

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

**NGUYỄN THỊ THÙY LIÊN**

**NGHIÊN CỨU HIỆU NĂNG MẠNG  
TRONG ẢO HÓA CHỨC NĂNG MẠNG**

Chuyên ngành: Mạng máy tính và truyền thông dữ liệu

Mã số: 9480102.01

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ  
MẠNG MÁY TÍNH VÀ TRUYỀN THÔNG DỮ LIỆU**

**HÀ NỘI–2022**

**Công trình được hoàn thành tại:  
Trường Đại học Công nghệ - Đại học Quốc gia Hà Nội**

**Tập thể hướng dẫn khoa học:**

HD1: PGS.TS. Hồ Sĩ Đàm

HD2: TS. Phạm Tuấn Minh

**Phản biện 1:**

**Phản biện 2:**

**Phản biện 3:**

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng cấp Đại học Quốc gia chấm luận án tiến sĩ họp tại Đại học Công nghệ - Đại học Quốc gia Hà Nội vào hồi .... giờ, ngày ..... tháng .... năm .....

**Có thể tìm hiểu luận án tại:**

1. Thư viện Quốc gia Việt Nam.
2. Trung tâm Thông tin - Thư viện, Đại học Quốc gia Hà Nội.

# MỞ ĐẦU

## 1. Bối cảnh nghiên cứu

Ảo hóa chức năng mạng (Network Function Virtualization - NFV) là một hướng tiếp cận mới trong mô hình kiến trúc của các mạng truyền thông. Mặc dù các thiết bị mạng và mạng truyền thông dữ liệu đã và đang được phát triển, cải tiến theo thời gian, ngày càng trở lên nhanh hơn, linh hoạt hơn với dung lượng cao hơn nhưng chúng vẫn phải đối mặt với những đòi hỏi thay đổi không ngừng từ thị trường. Hơn nữa, ngành công nghiệp mạng hiện đang được thúc đẩy bởi một loạt các yêu cầu thách thức mới do các dịch vụ đám mây mang lại như cơ sở hạ tầng để hỗ trợ cho các dịch vụ và các yêu cầu để hoạt động hiệu quả hơn. Vấn đề đảm bảo hiệu năng mạng và việc nâng cấp các chức năng, thiết bị mạng để đáp ứng sự thay đổi liên tục về quy mô và yêu cầu của tổ chức đòi hỏi chi phí đầu tư rất lớn. Một giải pháp hiệu quả đó là xây dựng hệ thống mạng truyền thông dựa trên công nghệ Ảo hóa chức năng mạng.

Mặc dù NFV đã được chứng minh về tính hiệu quả cao trong việc tùy biến về quy mô và hiệu năng mạng cũng như tối thiểu chi phí đầu tư tuy nhiên mô hình NFV vẫn trong thời kỳ hình thành và phát triển do vậy còn nhiều khía cạnh quan trọng cần được nghiên cứu. NFV đang được Viện Tiêu chuẩn Viễn thông Châu Âu (ETSI) và nhóm đặc trách nghiên cứu Internet (Internet Research Task Force - IRTF) nghiên cứu để phát triển các tiêu chuẩn. Những nhà cung cấp dẫn đầu thị trường về sản phẩm thiết bị truyền thông như Ericsson, Nokia, Alcatel-Lucent và Huawei đã công bố nâng cấp thiết bị hỗ trợ NFV. Nhiều bài toán phát sinh trong quá trình triển khai NFV đã và đang được tập trung nghiên cứu và giải quyết góp phần phát triển NFV như kiến trúc của NFV, hiệu năng của NFV, quản lý điều phối hoạt động các chức năng mạng, đảm bảo độ tin cậy cho chuỗi dịch vụ.

## 2. Các vấn đề còn tồn tại

Các chức năng mạng ảo (Virtual Network Function - VNF) đóng một vai trò quan trọng trong toàn bộ kiến trúc NFV vì những người khởi xướng NFV hướng tới tổng quát hóa phần cứng và triển khai các chức năng mạng dưới dạng phần mềm. Do đó đảm bảo hiệu năng mạng trong NFV là một trong những thách thức không nhỏ khi mà các chức năng mạng được ảo hóa và được cung cấp rải rác trong mạng. Các tiêu chí hiệu năng mạng được tập trung nghiên cứu gồm có tối đa lưu lượng dữ liệu trong các hệ thống NFV, tối thiểu độ trễ, cân bằng tải, kiểm soát tắc nghẽn, tính khả dụng và độ tin cậy của các dịch vụ mạng.... Vậy làm thế nào để quản lý, kiểm soát và triển khai chi tiết các chức năng mạng một cách hiệu quả với từng mục đích tối ưu hóa khác nhau khi mà các nút mạng hỗ trợ NFV. Thêm vào đó, rất khó để tìm ra các giải pháp tối ưu, đặc biệt là trong mạng quy mô lớn do đặc điểm NP-hard của việc đặt vị trí VNF. Do đó, nhiều thách thức liên quan đến thuật toán và hệ thống thiết kế triển khai chức năng mạng. Một số phương

pháp được nghiên cứu nhằm đảm bảo hiệu năng mạng trong NFV được quan tâm như: Điều khiển lưu lượng dữ liệu, quản lý tài nguyên và tối ưu vị trí triển khai VNF, di chuyển VNF, cũng như triển khai dự phòng....

Tại thời điểm bắt đầu luận án này, đã có một số nghiên cứu liên quan đến điều khiển lưu lượng nhằm đảm bảo hiệu năng mạng trong NFV. Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu nào tập trung xem xét sự không ổn định của mạng bao gồm sự dao động lưu lượng dữ liệu trong mạng cũng như đảm bảo độ tin cậy của chuỗi dịch vụ trước sự hoạt động không ổn định của nút mạng. Vì vậy, luận án đề xuất nghiên cứu giải pháp điều khiển lưu lượng hiệu quả có xem xét đến sự thay đổi về yêu cầu lưu lượng dữ liệu, sự khác biệt về loại yêu cầu dịch vụ và giải pháp đảm bảo độ tin cậy cho chuỗi chức năng mạng ảo trong hệ thống NFV.

### 3. Mục tiêu nghiên cứu

Xuất phát từ những vấn đề còn tồn tại ở trên, luận án sẽ tập trung thực hiện hai nội dung khoa học chính như sau:

- (i) Nghiên cứu cải thiện hiệu năng mạng dựa trên điều khiển lưu lượng trong hệ thống NFV;
- (ii) Nghiên cứu đảm bảo độ tin cậy cho chuỗi chức năng mạng ảo trong hệ thống NFV.

### 4. Đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu

#### a. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Luận án thực hiện mô hình hóa và phân tích tìm giải pháp cải thiện hiệu năng mạng cho các hệ thống NFV.

#### b. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu được sử dụng trong luận án là mô hình hóa và thử nghiệm đánh giá kết quả. Đầu tiên, luận án mô hình hóa các bài toán dưới dạng mô hình toán học. Tiếp đó đề xuất các giải thuật cho phép tìm lời giải xấp xỉ cho bài toán. Cuối cùng, các tính toán về mặt lý thuyết được kiểm chứng thông qua mô phỏng số trên máy tính và đánh giá hiệu quả của giải pháp đề xuất.

### 5. Các đóng góp chính của luận án

Luận án đã đạt được các kết quả nghiên cứu và đóng góp chính như sau:

- Trong đóng góp đầu tiên, luận án đã đề xuất giải pháp điều khiển lưu lượng với định tuyến đa đường có xem xét sự dao động về lưu lượng dữ liệu theo thời gian và loại dịch vụ trong việc định tuyến lưu lượng dịch vụ nhằm đảm bảo hiệu năng mạng trong môi trường NFV. Kết quả thử nghiệm chỉ ra rằng cách tiếp cận với việc định tuyến đa đường giải bài toán điều khiển lưu lượng giúp cải thiện đáng kể một số hiệu năng trong hệ thống triển khai các chức năng mạng ảo.

Kết quả được công bố trong các công trình [C1], [J1].

- Trong đóng góp thứ hai, luận án đã đề xuất giải pháp triển khai dự phòng chức năng mạng ảo hiệu quả về chi phí và đảm bảo độ tin cậy cho chuỗi chức năng dịch vụ trong điện toán đám mây biên có triển khai NFV. Kết quả thử nghiệm cho thấy rằng giải pháp được đề xuất gần như tối ưu và giảm đáng kể thời gian tính toán để tìm vị trí thích hợp triển khai các VNFs và các VNFs dự phòng. Hơn nữa thử nghiệm cũng cho thấy chiến lược lựa chọn VNF được đề xuất để triển khai dự phòng hiệu quả, giúp tiết kiệm từ 30-40% chi phí triển khai dự phòng với cùng tỷ lệ số lượng yêu cầu dịch vụ được phục vụ.

Kết quả được công bố trong công trình [J2].

## **6. Bố cục của luận án**

Với kết cấu 3 chương, luận án đã trình bày trọn vẹn các nội dung khoa học chính của luận án.

## Chương 1

# TỔNG QUAN VỀ ẢO HÓA CHỨC NĂNG MẠNG VÀ KHẢO SÁT CÁC NGHIÊN CỨU LIÊN QUAN

Chương này trình bày cơ sở lý thuyết liên quan đến các vấn đề nghiên cứu của luận án bao gồm: các kiến thức tổng quan về Ảo hóa chức năng mạng (NFV), giới thiệu về các hướng nghiên cứu nhằm đảm bảo hiệu năng mạng trong NFV. Các kết luận được đưa ra trong phần cuối cùng của chương này.

### 1.1. Tổng quan về Ảo hóa chức năng mạng

#### 1.1.1. Công nghệ Ảo hóa

Ảo hóa là một công nghệ cho phép kết hợp hoặc phân chia tài nguyên tính toán nhằm biểu diễn một hoặc nhiều môi trường hoạt động phục vụ các chức năng nhất định thông qua các kỹ thuật phân vùng hoặc tích hợp phần cứng và phần mềm từ đó mô phỏng một phần hoặc toàn bộ máy, giả lập, chia sẻ thời gian và các phương pháp khác.

