

# SỬ DỤNG CÔNG NGHỆ SD-WAN ĐỂ CẢI THIỆN CHẤT LƯỢNG TRUYỀN TẢI TRONG HỆ THỐNG MẠNG THẾ HỆ MỚI

## USING SD-WAN TECHNOLOGY TO IMPROVE QUALITY OF TRANSMISSION IN THE NEW GENERATION NETWORK

Võ Ngọc Tiên\*, Tăng Anh Tuấn

Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng<sup>1</sup>

\*Tác giả liên hệ: vongoctien.vn@gmail.com

(Nhận bài: 26/4/2022; Chấp nhận đăng: 30/5/2022)

**Tóm tắt** - Mạng diện rộng định nghĩa bằng phần mềm (SD-WAN) cho phép điều khiển và quản lý mạng thông minh, đồng thời sử dụng hiệu quả tài nguyên mạng thông qua kỹ thuật điều khiển lưu lượng trong thời gian thực để có mạng WAN hiệu suất cao hơn, đáp ứng được yêu cầu chất lượng truyền tải mà khách hàng mong muốn. Bài báo này đề xuất một hệ thống định tuyến nâng cao, điều khiển việc chọn đường đi tối ưu cho SD-WAN bằng cách đánh giá nhiều đặc tính kết nối WAN gồm độ trễ, độ mất gói, thông lượng trong thời gian thực. Hệ thống theo dõi các dữ liệu này để chọn tuyến đường giúp truyền tải ít mất gói hơn và độ trễ mạng thấp cùng tính khả dụng và độ tin cậy cao. Nhóm tác giả đánh giá hệ thống của mình trong mô hình lab giả lập với thiết bị SD-WAN của hãng Fortigate. Kết quả thử nghiệm cho thấy cách tiếp cận của nhóm tác giả đã chứng minh khả năng lựa chọn đường đi tối ưu hơn bằng cách áp dụng lớp trình của SDN cho mạng WAN.

**Từ khóa** - Mạng diện rộng định nghĩa bằng phần mềm (SD-WAN); Kỹ thuật điều khiển lưu lượng; độ trễ; độ mất gói; thông lượng.

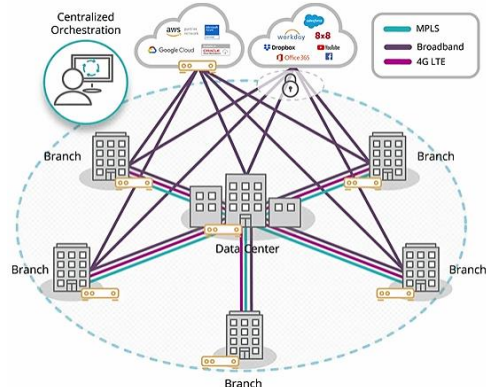
### 1. Giới thiệu chung

Ngày nay, sự mở rộng nhanh chóng của mạng lưới và sự xuất hiện của các ứng dụng ảo hóa, IoT (Internet vạn vật), các yêu cầu hoạt động dựa trên đám mây cần đáp ứng nhanh chóng, thuận tiện làm gia tăng thêm các đòi hỏi ngày càng lớn đối với mạng WAN. Nhưng do chi phí xây dựng, quản lý và xử lý lỗi trên mạng WAN rất cao và mạng diện rộng truyền thống gặp khó trong việc nâng cấp mạng nên việc xây dựng mạng diện rộng với thiết kế mới là cần thiết [1]. Mặc dù, công nghệ chuyển mạch nhãn đa giao thức (MPLS - Multiprotocol Label Switching) trong mạng WAN vẫn đảm bảo chất lượng dịch vụ (QoS - Quality of Service), nhưng nó cũng đưa ra một số thách thức, chẳng hạn như chi phí băng thông cao, không thể triển khai cấu hình tập trung, thời gian cần thiết để chuyển đổi/nâng cấp mạng hiện hữu. Mạng diện rộng định nghĩa bằng phần mềm (SD-WAN - Software-Defined Wide Area Network) được coi là kiến trúc đầy hứa hẹn của mạng diện rộng thế hệ tiếp theo, được thiết kế để thay thế cho mạng WAN dựa trên MPLS truyền thống. Với SD-WAN, các doanh nghiệp có thể sử dụng dịch vụ linh hoạt hơn, dễ dự đoán hơn với chi phí thấp hơn trong thời gian ngắn hơn so với các dịch vụ MPLS. Thiết lập mạng trở nên nhanh chóng hơn; tận dụng bất kỳ dịch vụ đường truyền dữ liệu có sẵn như MPLS, truy cập Internet chuyên dụng (DIA - Dedicated Internet Access), băng thông rộng FTTH (Fiber To The Home)

**Abstract** - Software-defined Wide Area Network (SD-WAN) enables intelligent network control and management, and efficient use of network resources through real-time traffic control techniques for higher network efficiency, meeting the quality transmission requirements that customers want. This paper proposes an advanced routing system that controls the selection of the optimal path for SD-WAN by evaluating necessary WAN connection characteristics including latency, packet loss, throughput to choose the most optimal path in real time. The system keeps track of these network status values in real time to provide less packet loss and low network latency along with high availability and reliability. The author evaluate our system in a lab model with the Fortigate SD-WAN devices. The test results show that our approach has successfully demonstrated the ability to choose a more optimal path by applying the programmability of SDN to the WAN network.

