

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



ĐỖ TRUNG ANH

NGHIÊN CỨU TỐI ƯU HÓA THÔNG LƯỢNG VÀ  
ĐỘ TRỄ TRONG MẠNG VÔ TUYẾN HƯỚNG NỘI DUNG  
SỬ DỤNG KỸ THUẬT ĐỆM DỮ LIỆU

Chuyên ngành: Kỹ thuật viễn thông  
Mã số: 9.52.02.08

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI - 2021

Công trình được hoàn thành tại:  
**HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG**

---

Người hướng dẫn khoa học: PGS.TS. Đặng Hoài Bắc

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án được bảo vệ tại Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ cấp Học viện họp tại Học viện theo quyết định số .../QĐ-HV ngày...tháng...năm 2021 của Giám đốc Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, họp tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông vào hồi...giờ...tháng...năm 2021

Có thể tìm hiểu luận án tại:

1. Thư viện Quốc gia Việt Nam

1. Thư viện Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

## MỞ ĐẦU

Thế hệ mạng vô tuyến 5G và các thế hệ mạng vô tuyến tiếp theo hứa hẹn khả năng hỗ trợ các kết nối nhanh với độ tin cậy cao, và đồng thời đáp ứng được mức độ gia tăng về lưu lượng dữ liệu người dùng trong tương lai. Tuy nhiên, các yêu cầu về các tài nguyên như năng lượng và băng thông truyền dữ liệu lại không thể tăng lên tỷ lệ thuận với sự phát triển của lưu lượng dữ liệu người dùng. Theo dự báo của Cisco, lưu lượng dữ liệu sử dụng của các thiết bị di động năm 2022 cao hơn gấp 7 lần so với năm 2017, đạt xấp xỉ 77,5 exabytes dữ liệu mỗi tháng cho đến năm 2022. Trong đó, các đoạn phim video là đối tượng dữ liệu chính do sự phát triển lớn mạnh của các dịch vụ video trực tuyến theo yêu cầu người dùng từ các nhà cung cấp phổ biến như Youtube, Netflix, iTunes, hay Amazon Prime.

Những yêu cầu đối với các dịch vụ truyền thông vô tuyến đã và đang dịch chuyển dần từ các dịch vụ hướng kết nối là các dịch vụ thoại truyền thống và tin nhắn văn bản sang các dịch vụ hướng nội dung, điển hình là các dịch vụ đa phương tiện, mạng xã hội và các ứng dụng di động. Với việc lưu lượng dữ liệu người dùng sử dụng tăng cao đáng kể trong thế hệ thông tin di động thứ 5 và các thế hệ tương lai, các điểm kết nối của đường truyền mạng lõi backhaul và các điểm truy nhập sẽ phải xử lý khối lượng lưu lượng dữ liệu trao đổi rất lớn. Trên thực tế, luôn luôn tồn tại khoảng cách rất lớn giữa mong muốn, nhu cầu sử dụng dịch vụ của người dùng với sự đáp ứng của các nhà cung cấp dịch vụ mạng. Người tiêu dùng có nhu cầu sử dụng lưu lượng dữ liệu rất lớn nhưng chi trả cho dịch vụ dữ liệu của các nhà mạng lại hạn chế. Trong khi đó, do giới hạn của các đường truyền mạng lõi và năng lực xử lý dữ liệu tại các nút mạng, các nhà mạng bị giới hạn về khả năng đáp ứng nhu cầu dữ liệu của người tiêu dùng nên luôn có những quy định chặt chẽ về mặt băng thông và các gói cước kèm kinh phí. Những bùng nổ về nhu cầu sử dụng dữ liệu của người tiêu dùng dẫn đến nhiều vấn đề đối với các nhà cung cấp dịch

vụ mạng. Để có thể đáp ứng được nhu cầu và nhận được sự hài lòng về chất lượng dịch vụ của người tiêu dùng thì việc tìm kiếm các giải pháp về mặt kỹ thuật để giải quyết các vấn đề liên quan tới giới hạn của khả năng truyền tải của mạng là việc cấp thiết của các nhà cung cấp dịch vụ mạng. Điều này dẫn đến gánh nặng về tài chính đối với các nhà mạng khi yêu cầu đòi hỏi về việc nâng cấp đường truyền mạng lỗi trở nên vô cùng rõ ràng.

Trong các kỹ thuật mới nổi khác liên quan đến vấn đề đáp ứng nhu cầu lớn của truyền tải dữ liệu của mạng đang được đề xuất, kỹ thuật đệm dữ liệu (caching), lưu trữ dữ liệu trong mạng cho phép truyền dữ liệu offloading đang là phương pháp nhận được nhiều sự quan tâm chú ý của các nhà khoa học với những ưu điểm hứa hẹn phù hợp với tương lai mạng vô tuyến. Việc cho phép các thực thể mạng (trạm gốc và thiết bị di động) sử dụng bộ nhớ trong của mình để lưu trữ và chia sẻ dữ liệu với các thực thể khác trong mạng vô tuyến hướng nội dung sẽ giúp giảm tải lưu lượng của mạng lõi, đáp ứng được nhu cầu về dữ liệu của người dùng, và duy trì sự ổn định của mạng, đảm bảo được chất lượng dịch vụ của các nhà cung cấp dịch vụ. Bên cạnh việc giảm bớt gánh nặng của việc nâng cấp đường truyền mạng lõi, việc sử dụng kỹ thuật đệm dữ liệu cũng là một cách hiệu quả giúp cho giảm độ trễ và nghẽn mạng khi các thuê bao di động có thể tải được các dữ liệu mong muốn từ các trạm gốc thông tin di động hoặc các thiết bị di động khác trong phạm vi gần một cách trực tiếp mà không cần phải thực hiện thông qua các kết nối với mạng lõi.

### **Những vấn đề còn tồn tại**

- Khả năng tham gia và ảnh hưởng của dung lượng lưu trữ chia sẻ của các trạm gốc thông tin cùng với các thiết bị người dùng khi sử dụng kỹ thuật đệm dữ liệu vẫn chưa được đánh giá một cách đầy đủ.
- Các nghiên cứu trước đây đều giả sử kích thước các tệp dữ liệu là lý tưởng, đủ nhỏ để có thể truyền đi hoàn toàn giữa các thực thể mạng với nhau trong khoảng thời gian của mỗi khe thời gian (mô hình dòng chảy). Chưa đánh giá đầy đủ về ảnh hưởng của yếu tố thực tế là kích thước tệp dữ liệu đối với hiệu năng mạng tối ưu trong mạng vô tuyến hướng nội dung sử dụng kỹ thuật đệm dữ liệu.

### **Mục tiêu nghiên cứu:**

Mục tiêu chính mà luận án hướng tới là nghiên cứu ý nghĩa thực tế và hiệu quả của việc sử dụng phương pháp đệm dữ liệu cho mạng vô tuyến hướng nội dung dựa trên việc tối ưu và đánh giá hai tham số hiệu năng mạng là thông lượng và độ trễ truyền tin đối với hai mô hình mạng mới được đề xuất. Trong đó, các yếu tố mới của các mô hình mạng đề xuất là giá trị của biến số dung lượng lưu trữ chia sẻ có giới hạn tại các trạm gốc thông tin của mô hình dòng chảy và giá trị của biến số kích thước tệp dữ liệu của mô hình áp dụng kỹ thuật phân mảnh tệp dữ liệu sẽ được xem xét và đánh giá chi tiết.

### **Đối tượng nghiên cứu:**

Đối tượng nghiên cứu của luận án là hai tham số hiệu năng mạng là thông lượng và độ trễ tối ưu của hai mô hình mạng vô tuyến hướng nội dung được đề xuất. Hai tham số hiệu năng mạng sẽ được tính toán và phân tích dựa trên các tham số mạng, đặc biệt là các tham số mới trong hai mô hình mạng đề xuất là biến số dung lượng lưu trữ chia sẻ có giới hạn tại các trạm gốc thông tin của mô hình dòng chảy và giá trị của biến số kích thước tệp dữ liệu của mô hình mạng áp dụng kỹ thuật phân mảnh tệp dữ liệu.

