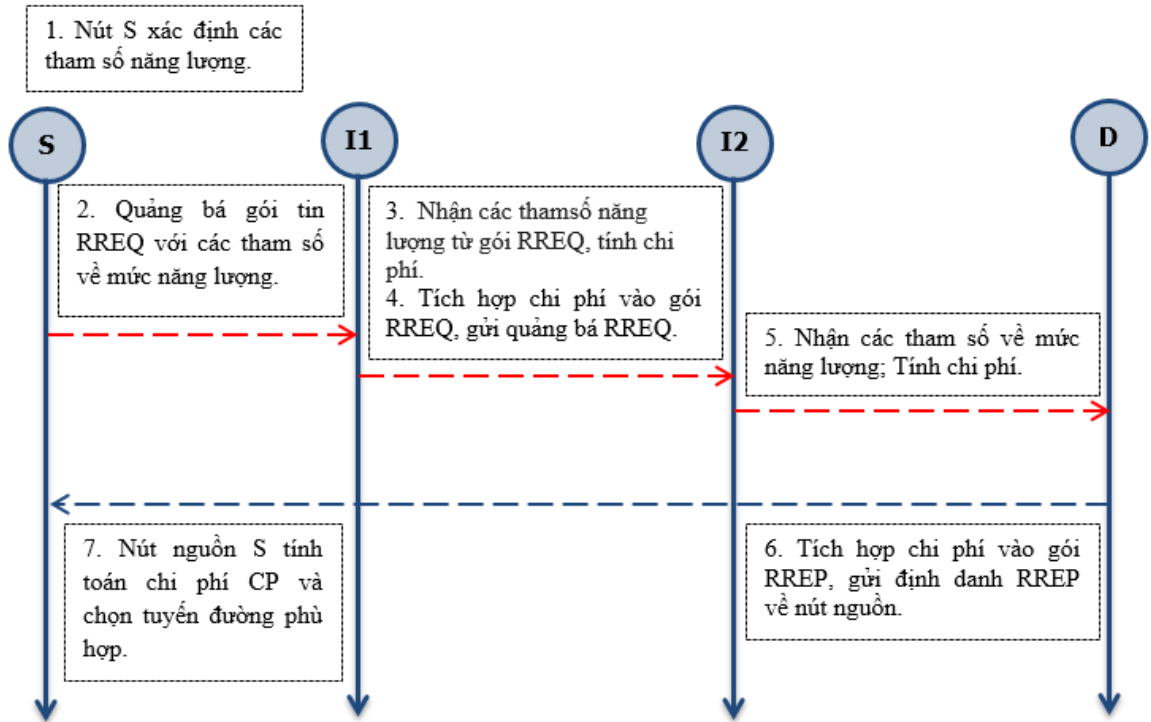
Trong phần này, luận án trình bày giao thức AERP. Mục tiêu chính của AERP nhằm tăng tuổi thọ cũng như không làm suy giảm hiệu năng của MANET. Chi tiết về thiết kế của giao thức AERP được mô tả như sau.

4.1.2.1. Mô tả giao thức

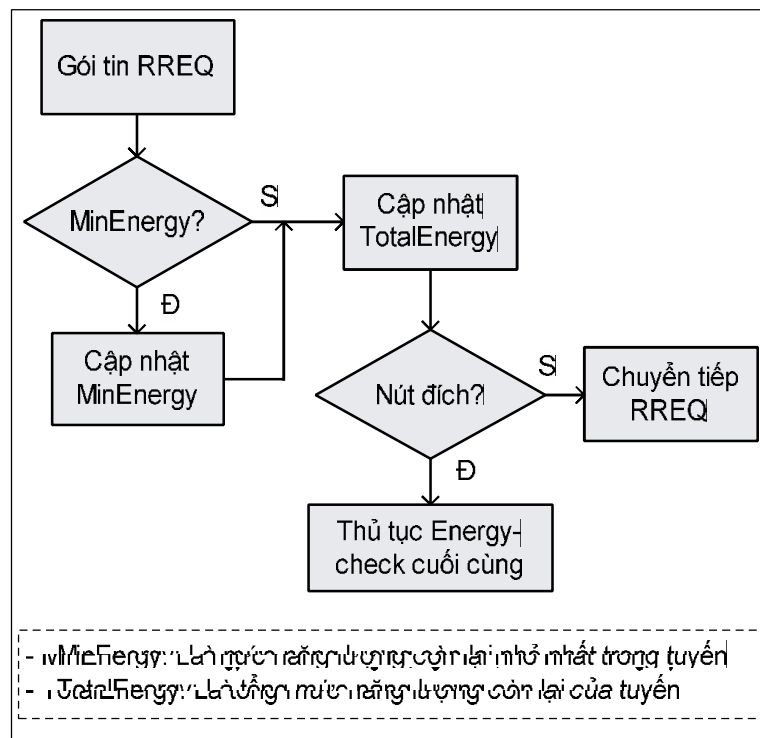
Giống như giao thức định tuyến AODV đã được chuẩn hóa cho MANET, giao thức AERP hoạt động dựa trên hàm chi phí AERP với tiến trình xác định tuyến đường của AODV được mở rộng như trong Hình 4.1.

Cụ thể, tiến trình khám phá tuyến đường bắt đầu với việc nút nguồn gửi quảng bá các gói tin tìm đường RREQ với phần tiêu đề được bổ sung hai trường mới, như sau $\{Total\ Remaining\ Energy\ và\ Min\ Remaining\ Energy,\ AODVRREQ\}$. Như thường lệ, gói tin này sẽ được chuyển tiếp bởi các nút trung gian để vươn tới nút đích.

Một điểm khác so với phương thức chuyển tiếp gói tin RREQ truyền thống của AODV là tại mỗi nút trung gian, khi nhận được gói tin RREQ, nút này sẽ thực hiện một thủ tục, được đặt tên là Energy-check như mô tả trong Hình 4.2.



Hình 4.1. Xác lập và duy trì tuyến đường trong giao thức AERP.

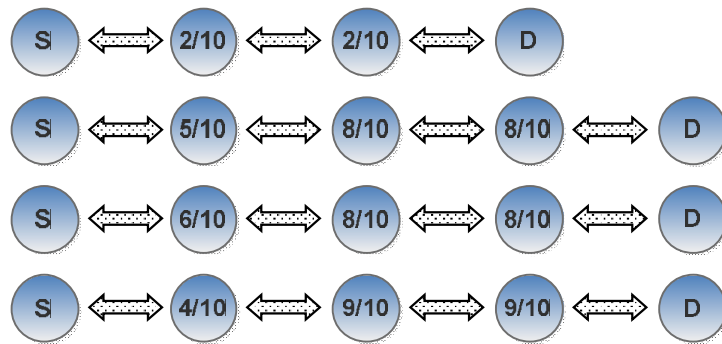


Hình 4.2. Thủ tục Energy-check.

Energy-check được thực hiện với hai nhiệm vụ chính như sau:

- (1) Nếu giá trị *Min Remaining Energy* là lớn hơn năng lượng còn lại của nút mạng, thì cập nhật giá trị của nó với năng lượng còn lại của nút mạng.
- (2) Cập nhật *Total Remaining Energy* thông qua việc cộng thêm năng lượng còn lại của nút mạng vào chính nó.

Cuối cùng, nút đích sẽ gửi gói tin RREP với phần tiêu đề như sau {*Total Remaining Energy* và *Min Remaining Energy*, *AODV RREP*} trở về nút nguồn. Bằng cách này, nút nguồn có thể nhận được tất cả các tuyến đường ứng viên. Hình 4.3 trình bày ví dụ minh họa về tập các tuyến đường ứng viên và mức năng lượng còn lại của mỗi nút trong tuyến.



Hình 4.3. Các tuyến đường ứng viên thu được sau tiến trình tìm đường.

4.1.2.2. Tham số định tuyến và lựa chọn tuyến đường

Khảo sát các nghiên cứu cho thấy, năng lượng của một nút di động trong MANET bị tiêu thụ do các hoạt động chính sau: *Truyền/nhận gói tin* và *Lắng nghe các nút lân cận* (Mục 2.2.5)

Kết quả khảo sát các nghiên cứu cũng cho thấy, hai tham số có ảnh hưởng trực tiếp đến tuổi thọ của MANET cần được xem xét là: *năng lượng còn lại của nút mạng* và *số chặng*.

- *Năng lượng còn lại của nút*: Tuyến đường được chọn sẽ bao gồm các nút giàu năng lượng;
- *Số chặng*: Để chọn tuyến đường ngắn nhất (số hop nhỏ nhất) từ nút nguồn đến nút đích. Một tuyến đường có số chặng ngắn hơn là phương án tốt để tiết kiệm năng lượng, giảm thời gian trễ cũng như cải thiện hiệu năng mạng.

Do đó, trong giao thức AERP, luận án đề xuất sử dụng hai tham số định tuyến này để tính toán chi phí tuyến đường, cụ thể như sau:

Để tính chi phí của của tuyến p có số chặng là h , $p \in P$, luận án đề xuất công thức tính chi phí tuyến đường dựa trên tổng mức năng lượng tiêu thụ (TCE) như sau:

$$TCE = \sum_{i=1}^{h+1} \left(1 - \frac{E_i}{E_{max}}\right) \quad (4.1)$$

Trong đó:

E_i là năng lượng còn lại của nút i ,

E_{max} là năng lượng khởi tạo ban đầu của mỗi nút,

h là số chặng.

Tại thời điểm T_0 , $E_i \approx E_{max}$, do đó: $\left(1 - \frac{E_i}{E_{max}}\right) \approx 0$, $TCE \approx 0$. Sau đó, tại T_t , sau một khoảng thời gian hoạt động, nút di động tiêu thụ nhiều năng lượng. Giả sử, $E_i \ll E_{max}$, $\frac{E_i}{E_{max}} \approx 0$, $TCE \approx h$. Do đó, giá trị của TCE nằm trong vùng $[0, h]$. Sự biến thiên của TCE phụ thuộc vào dung lượng pin còn lại của các nút trong tuyến.

Khi năng lượng còn lại của một nút di động giảm, giá trị TCE tăng. Kết quả là, nếu sử dụng tham số TCE cho định tuyến, tuyến đường với TCE tối thiểu sẽ được lựa chọn. Tuy nhiên, công thức (4.1) có điểm hạn chế là không loại bỏ được tuyến có tổng năng lượng toàn tuyến cao nhất nhưng lại chứa nút có mức năng lượng sắp cạn kiệt. Do đó, tuổi thọ mạng có thể ngắn hơn. Để giải quyết vấn đề này, chúng tôi định nghĩa hàm chi phí AERP như sau:

$$AERP = \frac{TCE}{h+1} + \left(1 - \min_{1 \leq j \leq h} \left(\frac{E_j}{E_{max}}\right)\right) \quad (4.2)$$

Bằng cách đưa tham số mức năng lượng thấp nhất vào trong công thức (4.2), có thể xem là nỗ lực để cân bằng sự ảnh hưởng giữa tổng năng lượng của toàn tuyến và năng lượng thấp nhất trong tuyến.

Giả thiết rằng, mức dung lượng pin còn lại của cả hai nút S và D đều bằng nhau và bằng 5/10. Bảng 4.1 minh họa phương pháp tính giá trị AERP theo công thức (4.2) với các tuyến đường ứng viên minh họa trong Hình 4.3.

Bảng 4.1. Minh họa phương thức tính AERP.

Tuyến	$h+1$	$\frac{TCE}{h+1}$	$1 - \min_{1 \leq j \leq h} \left(\frac{E_j}{E_{max}} \right)$	AERP
1	4	0.65	0.80	1.45
2	5	0.38	0.50	0.88
3	5	0.36	0.50	0.86
4	5	0.56	0.60	1.16

Kết quả tính toán như trong Bảng 4.1 cho thấy, tuyến đường với AERP nhỏ nhất (AERP = 0.86) sẽ được lựa chọn để truyền dữ liệu.