**Key words** - Software-defined Wide Area Network (SD-WAN); Traffic Engineering; latency; packet loss; throughput.

hoặc không dây 4G/5G; Và có thể cấu hình tự động các khu vực từ xa ngay lập tức. SD-WAN có thể cung cấp các cải tiến về tính dự phòng và tính khả dụng vượt trội so với MPLS. Doanh nghiệp có thể chuyển đổi nhà cung cấp dịch vụ Internet, dùng chung hay kết hợp các nhà cung cấp dịch vụ khác và tạo mạng SD-WAN/ MPLS kết hợp để có thể định tuyến lưu lượng qua một cơ chế truyền tải khác trong trường hợp có kết nối kém hoặc ngừng hoạt động [2].



Hình 1. Mô hình chung của mạng SD-WAN [3]

SD-WAN được hình thành bằng cách thiết lập các đường hầm được mã hóa (“lớp phủ”) giữa các khu vực. Mỗi khu vực đều được trang bị thiết bị SD-WAN như trong

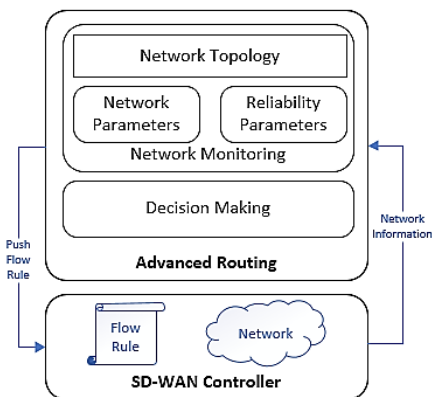
<sup>1</sup> The University of Danang - University of Science and Technology (Vo Ngọc Tiên, Tăng Anh Tuấn)

Hình 1. Mỗi thiết bị SD-WAN được kết nối với một tập hợp các dịch vụ mạng (thường là MPLS và một số dịch vụ Internet) và giám sát tính khả dụng và hiệu suất hiện tại của từng dịch vụ này. Lưu lượng đi ra ngoài được định tuyến theo đường dẫn tối ưu dựa trên các chính sách ứng dụng và điều kiện mạng theo thời gian thực [4-6].

Bài báo này đề cập đến xây dựng một hệ thống định tuyến được gọi là định tuyến nâng cao (Advanced Routing) trong SD-WAN. Hệ thống liên tục theo dõi trạng thái mạng thông qua một máy chủ cục bộ được kết nối với các thiết bị SD-WAN cũng như thông tin mạng thời gian thực dựa trên SDN. Nhóm tác giả thiết kế một thuật toán học có giám sát (supervised learning) dựa trên các thông số đường truyền (độ trễ) và thông số độ tin cậy (mất gói tin, thông lượng). Ngoài ra, đề xuất sử dụng mô hình SARIMA (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average) trong dự báo lưu lượng trên các kết nối WAN nhằm mục đích dự đoán thời điểm sẽ xảy ra nghẽn trong hệ thống mạng để xử lý và tính toán kế hoạch cho việc nâng cấp, mở rộng mạng lưới trong tương lai.

## 2. Đề xuất phương pháp điều khiển lưu lượng trong mạng SD-WAN

Chương trình với tên gọi định tuyến nâng cao của SD-WAN được đề xuất áp dụng. Về các chi tiết thành phần của khung chương trình trong Hình 2: Thành phần Giám sát mạng (Network Monitoring) và Quyết định đường đi (Decision Making). Thuật toán định tuyến đề xuất cần một tập hợp các tham số đầu vào và đầu ra để xác định đường dẫn tối ưu nhất có thể. Các đầu vào cho thuật toán này được hình thành với sự trợ giúp của mô-đun Giám sát mạng, thu thập số liệu thống kê từ thông tin cấu trúc mạng WAN gồm các tham số đường truyền (độ trễ) và tham số độ tin cậy (mất gói tin, thông lượng) [7-8].



Hình 2. Đề xuất mô hình điều khiển lưu lượng

Giao thức kết nối và truy xuất dữ liệu của chương trình tối thiết bị SD-WAN Controller là sử dụng Application Programming Interface - API. API là một tập hợp các quy trình, giao thức và công cụ để xây dựng các ứng dụng phần mềm, nó quy định cách các thành phần phần mềm tương tác và chia sẻ thông tin với nhau. Ở đây máy chủ là SD-WAN Controller và máy khách là chương trình Advanced Routing sử dụng tập lệnh ngôn ngữ Python. Tập hợp các dữ liệu đầu vào sẽ được gửi đến module Quyết định đường đi để được tính toán theo thuật toán của nó nhằm đưa ra một đường đi tối ưu nhất theo nhu cầu sử dụng. Tiếp theo,

chương trình sẽ sử dụng giao thức API để gửi yêu cầu thực thi chính sách đường đi mong muốn này theo dạng Flow Rule tới thiết bị SD-WAN Controller. Như vậy, toàn bộ quá trình thực hiện một cách tự động theo thời gian thực, khách hàng sẽ được định tuyến và chuyển tiếp các gói tin theo yêu cầu chất lượng dịch vụ của mình tới các đích đến mong muốn.