### **Phạm vi nghiên cứu:**

Với mục tiêu của luận án là đánh giá ý nghĩa thực tế và hiệu quả của việc sử dụng kỹ thuật đệm dữ liệu cho mạng vô tuyến hướng nội dung, luận án này sẽ đề xuất mới hai mô hình mạng vô tuyến hướng nội dung sử dụng kỹ thuật đệm dữ liệu. Cụ thể, hiệu năng mạng là thông lượng và độ trễ của mạng sẽ được phân tích, đánh giá và tối ưu dựa trên các tham số mạng cùng sự ảnh hưởng của các biến số mới theo các mô hình mạng được đề xuất là biến số dung lượng lưu trữ chia sẻ có giới hạn tại các trạm gốc thông tin của mô hình dòng chảy và giá trị của biến số kích thước tệp dữ liệu của mô hình mạng áp dụng kỹ thuật phân mảnh tệp dữ liệu. Kết quả nhận được sẽ giúp đưa ra những nguyên tắc và cách thức sử dụng kỹ thuật đệm dữ liệu trong mạng vô tuyến hướng nội dung sao cho hiệu năng mạng đạt được là tốt nhất. Đây là tiền đề để việc áp dụng kỹ thuật đệm dữ liệu trong mạng vô tuyến hướng nội dung được nghiên cứu sâu hơn với các nghiên cứu thử nghiệm, mô phỏng và ứng dụng thực tế hơn trong tương lai.

**Phương pháp nghiên cứu:**

Phương pháp nghiên cứu chính được sử dụng trong luận án này là phương pháp phân tích. Dựa trên việc thu thập và khảo sát các công trình nghiên cứu khoa học đã được đăng tải trên các tạp chí và hội nghị khoa học chuyên ngành uy tín, từ đó phân tích điểm mạnh và điểm hạn chế của các nghiên cứu trước đối với những thay đổi và đòi hỏi của thực tiễn để tìm ra những vấn đề chưa được giải quyết ở các bài toán trước đây và tiến hành nghiên cứu. Các vấn đề được đặt ra khi thực hiện các nghiên cứu tại luận án này sẽ được giải quyết nhờ tham khảo và học tập các kỹ thuật, phương pháp phân tích và công cụ từ các công trình khoa học có liên quan, phù hợp với các hướng nghiên cứu đề xuất. Các kết quả phân tích toán học luôn được kiểm chứng bởi các phần mềm tính toán máy tính có độ tin cậy và chính xác cao.

**Những đóng góp chính của luận án**

Luận án này có hai đóng góp chính như sau:

- Thực hiện nghiên cứu trên mô hình mạng vô tuyến hướng nội dung sử dụng kỹ thuật đệm dữ liệu theo mô hình dòng chảy (fluid), từ đó đưa ra giải pháp tối ưu hóa thông lượng và độ trễ của mô hình mạng đề xuất.
- Thực hiện nghiên cứu trên mô hình mạng vô tuyến hướng nội dung sử dụng kỹ thuật đệm dữ liệu áp dụng kỹ thuật phân mảnh tệp dữ liệu, từ đó đưa ra giải pháp tối ưu hóa thông lượng và độ trễ của mô hình mạng đề xuất.

# TỔNG QUAN VỀ MẠNG VÔ TUYẾN HƯỚNG NỘI DUNG

***Giới thiệu chung:** Nội dung của Chương trình bày về mô hình và các thành phần mạng vô tuyến hướng nội dung được xem xét và nghiên cứu trong luận án. Trên cơ sở khảo sát các công trình nghiên cứu liên quan đến mô hình mạng vô tuyến hướng nội dung sử dụng kỹ thuật đệm dữ liệu đề xuất, luận án sẽ có những đánh giá và nhận xét để từ đó tìm ra các hạn chế của các nghiên cứu trước đây và đề xuất hướng nghiên cứu và tiếp cận của luận án.*

## 0.1. Mô hình mạng vô tuyến hướng nội dung

## 0.2. Các tham số hiệu năng mạng và ký hiệu toán học sử dụng trong luận án

### 0.2.1. Các tham số hiệu năng mạng

Các tham số hiệu năng mạng được nghiên cứu trong luận án này là thông lượng và độ trễ. Trong các hệ thống thông tin, Thông lượng là lượng thông tin hữu ích được truyền đi trên mạng trong một đơn vị thời gian và đây là chỉ số quan trọng để đánh giá hiệu năng mạng. Bên cạnh đó, Độ trễ cũng là một yếu tố khá quan trọng khi đánh giá về tốc độ của mạng. Thuật ngữ độ trễ của tốc độ mạng ở đây là thể hiện cho sự chậm trễ thường phát sinh trong xử lý dữ liệu của mạng máy tính. Độ trễ càng nhỏ thì tốc độ mạng càng nhanh và độ trễ càng ít và ngược lại, độ trễ càng nhiều thì tốc độ mạng càng chậm và delay càng nhiều. Trong các nghiên cứu của luận án này, các tham số thông lượng và độ trễ của mạng được định nghĩa như sau:

**Định nghĩa 0.2.1** (Thông lượng). *Tham số thông lượng của mạng trong nghiên cứu này sẽ được nghiên cứu và tính toán là giá trị trung bình của dung lượng dữ liệu mà thiết bị người dùng nhận được trong một khe thời gian.*

**Định nghĩa 0.2.2** (Độ trễ). *Tham số độ trễ của mạng trong nghiên cứu này sẽ*

*được nghiên cứu và tính toán là thời gian trung bình tính từ thời điểm thiết bị nguồn gửi đi bản tin đầu tiên yêu cầu tải thông tin cho đến khi thiết bị nguồn này nhận được đủ tệp dữ liệu mong muốn.*

Tùy thuộc vào các mô hình mạng đề xuất ở mỗi nghiên cứu khác nhau, công thức tính thông lượng và độ trễ tổng quát sẽ được xây dựng là hàm số biến thiên theo số lượng thiết bị đầu cuối người dùng trong mạng.

### *0.2.2. Ký hiệu toán học sử dụng trong luận án*

## **0.3. Các công trình nghiên cứu khoa học liên quan**

**Các nghiên cứu về hiệu năng mạng vô tuyến**

**Các nghiên cứu về hiệu năng mạng vô tuyến hướng nội dung**

## **0.4. Nhận xét về công trình nghiên cứu của các tác giả khác và hướng nghiên cứu của luận án**

### *0.4.1. Nhận xét về công trình nghiên cứu của các tác giả khác*

### *0.4.2. Hướng nghiên cứu của luận án*

Như vậy, để góp phần đưa ra góc nhìn đầy đủ hơn về việc sử dụng kỹ thuật đệm dữ liệu trong mạng vô tuyến hướng nội dung, hướng nghiên cứu được đề xuất trong luận án này là:

- Đề xuất mô hình mạng vô tuyến hướng nội dung sử dụng kỹ thuật đệm dữ liệu theo mô hình dòng chảy, trong đó kỹ thuật đệm dữ liệu áp dụng cho các trạm gốc thông tin di động và các thiết bị người dùng. Khi đó, dung lượng lưu trữ chia sẻ của các trạm gốc thông tin được giả sử lớn hơn dung lượng lưu trữ chia sẻ của các thiết bị người dùng, và đây cũng là một tham số ảnh hưởng đến hiệu năng của mạng. Từ mô hình mạng đề xuất, luận án này sẽ đưa ra giải pháp tối ưu hóa thông lượng và độ trễ của mạng phù hợp.
- Đề xuất mô hình mạng vô tuyến hướng nội dung sử dụng kỹ thuật đệm dữ liệu áp dụng kỹ thuật phân mảnh tệp dữ liệu. Trong đó, thay vì sử dụng mô hình dòng chảy như các nghiên cứu trước với giả thuyết là kích thước của các tệp dữ liệu lưu trữ rất nhỏ và có thể truyền đi hoàn toàn giữa các thực thể mạng



với nhau trong mỗi khe thời gian, kích thước các tệp dữ liệu giả sử rất lớn và cần phải phân mảnh thành những mảnh tin có kích thước đủ nhỏ để truyền đi hoàn toàn giữa các thực thể mạng trong mỗi khe thời gian. Khi đó, kích thước của các tệp dữ liệu sẽ được xem xét như là một tham số mạng quan trọng và ảnh hưởng đến hiệu năng của mạng. Từ mô hình mạng đề xuất, luận án sẽ trình bày giải pháp tối ưu hóa thông lượng và độ trễ của mạng tương ứng.

Đối với mỗi hướng nghiên cứu, do các giả thuyết khác nhau nên các tham số mạng được xem xét khác nhau và có những ảnh hưởng nhất định đối với hiệu năng của mạng là thông lượng và độ trễ. Dựa trên mô hình mạng được đưa ra và các tham số mạng ở mỗi hướng nghiên cứu, luận án sẽ phân tích và tính toán đưa ra bài toán tối ưu đối với thông lượng và độ trễ của mạng, từ đó có những so sánh và nhận định về mức độ ảnh hưởng và sự thay đổi của hiệu năng mạng ở mỗi trường hợp. Các phân tích và kết quả tính toán sẽ được kiểm tra lại bởi các kết quả được giải bởi các chương trình toán học trên máy tính như Matlab hoặc Mathematica để đảm bảo tính đúng đắn của các kết quả nghiên cứu.