Một số loại hình của Ảo hóa có thể kể đến như sau:

- Ảo hóa dữ liệu (Data virtualization)
- Ảo hóa máy chủ (Server virtualization)
- Ảo hóa mạng (Network virtualization)
- Ảo hóa chức năng mạng (Network functions virtualization)

#### 1.1.2. Ảo hóa chức năng mạng - NFV

Ảo hóa chức năng mạng là một lĩnh vực công nghệ mới nổi nhanh chóng có nhiều ảnh hưởng đến thế giới mạng. NFV đang thay đổi cách các mạng được thiết kế, triển khai và quản lý, chuyển đổi ngành công nghiệp mạng theo hướng tiếp cận ảo hóa và chuyển các gói phần mềm khỏi các thiết bị phần cứng tùy chỉnh.

Từ viết tắt NFV được sử dụng như một thuật ngữ chung để chỉ hệ sinh thái tổng thể bao gồm các thiết bị mạng ảo, công cụ quản lý và cơ sở hạ tầng tích hợp các phần mềm này với phần cứng máy tính. Tuy nhiên, NFV được định nghĩa chính xác hơn là phương pháp và công nghệ cho phép thay thế thiết bị mạng thực hiện các chức năng mạng cụ thể với một hoặc nhiều chương trình phần mềm thực thi các chức năng mạng giống như đang chạy trên các thiết bị vật lý thông thường. Ví dụ như thay thế một thiết bị tường lửa vật lý bằng một thiết bị máy ảo dựa trên phần mềm. Máy ảo này cung cấp các chức năng tường lửa, chạy giống như hệ điều hành và có cũng có cùng giao diện nhưng trên phần cứng chung, được chia sẻ và không chuyên biệt.

### 1.1.3. Sự ra đời của NFV

Trong mạng truyền thống, hệ thống phần cứng được xây dựng cho các trường hợp sử dụng cụ thể, các chức năng được phát triển theo mục tiêu kết hợp chặt chẽ với các hệ điều hành độc quyền và chỉ thực hiện các chức năng nhất định. Với sự gia tăng theo cấp số nhân về nhu cầu băng thông từ các ứng dụng video, IoT và các thiết bị di động, các nhà cung cấp dịch vụ không ngừng tìm cách mở rộng các dịch vụ mạng của mình một cách tốt nhất mà không tăng chi phí đáng kể. Đặc điểm của các thiết bị truyền thống là một hạn chế lớn với các yêu cầu mới này và tạo ra nhiều ràng buộc hạn chế khả năng mở rộng, chi phí triển khai và hiệu quả hoạt động của mạng. Từ đó thúc đẩy các nhà khai thác mạng phải tìm giải pháp thay thế và có thể loại bỏ những hạn chế này bao gồm: hạn chế về tính linh hoạt, ràng buộc về khả năng mở rộng, thách thức về thời gian gia nhập thị trường, chi phí hoạt động cao, cân nhắc về sự di chuyển, cung cấp quá khả năng, khả năng tương tác.

NFV ra đời dựa trên ý tưởng tách phần mềm khỏi phần cứng và cung cấp khả năng sử dụng bất kỳ phần cứng nào có sẵn trên thị trường để triển khai ảo hóa cho các chức năng mạng cụ thể. Với NFV, các chức năng mạng khác nhau có thể triển khai tại các vị trí khác nhau trong mạng như trung tâm dữ liệu, các nút mạng và nút cuối của biên mạng theo yêu cầu. Hiện tại, thị trường của NFV bao gồm các thành phần chuyển mạch, các ứng dụng mạng, dịch vụ mạng.

### 1.1.4. Kiến trúc NFV

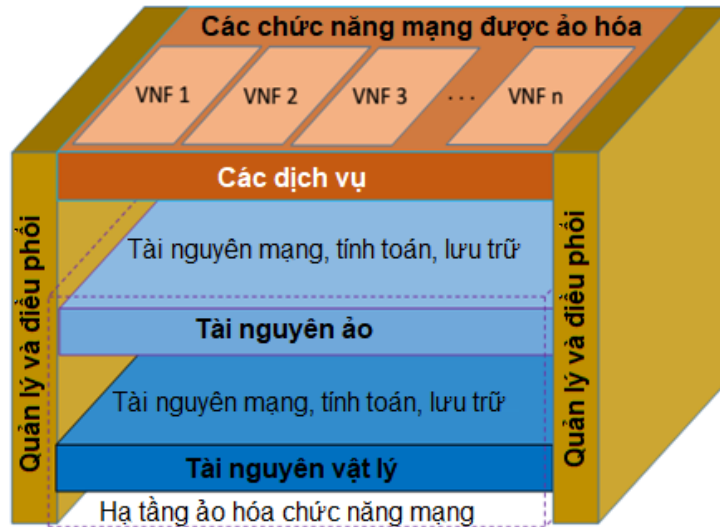
Kiến trúc mạng truyền thống khá cơ bản với các thiết bị mạng truyền thống mà cả phần cứng và phần mềm đều được tùy chỉnh và tích hợp chặt chẽ. Ngược lại, NFV cho phép phần mềm được phát triển bởi các nhà cung cấp để có thể thực thi trên các phần cứng dùng chung từ đó đặt ra nhiều điểm mới trong quản lý. Khung kiến trúc NFV được phát triển để đảm bảo rằng những đặc điểm này được chuẩn hóa và tương thích giữa các nhà cung cấp khác nhau.

Theo Viện tiêu chuẩn viễn thông Châu Âu (ETSI), kiến trúc NFV được tạo bởi 3 phần chính:

- Hạ tầng NFV (NFVI)
- Dịch vụ và các chức năng mạng ảo (VNFs)
- Quản lý và điều phối NFV (NFV MANO)

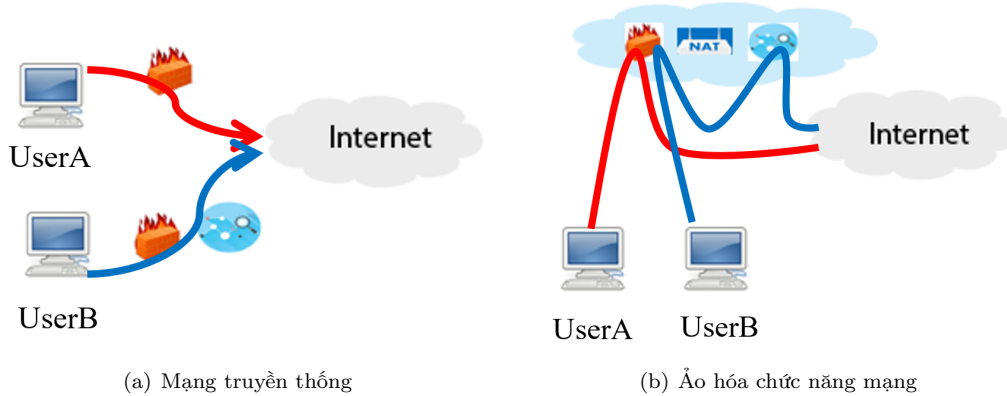
### 1.1.5. Dịch vụ mạng trong NFV

Dịch vụ mạng là sản phẩm được cung cấp bởi nhà điều hành và được phân phối bằng cách sử dụng một hoặc nhiều chức năng dịch vụ. Dịch vụ mạng là một chức năng hoàn chỉnh được các nhà khai thác mạng cung cấp tới người dùng, ví dụ như hệ thống bảo vệ mạng. Một dịch vụ mạng có thể bao gồm một hoặc nhiều chức năng mạng ảo hoặc các chức năng dịch vụ ví dụ như dịch vụ hệ thống bảo vệ mạng gồm các chức năng tường lửa, quét vi rút, kiểm tra gói tin sâu... Các chức năng mạng có nhiệm vụ xử lý các gói tin theo



Hình 1.1: Kiến trúc Ảo hóa chức năng mạng

một mục đích nhất định và chức năng dịch vụ có thể hoạt động ở nhiều tầng khác nhau trong mô hình mạng. Như một thành phần logic, chức năng dịch vụ có thể là một phần tử ảo hoặc được nhúng trong một thiết bị mạng vật lý. Một hoặc nhiều chức năng dịch vụ có thể được nhúng trong cùng một phần tử mạng. Chuỗi chức năng dịch vụ (SFC) là một hoặc tập hợp các chức năng dịch vụ ảo được sắp xếp theo một thứ tự nào đó.