## 3. Thuật toán đề xuất

### 3.1. Ngưỡng cứng (Hard thresholding)

Đầu tiên, ta chỉ định khoản thời gian ban đầu để thu thập dữ liệu quan sát về độ trễ, mất gói, thông lượng của tất cả kết nối WAN từ mạng SD-WAN và tính toán giá trị trung bình của độ trễ/độ mất gói để thiết lập giá trị ngưỡng về độ trễ/độ mất gói cho hệ thống. Sau đó, với mỗi chu kỳ thời gian được thiết lập từ người quản trị, một giá trị trung bình mới của các kết nối WAN được tính toán lại và so sánh với ngưỡng. WAN nào có độ trễ/mất gói nhỏ hơn hoặc bằng ngưỡng thì sẽ được chọn làm đường đi, cụ thể các yêu cầu của thuật toán như sau:

- Tự động tính toán thiết lập giá trị ngưỡng hệ thống về độ trễ/độ mất gói cho hệ thống.
- Lưu lượng san tải qua các WAN khi có các giá trị độ trễ/ tỷ lệ mất gói thấp hơn (hoặc bằng) mức ngưỡng hệ thống. Nếu không có kết nối WAN nào thỏa điều kiện trên, có thể tùy chọn san tải đều trên các kết nối WAN hoặc chọn WAN có độ trễ/độ mất gói thấp nhất.
- Thông lượng trên WAN được chọn đạt tới mức nghẽn (mặc định cấu hình 90% băng thông của WAN) thì lưu lượng được tự động san tải sang các kết nối còn lại.

Ngoài ra, thuật toán này còn có tùy chọn kết hợp mức độ ưu tiên theo độ trễ và độ mất gói theo yêu cầu để có thể đạt được đồng thời độ trễ và độ mất gói tốt nhất có thể:

- Lưu lượng san tải qua các WAN phải đồng thời vừa có độ mất gói nhỏ hơn (hoặc bằng) ngưỡng mất gói và có độ trễ nhỏ hơn (hoặc bằng) ngưỡng độ trễ của hệ thống. Nếu không có kết nối WAN nào thỏa điều kiện trên thì:

- Lựa chọn 1: (Nếu độ mất gói được ưu tiên hơn) WAN có tỷ lệ mất gói nhỏ nhất sẽ được chọn làm tuyến đường đi chính. Nếu có nhiều hơn một kết nối WAN cùng giá trị tỷ lệ mất gói thì kết nối WAN nào có độ trễ nhỏ hơn sẽ được chọn.

- Lựa chọn 2: (Nếu độ trễ được ưu tiên hơn) WAN có độ trễ nhỏ nhất sẽ được chọn. Nếu có nhiều hơn một kết nối WAN cùng giá trị độ trễ thì kết nối WAN nào có tỷ lệ mất gói nhỏ hơn sẽ được chọn.

### 3.2. Trung bình trượt (Moving Average)

Đường trung bình trượt yêu cầu chỉ định kích thước cửa sổ được gọi là chiều rộng cửa sổ. Điều này xác định số lượng quan sát thô được sử dụng để tính toán giá trị trung bình trượt. Phần di chuyển trong đường trung bình đề cập đến thực tế là cửa sổ được xác định bởi chiều rộng cửa sổ được trượt dọc theo chuỗi thời gian để tính toán các giá trị trung bình trong chuỗi mới. Trong thuật toán này ta áp dụng theo loại Đường trung bình trượt theo sau (Trailing Moving Average) [9]. Giá trị tại thời điểm (t) được tính là giá trị trung bình của các quan sát thô tại (t) và trước thời điểm (t). Ví dụ: Một đường trung bình trượt theo sau có cửa sổ là 3 sẽ được tính như sau:

$$Trail\_MA(t) = \text{mean}(obs(t - 2), obs(t - 1), obs(t)) \quad (1)$$

Từ đó, WAN nào có độ trễ/mất gói nhỏ nhất thì sẽ được chọn, cụ thể các yêu cầu của thuật toán như sau:

- Tự động tính toán độ trễ/độ mất gói theo thuật toán Moving Average và lựa chọn kết nối WAN có độ trễ/độ mất gói thấp nhất làm tuyến đường đi.

- Lưu lượng san tải đều qua các WAN khi có cùng giá trị độ trễ/độ mất gói thấp nhất.

- Thông lượng trên WAN được chọn đạt tới mức nghẽn (mặc định cấu hình 90% băng thông của WAN) thì lưu lượng được tự động san tải sang các kết nối còn lại.

Ngoài ra, thuật toán này còn có tùy chọn kết hợp mức độ ưu tiên theo độ trễ và độ mất gói theo yêu cầu để có thể đạt được đồng thời độ trễ và độ mất gói tốt nhất có thể:

- Kết hợp mức độ ưu tiên theo độ trễ và độ mất gói:

- Lựa chọn 1: (nếu độ mất gói được ưu tiên hơn) WAN có độ mất gói nhỏ nhất sẽ được chọn làm tuyến đường đi chính. Nếu có nhiều hơn một kết nối WAN cùng giá trị độ mất gói thì kết nối WAN nào có độ trễ nhỏ hơn sẽ được chọn.

- Lựa chọn 2: (nếu độ trễ được ưu tiên hơn) WAN có độ trễ nhỏ nhất sẽ được chọn. Nếu có nhiều hơn một kết nối WAN cùng giá trị độ trễ thì kết nối WAN nào có tỷ lệ mất gói nhỏ hơn sẽ được chọn.