## **0.5. Kết luận Chương**

Nội dung Chương 1 đã trình bày khái quát về mô hình, nguyên lý hoạt động, các tham số mạng và các yếu tố ảnh hưởng lên các tham số hiệu năng mạng vô tuyến hướng nội dung sử dụng kỹ thuật đệm dữ liệu. Các công trình nghiên cứu liên quan đến mạng vô tuyến hướng nội dung nói chung và hiệu năng mạng sử dụng kỹ thuật đệm dữ liệu nói riêng cũng đã được khảo sát, phân tích, đánh giá trong chương này. Qua đó, các hạn chế của các nghiên cứu trước đây về mô hình mạng vô tuyến hướng nội dung, các tham số và yếu tố ảnh hưởng tới hiệu năng mạng đã được chỉ ra. Trên cơ sở những hạn chế này, luận án đã đưa ra hai hướng nghiên cứu chính khi xem xét những yếu tố thực tế của mạng vô tuyến sử dụng kỹ thuật đệm dữ liệu là sự hiện diện của các trạm gốc thông tin đối với mô hình mạng hỗn hợp và ứng dụng kỹ thuật phân mảnh tệp dữ liệu khi kích thước mỗi tệp dữ liệu đủ lớn để không thể truyền đi hoàn toàn trong mỗi khe thời gian.

# TỐI ƯU HÓA THÔNG LƯỢNG VÀ ĐỘ TRỄ CỦA MẠNG VÔ TUYẾN HƯỚNG NỘI DUNG SỬ DỤNG MÔ HÌNH DÒNG CHẢY

**Giới thiệu chung:** Từ ý tưởng của nghiên cứu trước đây với mô hình mạng vô tuyến hỗn hợp sử dụng kỹ thuật đệm dữ liệu trong đó các trạm gốc thông tin được phân bố đều trong mạng được có bộ nhớ lưu trữ toàn bộ các tệp dữ liệu của thư viện mạng thông qua kết nối liên tục với đường truyền mạng lõi để đáp ứng nhu cầu dữ liệu của các thiết bị trong mạng, nội dung nghiên cứu tại Chương này sẽ thực hiện với các trạm gốc sử dụng bộ nhớ lưu trữ có giới hạn áp dụng kỹ thuật đệm dữ liệu. Thực tế chỉ ra rằng, khi kết nối đường truyền mạng lõi bị nghẽn, dữ liệu không thể nhận bởi trạm gốc thông tin từ thư viện mạng, tức là các trạm gốc thông tin trong mô hình mạng này không thể thực hiện kỹ thuật đệm dữ liệu. Mô hình mạng, trong đó các trạm gốc thông tin sử dụng bộ nhớ ngoài có giới hạn của mình để lưu trữ dữ liệu và chia sẻ cho các thiết bị người dùng rõ ràng có ý nghĩa thực tế và cần được nghiên cứu thêm. Việc thêm tham số mạng là dung lượng bộ nhớ lưu trữ chia sẻ của các trạm gốc thông tin sẽ dẫn đến việc tối ưu hóa thông lượng và độ trễ mạng trở nên phức tạp và thách thức hơn.

Ở chương này, mô hình nghiên cứu mạng vô tuyến hỗn hợp hướng nội dung được đề xuất, trong đó mỗi thiết bị di động người dùng di chuyển trong mạng theo mô hình bước đi ngẫu nhiên (RWMM) và đưa ra yêu cầu tải tệp dữ liệu nằm trong thư viện mạng một cách độc lập và ngẫu nhiên. Đồng thời, các trạm gốc thông tin di động được đặt cố định tại các vị trí phân bố đều trong mạng. Để đáp ứng các yêu cầu tải tệp dữ liệu của các thiết bị người dùng, các thiết bị người dùng và các trạm gốc thông tin đều được trang bị các bộ nhớ ngoài có khả năng lưu trữ các tệp dữ liệu để chia sẻ cho các thiết bị người dùng khác trong mạng. Dựa trên mô hình mạng đề xuất, chương này sẽ đưa ra giải pháp tối ưu hóa thông lượng và độ trễ của mạng được tóm tắt lại với trình tự như sau:

- Đề xuất mô hình mạng trong đó cả các trạm gốc thông tin di động và thiết bị di động người dùng đều có khả năng lưu trữ các tệp dữ liệu dữ liệu trong mạng với các dung lượng lưu trữ khác nhau.
- Từ mô hình mạng đề xuất, phương pháp định tuyến truyền tin trong mạng, cách thức tính toán thông lượng và độ trễ mạng sẽ được đưa ra.
- Để nhận được thông lượng và độ trễ tối ưu, số lượng bản sao của mỗi tệp dữ liệu trong thư viện mạng và phương pháp lưu trữ các bản sao này tại bộ nhớ ngoài của thiết bị di động người dùng và trạm gốc thông tin di động cần được tối ưu hóa. Kết quả phân tích thu được cho thấy khi tổng dung lượng lưu trữ tại các trạm gốc thông tin di động lớn hơn tổng dung lượng lưu trữ tại các thiết bị di động, các tệp dữ liệu phổ biến nhất trong mạng sẽ được ưu tiên lưu trữ tại bộ nhớ ngoài của các thiết bị người dùng trong khi các tệp dữ liệu ít phổ biến trong mạng sẽ được lưu trữ tại bộ nhớ của các trạm gốc thông tin di động để phục vụ yêu cầu tải tin của người dùng.
- Các kết quả phân tích và tính toán sẽ được kiểm tra lại bởi các kết quả được giải bởi chương trình toán học trên máy tính Mathematica. Kết quả nhận được cho thấy rằng các kết quả phân tích là chính xác và phù hợp.
- Để so sánh mức tối ưu hóa thông lượng và độ trễ nhận được trên mô hình mạng đề xuất, phương pháp lưu trữ cơ bản trong đó số lượng bản sao của tệp dữ liệu tại các thiết bị di động và trạm gốc thông tin di động được tối ưu một cách độc lập với nhau sẽ được trình bày thêm.

## 1.6. Mô hình mạng vô tuyến hướng nội dung sử dụng mô hình dòng chảy

### 1.7. Đề xuất phương pháp định tuyến truyền tin

### 1.8. Thông lượng và độ trễ của mạng

**Định lý 1.8.1.** *Giả sử mạng vô tuyến hỗn hợp hướng nội dung sử dụng phương pháp truyền tin được đề xuất tại nội dung 2.2, mức cân bằng thông lượng và độ trễ*

của mạng được tính bởi công thức như sau

$$\lambda(n) = \Theta \left( \frac{D(n)}{n \left( \sum_{m=1}^M \frac{p_m}{\sqrt{A_m + B_m}} \right)^2} \right) \quad (1.1)$$

trong đó

$$\lambda(n) = O \left( \frac{1}{\sum_{m=1}^M p_m \sqrt{\frac{n \log n}{A_m + B_m}}} \right)$$

và  $p_m$  là xác suất yêu cầu tải tin của tệp dữ liệu  $m \in \mathcal{M}$ .

## 1.9. Tối ưu hóa thông lượng và độ trễ

### 1.9.1. Xây dựng bài toán tối ưu hóa thông lượng và độ trễ mạng

Bài toán tối ưu hóa được xây dựng nên như sau:

$$\max_{\{A_m\}_{m=1}^M, \{B_m\}_{m=1}^M} \sum_{m=1}^M \frac{p_m}{\sqrt{A_m + B_m}} \quad (1.2a)$$

$$\text{với các điều kiện: } \sum_{m=1}^M A_m \leq nK_n, \quad (1.2b)$$

$$\sum_{m=1}^M B_m \leq f(n)K_{BS}, \quad (1.2c)$$

$$A_m \leq n \text{ trong đó } m \in \mathcal{M}, \quad (1.2d)$$

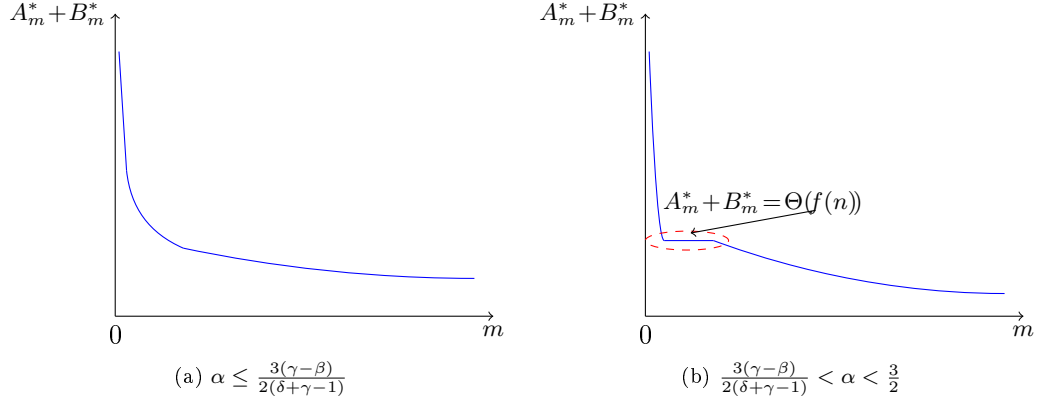
$$B_m \leq f(n) \text{ trong đó } m \in \mathcal{M}, \quad (1.2e)$$