4.1.2.3. Các thay đổi trong gói tin RREQ và RREP

Type	J	R	G	D	U	Reversed	Hop Count
RREQ ID							
Destination IP Address							
Destination Sequence Number							
Originator IP Address							
Originator Sequence Number							
<i>Total Remaining Energy</i>				<i>Min Remaining Energy</i>			

(a) Route Request (RREQ) Message Format

Type	J	R	Reversed	Prefix Sz	Hop Count
Destination IP Address					
Destination Sequence Number					
Originator IP Address					
Lifetime					
<i>Total Remaining Energy</i>			<i>Min Remaining Energy</i>		

(b) Route Reply (RREP) Message Format

Hình 4.4. Thay đổi định dạng gói tin điều khiển giao thức AODV.

Để tính chi phí định tuyến, mỗi nút trong tuyến phải cung cấp thông tin về dung lượng pin còn lại. Để thu thập thông tin này, phương thức kết hợp được sử dụng (chi tiết trong Mục 2.4). Phương thức này có một số ưu điểm như không tăng đáng kể kích

thước gói tin, ảnh hưởng đến hiệu năng tổng thể của mạng và đã được sử dụng trong rất nhiều nghiên cứu [24], [61], [79], [82]. Trong đề xuất này, luận án thực hiện mở rộng cả hai gói tin RREQ và RREP như trình bày trong Hình 4.4.

4.1.3. Giao thức định tuyến HPLR

Để cân bằng vấn đề cải thiện hiệu năng cũng như tuổi thọ của MANET, luận án đề xuất giao thức định tuyến HPLR, cải tiến từ giao thức AERP (Mục 4.1.2) với trọng tâm là cải tiến thuật toán lựa chọn tuyến đường cho phép nó luôn chọn được các tuyến đường có độ trễ thấp và cải thiện tuổi thọ mạng cao. Để làm rõ các cải tiến của HPLR, phần này sẽ đi sâu trình bày thuật toán chọn tuyến đường của HPLR. Các mục khác như nguyên lý hoạt động, cấu trúc gói tin điều khiển của HPLR tương tự như của AERP, đã được trình bày trong các Mục 4.1.2 và Mục 4.1.2.3, do đó, không được trình bày lại trong phần này.

4.1.3.1. Thuật toán chọn tuyến đường

Không giống như thuật toán lựa chọn tuyến đường của AERP, trong HPLR, sau khi xác định được tập tuyến đường ứng viên và cập nhật thông tin vào bảng định tuyến. Tiếp theo, nút nguồn sẽ thực hiện một thuật toán chọn ra tuyến đường phù hợp với hai ràng buộc được định nghĩa như sau:

1) Để đảm bảo tính hiệu quả của thuật toán, luận án áp dụng một kỹ thuật được đề xuất gần đây nhằm giới hạn số tuyến ứng viên [3]. Chỉ những ứng viên có số hopcount nằm trong khoảng $[Hopmin, Hopmax]$ mới được xem xét. Trong đó, $Hopmin$, là số chặng của tuyến đường ứng viên ngắn nhất giữa cặp nút nguồn-đích (S, D) và $Hopmax$ được xác định theo công thức sau:

$$Hopmax = Hopmin + 2 \quad (4.3)$$

Về lý thuyết, $Hopmax = Hopmin + \epsilon$, trong đó, ϵ là một số thực dương. Tuy nhiên, với rất nhiều thực nghiệm cũng như khảo sát một số nghiên cứu khác, nghiên cứu sinh nhận thấy giá trị $\epsilon = 2$ là phù hợp. Kết quả là, kỹ thuật này nhằm giới hạn số hữu hạn các tuyến đường cần xem xét. Nói cách khác, nó ngầm ưu tiên các tuyến đường có độ trễ thấp.

2) Để thu được các tuyến đường ứng viên giàu năng lượng hơn, hàm chi phí HPLR được định nghĩa như sau:

$$HPLR = \beta \times \frac{TCE}{h+1} + (1 - \beta) \times \left(1 - \min_{1 \leq j \leq h} \left(\frac{E_j}{E_{max}} \right) \right) \quad (4.4)$$

Trong đó, β là hệ số cân bằng, có giá trị trong khoảng $[0,1]$. Có hai cách để hiểu công thức (4.4). Trước hết, chúng ta có thể coi đó là sự cân bằng giữa tổng dung lượng pin còn lại của cả tuyến và dung lượng pin nhỏ nhất còn lại. Thứ hai, nó cho thấy mối quan hệ giữa các nút có ảnh hưởng nhất (ví dụ nút có độ ưu tiên cao nhất) với các nút bình thường khác trong tuyến. Nói cách khác, đây chính là sự thực thi chính sách ưu tiên đối với các nút có mức năng lượng cạn kiệt. Qua nhiều thử nghiệm, luận án chọn giá trị $\beta = 0.5$ trong các mô phỏng. Chi tiết thuật toán lựa chọn tuyến đường của HPLR được mô tả bởi mã giả trong Thuật toán 4.1.

Thuật toán 4.1: Thuật toán định tuyến HPLR.	
1	P =routeset (S,D)
2	minhop=min(routeset(S,D).hopcount)
3	maxhop=minhop+2
4	validRoute= \emptyset
5	for each p in P
6	if minhop $\leq p$.hopcount \leq maxhop then
7	validRoute $\leftarrow p$
8	endif
9	end for
10	If validRoute ==1 then return validRoute
11	return TheMin_HPLR_Route in validRoute

Từ bước 1 đến bước 9, thuật toán lọc bỏ bớt những tuyến đường ứng viên (có khả năng cao) không thỏa mãn ràng buộc về độ trễ truyền tin. Đến bước 10, nếu chỉ có một tuyến đường duy nhất thỏa mãn điều kiện đặt ra, thuật toán trả về con đường này và kết thúc. Ngược lại, nó sẽ tiến hành bước 11 để sắp xếp tập các tuyến đường ứng viên theo thứ tự tổng mức năng lượng còn lại theo công thức (4.4) và trả về tuyến

đường được chọn. Cách tính tổng mức năng lượng/trung bình mức năng lượng còn lại của tuyến đường như trong Mục 4.1.2 của AERP.

4.1.4. Đánh giá hiệu năng

4.1.4.1. Các tham số mô phỏng

Trong phần này, nhằm đánh giá giao thức HPLR trong các kịch có các lưu lượng mạng thay đổi khác nhau, một hệ thống mạng MANET mô phỏng trên phần mềm NS2 phiên bản 2.34 được thiết lập.

Số kết nối đầu-cuối trong các mô phỏng được thiết lập tăng dần, lần lượt như sau: 10, 20, 30, ..., 90, 100. Tốc độ của mỗi nút di động được thiết lập ngẫu nhiên, thuộc khoảng giá trị $[0, V_{max}]$ với $V_{max} = 10$ (m/s), tương ứng vận tốc di chuyển $[0, 36]$ (km/h). Mục đích chính trong vấn đề thay đổi tốc độ di động của nút mạng là để xem xét hiệu quả của giao thức đề xuất cho các mạng giao thông thông minh trong môi trường đô thị. Các tham số mô phỏng được tổng hợp trong Bảng 4.2.

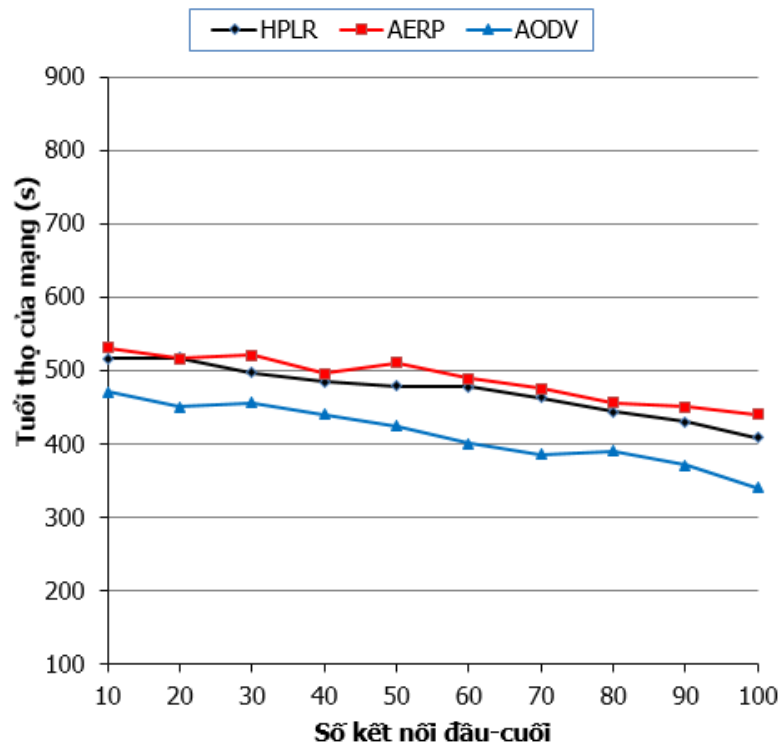
Bảng 4.2. Bảng tham số mô phỏng.

Tham số	Giá trị
Thời gian mô phỏng	600s
Vùng mô phỏng	1000m×1000m
Số nút di động	500
Lớp MAC	802.11
Loại lưu lượng	CBR
Băng thông	2 Mbit/s
Kích thước gói tin	512 byte
Lớp vận chuyển	UDP
Maxhop	Minhop + 2
Tốc độ di chuyển của nút	(0-10) m/s
Bán kính liên lạc	250 m
Pause Time	20 (s)
Mô hình di động	Random Way Point
Năng lượng khởi tạo	100 J

Tham số	Giá trị
Công suất truyền	1.5 W
Công suất nhận	0.2 W
Công suất không tải	0.0 W

Hiệu năng của giao thức HPLR được đánh giá và so sánh với hai giao thức: AERP và AODV. Nguyên nhân là, AODV cùng với DSR là một trong hai giao thức truyền thống, đã được IETF đề xuất chuẩn hóa cho mạng MANET. Hơn thế, AODV có cùng nguyên lý hoạt động, là giao thức cơ sở luận án tiến hành cải tiến và hình thành nên AERP. Trong khi đó, HPLR là giao thức được cải tiến từ AERP hướng đến mục đích sử dụng hiệu quả năng lượng và cải thiện hiệu năng theo cách tiếp cận tối ưu hóa tuổi thọ mạng.

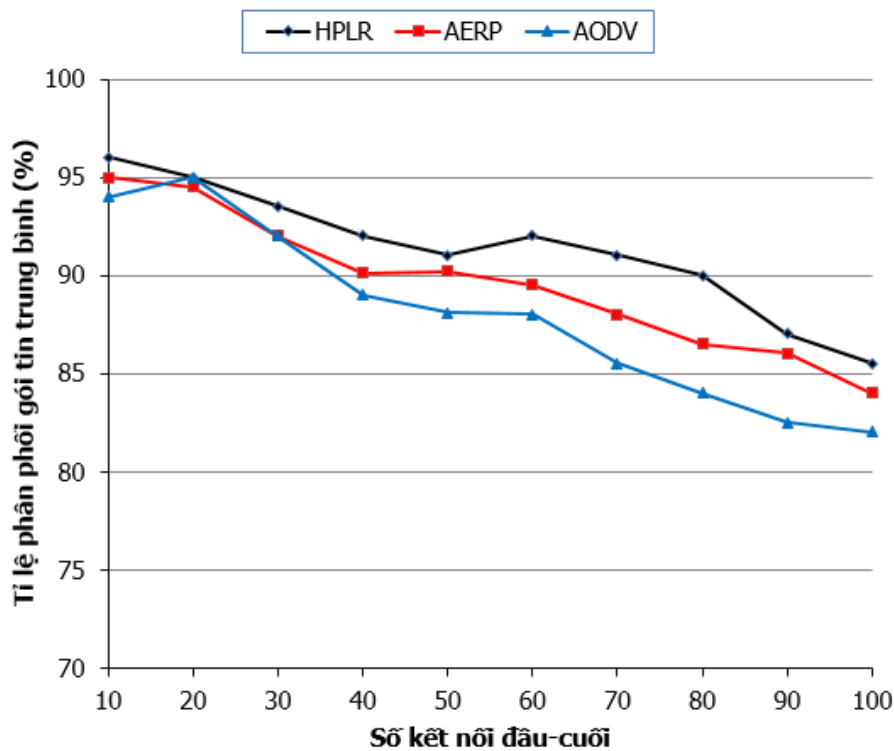
4.1.4.2. Kết quả và phân tích



Hình 4.5. Tuổi thọ của mạng.