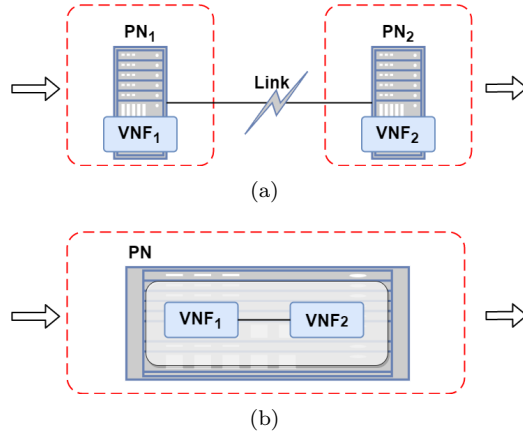
Hình 1.2: Dịch vụ mạng trong NFV

### 1.1.6. Các mô hình độ tin cậy của dịch vụ mạng

#### Độ tin cậy của các thành phần đơn lẻ

Giả thiết rằng mỗi thiết bị vật lý (nút vật lý - physical node (PN))  $k$  có độ tin cậy  $r_k$  được đánh giá bởi Mean Time Between Failure (MTBF). Độ tin cậy của các nút vật lý cũng được giả thiết là độc lập với các nút khác cũng như các chức năng mạng được triển khai trên nút đó. Luận án cũng giả thiết rằng các chức năng mạng ảo  $f$  có độ tin cậy  $r_f$ , và độ tin cậy giữa các chức năng mạng ảo cũng độc lập với nhau và không phụ thuộc vào độ tin cậy của nút vật lý mà chức năng mạng ảo được triển khai trên đó. Vì vậy độ tin





Hình 1.3: Các chức năng mạng ảo được sắp xếp nối tiếp

cây của một chức năng mạng ảo  $f$  được triển khai trên một nút vật lý  $k$  được tính như sau:

$$R_{\text{VNF}} = r_f \cdot r_k. \quad (1.1)$$

### Độ tin cậy của các hệ thống phức hợp

Một dịch vụ mạng thường được tạo bởi một tập các chức năng mạng ảo được sắp xếp theo một trật tự nhất định. Độ tin cậy của dịch vụ mạng được xác định dựa trên độ tin cậy của các chức năng mạng ảo thành phần. Hơn nữa độ tin cậy của chuỗi dịch vụ còn tùy thuộc vào cách thức sắp xếp các chức năng mạng ảo thành phần song song hay nối tiếp. Cách thứ nhất như Hình. 1.3(a) mỗi chức năng mạng ảo được triển khai trên một nút vật lý khác nhau. Hoặc các chức năng mạng ảo có thể được triển khai trên cùng một nút vật lý như thể hiện trong Hình. 1.3(b). Để xử lý lưu lượng dữ liệu, các chức năng mạng ảo VNF<sub>1</sub> và VNF<sub>2</sub> cần sẵn sàng hoạt động đồng thời tại mỗi thời điểm. Do đó, độ tin cậy của yêu cầu chuỗi dịch vụ được tính như sau:

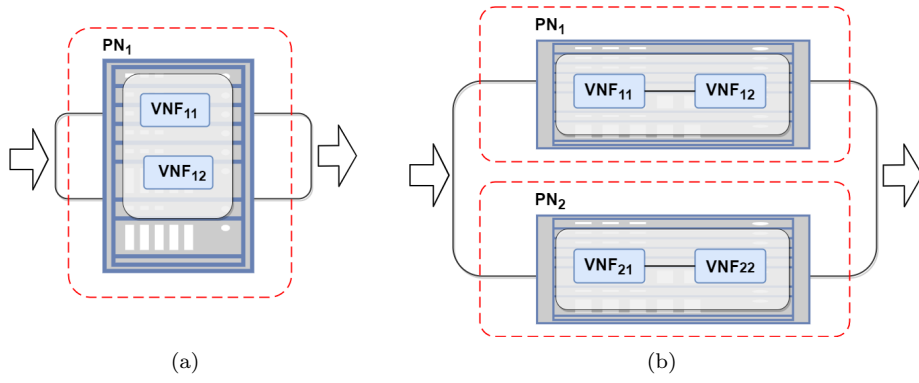
$$R_{\text{SFC}} = \prod_{i \in \{1,2\}} (r_{k_i} \cdot r_{f_i}), \quad (1.2)$$

$$R_{\text{SFC}} = r_k \prod_{i \in \{1,2\}} (r_{f_i}). \quad (1.3)$$

Các chức năng mạng ảo cũng có thể được sắp xếp song song với nhau như Hình. 1.4. Vì các chức năng mạng ảo VNF<sub>11</sub> và VNF<sub>12</sub> cùng thực hiện một nhiệm vụ như nhau và được đặt trên cùng một thiết bị vật lý như Hình. 1.4(a), do vậy chuỗi chức năng dịch vụ sẵn sàng hoạt động khi ít nhất một trong số hai chức năng mạng ảo này hoạt động. Vì vậy độ tin cậy của chuỗi dịch vụ được xác định như sau:

$$R_{\text{SFC}} = r_{k_1} \cdot (1 - (1 - r_{f_{11}}) \cdot (1 - r_{f_{12}})). \quad (1.4)$$

Nếu các chức năng mạng ảo VNF<sub>21</sub> và VNF<sub>22</sub> cũng cùng thực hiện một nhiệm vụ như nhau và được đặt như Hình 1.4(b) thì độ tin cậy của chuỗi dịch vụ được tạo bởi hai chuỗi



Hình 1.4: Các chức năng mạng ảo được sắp xếp song song

dịch vụ con được xác định như sau:

$$R_{SFC} = 1 - \prod_{i \in \{1,2\}} (1 - r_{k_i} \cdot \prod_{j \in \{1,2\}} r_{f_{ij}}). \quad (1.5)$$

### 1.1.7. Các thách thức nghiên cứu trong NFV

Một số hướng nghiên cứu chính cần được tập trung nghiên cứu giải quyết trong việc phát triển NFV như sau:

- Ảo hóa chức năng
- Khả năng di chuyển
- Quản lý và điều phối
- Giao diện tiêu chuẩn
- Hiệu suất về mặt năng lượng
- Triển khai chức năng
- Điều khiển lưu lượng
- Tính sẵn sàng và độ tin cậy

## 1.2. Khảo sát các nghiên cứu liên quan

NFV là một trong những lĩnh vực nghiên cứu thu hút rất nhiều sự chú ý của các nhà khoa học bởi sự linh hoạt và tùy biến trong thiết kế mạng thông qua ứng dụng kỹ thuật ảo hóa. Các nghiên cứu về NFV được thực hiện khám phá tiềm năng của NFV và ứng dụng cho môi trường mạng trong tương lai nhằm đạt được các mục tiêu khác nhau. Những nghiên cứu về NFV có thể được phân loại thành một số lĩnh vực chính. Hướng nghiên cứu thứ nhất tập trung vào việc tích hợp NFV với các công nghệ khác như mạng quang (Optical networks), IoT, 5G, SDN, và điện toán đám mây (Cloud computing). Các nghiên cứu theo hướng thứ hai tập trung vào phân bổ tài nguyên NFV, điều phối, các khía cạnh vị trí triển khai VNFs, lập lịch, và các thuật toán di chuyển VNFs. Điểm chung của các

nghiên cứu này là phát triển các giải thuật xấp xỉ có thể đạt đến kết quả gần tối ưu với thời gian thực hiện nhanh hơn cho những bài toán quy mô lớn. Hướng nghiên cứu thứ ba là các nghiên cứu tập trung vào các hướng dẫn, khảo sát và đánh giá liên quan đến các chủ đề NFV cụ thể và các đánh giá chung về NFV. Cụ thể, các nghiên cứu về các chủ đề NFV cụ thể gồm có NFV-MANO, bảo mật trong NFV, NFV cho mạng di động thế hệ tiếp theo, NFV trong 5G... Ngoài ra, một số nghiên cứu tổng hợp về NFV được thực hiện.

VNFs đóng một vai trò quan trọng trong toàn bộ kiến trúc NFV vì những người khởi xướng NFV hướng tới tổng quát hóa phần cứng và triển khai các chức năng mạng dưới dạng phần mềm. Do đó đảm bảo hiệu năng mạng trong NFV là một trong những thách thức không nhỏ khi mà các chức năng mạng được ảo hóa và được cung cấp rải rác trong mạng. Các tiêu chí hiệu năng mạng được tập trung nghiên cứu gồm có tối đa lưu lượng dữ liệu trong các hệ thống NFV, tối thiểu độ trễ, cân bằng tải, kiểm soát tắc nghẽn, tính khả dụng và độ tin cậy của các dịch vụ mạng .... Quản lý, kiểm soát và triển khai chi tiết các chức năng mạng như thế nào là hiệu quả với từng mục đích tối ưu hóa khác nhau khi mà các nút mạng hỗ trợ NFV. Thêm vào đó, rất khó để tìm ra các giải pháp tối ưu, đặc biệt là trong mạng quy mô lớn do đặc điểm NP-khó của bài toán đặt vị trí VNF. Do đó, nhiều thách thức liên quan đến thuật toán và hệ thống thiết kế triển khai chức năng mạng. Một số phương pháp được nghiên cứu nhằm đảm bảo hiệu năng mạng trong NFV được quan tâm như: Điều khiển lưu lượng dữ liệu, quản lý tài nguyên và tối ưu vị trí triển khai VNF, di chuyển VNF, cũng như triển khai dự phòng.... Tiếp theo luận án trình bày khảo sát một số giải pháp đảm bảo hiệu năng mạng trong NFV từ đó đề xuất hướng nghiên cứu chính của luận án.

### **1.2.1. Điều khiển lưu lượng dữ liệu và quản lý tài nguyên trong hệ thống NFV**

### **1.2.2. Đảm bảo tính khả dụng và độ tin cậy của các dịch vụ trong NFV**

## **1.3. Kết luận chương**

Chương 1 đã trình bày một số kiến thức nền tảng liên quan đến cơ sở lý thuyết Ảo hóa chức năng mạng, các kết quả tìm hiểu được về các thách thức nghiên cứu trong NFV và bối cảnh nghiên cứu NFV hiện nay trên thế giới từ đó đề xuất các hướng nghiên cứu chính của luận án.

Xuất phát từ những phân tích ở trên, các đề xuất nghiên cứu trong các chương tiếp theo của luận án tập trung vào hai bài toán chính:

- Điều khiển lưu lượng đảm bảo hiệu năng mạng với định tuyến đa đường cho hệ thống IoT có triển khai NFV.
- Đảm bảo độ tin cậy cho chuỗi chức năng mạng ảo trong môi trường điện toán biên.