$$A_m + B_m \geq 1 \text{ trong đó } m \in \mathcal{M}. \quad (1.2f)$$

### 1.9.2. Giải bài toán tối ưu hóa thông lượng và độ trễ mạng

**Định lý 1.9.1.** Giả sử mạng vô tuyến hỗn hợp hướng nội dung sử dụng phương pháp truyền tin được đề xuất tại nội dung 2.2, với  $\alpha < 3/2$ , nếu  $\alpha \leq \frac{3(\gamma-\beta)}{2(\delta+\gamma-1)}$ , nghiệm của (2.2) là

$$A_m^* + B_m^* = \Theta \left( m^{-\frac{2\alpha}{3}} n^{\beta+\delta-\gamma(1-\frac{2\alpha}{3})} \right).$$



Hình 1.1: Phương pháp tối ưu lưu trữ dữ liệu tương ứng với sự biến thiên của tham số  $m$ .

trong trường hợp  $\frac{3(\gamma-\beta)}{2(\delta+\gamma-1)} < \alpha < \frac{3}{2}$ , ta có

$$A_m^* + B_m^* = \begin{cases} \Theta\left(m^{-\frac{2\alpha}{3}} n^{\delta+(1-\delta)\frac{2\alpha}{3}}\right) & \text{trong đó } m \in \mathcal{M}_1, \\ \Theta(n^\delta) & \text{trong đó } m \in \mathcal{M}_2 \setminus \mathcal{M}_1, \\ \Theta\left(m^{-\frac{2\alpha}{3}} n^{\beta+\delta-\gamma(1-\frac{2\alpha}{3})}\right) & \text{trong đó } m \in \mathcal{M} \setminus \mathcal{M}_2, \end{cases}$$

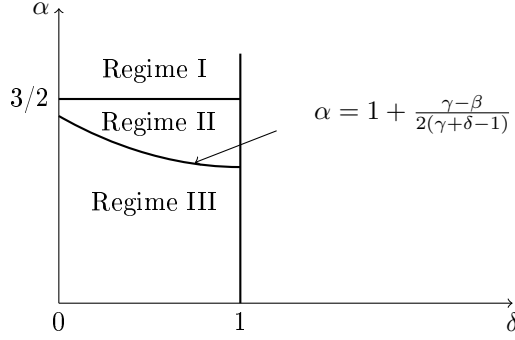
với  $\mathcal{M}_1 = \{1, \dots, m_1 - 1\}$  and  $\mathcal{M}_2 = \{1, \dots, m_2 - 1\}$ . Trong đó,  $m_1 = \Theta(n^{1-\delta})$  và  $m_2 = \Theta\left(n^{\gamma-(\gamma-\beta)\frac{3}{2\alpha}}\right)$ .

**Chú ý 1.9.1.** Các tập dữ liệu có tính chất phổ biến cao và đang là xu hướng được quan tâm lớn, số lượng bản ghi được lưu trong mạng được tính bởi  $\omega(f(n))$ , chủ yếu sẽ được truyền đi bởi phương pháp truyền tin đa chặng Người dùng tới người dùng. Trong khi đó, các tập dữ liệu nhận được sự quan tâm ít hơn sẽ chủ yếu được phục vụ bởi các trạm gốc thông tin. Tức là, các tập dữ liệu  $m \in \mathcal{M}_1 \cap \mathcal{M}_2$  được lưu trữ chủ yếu tại các thiết bị người dùng di động sẽ giúp cho mạng đạt được mức thông lượng và độ trễ tốt nhất.

1.9.3. Nghiệm tối ưu hóa sử dụng phần mềm tính toán trên máy tính

1.9.4. Thông lượng và độ trễ tối ưu

- Regime I (Chế độ Zipf cao):  $\{\alpha | \alpha \geq \frac{3}{2}\}$
- Regime II (Chế độ Zipf thông thường):  $\left\{ \alpha \left| 1 + \frac{\gamma-\beta}{2(\gamma+\delta-1)} \leq \alpha < \frac{3}{2} \right. \right\}$



Hình 1.2: Các chế độ hoạt động của mạng theo mối quan hệ của các tham số  $\alpha$ ,  $\delta$ ,  $\beta$ , và  $\gamma$ .

- Regime III (Chế độ Zipf thấp):

$$\left\{ \alpha \mid \alpha < 1 + \frac{\gamma - \beta}{2(\gamma + \delta - 1)} \right\}.$$

Từ việc phân chia thành các regime như trên, chúng ta có Định lý thể hiện giá trị tối ưu của mức cân bằng thông lượng và độ trễ như sau.

**Định lý 1.9.2.** *Giả sử mạng vô tuyến hỗn hợp hướng nội dung sử dụng phương pháp truyền tin được đề xuất và phương pháp lưu trữ các bản ghi của các tệp dữ liệu trọng mạng được tối ưu, tùy theo sự biến thiên của hệ số Zipf  $\alpha$  và các tham số  $\gamma$ ,  $\delta$ , và  $\beta$ , mức cân bằng thông lượng và độ trễ được tính như sau*

$$\lambda(n) = \Theta\left(\frac{D(n)}{n^b}\right), \text{ với } \lambda(n) = O\left(\frac{1}{\sqrt{n^{b+\epsilon}}}\right),$$

với hằng số  $\epsilon > 0$ . Trong đó,

$$b = \begin{cases} 0 & \text{tại Regime I,} \\ (1 - \delta)(3 - 2\alpha) & \text{tại Regime II,} \\ 1 - \delta - \beta + \min\{3 - 2\alpha, 1\} \gamma & \text{tại Regime III.} \end{cases}$$

## 1.10. Hiệu năng mạng vô tuyến hướng nội dung sử dụng phương pháp lưu trữ dữ liệu cơ bản

### 1.11. So sánh và đánh giá

Để có những đánh giá và góc nhìn đầy đủ hơn về thông lượng và độ trễ tối ưu của mô hình mạng vô tuyến hướng nội dung sử dụng kỹ thuật đệm dữ liệu đề xuất, trong đó các trạm gốc thông tin được trang bị bộ nhớ lưu trữ chia sẻ có giới hạn,

Bảng 1.1: Bảng so sánh độ trễ mạng tối ưu

$\alpha$	$K_{BS} \neq \infty$	$K_{BS} = \infty$	$K_{BS} = 0$
$\alpha \geq \frac{3}{2}$	$\Theta(1)$	$\Theta(1)$	$\Theta(1)$
$\frac{3}{2} > \alpha \geq 1 + \frac{\gamma-\beta}{2(\gamma+\delta-1)}$	$\Theta\left(\frac{n^{(1-\delta)(\frac{3}{2}-\alpha)}}{\sqrt{\log n}}\right)$	$\Theta\left(\frac{n^{(1-\delta)(\frac{3}{2}-\alpha)}}{\sqrt{\log n}}\right)$	$\Theta\left(\frac{n^{(\frac{3}{2}-\alpha)\gamma}}{\sqrt{\log n}}\right)$
$1 + \frac{\gamma-\beta}{2(\gamma+\delta-1)} > \alpha \geq 1$	$\Theta\left(\frac{n^{\gamma(\frac{3}{2}-\alpha) - \frac{\delta+\beta-1}{2}}}{\sqrt{\log n}}\right)$	$\Theta\left(\frac{n^{(1-\delta)(\frac{3}{2}-\alpha)}}{\sqrt{\log n}}\right)$	$\Theta\left(\frac{n^{(\frac{3}{2}-\alpha)\gamma}}{\sqrt{\log n}}\right)$
$1 > \alpha$	$\Theta\left(\frac{n^{\frac{\gamma}{2} - \frac{\delta+\beta-1}{2}}}{\sqrt{\log n}}\right)$	$\Theta\left(\frac{n^{\frac{1-\delta}{2}}}{\sqrt{\log n}}\right)$	$\Theta\left(\frac{n^{\frac{\gamma}{2}}}{\log n}\right)$