### 3.3. Mô hình SARIMA

Dự báo yêu cầu băng thông là một phần quan trọng của thiết kế mạng và lập kế hoạch dịch vụ. Đảm bảo đủ băng thông trong mạng của họ từ lõi đến cơ sở khách hàng là thách thức thường xuyên đối với các nhà khai thác mạng và nhà cung cấp dịch vụ. Trong bối cảnh này, dự báo băng thông kịp thời và chính xác là rất hữu ích để lập kế hoạch tài nguyên mạng, mở rộng và nâng cấp kịp thời để tránh tắc nghẽn và suy giảm chất lượng dịch vụ QoS.

Trong nhu cầu sử dụng lưu lượng hàng ngày của người dùng, hành vi sử dụng băng thông tăng cao tập trung phần lớn vào giờ cao điểm, chính là thời gian làm việc ban ngày [10-12]. Ngoài ra, trong thời đại bùng nổ thông tin nội dung số, đáp ứng nhu cầu giải trí cá nhân vào giờ nghỉ ngơi buổi tối cũng có thể dẫn đến lưu lượng tăng cao. Đối với dữ liệu chuỗi thời gian về lưu lượng truyền tải từ người dùng có đặc tính lặp lại theo chu kỳ nên ta sẽ áp dụng mô hình SARIMA (tức ARIMA theo mùa) để phù hợp dự báo lưu lượng trong mạng. Tác giả George Box và các cộng sự [13] đã giới thiệu phương pháp ARIMA. Phương pháp này hiện đại diện cho một trong những công cụ mô hình chuỗi thời gian đơn biến được sử dụng thường xuyên nhất. Mô hình ARIMA(p, d, q) dựa trên mô hình hồi quy tự động (AR - Autoregressive), mô hình trung bình trượt (MA - Moving Average) và sự kết hợp của AR và MA, mô hình ARMA [14], là quá trình hồi quy tuyến tính của giá trị hiện tại theo các giá trị hiện tại và quá khứ của sai số nhiễu trắng cùng với chuyển hóa chuỗi sang chuỗi dừng bằng cách lấy sai phân bậc  $d$  được biểu diễn bằng công thức:

$$\begin{aligned} \Delta^d X_t &= \mu + \phi_1 \Delta^d X_{t-1} + \dots + \phi_p \Delta^d X_{t-p} + \varepsilon_t \\ &+ \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} \end{aligned} \quad (2)$$

Trong đó,  $X_t$  là chuỗi thời gian,  $\Delta^d$  chỉ ra bậc sai phân  $d$ ,  $\varepsilon_t$  là nhiễu trắng,  $p$  = bậc của thành phần AR,  $\phi_i$  là tham số của

AR,  $q$  = bậc của thành phần MA,  $\theta_i$  là tham số của MA [15].

Khi xử lý các hiệu ứng theo mùa, nhóm tác giả sử dụng ARIMA theo mùa, được ký hiệu là ARIMA (p, d, q)(P, D, Q)<sub>s</sub>. Ở đây, (p, d, q) là các tham số không theo mùa, trong khi (P, D, Q) theo cùng một định nghĩa nhưng được áp dụng cho thành phần theo mùa của chuỗi thời gian. Thuật ngữ  $s$  là chu kỳ của chuỗi thời gian (ví dụ: 24 cho khoảng thời gian hàng ngày, 12 cho khoảng thời gian hàng năm, v.v.). Mô hình SARIMA được biểu diễn bởi:

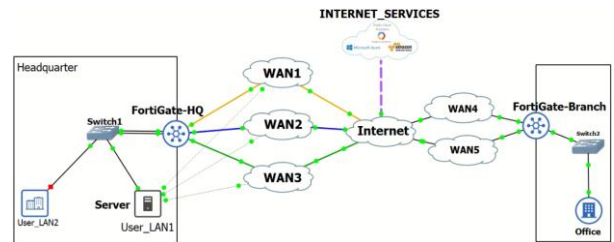
$$\begin{aligned} (1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p) &((1 - \Phi_1 B^s - \dots - \Phi_P B^{Ps}) \times (1 - B^s)^D y_t \\ &= (1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q)(1 - \Theta_1 B^s - \dots - \Theta_Q B^{Qs}) \varepsilon_t \end{aligned} \quad (3)$$

Trong đó,  $\phi_i$ ,  $\theta_i$ ,  $\Phi_i$ ,  $\Theta_i$  lần lượt tương ứng là các tham số của AR, MA, AR theo mùa, MA theo mùa, và  $B$  là toán tử lùi với  $Bx_t = x_{t-1}$ . Phần theo mùa của mô hình bao gồm các thuật ngữ tương tự như các thành phần không theo mùa của mô hình, nhưng liên quan đến dịch chuyển ngược của giai đoạn theo mùa [16]. Bản chất ARIMA chính là mô hình hồi quy tuyến tính nhưng mối quan hệ tuyến tính thường không giải thích tốt chuỗi trong trường hợp chuỗi xuất hiện yếu tố mùa vụ. Chính vì thế, bằng cách tìm ra chu kỳ của qui luật mùa vụ và loại bỏ nó khỏi chuỗi ta sẽ dễ dàng hồi qui mô hình theo phương pháp ARIMA.

## 4. Kết quả thử nghiệm

### 4.1. Thiết lập môi trường lab

Thiết lập mô hình lab SD-WAN ở Hình 3 với các nút mạng điều khiển kết nối WAN chạy trên nền thiết bị hãng Fortigate. Chương trình Advanced Routing được xây dựng bằng ngôn ngữ Python chạy trên hệ thống máy chủ Server hoạt động 24/24h giúp thu thập thông tin tình trạng mạng SD-WAN và là nơi xử lý chính để đưa ra các quyết định đường đi lưu lượng và truyền tải lệnh thực thi tới thiết bị điều khiển SD-WAN.