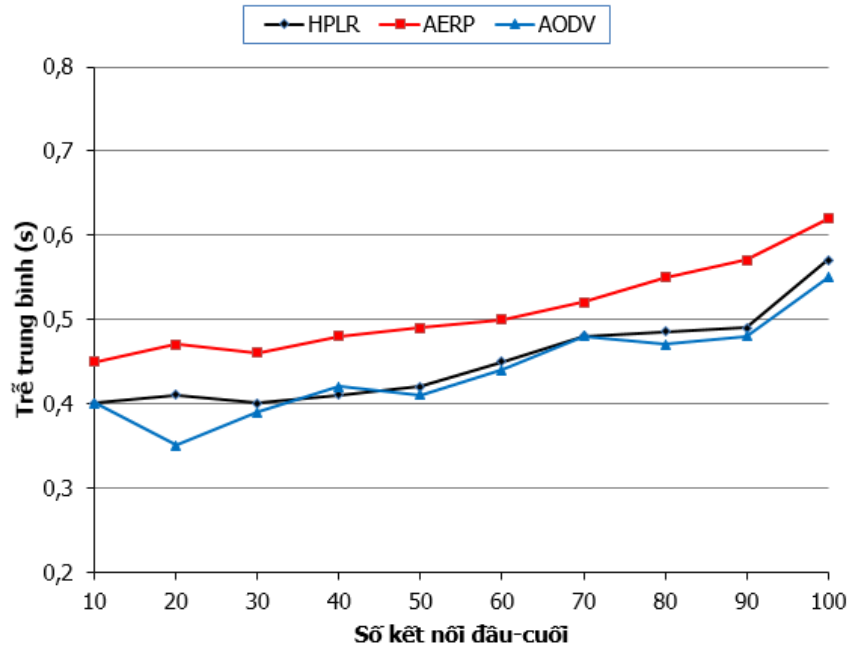
Trong Hình 4.5 trình bày kết quả mô phỏng theo tiêu chí: Tuổi thọ của mạng. Kết quả cho thấy, nhìn chung, khi số kết nối đầu-cuối tăng, tuổi thọ của mạng có xu hướng giảm trong cả ba giao thức. Giao thức AODV luôn có tuổi thọ mạng thấp nhất trong tất cả các mô phỏng. HPLR và AERP có mức cải thiện tuổi thọ đáng kể so với

AODV. Tuy nhiên, tuổi thọ HPLR vẫn thấp hơn của AERP một chút. Như đã trình bày, mục tiêu thiết kế HPLR là để mở rộng tuổi thọ mạng và cân bằng với các yếu tố hiệu năng khác, do đó, tham số *Hopmax* được sử dụng nhằm hạn chế số tuyến đường cần xem xét. Nói cách khác, HPLR cân bằng tải giữa các tuyến đường trong một giới hạn trễ nhất định. Thực hiện kỹ thuật này, HPLR vừa có thể mở rộng tuổi thọ mạng nhưng cũng cân bằng tải được giữa các tuyến đường.

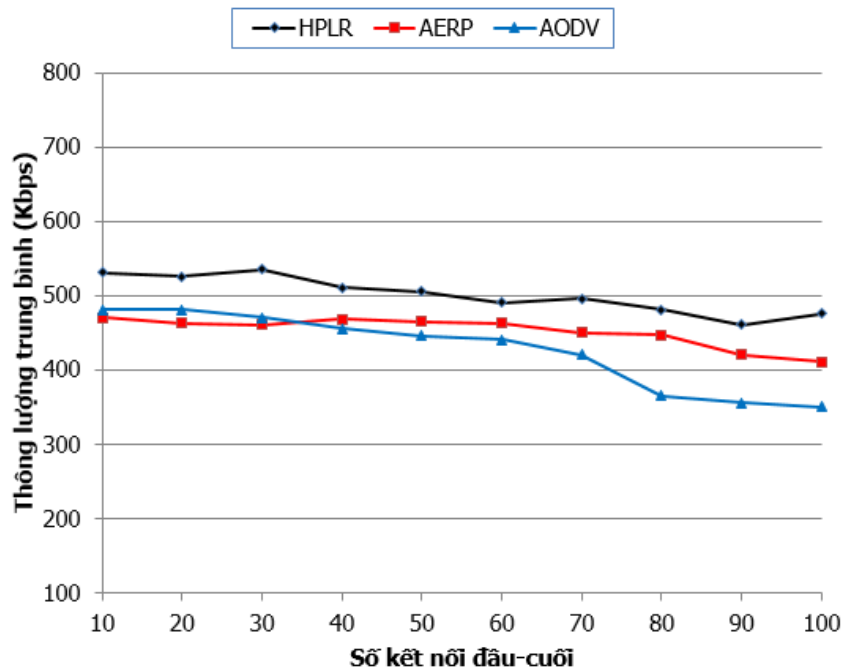


Hình 4.6. Tỷ lệ phân phối gói tin trung bình.

Trong Hình 4.6 trình bày kết quả mô phỏng theo tiêu chí: Tỷ lệ phân phối gói tin trung bình (PDR). Kết quả mô phỏng cho thấy, PDR của ba giao thức đều có xu hướng giảm khi lưu lượng mạng tăng lên. Khi số kết nối đầu-cuối tăng, cơ chế chọn tuyến đường của AODV làm cho lưu lượng tập trung vào tuyến ngắn nhất, dẫn đến tình trạng ùn đống và tắc nghẽn trong mạng gia tăng. Kết quả là số gói tin phải truyền lại tăng cao và tỷ lệ phân phối gói tin giảm. Trong khi đó, HPLR và AERP do đưa mức năng lượng tối thiểu vào vào quá trình lựa chọn tuyến đường nên có khả năng phân phối tải trên các tuyến đường khác nhau, từ đó hạn chế tình trạng tắc nghẽn và ùn đống, cải thiện tỷ lệ phân phối gói tin.



Hình 4.7. Trễ trung bình.



Hình 4.8. Thông lượng trung bình.

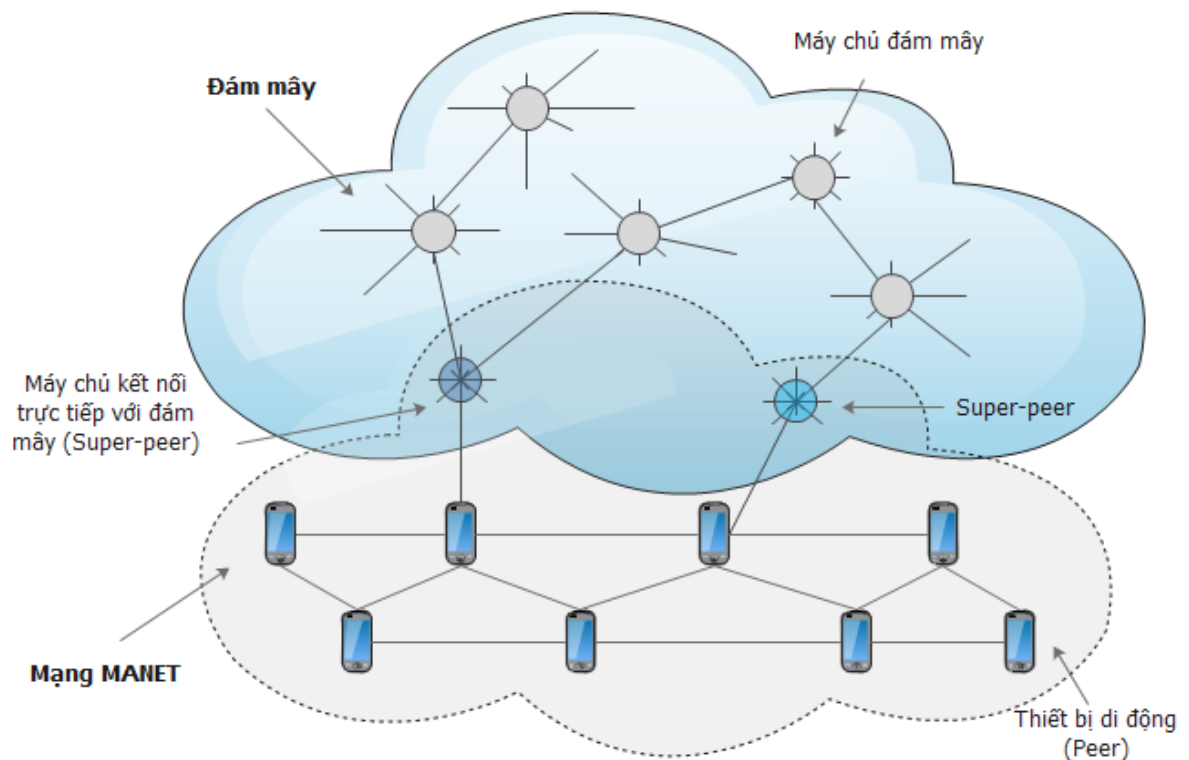
Trong Hình 4.7 trình bày kết quả mô phỏng theo tiêu chí: Trễ trung bình. Kết quả cho thấy, trễ của cả ba giao thức đều tăng khi lưu lượng mạng tăng. Tuy nhiên, trễ của AODV và HPLR bám rất sát nhau trong khi trễ của AERP khá lớn. Nguyên nhân là, AODV sử dụng cơ chế số chặng nhỏ nhất. Hơn thế, công thức tính thời gian trễ trong mô phỏng không bao gồm các gói tin phải truyền lại nên trễ của AODV có thể là thấp nhất. Cơ chế lựa chọn tuyến đường của HPLR và AERP dựa trên mức

năng lượng, do đó, nó có thể sẽ lựa chọn tuyến đường dài hơn nhưng giàu năng lượng. Điều này sẽ làm cho trễ trung bình tăng. Tuy nhiên, HPLR đã hạn chế được vấn đề này nhờ ràng buộc độ dài tuyến đường dựa trên tham số (*Hopmax*). Nói cách khác, HPLR chỉ xem xét và cân bằng tải trên một số tuyến với giới hạn trễ nhất định mà không lựa chọn tuyến đường rất giàu năng lượng nhưng có trễ quá lớn như AERP.

Ở một góc độ khác, do cơ chế định tuyến của HPLR chỉ xem xét và cân bằng tải trên các tuyến có giới hạn trễ nhất định, do đó, HPLR không chỉ cải thiện trễ và tỷ lệ phân phối gói tin như các kết quả đã trình bày mà còn giảm số gói tin phải truyền lại, từ đó giảm tải định tuyến và tăng thông lượng trong toàn hệ thống, Hình 4.8.

4.2. Giải pháp phối hợp mạng MANET và đám mây

4.2.1. Giới thiệu



Hình 4.9. Mô hình kiến trúc mạng Cloud-assited MANET.

Ngày nay, điện toán đám mây đã được biết đến rộng rãi. Những tiến bộ trong điện toán đám mây cho phép đám mây cung cấp cơ sở hạ tầng, nền tảng tính toán và phần mềm như các dịch vụ cho người dùng từ một máy tính/thiết bị có kết nối Internet. Kết hợp đám mây và mạng MANET tạo thành kiến trúc mạng **MANET được hỗ trợ bởi đám mây**, còn gọi là **Cloud-assited MANET** (Hình 4.9) là xu hướng công

nghe tất yếu, nhận được sự quan tâm đặc biệt của các nhà cung cấp dịch vụ và cộng đồng nghiên cứu [29], [32], [39], [55].

Để mô tả vấn đề, luận án trình bày 04 khái niệm như sau:

Máy chủ đám mây, là các máy chủ, thiết bị tham gia và hình thành nên đám mây

Peer, là một nút mạng di động của MANET

Super-Peer, là một máy chủ đám mây tham gia vào vùng phủ và có kết nối trực tiếp với MANET để cung cấp dịch vụ hoặc chuyển tiếp yêu cầu dịch vụ từ MANET tới đám mây

Vùng phủ, là một tập gồm các *Peer* và các máy chủ đám mây kết nối với MANET (Super-Peer) [40].