Bảng 1.2: Bảng so sánh thông lượng mạng tối ưu

$\alpha$	$K_{BS} \neq \infty$	$K_{BS} = \infty$	$K_{BS} = 0$
$\alpha \geq \frac{3}{2}$	$\Theta\left(\frac{1}{\log n}\right)$	$\Theta\left(\frac{1}{\log n}\right)$	$\Theta\left(\frac{1}{\log n}\right)$
$\frac{3}{2} > \alpha \geq 1 + \frac{\gamma-\beta}{2(\gamma+\delta-1)}$	$\Theta\left(\frac{1}{n^{(1-\delta)(\frac{3}{2}-\alpha)}\sqrt{\log n}}\right)$	$\Theta\left(\frac{1}{n^{(1-\delta)(\frac{3}{2}-\alpha)}\sqrt{\log n}}\right)$	$\Theta\left(\frac{n^{(\alpha-\frac{3}{2})\gamma}}{\sqrt{\log n}}\right)$
$1 + \frac{\gamma-\beta}{2(\gamma+\delta-1)} > \alpha \geq 1$	$\Theta\left(\frac{1}{n^{\gamma(\frac{3}{2}-\alpha) - \frac{\delta+\beta-1}{2}}\sqrt{\log n}}\right)$	$\Theta\left(\frac{1}{n^{(1-\delta)(\frac{3}{2}-\alpha)}\sqrt{\log n}}\right)$	$\Theta\left(\frac{n^{(\alpha-\frac{3}{2})\gamma}}{\sqrt{\log n}}\right)$
$1 > \alpha$	$\Theta\left(\frac{1}{n^{\frac{\gamma}{2} - \frac{\delta+\beta-1}{2}}\sqrt{\log n}}\right)$	$\Theta\left(\frac{1}{n^{\frac{1-\delta}{2}}\sqrt{\log n}}\right)$	$\Theta\left(\frac{1}{n^{\frac{\gamma}{2}}\sqrt{\log n}}\right)$

các bảng 2.1 và 2.2 được đưa ra để so sánh các giá trị thông lượng và độ trễ tối ưu của mạng trong các trường hợp mô hình mạng đề xuất  $K_{BS} \neq \infty$ , mô hình mạng trong đó các trạm gốc thông tin được trang bị bộ nhớ lưu trữ chia sẻ có dung lượng vô hạn  $K_{BS} = \infty$ , và mô hình mạng không sử dụng kỹ thuật đệm dữ liệu đối với các trạm gốc thông tin  $K_{BS} = 0$

Ở chế độ Regime I (i.e., chế độ Zipf cao), mức cân bằng tốt nhất  $\lambda(n) = \Theta(D(n))$  đạt được nhờ sử dụng phương pháp truyền tin đa chặng Người dùng tới người dùng, và do đó, việc sử dụng thêm bộ nhớ lưu trữ của các trạm gốc thông tin để lưu trữ thêm các tệp dữ liệu là không cần thiết. Lý do bởi vì phần lớn các tệp dữ liệu trong thư viện của mạng là các tệp dữ liệu có tính phổ biến cao.

Mặt khác, ở chế độ Regimes II và III (i.e., các chế độ Zipf thông thường và thấp), việc sử dụng thêm dung lượng lưu trữ  $f(n)K_{BS}$  của các trạm gốc thông tin di động chia sẻ trong mạng vô tuyến hỗn hợp hướng nội dung giúp tăng đáng kể hiệu năng mạng so với trường hợp mạng không có sự hiện diện của các trạm gốc thông tin ( $K_{BS} = 0$ ).

Trong đó, ở chế độ Regime II ( $\frac{3}{2} > \alpha \geq 1 + \frac{\gamma-\beta}{2(\gamma+\delta-1)}$ ), mức tối ưu thông lượng và độ trễ của mô hình mạng đề xuất đạt được tương đương với trường hợp mô hình

mạng vô tuyến hỗn hợp hướng nội dung tĩnh sử dụng các trạm gốc thông tin được trang bị bộ nhớ lưu trữ chia sẻ có dung lượng vô hạn (tương đương với việc kết nối trực tiếp liên tục, không gián đoạn với đường truyền dẫn mạng lõi back-haul chứa tất cả các tệp dữ liệu của mạng).

Như vậy, lợi ích của việc trang bị các bộ nhớ lưu trữ tại trạm gốc thông tin trong trường hợp thông lượng và độ trễ của mạng được tối ưu đã được thể hiện hết sức rõ ràng theo các chế độ hoạt động khác nhau của mạng như đã trình bày.

### **1.12. Kết luận Chương**

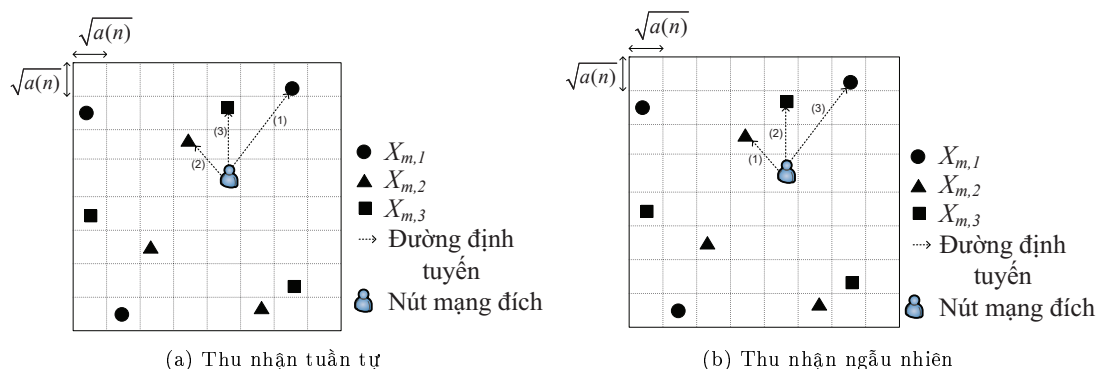
Chương này đã đưa ra giải pháp tối ưu hóa được thông lượng và độ trễ trong mô hình mạng vô tuyến hỗn hợp hướng nội dung đề xuất, trong đó mỗi thiết bị di động và trạm gốc thông tin đều được trang bị các bộ nhớ lưu trữ chia sẻ hữu hạn. Để tối ưu hóa được các tham số hiệu năng mạng, phương pháp truyền tin phù hợp với mô hình mạng đã được đề xuất, từ đó xây dựng được công thức tính thông lượng và độ trễ, phân tích đưa ra bài toán tối ưu hóa cần thực hiện để tìm ra số lượng tối ưu các bản sao của các tệp dữ liệu trong mạng lưu trữ tại bộ nhớ chia sẻ của các thiết bị di động người dùng và trạm gốc thông tin tương ứng nhờ sử dụng kỹ thuật giải phân tách biến. Các kết quả phân tích đã được xác thực lại bởi các kết quả tính toán bởi máy tính, sử dụng phần mềm phân tích Mathematica. Hiệu năng mạng nhận được cho thấy là tối ưu khi so sánh với phương pháp lưu trữ dữ liệu cơ bản đề xuất.



# TỐI ƯU HÓA THÔNG LƯỢNG VÀ ĐỘ TRỄ CỦA MẠNG VÔ TUYẾN HƯỚNG NỘI DUNG SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP PHÂN MẢNH TỆP DỮ LIỆU

**Giới thiệu chung:** Nghiên cứu của Chương này đề xuất mô hình mạng nghiên cứu là mạng vô tuyến hướng nội dung sử dụng kỹ thuật phân mảnh tệp dữ liệu, trong đó mỗi thiết bị đầu cuối di chuyển theo phương pháp bước ngẫu nhiên và các tệp dữ liệu thư viện mạng có kích thước lớn. Từ đó, giải pháp tối ưu hóa thông lượng và độ trễ mạng sẽ được trình bày. Những đóng góp chính của Chương này có thể được tóm tắt lại như sau:

- Đề xuất mô hình mạng vô tuyến hướng nội dung sử dụng kỹ thuật đệm dữ liệu, trong đó các thiết bị người dùng di động được coi là các nút mạng có khả năng lưu trữ các tệp dữ liệu trong mạng với dung lượng lưu trữ bị giới hạn. Các nút mạng nguồn cần tải lần lượt  $K$  mảnh tin rời rạc của tệp dữ liệu  $m$  để tổng hợp lại thành thông tin mong muốn.
- Từ mô hình mạng được đề xuất, mức cân bằng thông lượng và độ trễ của mạng sẽ được phân tích, tìm ra công thức tính toán với hai phương pháp thu nhận mảnh tin đề xuất là tuần tự và ngẫu nhiên.
- Đưa ra giải pháp tối ưu hóa thông lượng và độ trễ thông qua việc tối ưu số lượng bản sao của mỗi tệp dữ liệu lưu trữ và phân bố tại các thiết bị người dùng trong mạng. Các kết quả phân tích và tính toán sẽ được kiểm tra lại bởi các kết quả được giải bởi chương trình toán học được lập trình trên máy tính Mathematica. Kết quả nhận được cho thấy rằng các kết quả phân tích và đánh giá lý thuyết là phù hợp và chính xác.