Hình 3. Mô hình cấu trúc lab SD-WAN

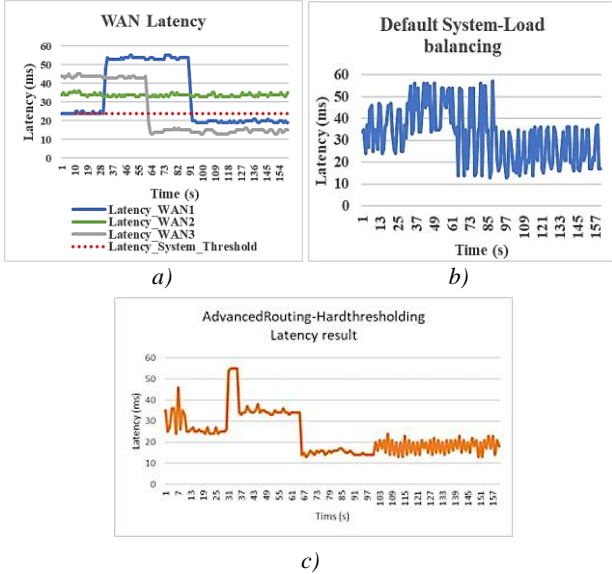
Nhóm tác giả trước tiên tự đánh giá hiệu quả của thuật toán và sau đó so sánh với hệ thống TE mặc định của thiết bị SD-WAN Fortigate: San tải đều trên các WAN (load-balancing) và lựa chọn theo đường đi có chất lượng tốt nhất về độ trễ/ độ mất gói (Best Quality). Kết quả đo kiểm từ người dùng User\_LAN1 bằng công cụ ping sẽ thể hiện được giá trị độ trễ/độ mất gói khi kết nối đến cùng 1 điểm đích cân đo qua hệ thống SD-WAN khi sử dụng thuật toán mặc định của thiết bị Fortigate và khi áp dụng các thuật toán của Advanced Routing. Riêng đối với mô hình SARIMA, nhóm tác giả tự đánh giá dựa vào dữ liệu lưu lượng thực tế của một khách hàng thuê kênh WAN từ nhà cung cấp dịch vụ ISP VNPT.

#### 4.1.1. Kết quả với ngưỡng cứng (Hard thresholding)

Khởi tạo chương trình Advanced Routing với TE Hard thresholding, để truy vấn tính giá trị ngưỡng hệ thống ta



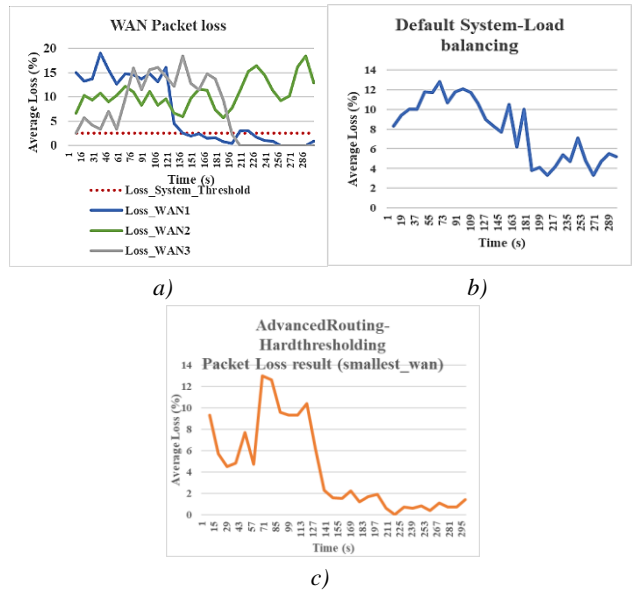
tùy chọn cấu hình thời gian thu thập (span) giá trị độ trễ/độ mất gói của các hướng WAN và đưa ra giá trị ngưỡng tương ứng. Ví dụ, với span = 10 (tương ứng 10 giá trị ban đầu trong 10 giây đầu tiên) và sau mỗi chu kỳ interval = 5s thì sẽ tính giá trị độ trễ của WAN và so sánh với ngưỡng để cập nhật lại tuyến đường đi. Việc chọn giá trị span đảm bảo vừa đủ hợp lý tránh quá ngắn hoặc quá dài sẽ không phản ánh chính xác thông số của kết nối WAN, tương tự lựa chọn interval giúp hệ thống xử lý hiệu quả tránh tăng tải hoặc xử lý chậm khi có thay đổi.