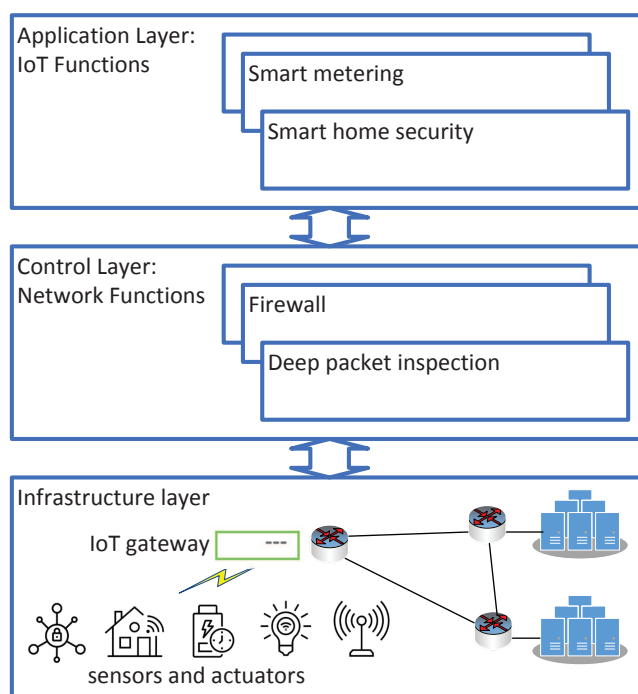
## Chương 2

# ĐIỀU KHIỂN LƯU LƯỢNG VỚI ĐỊNH TUYẾN ĐA ĐƯỜNG CHO HỆ THỐNG IOT CÓ TRIỂN KHAI NFV

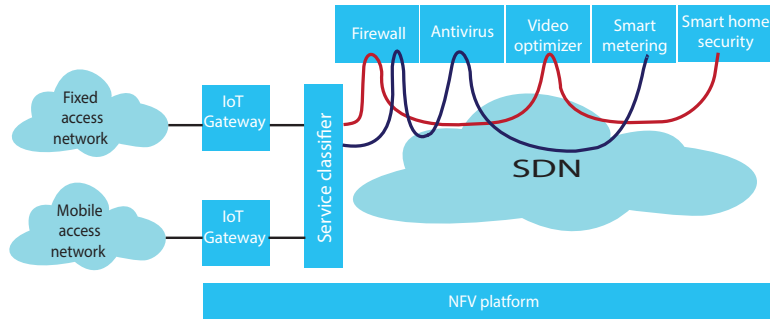
Trong chương này, luận án sẽ nghiên cứu bài toán điều khiển lưu lượng với định tuyến đa đường cho hệ thống IoT có triển khai NFV (NIoT) có xem xét sự khác biệt về loại yêu cầu dịch vụ và sự biến động của lưu lượng dữ liệu trong các khoảng thời gian khác nhau.

### 2.1. Đặt vấn đề

Internet of Things (IoT) là yếu tố thúc đẩy cuộc cách mạng kỹ thuật số, qua đó con người, các thiết bị truyền động, cảm biến...được tích hợp Internet có thể tương tác trên toàn thế giới. Áp dụng các công nghệ NFV trong môi trường IoT mở ra một cách tiếp cận mới giúp cung cấp dịch vụ một cách nhanh hơn và tiết kiệm chi phí hơn. Nhiều công trình khoa học đã nghiên cứu giải quyết các khía cạnh khác nhau làm nổi bật cách thức NFV có thể trở thành yếu tố thúc đẩy cho các nền tảng IoT trong tương lai. Tuy nhiên, không có công trình nào trong số này giải quyết bài toán tối ưu hóa định tuyến đa đường trong hệ thống NIoT có xem xét đến sự biến động của khối lượng dữ liệu cần xử lý và sự khác biệt giữa các loại yêu cầu dịch vụ khác nhau trong khi đây là một trong những yếu tố quan trọng giúp cải thiện hiệu năng của hệ thống NIoT.



Hình 2.1: IoT framework triển khai NFV (NIoT).



Hình 2.2: Chuỗi chức năng dịch vụ trong NIoT.

## 2.2. Phát biểu bài toán

### 2.2.1. Mô tả hệ thống IoT có triển khai NFV

Hệ thống NIoT cung cấp các chức năng IoT và các chức năng mạng được triển khai trên tầng ứng dụng và tầng điều khiển như là các dịch vụ. Trong hệ thống NIoT, một chức năng mạng ảo (VNF) là một triển khai phần mềm của các chức năng mạng và chức năng IoT, được quản lý bởi bộ phần quản lý và điều phối NFV (MANO). Trong hệ thống NFV, một dịch vụ đầu cuối thường được tạo bởi một vài chức năng mạng ảo được triển khai trên môi trường đám mây. Vì tầng ảo hóa của NFV cho phép triển khai các VNF, do vậy có thể được xem như tầng điều khiển cung cấp các chức năng mạng và tầng ứng dụng cung cấp các chức năng IoT. Các luồng dữ liệu IoT được tạo bởi các cảm biến trong tầng hạ tầng và có thể được xử lý lần lượt bởi các chức năng mạng ảo ví dụ như kiểm tra gói tin ở tầng điều khiển và đo sáng thông minh ở tầng ứng dụng. Luận án giả thiết rằng cần một chi phí nào đó để triển khai của các chức năng ảo tại các nút NFV. Tương tự như vậy, để truyền tải lưu lượng trên các liên kết giữa các nút cũng cần chi phí tương ứng với liên kết và lượng lưu lượng dữ liệu trên liên kết đó.

### 2.2.2. Phát biểu bài toán

Một đồ thị có hướng  $G = (V, E)$  được sử dụng để biểu diễn hệ thống NIoT, trong đó  $V$  là tập  $n$  nút và  $E$  là tập  $k$  liên kết có hướng. Hệ thống cung cấp một tập  $F$  các chức năng mạng ảo và chức năng IoT. Các nút  $v \in V$  đại diện cho những thiết bị phần cứng tiêu chuẩn cho phép triển khai các chức năng mạng ảo một cách linh động tùy để phục vụ yêu cầu người dùng. Mỗi nút  $v$  có tài nguyên nhất định để triển khai các VNFs và chỉ có thể triển khai một số chức năng nhất định. Chúng tôi sử dụng  $C_{2,v}$  đại diện cho khả năng xử lý của nút  $v$ . Liên kết  $e \in E$  là một liên kết từ nút  $i_e$  đến nút  $j_e$ . Ký hiệu  $C_{1,e}$  được sử dụng để biểu diễn băng thông của liên kết  $e$ .

Tiếp theo, tập  $D$  được sử dụng để biểu diễn tập  $m$  yêu cầu dịch vụ từ người dùng. Trong đó, mỗi yêu cầu người dùng  $d$  yêu cầu xử lý một lượng dữ liệu  $h_d$  từ nút nguồn  $s_d$  đến nút đích  $t_d$  qua một chuỗi các chức năng mạng được biểu diễn thông qua  $F_d \subset F$ . Giả sử mỗi liên kết  $e \in E$  được gán một trọng số liên kết thì  $w = \{w_e : e \in E\}$  là hệ thống trọng số liên kết trong hệ thống NIoT. Để biểu diễn phương án phân chia lưu lượng các luồng dữ liệu của yêu cầu dịch vụ  $d$  theo các đường đi khác nhau trong hệ thống luận án

sử dụng vector phân chia lưu lượng  $x = \{x_{epd} : e \in E, d \in D, p \in P_d\}$  và  $x_{epd}$  là lưu lượng dữ liệu đi qua liên kết  $e$  của đường đi  $p$  tương ứng với vector trọng số liên kết  $w$ .

Luận án phát biểu ba bài toán điều khiển lưu lượng sẽ xem xét như sau:

- **Bài toán 1 (Điều khiển lưu lượng có xem xét sự khác biệt về loại yêu cầu dịch vụ (ED)):** Cho hệ thống NIoT  $G = (V, E)$ , tập các yêu cầu dịch vụ  $D$  được chia thành hai loại  $D_1$  và  $D_2$  trong đó hệ thống sẽ phục vụ đầy đủ yêu cầu về lưu lượng dữ liệu với những yêu cầu thuộc loại  $D_1$ , và hệ thống sẽ cung cấp theo hiện trạng đối với những yêu cầu dịch vụ thuộc loại  $D_2$ , tìm giải pháp định tuyến  $x_{epd}$  và một vector trọng số liên kết  $w = \{w_e : e \in E\}$  với  $e \in E, p \in P$  và  $d \in D$ , thỏa mãn tất cả các ràng buộc về tài nguyên trong hệ thống NIoT nhằm tối đa tổng lưu lượng được hệ thống phục vụ.
- **Bài toán 2 (Điều khiển lưu lượng có xem xét sự biến động theo thời gian (EP)):** Cho hệ thống NIoT  $G = (V, E)$ , tập các yêu cầu dịch vụ  $D$ , tập các đường đi  $P$ , và tập các khoảng thời gian  $T$  đại diện sự biến động về lưu lượng dữ liệu của các yêu cầu dịch vụ và chi phí truyền tải dữ liệu trên các liên kết theo thời gian, tìm một giải pháp định tuyến  $x_{epdt}$  và vector trọng số liên kết  $w = \{w_e : e \in E\}$  với  $e \in E, p \in P, d \in D$  and  $t \in T$ , thỏa mãn tất cả các ràng buộc về tài nguyên trong hệ thống NIoT nhằm tối thiểu tổng chi phí định tuyến.
- **Bài toán 3 (Điều khiển lưu lượng xem xét đồng thời sự khác biệt về loại yêu cầu dịch vụ và sự biến động theo thời gian (EDP)):** Cho hệ thống NIoT  $G = (V, E)$ , tập các yêu cầu dịch vụ  $D$  được chia thành hai loại  $D_1$  và  $D_2$  trong đó hệ thống sẽ phục vụ đầy đủ yêu cầu về lưu lượng dữ liệu với những yêu cầu thuộc loại  $D_1$ , và hệ thống sẽ cung cấp theo hiện trạng đối với những yêu cầu dịch vụ thuộc loại  $D_2$ , tập các đường đi  $P$ , và tập các khoảng thời gian  $T$  đại diện sự biến động về lưu lượng dữ liệu của các yêu cầu dịch vụ và chi phí truyền tải dữ liệu trên các liên kết theo thời gian, tìm một giải pháp định tuyến  $x_{epdt}$  và vector trọng số liên kết  $w = \{w_e : e \in E\}$  với  $e \in E, p \in P, d \in D$  and  $t \in T$ , thỏa mãn tất cả các ràng buộc về tài nguyên trong hệ thống NIoT nhằm đạt được các mục tiêu: (1) tối đa tỉ lệ yêu cầu dịch vụ được chấp nhận phục vụ, (2) tối đa tỉ lệ lưu lượng dữ liệu được phục vụ và (3) tối thiểu tổng chi phí định tuyến.