Và 03 trạng thái của mạng Cloud-assisted MANET, như sau:

Trạng thái ổn định, là trạng thái khi tất cả các nút mạng hoạt động trong điều kiện bình thường. Do vậy, các giao dịch tìm kiếm dịch vụ có thể được thực hiện theo cách tự nhiên không quan tâm đến vấn đề mất kết nối.

Trạng thái trung gian, mạng chuyển sang trạng thái trung gian trong trường hợp mạng MANET bị mất kết nối đến đám mây.

Trạng thái hoạt động, mạng chuyển sang trạng thái hoạt động nếu nó đang ở trạng thái trung gian và có một Peer gửi truy vấn để yêu cầu dịch vụ từ đám mây. Tại trạng thái này, khi sự mất kết nối được khắc phục, mạng trở lại trạng thái ổn định.

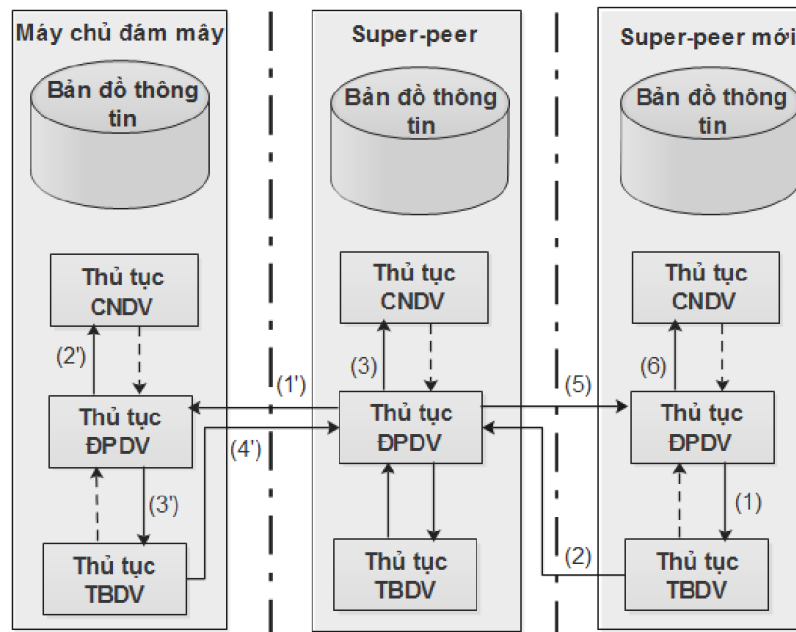
Sự hỗ trợ của đám mây mang lại những khả năng mới, vượt trội cho MANET nhờ thời gian hoạt động dài hơn, năng lực tính toán lớn và các tiện ích khác đã được chỉ ra trong [55], [69]. Tuy nhiên, thực tế đặt ra là: các mạng MANET không có cấu trúc cố định, cấu hình liên tục biến đổi và thường xuyên mất kết nối [39], [55]. Đây là những thách thức chính đối với các giải pháp kết hợp đám mây cho MANET.

Tìm kiếm là một trong những dịch vụ chính của đám mây. Do mất kết nối, dịch vụ này có thể tiêu tốn rất nhiều thời gian và năng lượng của mạng. Để giải quyết vấn đề này, luận án đề xuất ý tưởng xây dựng giải pháp tìm kiếm kết hợp định tuyến dựa trên một cơ chế hợp tác giữa các máy chủ đám mây. Cơ chế này cho phép các máy

chủ đám mây hợp tác để chia sẻ và duy trì thông tin về các dữ liệu, dịch vụ sử dụng bởi MANET. Với cơ chế này, dữ liệu và dịch vụ của một máy chủ đám mây vẫn sẽ hữu ích ngay cả khi nó không còn kết nối trực tiếp với MANET. Những số liệu thu được từ mô phỏng chứng minh tính hiệu quả của giải pháp đề xuất so với cơ chế thông thường.

4.2.2. Định tuyến dựa trên cơ chế phối hợp của các máy chủ

Để giảm chi phí (năng lượng, thời gian) thực hiện giao dịch tìm kiếm dịch vụ cho Cloud-assisted MANET như đã đề cập trong mục trước, trước hết luận án đề xuất một cơ chế hợp tác giữa các Super-Peer. Cơ chế này hoạt động ở tầng ứng dụng và bao gồm ba thủ tục sau:



Hình 4.10. Hoạt động của cơ chế hợp tác giữa các Super-Peer.

- 1) Thủ tục *Thông báo Dịch vụ* (TBDV) được thực hiện bởi một Super-Peer mới nhằm thông báo đến các Super-Peer khác trong vùng phủ sự thay đổi về vai trò mới của nó từ một máy chủ đám mây trở thành một Super-Peer.
- 2) Thủ tục *Cập nhật Dịch vụ* (CNDV) được triệu gọi bởi một Super-Peer để cập nhật bản đồ thông tin về nội dung cơ sở dữ liệu mới của nó. Bản đồ thông tin chứa thông tin về dịch vụ của các máy chủ đám mây, các Super-Peer khác cũng như thông tin dịch vụ của chính Super-Peer.

- 3) Thủ tục *Điều phối Dịch vụ* (ĐPDV) được sử dụng bởi một Super-Peer để trực tiếp yêu cầu dịch vụ từ các máy chủ đám mây khác thông qua đám mây, hoặc để chia sẻ cơ sở dữ liệu của nó với các Super-Peer khác.

Giả sử mỗi Super-Peer duy trì một bản đồ thông tin, là một hình thức thu gọn của nội dung cơ sở dữ liệu về các dịch vụ của tất cả các Super-Peer đã từng tham gia vùng phủ. Sau đó, một Super-Peer bất kỳ trong vùng phủ có thể yêu cầu các dịch vụ thông qua thủ tục ĐPDV của nó đến các Super-Peer trước đây (đã từng là *Super-Peer* nhưng đến thời điểm hiện tại chỉ đóng vai trò là *máy chủ đám mây* do mất kết nối trong vùng phủ).

Khi gia nhập vùng phủ lần đầu tiên, bản đồ thông tin của một Super-Peer mới chỉ chứa các dịch vụ của nó. Sau đó, Super-Peer này gửi một thông báo bằng thủ tục *TBDV* để thông báo đến các Super-Peer khác về sự có mặt của mình. Nếu có một Super-Peer với bản đồ thông tin khác rỗng trong vùng phủ, nó sẽ sử dụng thủ tục ĐPDV để chia sẻ bản đồ thông tin với Super-Peer mới. Super-Peer mới sau đó sử dụng thủ tục *CNDV* để cập nhật bản đồ thông tin của chính nó.

Sơ đồ hoạt động thể hiện các giao dịch này được đưa ra trong Hình 4.10. Nếu bản đồ thông tin của một Super-Peer bị thay đổi, các thay đổi này sẽ được cập nhật đến các Super-Peer khác trong vùng phủ (sử dụng các thủ tục ĐPDV và CNDV).

4.2.3. Phân tích hiệu quả của cơ chế đề xuất

Mục tiêu chính của cơ chế đề xuất nhằm giảm chi phí (thời gian, năng lượng tiêu thụ, tài nguyên tính toán, v.v.) để cải thiện hiệu năng cho mạng MANET hỗ trợ bởi đám mây. Nhìn chung, hiệu năng được đánh giá bởi thời gian để hoàn thành một nhiệm vụ. Như đã phân tích, do đặc tính của các nút di động trong MANET là nguyên nhân chính gây ra vấn đề bùng nổ chi phí xảy ra do mất kết nối trong vùng phủ.

Vì vậy, luận án đề xuất một mô hình tính toán chi phí cho các yêu cầu dịch vụ tìm kiếm và định tuyến xuất phát từ MANET lên đám mây như sau:

Giả thiết có n nút super-peer trong mô hình đề xuất. Trong tuyến đường giữa nút nguồn và nút đích tồn tại k máy chủ đám mây $S_i (i = 1, \dots, k; k < n)$.

t_i và t'_i , lần lượt là chi phí thời gian để định tuyến giữa hai nút lân cận và tìm kiếm dịch vụ yêu cầu trên nút i .

e_r và e_s , lần lượt là chi phí tiêu thụ năng lượng để thực hiện các dịch vụ định tuyến và tìm kiếm trong một đơn vị thời gian.

Vậy chi phí thời gian và năng lượng tiêu thụ để thực hiện một yêu cầu dịch vụ theo cơ chế thông thường có thể được tính như sau:

$$\begin{cases} T = \sum_{i=1}^k (t_i + t'_i) \\ E = e_r \times \sum_{i=1}^k t_i + e_s \times \sum_{i=1}^k t'_i \end{cases} \quad (4.5)$$

Với cơ chế đề xuất, nhờ duy trì một bản đồ thông tin trên các nút super-peer, các yêu cầu dịch vụ đã thực hiện trong quá khứ có thể được định tuyến ngay đến máy chủ đích, do vậy, tiết giảm chi phí thời gian tìm kiếm và năng lượng tiêu thụ trên các máy chủ đám mây. Chi phí thời gian và năng lượng tiêu thụ để thực hiện một yêu cầu dịch vụ theo cơ chế đề xuất có thể được tính như sau:

$$\begin{cases} T = t'_1 + t'_k + \sum_{i=1}^k t_i \\ E = e_r \times \sum_{i=1}^k t_i + e_s \times (t'_1 + t'_k) \end{cases} \quad (4.6)$$

4.2.4. Đánh giá hiệu năng

Trong phần này, để kiểm định tính hiệu quả của giải pháp đề xuất. Một mô phỏng được thiết lập để đánh giá tổng chi phí thực hiện quá trình định tuyến và tìm kiếm dịch vụ. Giả thiết rằng vùng phủ hỗ trợ chuyển tiếp các truy vấn dịch vụ từ MANET đến đám mây; các máy chủ đám mây sử dụng giao thức định tuyến Internet (chẳng hạn là OSPF) để tìm đường trong đám mây. Khi đó: chi phí chính thực hiện một giao dịch gồm hai phần cơ bản sau: **chi phí giao dịch định tuyến** và **chi phí giao dịch tìm kiếm**. Tuy nhiên, chi phí định tuyến ($e_r \times \sum_{i=1}^k t_i$) trong công thức (4.5) và (4.6) là như nhau ở cả hai trường hợp. Vì thế, nghiên cứu không xem xét đến chi phí này mà chỉ tập trung xem xét chi phí thực hiện giao dịch định tuyến và tìm kiếm.

4.2.4.1. Mô hình tính toán chi phí

Để làm sáng tỏ vấn đề, luận án trình bày một ví dụ minh họa về phương thức tính chi phí thực hiện giao dịch tìm kiếm kết hợp định tuyến, cụ thể như sau:

Giả thiết: một hệ thống đám mây gồm 05 máy chủ đám mây, lần lượt được đặt tên từ S1 đến S5 như trong Hình 4.11. Mỗi nút mạng được gán một giá trị ngẫu nhiên từ 1 đến 5 tương ứng với chi phí thực hiện giao dịch tìm kiếm trên nút đó.

S1 hiện đang trong vùng phủ (Super Peer), S5 vừa ra khỏi vùng phủ và hiện là một máy chủ đám mây. Một yêu cầu tìm kiếm dịch vụ xuất phát từ MANET đến vùng phủ (Máy chủ S1 tiếp nhận yêu cầu tìm kiếm dịch vụ).