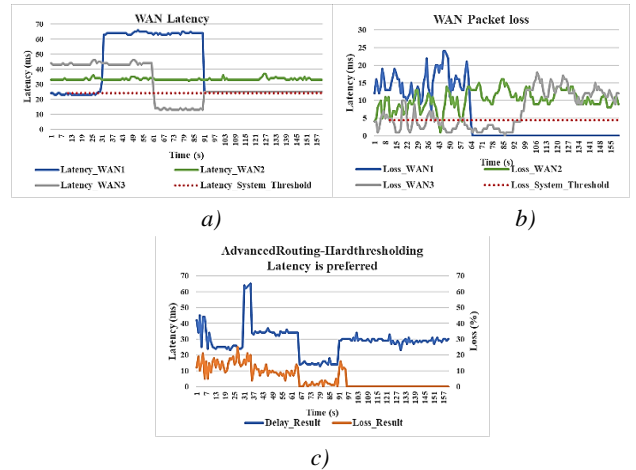
**Hình 4.** Độ trễ các kết nối WAN (a), Độ trễ khi dùng TE mặc định (b), Độ trễ khi dùng Hardthresholding (c)

Hình 4a miêu tả độ trễ của các WAN thay đổi trong quá trình đo kiểm. Hình 4b chỉ rõ hệ thống mặc định quyết định lưu lượng người dùng được san tải đều nên có kết quả dao động lớn tương ứng với ba hướng WAN. Hình 4c thể hiện kết quả sau khi áp dụng thuật toán Ngưỡng cứng. Trong đó, khoảng 10 giây đầu tiên (span = 10) thì hệ thống đang thu thập để tính giá trị ngưỡng nên toàn bộ kết nối WAN đều được chọn làm tuyến đường đi, độ trễ lúc này dao động cao qua cả ba hướng WAN. Sau mỗi 5 giây giá trị độ trễ đại diện cho mỗi WAN được tính toán để so sánh với ngưỡng và tìm ra WAN tối ưu nhất để cập nhật lại tuyến đường tối ưu. Từ giây thứ 10 đến giây 30, WAN1 được chọn. Nhưng sau đó, không có kết nối nào thỏa ngưỡng nên chọn cấu hình WAN có độ trễ thấp nhất, hệ thống sẽ tính trung bình 5 giá trị gần nhất (interval=5) của các WAN để so sánh và chọn đường đi từ giây 31 đến giây 65. Trong đó từ giây 31 đến giây 35 độ trễ tăng cao theo WAN1 là do WAN1 vẫn đang được chọn làm tuyến chính trong khoảng thời gian phải chờ là 5 giây (interval = 5) để thuật toán tính toán theo công thức (3) và đưa ra WAN tốt hơn. Các khoảng thời gian từ giây 100 về sau thì lưu lượng san tải đều qua hai WAN1,3 do thỏa điều kiện ngưỡng hệ thống. Thật vậy, trong kiểm nghiệm khi áp dụng thuật toán ngưỡng cứng (Hình 4) đã giúp độ trễ từ người dùng được cải thiện hơn từ trung bình 32.375 ms xuống 28.387 ms.

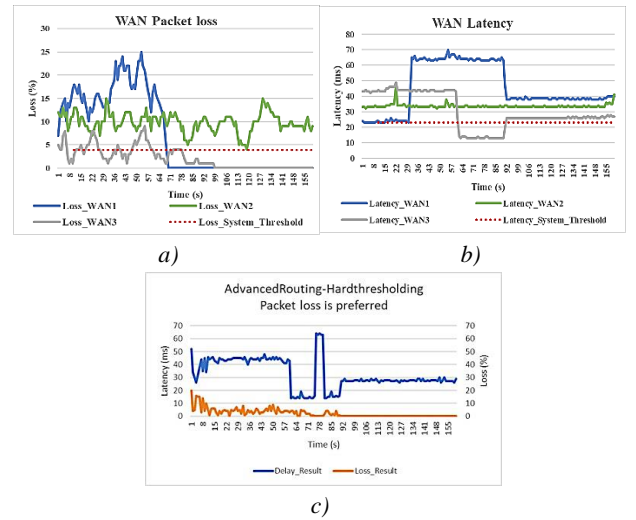
Tương tự ở Hình 5 đối với tỷ lệ mất gói, hệ thống sau khi áp dụng thuật toán Ngưỡng cứng cũng giúp giảm được tỷ lệ mất gói khi sử dụng hệ thống SD-WAN.



**Hình 5.** Độ mất gói các kết nối WAN (a), Độ mất gói khi dùng TE mặc định của hệ thống (b), Độ mất gói khi dùng Ngưỡng cứng (c)



**Hình 6.** Độ trễ các kết nối WAN (a), Độ mất gói các kết nối WAN (b), Độ trễ (ưu tiên hơn) khi dùng Ngưỡng cứng (c)



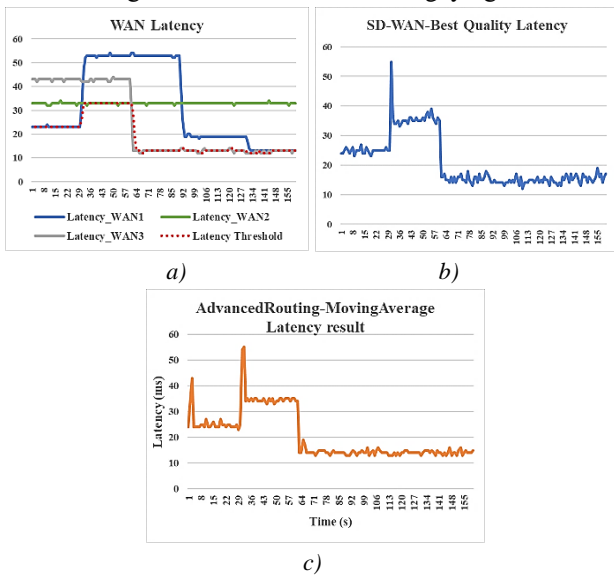
**Hình 7.** Độ mất gói các kết nối WAN (a), Độ trễ các kết nối WAN (b), Độ mất gói (ưu tiên hơn) khi dùng Ngưỡng cứng (c)

Với tùy chọn kết hợp giữa độ trễ (ưu tiên hơn) và độ mất gói của 3 WAN ở Hình 6a, 6b, thì từ giây 91 khi độ trễ

WAN1,3 thấp bằng nhau (vượt ngưỡng cứng), WAN1 được chọn do có độ mất gói thấp hơn WAN3 dẫn đến kết quả ping như Hình 6c. Tương tự, khi WAN1,3 có độ mất gói bằng nhau ở Hình 7a, khi đó độ trễ WAN1,3 đều vượt ngưỡng cứng ở Hình 7b, nên WAN3 được chọn và đạt được kết quả ping ở Hình 7c.