Dựa trên các đặc trưng của NFV, các ràng buộc về tài nguyên trên các nút và liên kết trong hệ thống NIoT, luận án ứng dụng kỹ thuật định tuyến đa đường ECMP (Equal-Cost Multiple Path) để xác định phương án định tuyến tối ưu  $x(w)$  ứng với vector trọng số liên kết  $w$ . Trong phần tiếp theo, luận án biểu diễn cụ thể các ràng buộc và hàm mục tiêu nhằm đạt được giải pháp tối ưu gồm vector trọng số liên kết tối ưu và phương án phân chia lưu lượng tốt nhất.

### 2.3. Các mô hình tối ưu

Mục tiêu chung của cả ba bài toán là tìm ra vector trọng số liên kết  $w$  và vector phân bổ luồng dữ liệu  $x(w)$  nhằm tối thiểu hóa tổng chi phí định tuyến mạng lớn nhất trên tất

cả các khoảng thời gian mà vẫn thỏa mãn tất cả các yêu cầu về dịch vụ và các ràng buộc về hạ tầng mạng. Vector phân bổ luồng dữ liệu  $x(w)$  được xác định dựa trên kỹ thuật định tuyến ECMP cho mỗi vector trọng số liên kết  $w$ . Các bài toán với những hàm mục tiêu khác nhau nhưng đều xem xét đến các ràng buộc về khả năng xử lý của nút, băng thông của liên kết, yêu cầu xử lý của các chức năng mạng ảo, cân bằng lưu lượng dữ liệu tại các nút và các liên kết cũng như ràng buộc về sự phân chia lưu lượng dữ liệu theo kỹ thuật định tuyến ECMP.

### 2.3.1. Điều khiển lưu lượng xem xét sự khác biệt giữa các loại yêu cầu dịch vụ

Trong phần này, để tìm được lời giải tối ưu cho bài toán ED, luận án mô hình hóa bài toán ED dưới dạng quy hoạch tuyến tính nguyên hỗn hợp (Mixed Integer Linear Programming - MILP), gọi là ED-O. Cụ thể, luận án nghiên cứu giải pháp định tuyến đa đường ứng dụng kỹ thuật phân chia lưu lượng ECMP cho mạng NFV với mục tiêu đảm bảo tối đa hóa tỉ lệ tổng lưu lượng truy cập được phục vụ dựa trên xem xét các loại dịch vụ khác nhau của các yêu cầu dịch vụ. Luận án phân chia yêu cầu dịch vụ thành hai loại  $D = D_1 \cup D_2$ , trong đó hệ thống sẽ đáp ứng đầy đủ các yêu cầu về lưu lượng đối với loại thứ nhất  $D_1$  và phục vụ yêu cầu về lưu lượng đối với loại yêu cầu dịch vụ thứ hai  $D_2$  phụ thuộc vào các tài nguyên liên quan sẵn có.

Mục tiêu của bài toán là tìm giải pháp tối ưu nhằm đạt được tối đa tổng lưu lượng dữ liệu mà hệ thống mạng có thể phục vụ. Do vậy, hàm mục tiêu được xây dựng như sau:

$$F = \max \left( \sum_{d,p} x_{epd} \right). \quad (2.1)$$

### 2.3.2. Điều khiển lưu lượng xem xét sự biến động theo thời gian

Vì lưu lượng dữ liệu của các yêu cầu dịch vụ thay đổi trong các khoảng thời gian khác nhau theo nhu cầu người sử dụng. Trong bài toán này luận án xem xét sự thay đổi lưu lượng yêu cầu dịch vụ và biểu phí định tuyến trong các khoảng thời gian khác nhau nhằm tối thiểu tổng chi phí định tuyến.

Luận án mô hình hóa bài toán điều khiển lưu lượng (TE) dưới dạng MILP và gọi là TE-O. Luận án sử dụng tập  $T = \{t_i | i = 1, 2, \dots, r\}$  để biểu diễn tập  $r$  khoảng thời gian. Các ký hiệu  $C_{1,e}$  và  $C_{et}$  lần lượt được sử dụng để biểu diễn băng thông và chi phí định tuyến đơn vị cần thiết cho mỗi đơn vị dữ liệu trong khoảng thời gian  $t$  của liên kết  $e$ . Với mỗi vector trọng số liên kết  $w$ , hệ thống sẽ quyết định một vector phân bổ luồng dữ liệu  $x(w) = (x_{epdt} : e \in E, d \in d, p \in P_d, t \in T)$

Mục tiêu của bài toán là tối thiểu hóa tổng chi phí định tuyến. Hàm mục tiêu được xây dựng như sau:

$$F = \max_{t \in T} \left( \sum_e y_{et} \cdot C_{et} \right), \quad (2.2)$$

trong đó  $y_{et} = \sum_{d,p} x_{epdt}$ .

### 2.3.3. Điều khiển lưu lượng xem xét sự đồng thời sự khác biệt về loại yêu cầu dịch vụ và sự biến động theo thời gian

Trong phần này, luận án xem xét bài toán điều khiển lưu lượng trong NFV có xem xét sự thay đổi lưu lượng dữ liệu theo thời gian và sự khác biệt loại yêu cầu dịch vụ. Mục tiêu của bài toán là tìm được hệ thống trọng số liên kết tối ưu và giải pháp phân chia lưu lượng đa mục tiêu gồm có: tối đa hóa tỉ lệ yêu cầu dịch vụ được phục vụ trong hệ thống, tối đa hóa tổng lưu lượng dữ liệu mà hệ thống có thể phục vụ đồng thời giảm thiểu chi phí định tuyến. định tuyến. Hàm mục tiêu của bài toán được biểu diễn theo công thức:

$$F = \max (\alpha \cdot \bar{\Psi}_1 + \beta \cdot \bar{\Psi}_2 - \gamma \cdot \bar{\Psi}_3) . \quad (2.3)$$

trong đó:  $\alpha$ ,  $\beta$ , and  $\gamma$  là các tham số của mô hình đại diện cho trọng số của các tỉ lệ các yêu cầu dịch vụ được chấp nhận, tổng lưu lượng dữ liệu được phục vụ, và tổng chi phí định tuyến.  $\bar{\Psi}_1$  là biến phụ đại diện cho tỉ lệ nhỏ nhất về số lượng yêu cầu dịch vụ được chấp nhận phục vụ trong toàn bộ khoảng thời gian và được biểu diễn bởi ràng buộc sau:

$$\bar{\Psi}_1 \leq \frac{n_{at}}{|D|}, \quad \forall t. \quad (2.4)$$

Tương tự như vậy,  $\bar{\Psi}_2$  và  $\bar{\Psi}_3$  lần lượt là tổng số lưu lượng dữ liệu nhỏ nhất được chấp nhận phục vụ bởi hệ thống và tổng chi phí định tuyến lớn nhất trong toàn bộ các khoảng thời gian. Các biến phụ được biểu diễn bởi các ràng buộc như dưới đây:

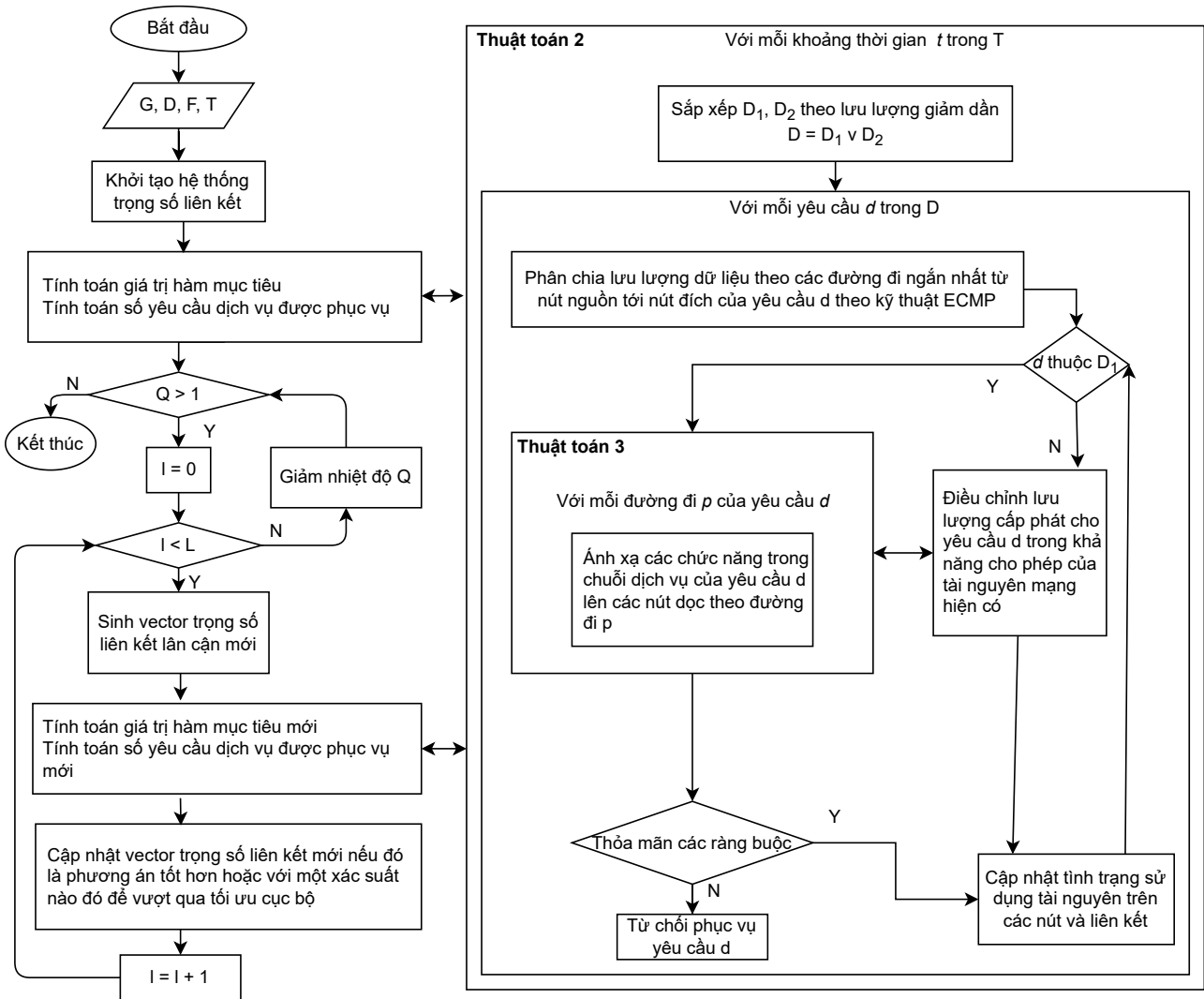
$$\bar{\Psi}_2 \leq \frac{\sum_{e,p,d} x_{epdt}}{\sum_d h_{dt}}, \quad \forall t, \quad (2.5)$$