Hình 2.3: Phương pháp thu nhận mảnh tin của tập dữ liệu  $m$ .

### 2.13. Mô hình mạng vô tuyến hướng nội dung sử dụng phương pháp phân mảnh tập dữ liệu

### 2.14. Phương pháp thu nhận mảnh tin và đề xuất phương pháp định tuyến truyền tin

#### 2.14.1. Phương pháp thu nhận mảnh tin

Trong mục này, chúng tôi sẽ mô tả hai phương pháp thu nhận tập dữ liệu được mô tả trong Hình 3.1, thể hiện cách thức  $K$  mảnh tin của tập dữ liệu yêu cầu được thu thập.

- *Thu nhận tuần tự*: Tất cả  $K$  mảnh tin của tập dữ liệu sẽ được tải một cách tuần tự bởi nút mạng yêu cầu. Như thể hiện ở Hình 1(a), nút mạng sẽ tìm mảnh tin số 1 gần nhất của tập dữ liệu  $m$ , tiếp theo là mảnh tin số 2 của tập dữ liệu  $m$  được lưu trữ tại bộ nhớ chia sẻ của một nút mạng khác ở vị trí gần nhất đối với nút mạng sau khi nút mạng đã nhận được mảnh tin 1, và cứ thế tiếp tục cho đến khi tải đủ  $K$  mảnh tin của tập dữ liệu mong muốn.
- *Thu nhận ngẫu nhiên*: Nút mạng sẽ tải mảnh tin một cách ngẫu nhiên. Như thể hiện trên Hình 1(b), nút mạng sẽ trước hết nhận được mảnh tin số 1 của tập dữ liệu  $m$ , là mảnh tin có vị trí gần nó nhất, tiếp theo đó nút mạng sẽ tải mảnh tin số 2, là mảnh tin gần nó thứ hai và cứ tiếp tục như thế cho đến khi tải đủ  $K$  mảnh tin của tập dữ liệu mong muốn.

Dựa trên phương pháp định tuyến truyền tin được giới thiệu ở phần nội dung tiếp theo, mỗi phương pháp thu nhận mảnh tin sẽ dẫn đến sự khác nhau về hiệu năng mạng.

### 2.14.2. Phương pháp định tuyến truyền tin

## 2.15. Thông lượng và độ trễ

### 2.15.1. Tối ưu hóa thông lượng và độ trễ trường hợp sử dụng phương pháp thu nhận mảnh tin tuần tự

**Định lý 2.15.1.** *Giả sử mạng vô tuyến hướng nội dung sử dụng phương pháp truyền tin được đề xuất tại Chương 3 sử dụng phương pháp thu nhận mảnh tin tuần tự, mức cân bằng thông lượng và độ trễ của mạng được tính bởi công thức như sau*

$$\lambda(n) = \Theta \left( \frac{D(n)}{Kn \left( \sum_{m=1}^M \frac{p_m}{\sqrt{X_m}} \right)^2} \right) \quad (2.3)$$

trong đó

$$\lambda(n) = O \left( \frac{1}{\sum_{m=1}^M p_m \sqrt{\frac{n \log n}{X_m}}} \right)$$

và  $p_m$  là xác suất yêu cầu tải tin của tệp dữ liệu  $m \in \mathcal{M}$ .

Nghiệm tối ưu như sau:

$$X_m = \begin{cases} \frac{n}{\log n} & \text{với } m = 1, \dots, m_1 - 1 \\ \frac{p_m^{\frac{2}{3}}}{\sum_{l=m_1}^{m_2} p_l^{\frac{2}{3}}} n & \text{với } m_1, \dots, m_2 - 1 \\ 1 & \text{với } m_2, \dots, M. \end{cases}$$

trong đó,

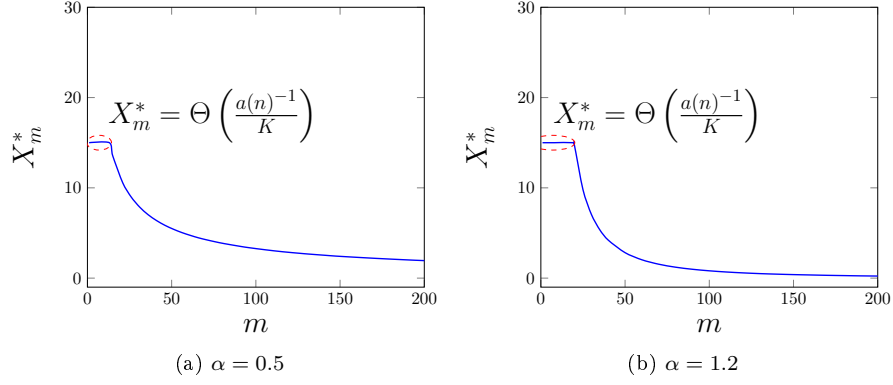
$$m_1 = \begin{cases} \Theta(\log n) & \text{với } \alpha > \frac{3}{2} \\ \Theta(1) & \text{với } \alpha \leq \frac{3}{2}. \end{cases}$$

và

$$m_2 = \begin{cases} \Theta \left( \min \left( M, n^{\frac{3}{2\alpha}} (\log n)^{1 - \frac{3}{2\alpha}} \right) \right) & \text{với } \alpha > \frac{3}{2} \\ M & \text{với } \alpha \leq \frac{3}{2}. \end{cases}$$

Từ đây, thông lượng và độ trễ trong mạng được tính như sau:

- $\alpha \geq \frac{3}{2}$ :  $D(n) = \Theta(K)$ ,  $\lambda(n) = \Theta\left(\frac{1}{\log n}\right)$ ;
- $1 \leq \alpha < \frac{3}{2}$ :  $D(n) = \Theta\left(\frac{KM^{\frac{3}{2}-\alpha}}{\sqrt{\log n}}\right)$ ,  $\lambda(n) = \Theta\left(\frac{M^{\alpha-\frac{3}{2}}}{\sqrt{\log n}}\right)$ ;
- $\alpha < 1$ :  $D(n) = \Theta\left(K \frac{\sqrt{M}}{\log n}\right)$ ,  $\lambda(n) = \Theta\left(\frac{1}{\sqrt{M \log n}}\right)$ ;



Hình 2.4: Nghiệm tối ưu số lượng bản sao lưu trữ của các tệp dữ liệu theo tham số  $m$ .

### 2.15.2. Tối ưu hóa thông lượng và độ trễ trường hợp sử dụng phương pháp thu nhận mảnh tin ngẫu nhiên

**Định lý 2.15.2.** *Giả sử mạng vô tuyến hướng nội dung sử dụng phương pháp truyền tin được đề xuất tại Chương 3 sử dụng phương pháp thu nhận ngẫu nhiên, mức cân bằng thông lượng và độ trễ của mạng được tính bởi công thức như sau*

$$\lambda(n) = \Theta \left( \frac{D(n)}{n \left( \sum_{m=1}^M \frac{p_m}{\sqrt{X_m}} \right)^2} \right) \quad (2.4)$$

trong đó

$$\lambda(n) = O \left( \frac{1}{\sum_{m=1}^M p_m \sqrt{\frac{n \log n}{K X_m}}} \right)$$

và  $p_m$  là xác suất yêu cầu tải tin của tệp dữ liệu  $m \in \mathcal{M}$ .

Bài toán tối ưu được xây dựng như sau:

$$\max_{\{X_m\}_{m=1}^M} \sum_{m=1}^M \frac{p_m}{\sqrt{X_m}} \quad (2.5a)$$

$$\text{với các điều kiện: } \sum_{m=1}^M X_m \leq n \frac{K_n}{K}, \quad (2.5b)$$

$$1 \leq X_m \leq \frac{a(n)^{-1}}{K} \text{ trong đó } m \in \mathcal{M}. \quad (2.5c)$$

Nghiệm tối ưu tìm được thể hiện ở Hình 3.2 theo các giá trị của hệ số Zipf  $\alpha = 0.5$  và  $\alpha = 1.2$  tương ứng.