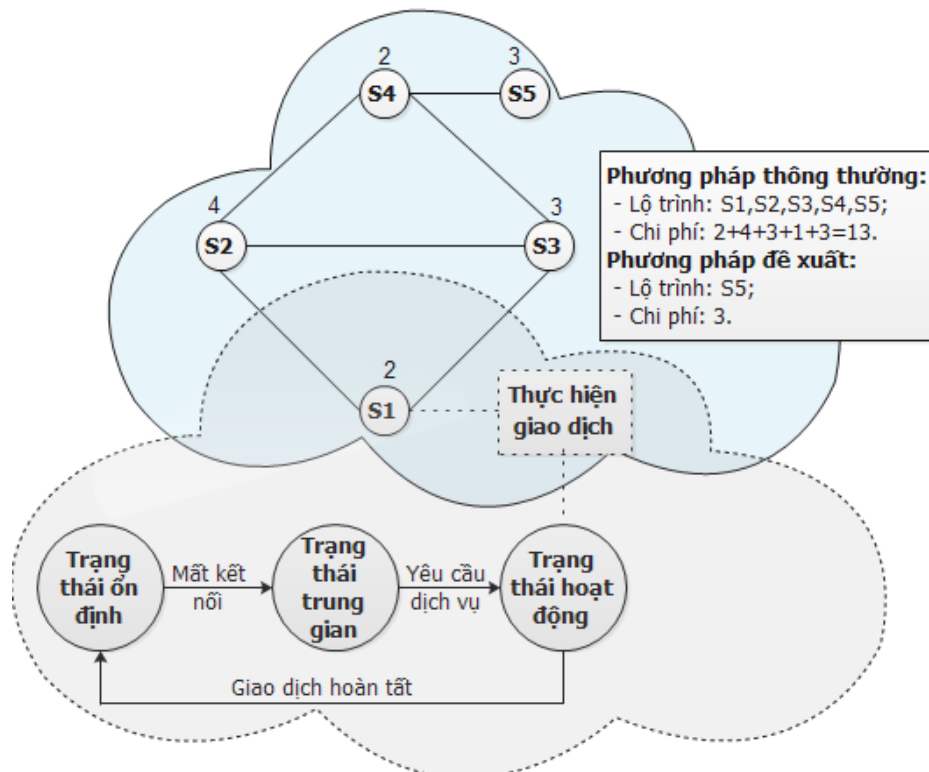
Khi đó, nếu mạng không áp dụng cơ chế hợp tác đã đề xuất, lộ trình tìm kiếm trên đám mây của một yêu cầu dịch vụ xuất phát từ MANET có thể như sau:

- Lộ trình tìm kiếm là: S1, S2, S3, S4, S5.
- Chi phí thực hiện giao dịch tìm kiếm sẽ tương ứng là 13 ($2+4+3+1+3$).

Nhưng nếu áp dụng cơ chế đề xuất:

- Dựa vào bản đồ thông tin, truy vấn sẽ được gửi trực tiếp từ S1 đến S5, do vậy, tiến trình sẽ chỉ thực hiện tìm kiếm tại S5 và chi phí tương ứng là: 3.

Chi phí thực hiện giao dịch tìm kiếm trên toàn hệ thống giảm do hệ thống không mất chi phí thực hiện tìm kiếm trong các máy chủ S1, S2, S3 và S4. Dựa vào bản đồ



Hình 4.11. Lộ trình và chi phí thực hiện giao dịch định tuyến, tìm kiếm dịch vụ.

thông tin, S1 đã biết rõ nơi có dịch vụ cần truy vấn. Giải pháp đề xuất làm giảm chi phí thực hiện giao dịch tìm kiếm, từ đó làm giảm tổng chi phí hoạt động của mạng.

4.2.4.2. Mô phỏng và phân tích kết quả

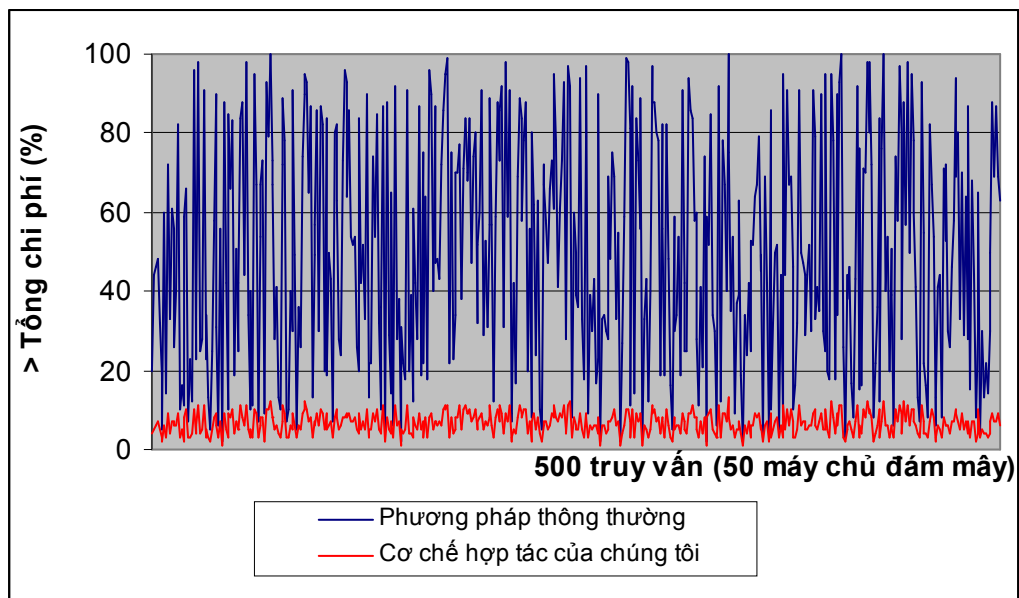
Để làm rõ hiệu quả cơ chế đề xuất, luận án thiết lập một hệ thống mô phỏng đơn giản với quy mô như sau:

Đám mây: Gồm hai kịch bản, lần lượt là: 50 máy chủ và 100 máy chủ.

MANET: gồm 100 nút mạng di động.

Giả thiết bất cứ khi nào mạng ở trạng thái hoạt động, các truy vấn được gửi bởi một Peer luôn có thể kết nối được với một Super-Peer sẵn sàng phục vụ. Trong vùng phủ, việc mất kết nối và các truy vấn dịch vụ được tạo ra một cách ngẫu nhiên.

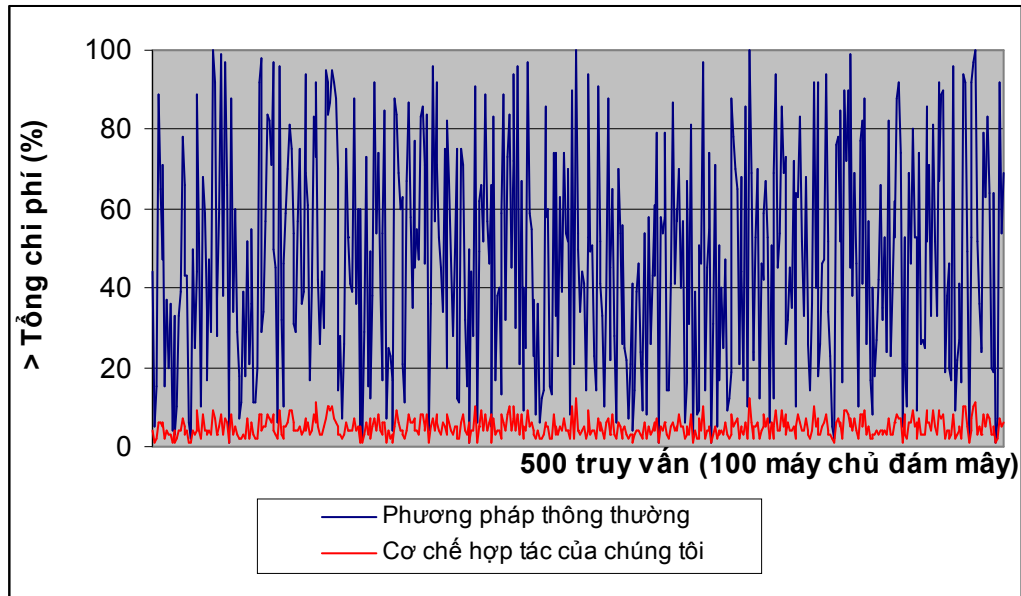
Mô phỏng thiết lập giả định chi phí thực hiện tìm kiếm tại mỗi máy chủ đám mây là một số nguyên ngẫu nhiên trong khoảng [1-5]. Thực tế, việc sử dụng số nguyên thay vì một đơn vị đo lường chi tiết nhằm mục đích đơn giản hóa vấn đề, từ đó luận án có thể tập trung làm rõ hơn ý tưởng của cơ chế đề xuất.



Hình 4.12. Chi phí thực hiện giao dịch tìm kiếm khi có 50 máy chủ.

Trong Hình 4.12 và Hình 4.13 trình bày chi phí thực hiện giao dịch tìm kiếm kết hợp định tuyến khi có 500 truy vấn trong mạng tương ứng với hai trường hợp mạng có 50 và 100 máy chủ đám mây. Kết quả cho thấy, giải pháp đề xuất có chi phí

thực hiện giao dịch tìm kiếm trung bình thấp hơn gần 3 lần so với phương pháp thông thường trong cả hai trường hợp. Ở đây, chi phí 100% là trường hợp xấu nhất, khi đó mạng phải thực hiện tìm kiếm trên toàn bộ đám mây. Đạt được kết quả như trên là do cơ chế đề xuất đã loại bỏ các giao dịch tìm kiếm dư thừa.



Hình 4.13. Chi phí thực hiện giao dịch tìm kiếm khi có 100 máy chủ.

4.3. Kết luận Chương 4

Trong chương này, luận án đề xuất 02 giải pháp:

- (1) Giải pháp tăng tuổi thọ mạng MANET, mà cụ thể là giao thức định tuyến tiết kiệm năng lượng AERP [J4]. Để đảm bảo cân bằng giữa tiết kiệm năng lượng và hiệu năng, giao thức HPLR đã được đề xuất, cải tiến từ AERP [C4].
- (2) Giải pháp kết hợp với đám mây để mở rộng không gian cho mạng MANET mà cụ thể là giải pháp kết hợp tìm kiếm và định tuyến dựa trên cơ chế phối hợp các máy chủ đám mây cho mạng Cloud-assited MANET nhằm giảm chi phí thực hiện các giao dịch định tuyến, tìm kiếm trong mạng [C3].

Kết quả đánh giá và so sánh hiệu năng trong một số kịch bản mô phỏng cụ thể cho thấy, các giao thức định tuyến và cơ chế đề xuất đã mở rộng thời gian/không gian hoạt động của MANET, từ đó cải thiện hiệu năng/hiệu quả của MANET so với các giao thức hay giải pháp truyền thống. Một số hạn chế và hướng nghiên cứu tiếp theo của mỗi giải pháp cũng được trình bày trong phần đánh giá giải pháp.

KẾT LUẬN

Nội dung luận án đã đạt được mục tiêu đề ra là nghiên cứu đề xuất giao thức, giải pháp để cải thiện hiệu năng mạng MANET. Các kiến thức nền tảng và các kết quả nghiên cứu đã được trình bày trong luận án với bố cục gồm bốn chương như sau: (1) Mạng MANET và bài toán cải thiện hiệu năng; (2) Định tuyến trong mạng MANET; (3) Định tuyến cải thiện hiệu năng mạng MANET và (4) Định tuyến nâng cao tuổi thọ của mạng MANET. Các kết quả đóng góp mới về khoa học của luận án có thể phân thành hai nhóm chính.

I. Đề xuất các giao thức định tuyến mới, cải thiện hiệu năng MANET.

Trong phần này gồm 3 kết quả nghiên cứu:

1.1) Đề xuất giao thức định tuyến A-WCETT

Giao thức này cải tiến từ WCETT, hoạt động đa kênh và dựa trên tác tử di động. Kết quả thực nghiệm cho thấy, giao thức A-WCETT với các cải tiến về tham số β cho hiệu năng tốt hơn giao thức WCETT và cao hơn nhiều lần so với các giao thức truyền thống như AODV và DSR. Kết quả nghiên cứu đã được tổng hợp trong Mục 3.1, Chương 3 và được công bố tại công trình số [J2].