$$\bar{\Psi}_3 \geq \frac{\sum_{e,p,d} C_{et} \cdot y_{et}}{\max_{t \in T} \left( \sum_d h_{dt} \right) \cdot \max_{t \in T, e \in E} (C_{et}) \cdot (|V| - 1)}, \quad \forall t. \quad (2.6)$$

## 2.4. Giải thuật xấp xỉ

Trong phần này, luận án đề xuất một giải thuật xấp xỉ để tìm lời giải gần đúng cho cả ba bài toán trong hệ thống NIoT với quy mô lớn. Giải thuật được đề xuất nhằm đạt được các mục tiêu như sau: 1) tối đa tổng lưu lượng được đáp ứng, 2) tối đa số lượng yêu cầu dịch vụ được chấp nhận phục vụ, 3) giảm thiểu tổng chi phí định tuyến trong hệ thống NIoT. Giải thuật xấp xỉ được đề xuất gồm 2 phần chính: (i) tối ưu vector trọng số liên kết có xem xét đến sự khác biệt về loại yêu cầu dịch vụ và sự thay đổi lưu lượng của các yêu cầu dữ liệu trong những khoảng thời gian khác nhau cũng như tài nguyên sẵn có trong hạ tầng mạng. (ii) xác định vector phân bổ lưu lượng dữ liệu dựa trên các yêu cầu dịch vụ, vector trọng số liên kết, các tài nguyên hệ thống sẵn có và kỹ thuật định tuyến ECMP. Các bước chính của giải thuật được đề xuất được minh họa như trong sơ đồ Hình 2.3.





Hình 2.3: Lưu đồ giải thuật đề xuất.

## 2.5. Thử nghiệm đánh giá kết quả

### 2.5.1. Các thông số thử nghiệm

Để đánh giá hiệu quả của giải pháp đề xuất, luận án sử dụng bốn kịch bản thử nghiệm gồm các bộ dữ liệu thực tế và các mô hình cấu trúc mạng lý thuyết như trong Bảng 2.1.

Bảng 2.1: Các kịch bản thử nghiệm

Kịch bản	Số lượng các nút ảo	Số lượng các liên kết ảo	Số lượng VNFs	Số lượng khoảng thời gian	Số yêu cầu dịch vụ nhỏ nhất	Số yêu cầu dịch vụ lớn nhất
Internet2	12	30	4	3	20	120
Geant	22	72	4	4	50	200
Two-tier	60	282	4	3	10	40
Bcube	176	1464	4	3	50	200

Thử nghiệm tập trung đánh giá 3 khía cạnh: (i) tỉ lệ yêu cầu dịch vụ được phục vụ, (ii) tỉ lệ tổng lưu lượng được phục vụ, và (iii) tổng chi phí định tuyến. Cụ thể, tỉ lệ yêu cầu dịch vụ được phục vụ là tỉ lệ phần trăm của số yêu cầu dịch vụ được hệ thống chấp nhận phục vụ trên tổng số các yêu cầu. Tương tự như vậy, tỉ lệ tổng lưu lượng được phục

vụ là tổng số lưu lượng được hệ thống phục vụ trên tổng số lưu lượng được yêu cầu. Cuối cùng, tổng chi phí định tuyến là tổng của chi phí định tuyến trên tất cả các liên kết trong hệ thống, trong đó chi phí định tuyến trên mỗi liên kết  $e$  là tích của tổng lưu lượng dữ liệu đi qua liên kết  $e$  và chi phí định tuyến cho mỗi đơn vị dữ liệu trên liên kết  $e$ .

### **2.5.2. Đánh giá hiệu quả của giải pháp điều khiển lưu lượng khi xem xét sự khác biệt về loại yêu cầu dịch vụ**

Kết quả thử nghiệm cho thấy giải pháp điều khiển lưu lượng xem xét sự khác biệt về các loại yêu cầu dịch vụ hiệu quả trong việc tối đa hóa tổng lưu lượng dữ liệu đến từ người dùng được phục vụ bởi hệ thống mạng.

### **2.5.3. Đánh giá hiệu quả của giải pháp điều khiển lưu lượng khi xem xét các khoảng thời gian khác nhau**

Kết quả thử nghiệm cho thấy giải pháp điều khiển lưu lượng có xem xét đến nhiều khoảng thời gian là một cách tiếp cận hiệu quả để giảm thiểu tổng chi phí định tuyến trong hệ thống.

### **2.5.4. Đánh giá hiệu quả của giải pháp điều khiển lưu lượng khi xem xét đồng thời sự khác biệt về loại yêu cầu dịch vụ và sự biến động lưu lượng trong các khoảng thời gian khác nhau**

Sự kết hợp của giải pháp điều khiển lưu lượng xem xét đồng thời sự khác biệt về loại yêu cầu dịch vụ và sự biến động về lưu lượng dữ liệu theo thời gian là một giải pháp hiệu quả giúp đồng thời đạt được nhiều mục tiêu.

## **2.6. Kết luận chương**

Trong chương này, luận án đã nghiên cứu bài toán điều khiển lưu lượng nhằm đảm bảo hiệu năng cho hệ thống triển khai NFV bằng cách xem xét kỹ thuật định tuyến ECMP, SFC, các loại yêu cầu dịch vụ khác nhau và sự biến động của lưu lượng dữ liệu trong hệ thống NIoT. Luận án đã đề xuất ba mô hình MILP để tìm bộ trọng số liên kết và giải pháp định tuyến tối ưu cho bài toán điều khiển lưu lượng. Tiếp đó, luận án đã phát triển các thuật toán hiệu quả cho phép tìm lời giải gần đúng cho bài toán điều khiển lưu lượng với quy mô lớn. Hiệu suất của các thuật toán được đề xuất được đánh giá thông qua mô phỏng sử dụng cả các bộ dữ liệu tổng hợp và các bộ dữ liệu thực tế về lưu lượng dữ liệu và cấu trúc liên kết trong mạng. Từ kết quả đạt được, một số nhận xét được rút ra như sau:

- Một chiến lược điều khiển lưu lượng tổng hợp xem xét sự khác biệt về các loại yêu cầu dịch vụ và sự dao động của lưu lượng dữ liệu trong các khoảng thời gian khác nhau có thể làm tăng đáng kể hiệu suất của hệ thống NIoT nhờ vào tính năng cung cấp của thành phần dịch vụ được tạo ra một cách đồng bộ trong NFV.

Các công trình khoa học liên quan đến nội dung Chương 2 đã được công bố trong 1 bài hội nghị quốc tế [C1], 1 bài tạp chí quốc tế [J1].

### Chương 3

## ĐẢM BẢO ĐỘ TIN CẬY CHO CHUỖI CHỨC NĂNG MẠNG ẢO TRONG ĐIỆN TOÁN Đám Mây BIÊN

Trong chương này, luận án trình bày các nghiên cứu về đảm bảo yêu cầu độ tin cậy cao cho các dịch vụ dựa trên việc xem xét đồng thời độ tin cậy phần cứng và phần mềm cũng như mức tiêu thụ tài nguyên của các VNFs giúp tối thiểu chi phí triển khai trong hệ thống NFV.

### 3.1. Đặt vấn đề

Đảm bảo độ tin cậy cao của chuỗi chức năng dịch vụ trong điện toán đám mây biên nơi mà có sự phân tán giữa các máy chủ biên và máy chủ đám mây là một trong những thách thức lớn và thiết yếu để đảm bảo sự tồn tại và phát triển trong tương lai của các hệ thống NFV. Theo các nghiên cứu trước đây về độ tin cậy của SFCs, có hai hướng nghiên cứu để cải thiện độ tin cậy của SFCs. Hướng tiếp cận thứ nhất dựa trên tối ưu hóa vị trí triển khai các VNFs. Một cách tiếp cận phổ biến khác để cải thiện độ tin cậy của các SFCs là triển khai các bản sao dự phòng VNFs. Với những hiểu biết còn hạn chế của mình, luận án thấy rằng có rất ít nghiên cứu về tối ưu tài nguyên cho bài toán triển khai dự phòng các VNFs dựa trên xem xét đồng thời độ tin cậy của cả phần cứng và phần mềm trong môi trường điện toán đám mây biên.