Tùy vào giá trị của tham số  $\alpha$ , có thể xem xét các trường hợp như sau:

- $\alpha \geq \frac{3}{2}$

Các giá trị đạt được tối ưu của thông lượng và độ trễ lần lượt là:

$$\lambda(n) = \Theta\left(\frac{1}{\log n}\right) \text{ và } D(n) = \Theta(K) \text{ với } a(n) = \Theta\left(\frac{\log n}{n}\right).$$

- $\frac{3}{2} > \alpha > 1$

Tùy theo sự biến thiên của hệ số Zipf  $\alpha$  và các tham số mạng  $\gamma$  và  $\beta$  có thể chia thành các trường hợp như sau:

- Trường hợp  $\frac{3}{2} > \alpha \geq \frac{3}{2} - \frac{\beta}{2\gamma}$ :

Các giá trị đạt được tối ưu của Thông lượng và độ trễ lần lượt là:

$$\lambda(n) = \Theta\left(\frac{1}{\log n}\right) \text{ và } D(n) = \Theta(K) \text{ với } a(n) = \Theta\left(\frac{\log n}{n}\right).$$

- Trường hợp  $\frac{3}{2} - \frac{\beta}{2\gamma} > \alpha \geq 1$ :

Các giá trị đạt được tối ưu của thông lượng và độ trễ lần lượt là:

$$\lambda(n) = \Theta\left(\frac{M^{\alpha-\frac{3}{2}}}{\sqrt{\log n}}\right) \text{ và } D(n) = \Theta\left(\frac{\sqrt{KM}^{\frac{3}{2}-\alpha}}{\sqrt{\log n}}\right).$$

- $\alpha < 1$

Các giá trị đạt được tối ưu của thông lượng và độ trễ lần lượt là:

$$\lambda(n) = \Theta\left(\frac{1}{\sqrt{M \log n}}\right) \text{ và } D(n) = \Theta\left(\frac{\sqrt{KM}}{\sqrt{\log n}}\right)$$

Từ kết quả phân tích và kết quả tính toán máy tính, dễ dàng nhận thấy rằng hiệu năng mạng sử dụng phương pháp thu nhận mảnh tin ngẫu nhiên luôn tốt hơn khi sử dụng phương pháp thu nhận mảnh tin tuần tự. Điều này có được là nhờ sự linh động trong việc thu nhận  $K$  mảnh tin của tệp dữ liệu mong muốn theo phương pháp ngẫu nhiên, trong đó không xét đến yếu tố thứ tự hay ưu tiên của các mảnh tin, nhờ đó dẫn đến sự hiệu năng mạng tốt hơn.

## 2.16. So sánh và đánh giá

Dựa trên kết quả tối ưu hóa Độ trễ và Thông lượng của mạng vô tuyến hướng nội dung sử dụng kỹ thuật đệm dữ liệu, áp dụng hai phương pháp phân mảnh tệp dữ liệu là thu nhận mảnh tin tuần tự ở Mục 3.3.1 và thu nhận mảnh tin ngẫu nhiên ở Mục 3.3.2, tùy theo sự biến thiên của hệ số Zipf  $\alpha$  và các tham số mạng  $\gamma$  và  $\beta$ , ta có các so sánh như sau:

- $\alpha \geq \frac{3}{2}$

Cả hai phương pháp thu nhận mảnh tin đều đạt được mức tối ưu về thông lượng và độ trễ tương đương nhau. Điều này là do với trường hợp hệ số Zipf  $\alpha$  có giá trị cao, phần lớn các tệp dữ liệu được lưu trong thư viện mạng đều là các tệp dữ liệu có tính phổ biến cao và được lưu trữ rộng rãi trong mạng,

Bảng 2.3: Bảng giá trị thông lượng mạng tối ưu

$\alpha$	$K = \omega(1)$	$K = \Theta(1)$
$\alpha \geq \frac{3}{2}$	$\Theta\left(\frac{1}{\log n}\right)$	$\Theta\left(\frac{1}{\log n}\right)$
$\frac{3}{2} > \alpha \geq 1$	$\Theta\left(\frac{M^{\alpha - \frac{3}{2}}}{\sqrt{\log n}}\right)$	$\Theta\left(\frac{M^{\alpha - \frac{3}{2}}}{\sqrt{\log n}}\right)$
$\alpha < 1$	$\Theta\left(\frac{1}{\sqrt{M \log n}}\right)$	$\Theta\left(\frac{1}{\sqrt{M \log n}}\right)$

nhờ đó mà các nút mạng dễ dàng tìm được các mảnh tin của tệp dữ liệu mong muốn ở ngay các nút mạng lân cận để có thể tải trong thời gian ngắn nhất tương đương với mỗi khe thời gian.

- $\frac{3}{2} > \alpha \geq \frac{3}{2} - \frac{\beta}{2\gamma}$ :

Phương pháp thu nhận mảnh tin ngẫu nhiên vẫn giúp cho mạng đạt được hiệu năng tương đương trường hợp hệ số Zipf  $\alpha \geq \frac{3}{2}$ . Do đó, hiệu năng mang lại là vượt trội so với hiệu năng mạng sử dụng phương pháp thu nhận mảnh tin tuần tự. Điều này là bởi vì sự linh động của phương pháp ngẫu nhiên trong việc thu nhận  $K$  mảnh tin của tệp dữ liệu mong muốn, trong đó không xét đến yếu tố thứ tự hay ưu tiên của các mảnh tin, nhờ đó dẫn đến sự hiệu năng mạng tốt hơn.

- $\frac{3}{2} - \frac{\beta}{2\gamma} > \alpha$ :

Hai phương pháp có mức thông lượng tối ưu là tương đương nhau, tuy nhiên mức tối ưu về độ trễ của phương pháp thu nhận ngẫu nhiên tốt hơn  $\sqrt{K}$  lần so với độ trễ tối ưu thu được trong trường hợp sử dụng phương pháp thu nhận mảnh tin tuần tự.

Để có cái nhìn đầy đủ hơn về ảnh hưởng của kích thước tệp dữ liệu đối với các tham số tối ưu thông lượng và độ trễ mạng. Ta so sánh giá trị tối ưu hiệu năng mạng mạng khi sử dụng phương pháp phân mảnh tệp tin ngẫu nhiên khi kích thước tệp dữ liệu có giá trị đáng kể  $K = \omega(1)$  với trường hợp không sử dụng phương pháp phân mảnh tệp dữ liệu (tương đương với  $K = \Theta(1)$  như trong mô hình dòng chảy và các nghiên cứu trước đó. Từ bảng 3.1, ta thấy rằng khi sử dụng phương pháp phân mảnh tệp dữ liệu, kích thước tệp dữ liệu không ảnh hưởng tới thông lượng tối ưu của mạng.

Tuy nhiên, khi tệp dữ liệu có kích thước càng lớn, độ trễ mạng càng tăng (Bảng 3.2). Cụ thể, trong trường hợp  $\alpha \geq \frac{3}{2}$ , khi phần lớn các tệp dữ liệu trong mạng đều có tính chất phổ biến cao và được lưu tại hầu hết các thiết bị người dùng, thời gian để nhận được mỗi tệp dữ liệu mong muốn tỷ lệ thuận  $K$  lần với kích thước tệp dữ

Bảng 2.4: Bảng giá trị độ trễ mạng tối ưu

$\alpha$	$K = \omega(1)$	$K = \Theta(1)$
$\alpha \geq \frac{3}{2}$	$\Theta(K)$	$\Theta(1)$
$\frac{3}{2} > \alpha \geq 1$	$\Theta\left(\frac{\sqrt{KM}^{\frac{3}{2}-\alpha}}{\sqrt{\log n}}\right)$	$\Theta\left(\frac{M^{\frac{3}{2}-\alpha}}{\sqrt{\log n}}\right)$
$\alpha < 1$	$\Theta\left(\frac{\sqrt{KM}}{\log n}\right)$	$\Theta\left(\frac{\sqrt{M}}{\log n}\right)$

liệu. Trong các trường hợp thông thường khác, để nhận được mỗi tệp dữ liệu mong muốn, thời gian cần thiết là gấp  $\sqrt{K}$  lần so với trường hợp không sử dụng phương pháp phân mảnh tệp dữ liệu (tương đương với mô hình dòng chảy, khi mỗi tệp dữ liệu có kích thước đủ nhỏ để có thể được truyền đi hoàn toàn trong khoảng thời gian là mỗi khe thời gian giữa các nút mạng lân cận với nhau).