1.2) Đề xuất giao thức định tuyến đa chi phí MM-AODV

Nghiên cứu này đề xuất giao thức định tuyến MM-AODV và thiết lập bộ tham số hiệu năng (α, β, γ), sử dụng hàm tính chi phí đa tham số để chọn tuyến nhằm nâng cao hiệu năng mạng MANET. Tùy theo giá trị bộ hệ số được thiết lập, giao thức MM-AODV sẽ chọn cơ chế định tuyến dựa trên: Số chặng nhỏ nhất ($\alpha = 1$), chất lượng tuyến đường ($\beta = 1$), độ dài hàng đợi ($\gamma = 1$) hoặc bộ hệ số cân bằng ($\alpha = \beta = \gamma = 1/3$). Kết quả mô phỏng cho thấy, giao thức định tuyến MM-AODV với bộ hệ số cân bằng cho hiệu năng tốt nhất. Kết quả nghiên cứu đã được tổng hợp trong Mục 3.2, Chương 3 và được công bố tại công trình số [C2].

1.3) Đề xuất giao thức định tuyến Q-AODV

Nghiên cứu này đề xuất giao thức định tuyến, gọi là Q-AODV, nhằm mục tiêu cải thiện hiệu năng cho các ứng dụng đa phương tiện hoạt động trên mạng MANET (Multimedia-MANET). Giao thức hoạt động tốt trong cả hai mô hình mạng *Thích*

nghe và *Cam kết*. Kết quả mô phỏng cho thấy, Q-AODV cải thiện tốt một số tiêu chí hiệu năng so với các giao thức truyền thống của MANET như AODV và DSR. Kết quả nghiên cứu đã được tổng hợp trong Mục 3.3, Chương 3 và được công bố tại công trình số [J3].

II. Đề xuất các giải pháp mở rộng khả năng, nâng cao tuổi thọ của mạng MANET

Trong phần này gồm 2 kết quả nghiên cứu:

2.1) Đề xuất giải pháp tăng tuổi thọ mạng MANET

Nghiên cứu đã đề xuất giao thức định tuyến AERP nhằm mục đích phân phối tải để tăng tuổi thọ cho mạng MANET. Cơ chế lựa chọn tuyến đường của AERP dựa trên mức năng lượng còn lại của nút mạng. Kết quả mô phỏng cho thấy, AERP cải thiện tuổi thọ và tỷ lệ phân phối gói tin so với các giao thức định tuyến truyền thống của MANET như AODV và DSR.

Nhận thấy hạn chế của AERP, luận án tiếp tục đề xuất giao thức định tuyến HPLR, cải tiến từ AERP. Kết quả mô phỏng cho thấy, HPLR cải thiện đáng kể hiệu năng mạng trên đa số các tiêu chí đánh giá. Kết quả nghiên cứu đã được tổng hợp trong Mục 4.1, Chương 4 và được công bố tại công trình số [J4] và [C4].

2.2) Giải pháp phối hợp mạng MANET và đám mây

Nghiên cứu đề xuất một giải pháp tìm kiếm kết hợp định tuyến dựa trên cơ chế hợp tác giữa các máy chủ đám mây trong mạng MANET hỗ trợ bởi đám mây (Cloud-assited MANET) nhằm giảm chi phí thực hiện giao dịch tìm kiếm. Kết quả mô phỏng cho thấy, giải pháp đề xuất có khả năng giảm mạnh chi phí thực hiện giao dịch tìm kiếm trong mạng Cloud-assited MANET. Từ đó nâng cao khả năng, thời gian hoạt động cho mạng MANET. Kết quả nghiên cứu đã được tổng hợp trong Mục 4.2, Chương 4 và được công bố tại công trình số [C3].

HƯỚNG PHÁT TRIỂN CỦA ĐỀ TÀI LUẬN ÁN

Trên cơ sở những kết quả đã đạt được trong quá trình thực hiện nghiên cứu luận án, nghiên cứu sinh nhận thấy một số hướng phát triển tiếp theo của luận án, như sau:

- 1) Tiếp tục nghiên cứu và đánh giá hiệu năng, tính khả thi khi áp dụng các giải pháp, giao thức đề xuất trong các lĩnh vực cứu hộ, điều khiển giao thông và các ứng dụng thông minh trong môi trường IoT.
- 2) Các giao thức đề xuất trên cơ sở cải tiến từ giao thức AODV, tuy nhiên, các cơ chế, mô hình và thuật toán hoàn toàn có thể áp dụng đối với các giao thức cơ sở khác như DSR. Từ đây, có thể hình thành lớp bài toán theo hướng nghiên cứu cải tiến, mở rộng các giao thức định tuyến khác cho mạng MANET.

Song song với các hướng nghiên cứu phát triển, luận án cũng nhận thấy một số điểm hạn chế, cần tiếp tục nghiên cứu mở rộng trong thời gian tiếp theo:

- 1) Khi thêm các trường để lưu thông tin vào phần tiêu đề của gói tin điều khiển sẽ dẫn đến kích thước gói tin bị tăng lên, tiêu tốn thêm băng thông, tài nguyên và năng lượng. Do đó, cần tiếp tục xem xét cụ thể các ảnh hưởng của vấn đề này.
- 2) Hiệu năng của mạng MANET bị ảnh hưởng rất nhiều bởi cấu trúc, tính di động và mật độ nút mạng. Với thời gian có hạn, luận án chưa xem xét được hết các trường hợp, do đó, đánh giá hiệu quả các giao thức đề xuất trong các cấu trúc mạng, tốc độ di chuyển và kịch bản khác nhau cần tiếp tục được nghiên cứu.
- 3) Một điểm hạn chế trong đề xuất cơ chế hợp tác cho cấu trúc mạng Cloud-assisted MANET là chưa đánh giá chi phí thiết lập, vận hành cơ chế cũng như việc tổ chức, lưu trữ các bản đồ thông tin. Vấn đề bảo mật bản đồ thông tin cũng chưa được xem xét. Các Super-Peer có thể bị cung cấp một bản đồ thông tin giả mạo dẫn tới việc tăng quá mức chi phí của hệ thống khi thực hiện các giao dịch tìm kiếm.
- 4) Vấn đề bảo mật thông tin định tuyến cũng chưa được xem xét. Rõ ràng, khi các nút mạng độc có thể tham gia vào mạng và quảng bá các thông tin định tuyến giả mạo là nguyên nhân khiến cho mạng bị tấn công dưới các hình thức khác nhau.
- 5) Ngoài ra, vấn đề phân tích, đánh giá độ phức tạp của các giải thuật sẽ được nghiên cứu sinh tiếp tục thực hiện trong các nghiên cứu tiếp theo.

CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ

BÀI BÁO KHOA HỌC

-
- [J1] Vu Khanh Quy, Nguyen Tien Ban, Vi Hoai Nam, Dao Minh Tuan, Nguyen Dinh Han, “*Survey of Recent Routing Metrics and Protocols for Mobile Ad-Hoc Networks*”, *Journal of Communications* (Scopus, Q4), Vol. 14, No. 2, pp. 110-120, 2019.
-
- [J2] Vũ Khánh Quý, Nguyễn Đình Hân, Nguyễn Tiến Ban, “*A-WCETT: Giao thức cải thiện hiệu năng mạng MANET 5G dựa trên tác tử di động*”, *Tạp chí CNTT & TT, Chuyên san các công trình nghiên cứu phát triển CNTT & TT*, số 17(37), pp. 14-21, 2017.
-
- [J3] Vu Khanh Quy, Nguyen Tien Ban, Nguyen Dinh Han, “*A High-Performance Routing Protocol for Multimedia Applications in MANETs*”, *Journal of Communications* (Scopus, Q4), Vol. 14, No. 4, pp. 267-274, 2019.
-
- [J4] Vu Khanh Quy, Nguyen Tien Ban, Nguyen Dinh Han, “*An Advanced Energy Efficient and High Performance Routing Protocol for MANETs in 5G*”, *Journal of Communications* (Scopus, Q4), Vol. 13, No. 12, pp. 743-749, 2018.
-

HỘI NGHỊ KHOA HỌC

-
- [C1] Vũ Khánh Quý, Nguyễn Tiến Ban, Nguyễn Đình Hân, “*Phân tích hiệu năng mạng MANET sử dụng các giao thức định tuyến AODV, DSR, OLSR và DSDV*”, Hội nghị Khoa học Quốc Gia lần thứ 11 về CNTT & TT (FAIR’11), 2018, pp. 404-412.
-
- [C2] Vu Khanh Quy, Nguyen Tien Ban, Nguyen Dinh Han, “*A Multi-Metric Routing Protocol to Improve the Achievable Performance of Mobile Ad Hoc Networks*”, 10th International Conference on Asian Conference on Intelligent Information and Database (ACIIDS 2018, Scopus), Springer, 2018, pp. 445-453.
-
- [C3] Vũ Khánh Quý, Nguyễn Đình Hân, “*Cơ chế hợp tác hiệu quả cho mạng MANET hỗ trợ bởi đám mây*”, Hội nghị Khoa học Quốc Gia lần thứ 8 về CNTT & TT (FAIR’8), 2015, pp. 102-111.
-
- [C4] Vu Khanh Quy, Nguyen Tien Ban, Nguyen Dinh Han, “*A High Performance and Longer Lasting Network Lifetime Routing Protocol for MANETs*”, 10th International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC 2018), IEEE Xplore, 2018, pp. 237-241.
-

TÀI LIỆU THAM KHẢO

TIẾNG VIỆT

- [1] Cung Trọng Cường, Nguyễn Thúc Hải, Võ Thanh Tú (2014), “Một thuật toán cải tiến sử dụng tác tử di động nâng cao hiệu quả giao thức định tuyến AODV”, *Tạp chí Công nghệ thông tin và Truyền thông*, 31, tr. 51-58.
- [2] Lương Thái Ngọc, Võ Thanh Tú (2016), “Giải pháp phát hiện tấn công ngập lụt trên mạng MANET”, *Hội thảo Khoa học Công nghệ Quốc gia về CNTT & TT lần thứ 9 (FAIR'9)*, tr. 165-172.

TIẾNG ANH

- [3] A. Abuashour, M. Kadoch (2017), “Performance Improvement of Cluster-Based Routing Protocol in VANET,” *IEEE Access*, 5, pp. 15355-15371.
- [4] Ahmad Mohamad Mezher, Mónica Aguilar Igartua (2017), “Multimedia Multimetric Map-Aware Routing Protocol to Send Video-Reporting Messages Over VANETs in Smart Cities,” *IEEE Trans. on Vehi. Tech.*, 66(12), pp. 10611-10625.
- [5] Aiqing Zhang, Lei Wang, Xinrong Ye, Xiaodong Lin (2017), “Light-Weight and Robust Security-Aware D2D-Assist Data Transmission Protocol for Mobile-Health Systems,” *IEEE Trans. on Information Forensics and Security*, 12(3), pp. 662-675.
- [6] Ali Mohamed E. Ejmaa, Shamala Subramaniam, Zuriati A. Zukarnain, Zurina Mohd Hanapi (2016), “Neighbor-Based Dynamic Connectivity Factor Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Network,” *IEEE Access*, 4, pp. 8053 - 8064.
- [7] Allen B. Downey (1999), “Using pathchar to Estimate Internet Link Characteristics,” *ACM SIGCOMM Comp. Comm. Review*, 29(4), pp. 241-250.
- [8] Ammar Gharaibeh, Mohammad A. Salahuddin, Sayed J. Hussini et al. (2017), “Smart Cities: A Survey on Data Management, Security and Enabling Technologies,” *IEEE Comm. Surveys & Tutorials*, 19(4), pp. 2456-2501.
- [9] Anastassios Michail, Anthony Ephremides (2003), “Energy-Efficient Routing for Connection-oriented Traffic in Wireless Ad-hoc Networks,” *Mobile Networks and Applications*, 8(5), pp. 517–533.
- [10] AODV, <https://www.ietf.org/rfc3561.txt>, accessed, April 21, 2018.
- [11] Aqeel Taha, Raed Alsaqour, Mueen Uddin, Maha Abdelhaq, Tanzila Saba (2017), “Energy Efficient Multipath Routing Protocol for Mobile Ad-Hoc Network Using the Fitness Function,” *IEEE Access*, 5, pp. 10369-10381.
- [12] Babatunde Ojetunde, Naoki Shibata, Juntao Gao (2017), “Secure Payment System Utilizing MANET for Disaster Areas,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, pp. 1-13.