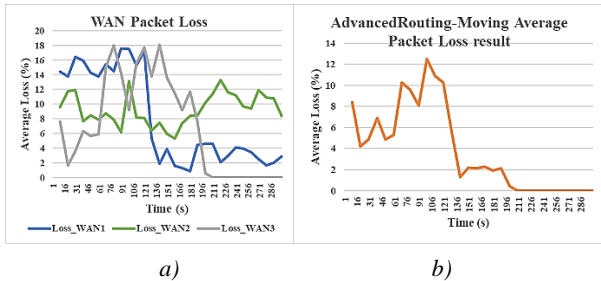
4.1.2. Kết quả với Trung bình trượt (Moving Average)

Đối với thuật toán Moving Average thì giá trị ngưỡng được tính toán lại sau mỗi chu kỳ tùy theo yêu cầu người sử dụng. Ví dụ, cấu hình kích thước cửa sổ span = 3 tương ứng 3 giá trị độ trễ/độ mất gói gần nhất để tính toán giá trị của WAN nào tốt nhất, và chu kỳ interval = 1 s để lặp lại quá trình này, so sánh và cập nhật đường đi. Do vậy, trong Hình 8a thuật toán lựa chọn đường đi tối ưu theo kết nối WAN có độ trễ nhỏ nhất. Hình 8c chứng tỏ thuật toán Moving Average đã giúp cải thiện độ trễ tốt hơn rất nhiều so với hệ thống mặc định và đạt hiệu quả tương tự tính năng Best Quality của Fortigate (xấp xỉ 20,8 ms so với 20,5 ms). Hơn nữa, nếu có 2 kết nối có cùng giá trị độ trễ thì đều được sử dụng san tải giúp tối ưu tài nguyên hệ thống. Trong khi đó, tính năng Best Quality của hệ thống mặc định SD-WAN thì luôn chọn một kết nối duy nhất có thể, dẫn tới lưu lượng dễ dồn hết về một kết nối gây nghẽn.



Hình 8. Độ trễ các kết nối WAN (a), Độ trễ khi dùng TE “Best Quality” (b), Độ trễ khi dùng Moving Average (c)

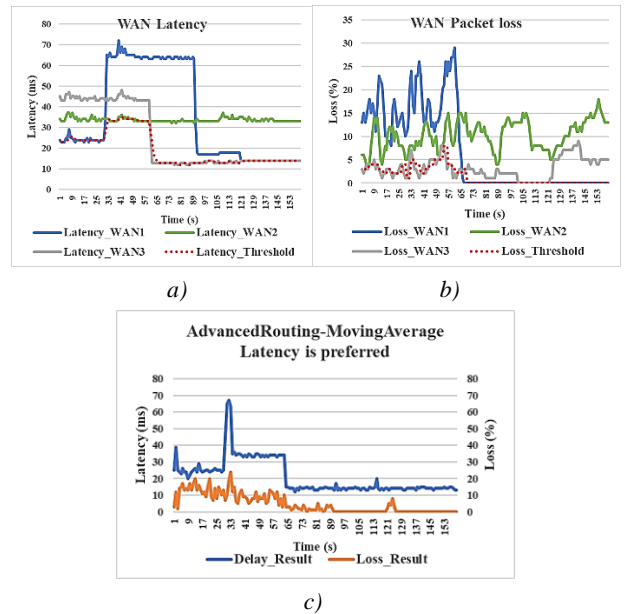
Kết quả thử nghiệm đối với độ mất gói cũng đạt kết quả tương tự, lựa chọn đường đi tốt nhất (Hình 9).



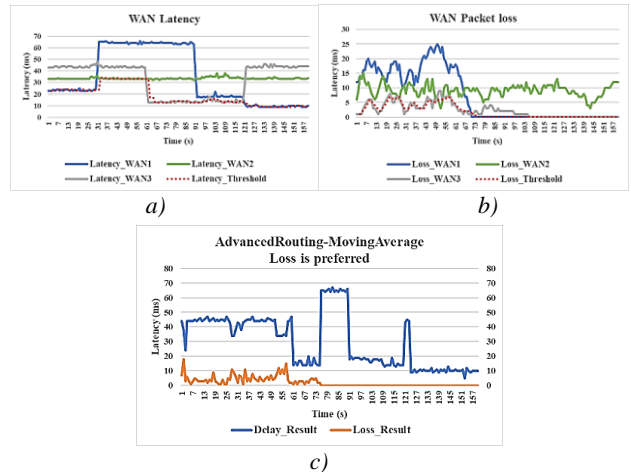
Hình 9. Độ mất gói các kết nối WAN (a), Độ mất gói khi dùng Moving Average (b)

Với tùy chọn thử nghiệm kết hợp giữa độ trễ và độ mất gói, trong trường hợp độ trễ được ưu tiên hơn, thì trong

Hình 10a từ giây 123 trở đi, khi WAN1 và WAN3 có độ trễ bằng nhau, nhưng WAN3 có độ mất gói thấp hơn độ mất gói của WAN1 nên WAN3 được lựa chọn tuyến đường chính. Do vậy, kết quả ping về độ trễ, độ mất gói từ giây này tương ứng theo WAN3.



