

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG



TÓM TẮT
LẬP TRÌNH MẠNG

CHỦ ĐỀ:

Mô phỏng và đánh giá mạng UAV dùng MEC

Sinh viên thực hiện: Trần Đăng Bách – 106220244

Trịnh Anh Nhật – 106220230

Huỳnh Công Huy - 106220253

Lớp : 22KTMT

Đà Nẵng, 09/2025

I. Tổng quan hệ thống

1. Mục tiêu nghiên cứu

Đề tài tập trung xây dựng mô hình mang UAV hỗ trợ tính toán biên (UAV-assisted MEC) trên nền tảng NS-3 nhằm giải quyết hai bài toán cốt lõi:

- Quản lý di động (Mobility Management): Đánh giá hiệu năng chuyển giao (Handover) khi người dùng di chuyển qua vùng phủ sóng của các UAV.
- Di trú dịch vụ (Service Migration): Phân tích độ trễ và gián đoạn dịch vụ gây ra bởi quá trình di chuyển dữ liệu tính toán (Context Migration) giữa các nút biên MEC.

2. Mô hình Kiến trúc (System Architecture)

Hệ thống được thiết kế theo mô hình phân cấp Hybrid Cloud-Edge gồm 3 tầng:

- Tầng Mạng lõi (Core/Cloud): Bao gồm các nút EPC (PGW, SGW, MME) và Remote Host. Đóng vai trò cung cấp nội dung băng thông rộng (Video Streaming) và quản lý định tuyến.
- Tầng Biên (Edge - UAVs): Các UAV đóng vai trò là trạm phát sóng trên không (Aerial eNBs) tích hợp MEC Server, hoạt động ở độ cao 30m.
- Tầng Người dùng (User - UEs): Các thiết bị di động mặt đất thực hiện truy cập dịch vụ và yêu cầu tính toán.

II. Kịch bản mô phỏng

1. Thiết lập Môi trường và Kênh truyền (Realistic Channel)

Khác với các nghiên cứu cơ bản sử dụng mô hình Friis (chân không), đề tài áp dụng tổ hợp mô hình kênh truyền phức tạp để phản ánh môi trường đô thị thực tế:

- Suy hao đường truyền (Pathloss): Sử dụng mô hình Log-Distance với hệ số mũ $\alpha = 3.0$. Điều này mô phỏng sự suy giảm tín hiệu nhanh trong môi trường có vật cản đô thị.
- Hiệu ứng Pha định (Fading): Tích hợp mô hình Nakagami-m Fading, tạo ra sự dao động ngẫu nhiên của tín hiệu (Fast Fading) do tán xạ đa đường, làm cho quyết định Handover trở nên khó khăn và thực tế hơn.

2. Chiến lược Di chuyển Lai ghép (Hybrid Mobility Strategy)

Hệ thống không sử dụng các nút tĩnh hoàn toàn mà áp dụng 3 mô hình vận động khác nhau:

- UAV (Mobile Base Stations): Sử dụng WaypointMobilityModel. Các UAV bay theo quỹ đạo tuần tra (Patrol Path) hình tam giác hoặc qua lại quanh khu vực phụ trách (bán kính ~40m) thay vì đứng yên, tạo ra sự biến thiên động về vùng phủ sóng.

2. UE nền (UE 1, UE 3 - Background Traffic): Sử dụng RandomWalk2dMobilityModel. Di chuyển ngẫu nhiên trong vùng giới hạn, tạo ra nhiễu nền và cạnh tranh tài nguyên không xác định.
3. UE Kiểm thử (UE 2 - Test User): Sử dụng WaypointMobilityModel. Di chuyển tuyến tính với tốc độ trung bình 2.3 m/s xuyên qua tâm vùng phủ sóng của 3 UAV (UAV 1 → UAV 2 → UAV 3) nhằm kích hoạt các sự kiện Handover tất định để đo đặc.