### 3.2. Phát biểu bài toán

Luận án xem xét hệ thống NIoT gồm 3 tầng: tầng IoT, tầng biên (edge) và tầng đám mây (cloud). Trong đó các nút ở tầng biên (edge node) và tầng đám mây (cloud node) là nút hạ tầng cho phép triển khai các chức năng mạng ảo và các nút IoT gắn với các thiết bị IoT nằm trong tầng IoT. Hệ thống NIoT được biểu diễn dưới dạng đồ thị có hướng  $G(V, E)$ . Trong đó  $V = V_G \cup V_K \cup V_Q$  là tập các nút trong hệ thống NIoT và  $V_G$  là tập các thiết bị IoT,  $V_K$  là tập các edge node, cuối cùng  $V_Q$  là tập các cloud node. Các ký hiệu  $c_k$  và  $c_q$  được sử dụng để lần lượt biểu diễn khả năng xử lý của edge node  $k$  và cloud node  $q$ . Tiếp theo,  $F_K$  và  $F_Q$  được sử dụng để biểu diễn tập các chức năng mạng ảo được triển khai trên tầng biên và tầng đám mây. Cuối cùng,  $E = \{e_{ij} | i, j \in V\}$  là tập hợp các liên kết trong hệ thống NIoT.

Các bài toán được phát biểu như sau:

- **Bài toán 1 (tối ưu vị trí triển khai VNFs và triển khai dự phòng cho các VNFs):** Cho đồ thị  $G = (V, E)$  và tập yêu cầu dịch vụ  $D$ , tìm giải pháp phân bổ tài nguyên triển khai VNFs và triển khai dự phòng cho các VNFs đó đảm bảo sự hoạt động của chuỗi dịch vụ trước các lỗi tại các nút riêng lẻ với chi phí triển khai nhỏ nhất và tối đa độ tin cậy nhỏ nhất của tất cả các chuỗi dịch vụ với những hạn chế về tài nguyên tại tầng biên.

- **Bài toán 2 (tối ưu chi phí triển khai dự phòng VNF đảm bảo độ tin cậy):**  
Cho đồ thị  $G = (V, E)$  và giải pháp phân bổ tài nguyên triển khai VNFs và triển khai dự phòng cho các VNFs đó từ tập các yêu cầu dịch vụ  $D$ , tìm giải pháp hiệu quả chi phí để triển khai dự phòng VNFs trong tầng biên nhằm đảm bảo độ tin cậy của các dịch vụ theo yêu cầu trong khi vẫn đảm bảo các ràng buộc về tài nguyên.

### 3.3. Tối ưu vị trí triển khai VNFs và triển khai dự phòng cho các VNFs

#### 3.3.1. Mô hình tối ưu

Các biến số trong mô hình như sau:

- $y_k^g = 1$  là biến nhị phân chỉ thị nút  $k$  có triển khai chuỗi dịch vụ cho yêu cầu  $d_g$  hay không. Nếu nút  $k$  cung cấp chuỗi dịch vụ cho yêu cầu dịch vụ  $d_g$  thì  $y_k^g = 1$ , ngược lại  $y_k^g = 0$ .
- $\beta_k^g = 1$  là biến nhị phân chỉ thị nút  $k$  có triển khai dự phòng cho chuỗi dịch vụ của yêu cầu dịch vụ  $d_g$  hay không. Nếu nút  $k$  triển khai dự phòng cho yêu cầu dịch vụ  $d_g$  thì  $\beta_k^g = 1$ , ngược lại  $\beta_k^g = 0$ .

Mục tiêu của bài toán là tìm giải pháp nhằm tối thiểu chi phí triển khai và tối đa độ tin cậy nhỏ nhất của các chuỗi dịch vụ. Hàm mục tiêu được biểu diễn như sau:

$$\text{Maximize } (\alpha \cdot \bar{R} - \delta \cdot \bar{C}), \quad (3.1)$$

trong đó

$$\bar{R} \leq R_g, \forall g \in V_G, \quad (3.2)$$

$$\bar{C} = \frac{\sum_{k \in V_K} a_k \cdot \zeta_k}{2 \cdot \sum_g \left( b_g \cdot \sum_{f \in F_K^g} w_f \right) \cdot \max_{k \in V_K}(\zeta_k)}, \quad (3.3)$$

$R_g$  là độ tin cậy đạt được của yêu cầu dịch vụ đi qua gateway  $g$  sau khi triển khai dự phòng.  $\bar{C}$  thể hiện mục tiêu tối thiểu tổng chi phí triển khai. Trong đó, tử số của  $\bar{C}$  là tổng chi phí cần thiết để triển khai tất cả các primary VNFs và full-backup VNFs trên tầng biên. Mẫu số của  $\bar{C}$  xác định giá trị lớn nhất có thể của tổng chi phí triển khai tất cả các primary VNFs và full-backup VNFs trên tầng biên.  $a_k$  là tổng tài nguyên đang được sử dụng trên nút  $k$ .  $w_f$  là lượng tài nguyên tính toán cần thiết để triển khai chức năng mạng ảo  $f$  xử lý mỗi đơn vị lưu lượng dữ liệu.  $b_g$  là lưu lượng dữ liệu của yêu cầu dịch vụ  $d_g$ .  $\zeta_k$  là chi phí sử dụng mỗi đơn vị tài nguyên để triển khai dự phòng trên nút biên  $k$ .  $\alpha$  và  $\delta$  trong công thức hàm mục tiêu là các tham số của mô hình thể hiện trọng số điều khiển sự quan trọng của các mục tiêu cần đạt được một cách tương ứng cho tối đa giá trị độ tin cậy nhỏ nhất của các SFCs và tối thiểu tổng chi phí triển khai.

### 3.3.2. Giải thuật xấp xỉ

## 3.4. Tối ưu chi phí triển khai dự phòng VNFs đảm bảo độ tin cậy

### 3.4.1. Mô hình tối ưu

Các biến số khác trong mô hình như sau:

- $\gamma_{of}^g$  là số lượng bản dự phòng được triển khai cho primary VNF  $f$  trong chuỗi chức năng dịch vụ của yêu cầu dịch vụ  $d_g$ .
- $\gamma_{bf}^g$  là số lượng bản dự phòng được triển khai cho full-backup VNF  $f$  trong chuỗi chức năng dịch vụ của yêu cầu dịch vụ  $d_g$ .

Luận án sử dụng  $\Psi_k$  để đại diện cho lượng tài nguyên cần thiết để triển khai dự phòng trên nút biên  $k$ .  $\bar{y}_v^g$  và  $\bar{\beta}_v^g$  chỉ thị rằng nút  $v \in V_K$  có hay không triển khai primary SFC và full-backup SFC của yêu cầu dịch vụ  $d_g$ . Đây cũng là kết quả từ lời giải của bài toán tối ưu vị trí triển khai VNFs và triển khai dự phòng VNFs đã được trình bày ở phần trước.  $\Psi_k$  được tính theo công thức sau:

$$\Psi_k = \sum_g b_g \cdot \left( \bar{\beta}_k^g \cdot \sum_{f \in F_K^g} \gamma_{bf}^g \cdot w_f + \bar{y}_k^g \cdot \sum_{f \in F_K^g} \gamma_{of}^g \cdot w_f \right). \quad (3.4)$$

Mục tiêu của bài toán là tìm phương án tối thiểu tổng chi phí triển khai dự phòng, do vậy hàm mục tiêu được biểu diễn như sau:

$$\text{Minimize } \sum_k (\zeta_k \cdot \Psi_k). \quad (3.5)$$

### 3.4.2. Giải thuật

## 3.5. Thử nghiệm đánh giá kết quả

Với bài toán tối ưu vị trí triển khai VNFs và triển khai dự phòng VNFs, luận án đánh giá hiệu quả dựa trên các tiêu chí chính như sau: 1) tổng chi phí triển khai là tổng chi phí cần thiết để triển khai cả VNFs và triển khai dự phòng tương ứng cho các VNF đó; 2) độ tin cậy nhỏ nhất trong số các SFCs 3) số lượng yêu cầu dịch vụ được chấp nhận là số lượng yêu cầu dịch vụ được triển khai dự phòng và 4) thời gian thực hiện. Đối với bài toán tối ưu chi phí triển khai dự phòng VNFs, luận án đánh giá tính hiệu quả của giải pháp đề xuất với các chiến lược lựa chọn VNFs để triển khai dự phòng khác.

### 3.5.1. Các kịch bản thử nghiệm và thông số thiết lập

Xuyên suốt các thử nghiệm trong nghiên cứu này, luận án sử dụng ba kịch bản như được trình bày trong Bảng 3.1, lần lượt được đặt tên là: small, medium, và large networks.

Bảng 3.1: Các kịch bản thử nghiệm

Kịch bản	Số lượng nút biên	Số VNFs lớn nhất	Số yêu cầu dịch vụ nhỏ nhất	Số yêu cầu dịch vụ lớn nhất
Small network	20	6	5	30
Medium network	40	6	10	150
Large network	100	6	50	650

### 3.5.2. Đánh giá hiệu quả với bài toán tối ưu vị trí triển khai VNFs và triển khai dự phòng VNFs

Trước tiên luận án phân tích hiệu quả của giải pháp đề xuất bằng cách so sánh kết quả đạt được bởi giải thuật xấp xỉ dựa trên giải thuật mô phỏng luyện kim (**S**imulated **A**nnealing (gọi là SAN)) và giải thuật một giải thuật tham lam (gọi là GREEDY được trình bày trong Thuật toán 3.2) với hai kịch bản medium network và large network. Kết quả thử nghiệm cho thấy SAN hiệu quả vượt trội so với GREEDY về hai tiêu chí: tổng chi phí triển khai và độ tin cậy nhỏ nhất trong số các yêu cầu dịch vụ trong khi vẫn đảm bảo phục vụ với số lượng yêu cầu dịch vụ như nhau.