- [13] C. Akansha, S. Vishnu (2016), “Review of Performance Analysis of Different Routing Protocols in MANETs,” *In Proc. IEEE International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA)*, pp. 541–545.
- [14] C. E. Koksal and H. Balakrishnan (2006), “Quality-Aware Routing Metrics for Time-Varying Wireless Mesh Networks,” *IEEE Journal on Selected Areas in Comm.*, 24(11), pp. 1984-1994.
- [15] C. M. Chao, J. P. Sheu, C. T. Hu (2003), “Energy-conserving Grid Routing Protocol in Mobile Ad hoc Networks,” *In Proc. International Conference on Parallel Processing*, pp. 265-272.
- [16] C.E. Perkins, P. Bhagwat (1994), “Highly Dynamic Destination Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers,” *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 24(4), pp. 234-244.
- [17] C.-K. Toh (2001), “Maximum Battery Life Routing to Support Ubiquitous Mobile Computing in Wireless Ad hoc Networks,” *IEEE Communications Magazine*, 39(6), pp. 138–147.
- [18] Cisco (2017), Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast (2016–2021).
- [19] D.S.J. De Couto, D. Aguayo, J. Bicket, R. Morris (2005), “A High-Throughput Path Metric for Multi-hop Wireless Routing,” *Journal Wireless Networks*, 11(4), pp. 419-434.
- [20] Dan Lin, Jian Kang, Anna Squicciarini, Yingjie Wu, Sashi Gurung, Ozan Tonguz (2017), “MoZo: A Moving Zone Based Routing Protocol Using Pure V2V Communication in VANETs,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 16(5), pp. 1357-1370.
- [21] Daqiang Zhang, Zhijun Yang, Vaskar Raychoudhury, Zhe Chen, Jaime Lloret (2013), “An Energy-Efficient Routing Protocol Using Movement Trends in Vehicular Ad hoc Networks,” *The Computer Journal*, 56(8), pp. 938-946.
- [22] Darren Hurley-Smith, Jodie Wetherall, Andrew Adekunle (2017), “SUPERMAN: Security Using Pre-Existing Routing for Mobile Ad hoc Networks,” *IEEE Trans. on Mobile Computing*, 16(10), pp. 2927-2940.
- [23] Deepak C. Karia, Vaibhav V. Godbole (2013), “New Approach for Routing in Mobile Ad-hoc Networks based on Ant Colony Optimisation with Global Positioning System,” *IET Networks*, 2(3), pp. 171–180.
- [24] Devarajan Jinil Persis, T. Paul Robert (2017), “Review of Ad-hoc On-demand Distance Vector Protocol and its Swarm Intelligent Variants for Mobile Ad-hoc Network,” *IET Networks Journal*, 6(5), pp. 87-93.
- [25] Dongkyun Kim, J. J. Garcia-Luna-Aceves, K. Obraczka, J.-C. Cano, P. Manzoni (2003), “Routing Mechanisms for Mobile Ad hoc Networks based on the Energy Drain Rate,” *IEEE Trans. on Mobile Computing*, 2(2), pp. 161-173.
- [26] DSR, <https://www.ietf.org/rfc4728.txt>, accessed, April 21, 2018.

- [27] E. Yitayal, J. M. Pierson and D. Ejigu (2014), “A Balanced Battery Usage Routing Protocol to Maximize Network Lifetime of MANET based on AODV,” *In Proc. 11th Inter. Conf. on Wireless Infor. Network and Systems (WINSYS)*, pp. 1-10.
- [28] Evripidis Paraskevas et al. (2014), “Multi-Metric Energy Efficient Routing in Mobile Ad-Hoc Networks,” *In Proc. IEEE Military Comm. Conf.*, pp. 1146-1151.
- [29] Fangming Liu, Peng Shu, Hai Jin, Linjie Ding, Jie Yu, Di Niu, Bo Li (2013), “Gearing Resource-Poor Mobile Devices with Powerful Clouds: Architectures, Challenges, and Applications,” *IEEE Wireless Communications*, 20(3), pp. 14–22.
- [30] Feilong Tang, Can Tang, Yanqin Yang, et al. (2017), “Delay-Minimized Routing in Mobile Cognitive Networks for Time-Critical Applications,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 13(3), pp. 1398-1409.
- [31] Floriano De Rango, Francesca Guerriero, and Peppino Fazio (2012), “Link-Stability and Energy Aware Routing Protocol in Distributed Wireless Networks,” *IEEE Tran. on Parallel and Distributed Systems*, 23(4), pp. 713-725.
- [32] Francesco Malandrino, Claudio Casetti, Carla-Fabiana Chiasserini (2014), “5G Networks: Towards D2D-Enhanced Heterogeneous Networks,” *IEEE Comm. Magazine*, pp. 94-100.
- [33] Ganbayar G., Anish P. S., Sang-Jo Yoo (2017), “Robust and Reliable Predictive Routing Strategy for Flying Ad-Hoc Networks,” *IEEE Access*, 5, pp. 643 - 654.
- [34] Geetha N., Sankar A. (2012), “Hop Count Based Energy Saving Dynamic Source Routing Protocol for Ad Hoc Network,” *In Proc. Inter. Conf. on Advances in Communication, Network, and Computing (CNC)*, Springer, vol. 108, pp.146-152.
- [35] George Hatzivasilis et al. (2017), “SCOTRES: Secure Routing for IoT and CPS,” *IEEE Internet of Things Journal*, 4(6), pp. 2129-2141.
- [36] Gupta N., Das S.R. (2002), “Energy-aware On-demand Routing for Mobile Ad hoc Networks,” *Lecture Notes in Computer Science*, Springer, vol. 2571, pp. 164–173.
- [37] Haiying Shen, Lianyu Zhao (2013), “ALERT: An Anonymous Location-Based Efficient Routing Protocol in MANETs,” *IEEE Trans. on Mobile Computing*, 12(6), pp. 1079-1093.
- [38] Hoon Chang, Vishal Misra and Dan Rubenstein (2005), “A New Routing Metric for High Throughput in Dense Ad Hoc Networks,” Technical Report: CUCS-047-05, Columbia University.
- [39] Ian F. Akyildiz, Won-Yeol Lee, Kaushik R. Chowdhury (2009), “CRAHNs: Cognitive radio Ad Hoc Networks,” *Ad Hoc Networks*, pp. 810–836.
- [40] J. F. Buford, H. Yu, E. K. Lua (2009), “P2P Networking and Applications,” *Morgan Kaufmann Publishers*.
- [41] Jiajia Liu, Xiaohong Jiang, Hiroki Nishiyama, et al. (2013), “Throughput Capacity of MANETs with Power Control and Packet Redundancy,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 12(6), pp. 3035–3047.

- [42] Jingjing Yan, Mengchu Zhou, Zhijun Ding (2016), “Recent Advances in Energy-Efficient Routing Protocols for Wireless Sensor Networks: A Review,” *IEEE Access*, 4, pp. 5673-5686.
- [43] Karim El Defrawy, Gene Tsudik (2011), “ALARM: Anonymous Location-Aided Routing in Suspicious MANETs.” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 10(9), pp. 1345-1358.
- [44] Karim El Defrawy, Gene Tsudik (2011), “Privacy-Preserving Location-Based On-Demand Routing in MANETs,” *IEEE J. on Selected Areas in Comm.*, 29(10), pp. 1926-1934.
- [45] Lajos Hanzo II and Rahim Tafazolli (2007), “A Survey of QoS Routing Solutions for Mobile Ad-hoc Network.” *IEEE Com. Survey*, 9(2), pp. 50-70.
- [46] Lei Chen, Wendi B. Heinzelman (2005), “QoS-Aware Routing Based on Bandwidth Estimation for Mobile Ad Hoc Networks,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2(3), pp. 561-572.
- [47] Li Xu, Liu T., Liu Ying, Tang Yan (2014), “Optimized Multicast Routing Algorithm Based on Tree Structure in MANETs,” *China Comm. J.*, 11(2), pp. 90-99.
- [48] M. Lampe, H. Rohling and W. Zirwas (2002), “Misunderstandings About Link Adaptation for Frequency Selective Fading Channels,” *In Proc. IEEE Inter. Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Comm. (PIMRC)*, pp. 710-714.
- [49] M. Yarvis et al. (2002), “Real-world Experiences with an Interactive Ad Hoc Sensor Network,” *In Proc. on Parallel Processing Workshop*, pp. 143-151.
- [50] Mahmoud Hashem Eiza, Qiang Ni (2013), “An Evolving Graph-Based Reliable Routing Scheme for VANETs,” *IEEE Trans. on Vehi. Tech.*, 62(4), pp. 1493-1504.
- [51] Md Zakirul Alam Bhuiyan, Guojun Wang, Jiannong Cao, Jie Wu (2015), “Deploying Wireless Sensor Networks with Fault-Tolerance for Structural Health Monitoring,” *IEEE Transactions on Computers*, 64(2), pp. 382–395.
- [52] Muthumanickam Gunasekaran, Kandhasamy Premalatha (2013), “TEAP: Trust-Enhanced Anonymous On-demand Routing Protocol for Mobile Ad hoc Networks,” *IET Infor. Sec.*, 7(3), pp. 203–211.
- [53] N. Marchang and R. Datta (2011), “Light-weight trust-based Routing Protocol for Mobile Ad hoc Networks,” *IET Information Security*, 6(2), pp. 77–83.
- [54] N.-C. Wang (2012), “Power-aware Dual-tree-based Multicast Routing Protocol for Mobile Ad hoc Networks,” *IET Communications*, 6(7), pp. 724–732.
- [55] Nguyen Dinh Han, Yonghwa Chung, Minh Jo (2015), “Green Data Centers for Cloud-Assisted Mobile Ad-Hoc Networks in 5G,” *IEEE Network*, 29(2), pp. 70-76.
- [56] Nizar Alsharif, Xuemin Shen (2017), “iCAR-II: Infrastructure-Based Connectivity Aware Routing in Vehicular Networks,” *IEEE Trans. on Vehicular Tech.*, 66(5), pp. 4231-4244.
- [57] OLSR, <https://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt>, accessed, April 21, 2018.
- [58] OLSRD, [http://www. Olsr.org](http://www.Olsr.org), accessed April 20, 2018.

- [59] Paolo Bellavista, Antonio Corradi, Luca Foschini (2013), “Self-Organizing Seamless Multimedia Streaming in Dense MANETs,” *IEEE Pervasive Computing*, 12(1), pp. 68-78.
- [60] Patrick Lieser, Flor Alvarez, Paul Gardner-Stephen, et al. (2017), “Architecture for Responsive Emergency Communications Networks,” *In Proc. IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, pp. 1-9.
- [61] Paul J. Nicholas, Karla L. Hoffman (2016), “Optimal Channel Assignment for Military MANET using Integer Optimization and Constraint Programming,” *IEEE Military Communications Conference*, pp. 1114–1120.
- [62] Peppino Fazio, Floriano De Rango, Cesare Sottile (2016), “A Predictive Cross-Layered Interference Management in a Multichannel MAC with Reactive Routing in VANET,” *IEEE Trans. on Mobile Computing*, 15(8), pp. 1850 - 1862.
- [63] Per Johansson, Tony Larsson, Nicklas Hedman, Bartosz Mielczarek, Mikael Degermark (1999), “Scenario-based Performance Analysis of Routing Protocols for Mobile Ad-hoc Networks,” *In Proc. 5th Annu. ACM/IEEE on Mobile Computing and Networking*, pp. 195–206, doi:10.1145/313451.313535.
- [64] Q. Han, Y. Bai, L. Gong, W. Wu (2011), “Link Availability Prediction-based Reliable Routing for MANETs,” *IET Comm.*, 16(5), pp. 2291–2300.
- [65] Q. Luo, J. Wang (2017), “Multiple QoS Parameters-Based Routing for Civil Aeronautical Ad Hoc Networks,” *IEEE Internet of Things J.*, 4(3), pp. 804 - 814.
- [66] Qing Ding, Bo Sun, Xinming Zhang (2016), “A Traffic-Light-Aware Routing Protocol Based on Street Connectivity for Urban Vehicular Ad Hoc Networks,” *IEEE Comm. Letters*, 20(8), pp. 1635-1638.
- [67] R. Draves, J. Padhye, B. Zill (2004), “Routing in Multi-radio, Multi-hop Wireless Mesh Networks,” *In Proc. on Inter. Conf. ACM MobilCom, USA*, pp. 114-128.
- [68] R. Dube, C.D. Rais, Kuang-Yeh Wang, S.K. Tripathi (1997), “Signal Stability based Adaptive Routing (SSA) for Ad hoc Mobile Networks,” *IEEE Personal Communications*, 4(1), pp. 36-45.
- [69] Radwa Attia, R. Rizk, Hesham A. Ali (2015), “A Survey based study: Internet Connectivity for Mobile Adhoc Network,” *Wireless Netw. J.*, pp. 221-239.
- [70] Rana Asif Rehman, Syed Hassan Ahmed, Byung-Seo Kim (2017), “OEFS: On-Demand Energy-Based Forwarding Strategy for Named Data Wireless Ad Hoc Networks,” *IEEE Access*, 5, pp. 6075-6086.
- [71] Richard Draves, Jitendra Padhye, and Brian Zill (2004), “Comparison of Routing Metrics for Static Multi-hop Wireless Networks,” *ACM SIGCOMM Computer Comm. Review*, 34(4), pp. 133–144.
- [72] S. Salim, S. Moh (2013), “On-Demand Routing Protocols for Cognitive Radio Ad Hoc Networks,” *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2013(1), pp. 1-10.