3. Mô hình Lưu lượng và Cơ chế MEC (Traffic & MEC Logic)

Lưu lượng (Traffic): Sử dụng giao thức UDP theo mô hình luồng xuống (Downlink) liên tục, mô phỏng dịch vụ Video Streaming thời gian thực (Real-time Application).

- Tốc độ gửi: ~3 Mbps (Packet Size: 1472 bytes, Interval: 4ms).
- Mục đích: "Stress Test" khả năng chịu tải và duy trì kết nối của mạng.

Cơ chế Handover: Sử dụng thuật toán A3 Event (dựa trên RSRP) với độ trễ biên (Hysteresis) là 0.1dB và thời gian kích hoạt (Time-to-Trigger) là 20ms.

Cơ chế MEC Migration: Hệ thống tích hợp thuật toán phát hiện chuyển vùng tại tầng ứng dụng. Khi phát hiện thay đổi Cell ID, một khoảng thời gian phạt Migration Penalty = 50ms được cộng thêm vào độ trễ để mô phỏng quá trình di trú bối cảnh (Context Transfer).

4. Bảng tham số mô phỏng chính

Bảng 1. Các tham số mô phỏng chính

Hạng mục	Tham số	Giá trị
Hệ thống	Băng thông (Bandwidth)	5 MHz (25 RBs)
	Công suất phát (Tx Power)	43 dBm
Kênh truyền	Pathloss Model	Log-Distance (Exponent=3.0)
	Fading Model	Nakagami-m
Ứng dụng	Giao thức	UDP CBR (Video Stream)
	Application Rate	~3 Mbps
MEC	Migration Penalty	50 ms
Mô phỏng	Thời gian	100 giây

III. Phân tích kết quả

Dựa trên dữ liệu trích xuất từ FlowMonitor và Trace file, nhóm thực hiện phân tích hiệu năng trên 3 khía cạnh: Vật lý, Mạng và Ứng dụng.

1. Đánh giá Tín hiệu và Handover (Lớp Vật lý)

- Phân tích Handover: Biểu đồ RSRP cho thấy rõ quá trình chuyển đổi trạm phục vụ (Serving Cell) của UE 2. UE lần lượt kết nối với UAV 1, sau đó chuyển sang UAV 2 tại $t \approx 35s$, và sang UAV 3 tại $t \approx 65s$. Các điểm giao cắt diễn ra dứt khoát.
- Tác động của Fading: Quan sát biểu đồ SINR, ta thấy tín hiệu không phải là đường thẳng mà dao động mạnh (tạo thành các vệt màu). Điều này chứng minh mô hình Nakagami Fading đã hoạt động, tái hiện hiện tượng tán xạ đa đường trong môi trường đô thị, khác biệt hoàn toàn với các mô phỏng lý thuyết sử dụng kênh truyền lý tưởng.
- Vùng biên (Cell Edge): Tại các thời điểm chuyển giao, SINR suy giảm nghiêm trọng xuống mức đáy (đáy chữ V), nguyên nhân là do tại vùng giao thoa, công suất tín hiệu từ trạm phục vụ giảm mạnh, trong khi nhiễu giao thoa từ trạm hàng xóm tăng cao. Đây là nguyên nhân chính dẫn đến sự suy giảm chất lượng dịch vụ tạm thời.

2. Đánh giá Độ ổn định Dịch vụ (Lớp Mạng)

Để làm rõ tác động của tính di động, nhóm thực hiện so sánh hiệu năng giữa Người dùng di động (UE 2) và Người dùng tĩnh (UE 1, UE 3).