Tiếp theo, luận án đánh giá hiệu quả của giải pháp đề xuất dựa trên so sánh giải pháp đạt được khi sử dụng SAN và giải pháp tối ưu đạt được bằng cách sử dụng công cụ CPLEX để giải mô hình MILP (gọi là CPLEX) với kịch bản small network. Kết quả thử nghiệm cho thấy SAN hiệu quả trong để tìm lời giải xấp xỉ cho bài toán tối ưu vị trí triển khai VNFs và triển khai dự phòng VNFs.

Tổng kết lại, giải pháp luận án đề xuất là hiệu quả trong việc tối thiểu chi phí triển khai trong khi vẫn đảm bảo độ tin cậy tối thiểu cho tất cả các yêu cầu dịch vụ đối với bài toán tối ưu vị trí triển khai VNFs và triển khai dự phòng VNFs.

### 3.5.3. Đánh giá hiệu quả với bài toán tối ưu chi phí triển khai dự phòng VNFs đảm bảo độ tin cậy

Trong phần này luận án phân tích đánh giá hiệu quả của giải pháp đề xuất với bài toán tối ưu chi phí triển khai dự phòng VNFs đảm bảo độ tin cậy bằng cách so sánh kết quả thử nghiệm đạt được bởi ba chiến lược lựa chọn VNFs cho quá trình triển khai dự phòng, gồm có: i) RELVNF: lựa chọn những VNFs có độ tin cậy thấp nhất; ii) RELVNF-Node: lựa chọn các VNFs dựa trên tích của độ tin cậy của bản thân VNF đó và độ tin cậy của nút biên mà VNF được triển khai trên đó; và iii) CRM: lựa chọn các VNFs thích hợp theo công thức (3.26). Những chiến lược lựa chọn VNFs này được sử dụng để chọn VNF nào thích hợp hơn cho quá trình triển khai dự phòng trong Thuật toán 3.4.

Kết quả thử nghiệm cho thấy hướng tiếp cận xem xét đồng thời yêu cầu tiêu thụ tài nguyên khi triển khai các VNFs và độ tin cậy của nút vật lý cũng như độ tin cậy của chính các VNFs là một hướng tiếp cận hiệu quả giúp tối thiểu chi phí triển khai cho bài toán tối ưu chi phí triển khai dự phòng VNFs đảm bảo độ tin cậy.

### 3.6. Kết luận chương

Các dịch vụ và ứng dụng IoT mới được cung cấp trong các hệ thống NFV-enabled IoT trong Edge Cloud Computing đặt ra những thách thức mới cho việc đảm bảo độ tin cậy cao cho các yêu cầu dịch vụ. Một số những chiến lược triển khai dự phòng đã được đề xuất giúp cải thiện độ tin cậy của các dịch vụ, tuy nhiên các chiến lược này lại hạn chế trong việc đảm bảo độ tin cậy cao một cách chính xác theo yêu cầu cho các chuỗi dịch vụ, đặc biệt là dịch vụ mạng được triển khai trên Edge Cloud Computing do sự hạn chế về tài nguyên ở tầng biên.

Chương này luận án đã thực hiện:

- Đề xuất các thuật toán và mô hình tối ưu MILP cho phép tìm lời giải xấp xỉ và lời giải tối ưu cho bài toán tối ưu vị trí triển khai VNFs và triển khai dự phòng VNFs trong tầng biên của hệ thống IoT có triển khai NFV trong điện toán đám mây biên. Một mặt, phương pháp đề xuất giúp tìm lời giải đáp ứng với bất kỳ lỗi đơn nào với các máy chủ trên tầng biên. Mặt khác, giải pháp đề xuất cho phép tìm ra điểm hợp lý giữa chi phí triển khai và độ tin cậy nhỏ nhất đạt được của các SFC của các yêu cầu dịch vụ trên cơ sở xem xét đồng thời độ tin cậy của phần cứng và phần mềm.
- Đề xuất mô hình và giải pháp hiệu quả về chi phí cho bài toán tối ưu chi phí triển khai dự phòng VNFs đảm bảo yêu cầu về độ tin cậy. Các giải pháp được đề xuất cho phép cải thiện độ tin cậy của SFC để đáp ứng các yêu cầu nghiêm ngặt về độ tin cậy của các dịch vụ IoT trong môi trường điện toán đám mây biên trên cơ sở xem xét đồng thời độ tin cậy của phần mềm, phần cứng cũng như mức tiêu thụ tài nguyên của các VNFs.
- Các mô hình và giải pháp đề xuất được tiến hành thử nghiệm và đánh giá kết quả trên máy tính. Các kết quả thử nghiệm cho thấy rằng giải pháp được đề xuất gần như tối ưu và giảm đáng kể thời gian tính toán để tìm vị trí thích hợp triển khai các VNFs và dự phòng các VNFs. Hơn nữa, thử nghiệm cũng cho thấy chiến lược lựa chọn VNF được đề xuất để triển khai dự phòng rất hiệu quả và giúp tiết kiệm từ 30-40% chi phí triển khai dự phòng với cùng tỷ lệ các yêu cầu dịch vụ được phục vụ.

Các công trình khoa học liên quan đến nội dung Chương 3 đã được công bố trong 1 bài tạp chí quốc tế [J2].



# KẾT LUẬN

Các nội dung được chỉ ra sau đây lần đầu tiên được đề xuất và thực hiện trong luận án này. Đây cũng chính là các đóng góp khoa học của luận án.

- (1) Luận án đã đề xuất giải pháp điều khiển lưu lượng với định tuyến đa đường có xem xét sự dao động về lưu lượng dữ liệu theo thời gian và loại dịch vụ trong việc định tuyến lưu lượng dịch vụ nhằm đảm bảo hiệu năng mạng trong môi trường NFV. Kết quả thử nghiệm chỉ ra rằng cách tiếp cận với việc định tuyến đa đường giải bài toán điều khiển lưu lượng giúp cải thiện đáng kể một số hiệu năng trong hệ thống triển khai VNF. Đóng góp này đã được công bố trong 1 bài hội nghị quốc tế [C1], 1 bài tạp chí quốc tế [J1].
- (2) Luận án đã đề xuất giải pháp triển khai dự phòng VNF hiệu quả về chi phí và đảm bảo độ tin cậy cho chuỗi chức năng dịch vụ trong điện toán đám mây biên có triển khai NFV. Kết quả thử nghiệm cho thấy rằng giải pháp được đề xuất gần như tối ưu và giảm đáng kể thời gian tính toán để tìm vị trí thích hợp triển khai các VNFs và các VNFs dự phòng. Hơn nữa thử nghiệm cũng cho thấy chiến lược lựa chọn VNF được đề xuất để triển khai dự phòng hiệu quả, giúp tiết kiệm từ 30-40% chi phí triển khai dự phòng với cùng tỷ lệ các yêu cầu dịch vụ được phục vụ. Đóng góp này đã được gửi nộp 1 bài tạp chí quốc tế [J2].

Kết quả nghiên cứu của luận án là cơ sở cho việc nghiên cứu và triển khai các hệ thống NFV trong tương lai.

## B. Định hướng phát triển

Toàn bộ nội dung và các kết quả đạt được của luận án chỉ ra rằng hướng nghiên cứu đảm bảo hiệu năng mạng trong các hệ thống triển khai NFV là khả thi và tiềm năng, đặc biệt cho các hệ thống IoT và điện toán đám mây biên có triển khai NFV. Trong thời gian tới, luận án sẽ phát triển các nghiên cứu theo cả hướng nghiên cứu lý thuyết và nghiên cứu thực nghiệm. Về nghiên cứu lý thuyết: phân tích, thử nghiệm và đánh giá hiệu quả của các giải pháp đề xuất với một số hướng nghiên cứu chính như chia sẻ tài nguyên dự phòng nhằm đạt được hiệu quả cao hơn trong quản lý và sử dụng tài nguyên, các chiến lược phân bổ SFCs hiệu quả trong hệ thống nhiều trung tâm dữ liệu biên. Về nghiên cứu thực nghiệm: thực hiện các hệ thống đã nghiên cứu trên các công cụ mô phỏng để kiểm chứng các kết quả lý thuyết và khả năng ứng dụng thực tế của giải pháp đề xuất.

# DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ CỦA LUẬN ÁN

Các công trình khoa học đã công bố là kết quả trực tiếp của Luận án

- [C1] **Thi-Thuy-Lien Nguyen**, Tuan-Minh Pham. *Optimization Model and Algorithm for Dynamic Service-Aware Traffic Steering in Network Functions Virtualization*. In Proceedings of the 2018 IEEE Seventh International Conference on Communications and Electronics (ICCE), Hue-Vietnam, 2018 (*Scopus*).
- [J1] **Thi-Thuy-Lien Nguyen**, Tuan-Minh Pham. *Efficient Traffic Engineering in an NFV Enabled IoT System*. Sensors, vol. 20, June 2020, 3198. (*SCIE, Q1*)
- [J2] **Thi-Thuy-Lien Nguyen**, Tuan-Minh Pham, Linh Manh Pham. *Efficient Redundancy Allocation for Reliable Service Function Chains in Edge Cloud Computing*. Journal of Network and Systems Management (submitted) (*SCIE, Q2*)

Các công trình khoa học đã công bố có liên quan đến Luận án

- [J3] Tuan-Minh Pham, **Thi-Thuy-Lien Nguyen**. *Optimization of Resource Management for NFV-Enabled IoT Systems in Edge Cloud Computing*. IEEE Access, vol. 8, September 2020, 178217-178229. (*SCIE, Q1*)
- [J4] Tuan-Minh Pham, S. Fdida, **Thi-Thuy-Lien Nguyen**, Hoai-Nam Chu. *Modeling and analysis of robust service composition for network functions virtualization*. Computer Networks, vol. 8, January 2020, 106989. (*SCIE, Q1*)