- [73] S. Singh, M. Woo, C. Raghavendra, (1998), "Power-aware Routing in Mobile Ad Hoc Networks," *In Proc. 4th Inter. Conf. ACM/IEEE on Mobile Computing and Networking*, pp. 181–190.
- [74] S.A. Abid, Mazliza Othman, Nadir Shah (2013), "Exploiting 3D Structure for Scalable Routing in MANETs," *IEEE Comm. Letters*, 17(11), pp. 2056-2059.
- [75] Sabih ur Rehman, M. Arif Khan, Muhammad Imran, et al. (2017), "Enhancing Quality-of-Service Conditions Using a Cross-Layer Paradigm for Ad-Hoc Vehicular Communication," *IEEE Access*, 5, pp. 12404-12416.
- [76] Sajal Sarkar, Raja Datta (2017), "Mobility-Aware Route Selection Technique for Mobile Ad Hoc Networks," *IET Wireless Sensor Systems*, 7(5), pp. 55-64.
- [77] Shiva Shankar et al. (2014), "Importance of On-demand Modified Power Aware Dynamic Source Routing Protocol in Mobile Ad-hoc Networks," *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 8(7), pp. 459–464.
- [78] Shivashankar, Hosahalli Narayanagowda Suresh, Golla Varaprasad, Guruswamy Jayanthi (2014), "Designing Energy Routing Protocol with Power Consumption Optimization in MANET," *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, 2(2), pp. 192-197.
- [79] Stefano Buzzi, Chih-Lin I, Thierry E. Klein, H. Vincent Poor, Chenyang Yang, Alessio Zappone (2016), "A Survey of Energy-Efficient Techniques for 5G Networks and Challenges Ahead," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 34(4), pp. 697–709.
- [80] Trung Dung Nguyen, Van Duc Nguyen, Thanh Tung Nguyen, Trong Hieu Pham, Van Tien Pham, Wakasugi Koichiro (2013), "An Energy-Efficient Ring Search Routing Protocol Using Energy Parameters in Path Selection," *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, 109, pp. 72-85.
- [81] Victor Govindaswamy et al. (2011), "Survey of Recent Position Based Routing Mobile Ad-hoc Network Protocols," *In Proc. of 13th Inter. Conf. on Computer Modelling and Simulation*, pp. 467-471.
- [82] Vu Khanh Quy, Nguyen Tien Ban and Nguyen Dinh Han (2018), "A Multi-Metric Routing Protocol to Improve the Achievable Performance of Mobile Ad Hoc Networks," *SCI 769, Springer*, pp. 445-453.
- [83] Vu Khanh Quy, Vi Hoai Nam, Dao Minh Tuan, Nguyen Tien Ban, Nguyen Dinh Han (2018), "Survey of Recent Routing Metrics and Protocols for Mobile Ad-Hoc Networks," *Journal of Communications, Vol. 14(2)*, pp. 110-120.
- [84] W. Castellanos, J.C. Guerri, P. Arce (2016), "Performance Evaluation of Scalable Video, Streaming in Mobile Ad hoc Networks," *IEEE Latin America Transactions*, 14(1), pp. 122-129.
- [85] Wei Liu, Ming Yu (2014), "AASR: Authenticated Anonymous Secure Routing for MANETs in Adversarial Environments," *IEEE Trans. on Vehicular Tech.*, 63(9), pp. 4585-4593.

- [86] Wei Sun, Zheng Yang, Xinglin Zhang, Yunhao Liu (2014), “Energy-Efficient Neighbor Discovery in Mobile Ad Hoc and Wireless Sensor Networks: A Survey,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(3), pp. 1448-1459.
- [87] Wen-Kuang Kuo, Shu-Hsien Chu (2016), “Energy Efficiency Optimization for Mobile Ad Hoc Networks,” *IEEE Access*, 4, pp. 928-940.
- [88] Wilder Castellanos, Juan Carlos Guerri, Pau Arce (2016), “Performance Evaluation of Scalable Video Streaming in Mobile Ad hoc Networks,” *IEEE Latin America Transactions*, 14(1), pp. 122–129.
- [89] Xiaoqin Chen, Haley M. Jones, Dhammika Jayalath (2011), “Channel-Aware Routing in MANETs with Route Handoff,” *IEEE Trans. On Mobile Computing*, 10(1), pp. 108-121.
- [90] Xiaoyan Wang, Jie Li (2015), “Improving the Network Lifetime of MANETs through Cooperative MAC Protocol Design,” *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 26(4), pp. 1010–1020.
- [91] Xin Ming Zhang, En Bo Wang, Jing Jing Xia, Dan Keun Sung (2011), “An Estimated Distance-Based Routing Protocol for Mobile Ad hoc Networks,” *IEEE Trans. on Vehicular. Tech.*, 60(7), pp. 3473-3484.
- [92] Y. Yan, K. Tian, K. Huang, B. Zhang, J. Zheng (2012), “D-ODMRP: A Destination-driven On-Demand Multicast Routing Protocol for Mobile Ad hoc Networks,” *IET Communications*, 6(9), pp. 1025–1031.
- [93] Yu-Hsun Chen, Hsiaokuang Wu, Chun-Han Lin, Gen-Huey Chen (2018), “Bandwidth-Satisfied and Coding-Aware Multicast Protocol in MANETs,” *IEEE Trans. on Mobile Computing*, 17(8), pp. 1778-1790.
- [94] Ze Li, Haiying Shen (2014), “A QoS-Oriented Distributed Routing Protocol for Hybrid Wireless Networks,” *IEEE Trans. on Mobile Comp.*, 13(3), pp. 693-708.
- [95] Zehua Wang, Yuanzhu Chen, Cheng Li (2014), “PSR: A Light-Weight Proactive Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, pp. 859–868.
- [96] Zheng-Yu Wu, Han-Tao Song (2010), “Ant-based Energy-aware Disjoint Multipath Routing Algorithm for MANETs,” *The Computer Journal*, 53(2), pp. 166-176.

PHỤ LỤC

Phụ lục A: Danh sách các giao thức định tuyến đề xuất cho MANET công bố trên IEEE Xplore Digital Library giai đoạn 2010-2017 được luận án khảo sát [83].

	Protocol	Metrics	Compare	Delay	PDR	Energy	Overhead	Special
Performance Overall	LBRP [64]	Link Quality	AODV, DSR, ZRP	YES	YES	NO	YES	NO
	CA-AOMDV [89]	Hopcount	AOMDV	YES	YES	NO	YES	YES
	EDRP [91]	Link Quality	AODV, PGP	YES	YES	NO	YES	NO
	D-ODMRP [92]	Delay	ODMRP	NO	YES	NO	YES	NO
	3DLIS [74]	Information Neighbors	MDART	YES	YES	NO	YES	YES
	OANTGPS [23]	Phenomenon	AODV, AOMDV, DSR, ANET	YES	YES	NO	NO	NO
	PSR [95]	Topology Information	OLSR, DSDV, DSR	YES	YES	NO	YES	NO
	IAR [62]	Signal-to-Interference Ratio	CLWPR, PIAR, SPIAR	YES	YES	NO	YES	YES
	DCFP [6]	Connectivity Factors	NCPR, AODV	YES	YES	YES	YES	NO
	TLRC [66]	The street, The Number of Vehicles	GyTAR, STAR	YES	YES	NO	NO	NO
	iCAR-II [56]	Location, Speed, Direction	GPSR, GSR, GyTAR	YES	YES	NO	YES	YES
	3MRP [4]	Distance, Trajectory, Density, Losses	GPSR and VIRTUS	YES	YES	NO	NO	YES
	ZoMo [20]	Location based GPS	CBDRP, Brave	YES	YES	NO	YES	YES
	CBLTR [3]	Location, Throughput	CBVANET, AODV-CV, CBDRP	YES	NO	YES	YES	YES
RARP [33]	Connection Time, Hop Count, Risk	Conventional	NO	YES	NO	NO	YES	
QoS Aware	QOD [94]	Queue Length, Mobility	E-AODV, S-Multihop, Two-hop	YES	NO	NO	YES	NO
	EG-RAODV [50]	Link Reliable	AODV, PBR	YES	YES	NO	YES	YES
	MAODV-BB [47]	Hopcount	MAODV	YES	YES	NO	YES	YES
	BCMRP [93]	Residual Bandwidth	DCAR	NO	YES	NO	YES	YES
	CLDBRP [75]	Channel Quality	A lot of Scenarios	YES	YES	NO	NO	YES

	Protocol	Metrics	Compare	Delay	PDR	Energy	Overhead	Special
	MQSPR [65]	Delay, Availability, Load	AODV, GPSR	YES	YES	NO	YES	YES
	DMR [30]	Delay	ETT & EMAT	YES	YES	NO	NO	YES
Energy Aware	AEADMRA [96]	Energy	ADRA, AOMDV, DSR, EC-GPSR	YES	YES	YES	YES	NO
	LAER [31]	Link Stability, Drain Rate	GPSR, E-GPSR, ERRA, LAER	NO	YES	YES	YES	YES
	PDTMRP [54]	Hopcount, Power	MAODV, RMAODV, Parallel MNTMR	YES	YES	YES	YES	NO
	DEL-CMAC [90]	Location, Power	IEEE 802.11 DCF, CoopMAC	YES	NO	YES	NO	YES
	ERBA [21]	Link Reliable	AODV, ROMSGP	YES	YES	NO	NO	YES
	EPRDSR [77]	Power	DSR, MPTR	YES	YES	YES	NO	YES
	FF-AOMDV [11]	Hopcount, Energy, Location	AOMDV, AOMR-LM	YES	YES	YES	YES	YES
	OEFS [70]	Residual Energy	E-CHANET	NO	NO	YES	NO	YES
Security Aware	PRISM [44]	Hopcount	ALARM	NO	NO	NO	NO	YES
	ALARM [43]	Link State Location	OLSR	NO	NO	NO	YES	YES
	LTB-AODV [53]	Hopcount	AODV	YES	YES	NO	YES	YES
	ALERT [37]	Location	AO2P, ALARM, GPSR	YES	YES	NO	NO	YES
	TEAP [52]	Hopcount	MASK	YES	YES	NO	YES	NO
	AASR [85]	Hopcount	AODV, ANODR,	YES	NO	NO	NO	YES
	SUPERMAN [22]	Link state	IPSec, SAODV, SOLSR	YES	NO	NO	YES	NO
	SCOTRES_DSR [35]	Energy, Topology, Channel-Health	A lot of Protocols	YES	YES	NO	NO	YES