- Người dùng Tĩnh (Baseline): Các đường màu xanh và cam duy trì ổn định ở mức 3 Mbps. Điều này chứng minh rằng trong điều kiện bình thường, băng thông hệ thống (18 Mbps) hoàn toàn đáp ứng đủ nhu cầu dịch vụ, không xảy ra nghẽn mạng. Các dao động biên độ nhỏ quan sát được là do nhiễu nền ngẫu nhiên nhưng không gây gián đoạn dịch vụ.
- Người dùng Di động: Đường màu đỏ chịu sự biến động dữ dội trong khoảng 10 giây quanh thời điểm Handover.
 - Sụt giảm (Dip): Thông lượng rớt về 0 do ngắt kết nối vật lý.
 - Tăng vọt (Burst): Ngay sau khi kết nối lại, thông lượng vọt lên 5-7 Mbps. Đây là hiện tượng xả hàng đợi (Buffer Flushing), chứng tỏ cơ chế đệm của mạng LTE hoạt động hiệu quả để bù đắp dữ liệu trễ.

3. Đánh giá Hiệu năng MEC và Độ tin cậy (Lớp Ứng dụng)

- Độ trễ MEC (Latency): Kết quả ghi nhận các đinh nhọn (Spikes) về độ trễ tại thời điểm Handover, đạt mức $\sim 1000ms$. Tổng độ trễ này được cấu thành từ hai yếu tố:
 - Độ trễ mạng: Thời gian chờ kết nối lại và thời gian xếp hàng truyền lại
 - Chi phí Di trú (Migration Penalty): Hệ thống đã mô hình hóa việc cộng thêm 50 ms vào tổng độ trễ. Con số này đại diện cho thời gian cần thiết để đóng băng, chuyển giao trạng thái và khôi phục container ứng dụng giữa hai UAV MEC.

→ Mặc dù 50ms có vẻ nhỏ so với tổng độ trễ, nhưng trong các hệ thống thực tế, quy trình này là yếu tố chặn (blocking factor) buộc dịch vụ phải tạm dừng hoàn toàn.

- Jitter: Độ rung trễ của UE di động (~1.70ms) cao gấp đôi so với UE tĩnh
 - Nguyên nhân: do sự gia tăng đột biến này là hệ quả trực tiếp của quá trình chuyển giao (Handover) và thay đổi đường dẫn (Path Switching)
 - Ảnh hưởng trực tiếp đến Trải nghiệm người dùng (QoE). Trong ứng dụng điều khiển UAV, Jitter cao sẽ gây ra hiện tượng giật hình cục bộ hoặc độ trễ không đồng đều khi thực thi lệnh điều khiển.

IV. Kết luận và hướng phát triển

1. Kết luận

Đồ án đã xây dựng thành công kịch bản mô phỏng mạng UAV-MEC trong môi trường 3D thực tế trên NS-3. Các kết quả chính đạt được bao gồm:

1. Xác thực mô hình: Hệ thống thực hiện thành công quy trình Handover liên tiếp qua 3 trạm UAV trong điều kiện kênh truyền có pha định (Fading) phức tạp.
2. Đánh giá định lượng: Đã lượng hóa được mức độ suy giảm hiệu năng do tính di động: Tỷ lệ mất gói tăng 12% và Jitter tăng gấp đôi so với điều kiện tĩnh.
3. Chứng minh vai trò của MEC: Mô phỏng đã chỉ ra rằng độ trễ dịch vụ không chỉ phụ thuộc vào mạng truyền dẫn mà còn chịu ảnh hưởng lớn bởi chi phí di trú dữ liệu (Migration Penalty), là yếu tố then chốt cần tối ưu trong mạng 5G/6G.

2. Hạn chế và Hướng phát triển

- Hạn chế: Mô phỏng hiện tại sử dụng giá trị phạt di trú cố định (50ms) và chưa tính toán đến tiêu thụ năng lượng của UAV.
- Hướng phát triển:
 - Áp dụng các thuật toán Handover thông minh (Fuzzy Logic, Machine Learning) như đề xuất của Zhong et al. [1] để giảm thiểu số lần chuyển giao không cần thiết.
 - Tích hợp module năng lượng để tối ưu hóa quỹ đạo bay của UAV dựa trên cân bằng giữa vùng phủ sóng và tuổi thọ pin.