## 2.17. Kết luận Chương

Ở Chương này, luận án đã trình bày giải pháp tối ưu hóa thông lượng và độ trễ của mô hình mạng vô tuyến hướng nội dung sử dụng kỹ thuật đệm dữ liệu, trong đó xem xét ảnh hưởng của tham số kích thước tệp dữ liệu  $K$ . Trong đó, các phương pháp phân mảnh tệp tin tuần tự và ngẫu nhiên được giới thiệu và các giá trị tối ưu tương ứng của thông lượng và độ trễ của mạng đã được tính toán dựa trên việc giải bài toán tối ưu hóa số lượng các bản sao lưu trữ  $\{X_m\}_{m=1}^M$  của mỗi tệp dữ liệu  $m \in \mathcal{M}$  được lưu trữ phân mảnh tại các bộ nhớ chia sẻ của các nút mạng. Kết quả nhận được cho thấy rằng sử dụng phương pháp thu nhận mảnh tin ngẫu nhiên đạt được hiệu năng mạng tối ưu tốt hơn phương pháp thu nhận mảnh tin tuần tự.

Ngoài ra, kết quả nghiên cứu tại Chương 3 cho thấy rằng, khi sử dụng phương pháp phân mảnh tệp dữ liệu, kích thước tệp dữ liệu không ảnh hưởng tới thông lượng tối ưu của mạng. Đối với tham số độ trễ tối ưu của mạng, khi phần lớn các tệp dữ liệu trong mạng đều có tính chất phổ biến cao và được lưu tại hầu hết các thiết bị người dùng ( $\alpha \geq \frac{3}{2}$ ), thời gian để nhận được mỗi tệp dữ liệu mong muốn tỷ lệ thuận  $K$  lần với kích thước tệp dữ liệu. Trong các trường hợp thông thường khác, để nhận được mỗi tệp dữ liệu mong muốn, thời gian cần thiết là gấp  $\sqrt{K}$  lần so với trường hợp không sử dụng phương pháp phân mảnh tệp dữ liệu (tương đương với mô hình dòng chảy, khi mỗi tệp dữ liệu có kích thước đủ nhỏ để có thể được truyền đi hoàn toàn trong khoảng thời gian là mỗi khe thời gian giữa các nút mạng lân cận với nhau).

## KẾT LUẬN

Nội dung luận án đã đạt được các mục tiêu đề ra là nghiên cứu ý nghĩa thực tế và hiệu quả của việc sử dụng kỹ thuật đệm dữ liệu cho mạng vô tuyến hướng nội dung và ảnh hưởng của các tham số của số lượng mảnh tin được phân mảnh từ mỗi tệp dữ liệu, bộ nhớ lưu trữ chia sẻ tại thiết bị di động người dùng và trạm gốc thông tin đối với hiệu năng mạng là thông lượng và độ trễ truyền tin. Các đóng góp chính đạt được của luận án có thể tóm tắt như sau:

### 1. Đề xuất mô hình mạng vô tuyến hướng nội dung sử dụng mô hình dòng chảy

Giải pháp tối ưu hóa thông lượng và độ trễ được đưa ra đối với mô hình mạng đề xuất, trong đó mỗi thiết bị di động và trạm gốc thông tin đều được trang bị các bộ nhớ lưu trữ chia sẻ hữu hạn. Các đóng góp của Nội dung này có thể được tóm tắt lại như sau:

- Đóng góp thứ nhất: Đề xuất được mô hình mạng trong đó cả các trạm gốc thông tin di động và thiết bị di động người dùng đều có khả năng lưu trữ các tệp dữ liệu dữ liệu trong mạng với dung lượng lưu trữ khác nhau cũng như xem xét đến ảnh hưởng của tính di động người dùng và sử dụng phương pháp đa điểm để định tuyến truyền tải thông tin.
- Đóng góp thứ hai: Dựa trên mô hình mạng đề xuất, phương pháp định tuyến truyền tin phù hợp với mô hình mạng đã được trình bày, từ đó xây dựng được công thức tính thông lượng và độ trễ mạng, phân tích đưa ra giải pháp tối ưu hóa hiệu năng mạng. Các kết quả phân tích và tính toán được kiểm tra lại bởi các kết quả được giải bởi chương trình mô phỏng và tính toán trên máy tính Mathematica
- Đóng góp thứ ba: Phương pháp lưu trữ dữ liệu cơ bản trong đó số lượng bản sao của tệp dữ liệu được phân bố tại các thiết bị di động và trạm gốc



thông tin di động được tối ưu một cách độc lập với nhau đã được trình bày và so sánh với phương pháp lưu trữ đề xuất.

## 2. Đề xuất mô hình mạng vô tuyến hướng nội dung sử dụng phương pháp phân mảnh tệp dữ liệu

Giải pháp tối ưu hóa thông lượng và độ trễ được đưa ra đối với mô hình mạng đề xuất, trong đó kích thước tệp dữ liệu  $K$  là tham số mạng quan trọng cần được xem xét tối. Các đóng góp của Nội dung này có thể được tóm tắt lại như sau:

- Đóng góp thứ nhất: Mô hình mạng vô tuyến hướng nội dung sử dụng phương pháp phân mảnh tệp dữ liệu đã được đề xuất, trong đó mỗi tệp dữ liệu được phân mảnh thành  $K$  mảnh tin. Các nút mạng nguồn cần tải lần lượt  $K$  mảnh tin rời rạc của tệp dữ liệu  $m$  để tổng hợp lại thành thông tin mong muốn.
- Đóng góp thứ hai: Từ mô hình mạng được đề xuất, mức cân bằng thông lượng và độ trễ của mạng đã được phân tích, tìm ra công thức tính toán và tối ưu hóa. So sánh đánh giá hiệu năng mạng giữa hai phương pháp thu nhận mảnh tin đề xuất là tuần tự và ngẫu nhiên. Các kết quả phân tích và tính toán đã được kiểm tra lại bởi các kết quả được giải bởi chương trình toán học được lập trình trên máy tính Mathematica.

**Hướng nghiên cứu tiếp theo** của luận án sẽ tập trung nghiên cứu Tối ưu hóa thông lượng và độ trễ của mạng vô tuyến hướng nội dung sử dụng các thuật toán mã hóa và sửa lỗi để nâng cao hiệu quả của kỹ thuật đệm dữ liệu.

## DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

- [ 1 ] A. T. Do and W.-Y. Shin, "Delay-throughput tradeoff of mobile social networks under random walk mobility," in Proc. Korea Inf. Commun. Society (KICS) Summer Conf., Jeju Island, Korea, Jun. 2015, pp. 447-448.
- [ 2 ] T.-A. Do, S.-W. Jeon, and W.-Y. Shin, "On the delay scaling of cache-enabled mobile networks," in Proc. Korea Inf. Commun. Society (KICS) Winter Conf., JeongSeon, Korea, Jan. 2016, pp. 420-421.
- [ 3 ] T.-A. Do, S.-W. Jeon, and W.-Y. Shin, "Caching in mobile HetNets: A throughput-delay trade-off perspective," in Proc. Korea Inf. Commun. Society (KICS) Summer Conf., Jeju Island, Korea, Jun. 2016, pp. 188-189.
- [ 4 ] T.-A. Do, S.-W. Jeon, and W.-Y. Shin, "Caching in mobile HetNets: A throughput-delay trade-off perspective," in Proc. IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT), Barcelona, Spain, Jul. 2016, pp. 1247-1251. (Hội nghị quốc tế hàng đầu thường niên của ngành Lý thuyết thông tin (Information Theory))
- [ 5 ] Trung-Anh Do, Hoai Bac Dang, Won-Yong Shin, "On the delay of content-centric mobile multihop networks using file segmentation", in Proc. 2017 Int. Conf. Adv. Technol. Commun., Quy Nhon, Vietnam, Oct. 2017, pp. 301-305.
- [ 6 ] Đỗ Trung Anh, Đặng Hoài Bắc, "Độ trễ trong mạng multihop hướng nội dung sử dụng phương pháp phân mảnh tệp tin", Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Đại học Đà Nẵng, trang 1-5, quyển 2, 2017.
- [ 7 ] Trung-Anh Do, Ngoc Chu Quang, and Hoai Bac Dang, "Optimal caching in content-centric mobile networks using file segmentation", Journal of Science and Technology on Information and Communicaitons, vol. 1, no. 1-2, pp. 44-50, Jun. 2018.
- [ 8 ] T.-A. Do, S.-W. Jeon, and W.-Y. Shin, "How to cache in mobile hybrid IoT networks?," IEEE Access (Special Section on Smart Caching, Communications, Computing and Cybersecurity for Information-Centric Internet of Things), vol. 7, no. 1, pp. 27814-27828, March 2019.(Tạp chí quốc tế ISI, SCIE-Indexed).