Hình 10. Độ trễ các kết nối WAN (a), Độ mất gói các kết nối WAN (b), Độ trễ (ưu tiên hơn) và độ mất gói kết hợp khi dùng Moving Average (cấu hình span=3, interval=3) (c)



Hình 11. Độ trễ các kết nối WAN (a), Độ mất gói các kết nối WAN (b), Độ trễ và độ mất gói (ưu tiên hơn) kết hợp khi dùng Moving Average (cấu hình span=3, interval=3) (c)

Tương tự, đối với độ mất gói được cấu hình ưu tiên hơn, kết quả trong Hình 11 thể hiện đường đi tốt nhất theo WAN3 có độ mất gói nhỏ nhất, và tại thời điểm khi có WAN1 cũng có độ mất gói tốt như WAN3 thì độ trễ được xét đến và lưu lượng được định tuyến theo WAN1. Nhờ vậy, tùy từng thời điểm lưu lượng được định tuyến trên WAN có độ mất gói tốt nhất và độ trễ cũng được tối ưu.

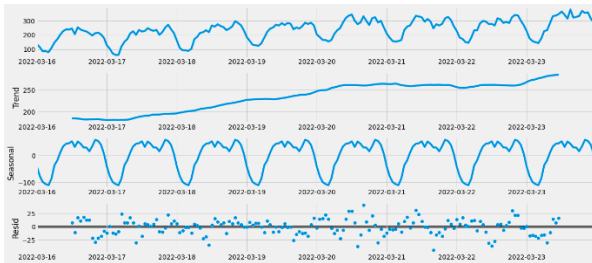
Trong tất cả trường hợp của Hardthresholding và Moving Average, rất có thể kết nối được chọn có khả năng bị nghẽn do tất cả lưu lượng đều dồn về kết nối ưu tiên này, nên Advanced Routing được tích hợp thêm tính năng giám sát lưu lượng nếu vượt quá 90% băng thông của kết nối WAN (có thể tùy chỉnh mức nghẽn này)

thì sẽ san tải đều lưu lượng qua các kết nối khác, tránh ảnh hưởng dịch vụ.

#### 4.1.3. Mô hình SARIMA

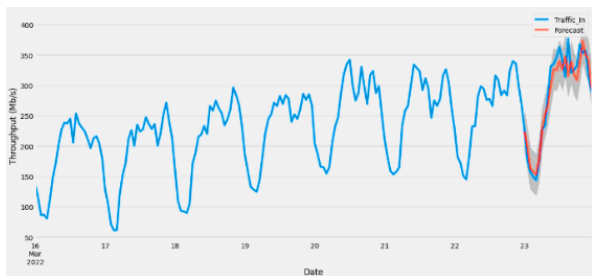
Tập dữ liệu về lưu lượng truyền tải qua một kết nối WAN được lấy thực tế từ khách hàng thuê một kênh WAN từ nhà cung cấp dịch vụ ISP VNPT để làm dữ liệu đầu vào kiểm nghiệm cho thuật toán. Dữ liệu ban đầu sẽ được xử lý lấy giá trị trung bình các mẫu trong mỗi 1h thành một giá trị đại diện cho khung giờ đó để giúp đơn giản tập dữ liệu khi xử lý sau này.

Có thể thấy, thông tin về xu hướng (trend) và tính theo mùa (seasonal) được trích xuất từ chuỗi dữ liệu này thì rõ ràng tường minh. Phân tích biểu đồ Hình 12 ta thấy, chuỗi thời gian có mô hình theo mùa, lặp lại sau mỗi chu kỳ 24h với hai thời điểm lưu lượng cao nhất là 11h-12h và 20h-21h, tương ứng với hai khoảng giờ cao điểm về hành vi của người dùng trong ngày, kết hợp với xu hướng tăng dần đều tuyến tính của lưu lượng sử dụng từ người dùng.



**Hình 12.** Phân rã chuỗi thời gian thành các thành phần mức độ, xu hướng, tính thời vụ và phần dư (nhiều)

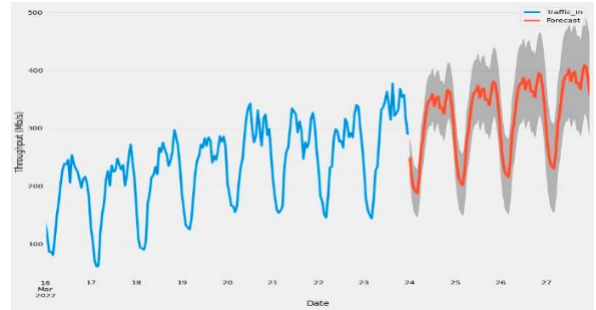
Bây giờ nhóm tác giả có thể sử dụng bộ ba tham số được xác định ở trên để tự động hóa quá trình đào tạo và đánh giá các mô hình ARIMA trên các tổ hợp khác nhau. Trong thống kê và học máy, quá trình này được gọi là tìm kiếm lưới (hoặc tối ưu hóa siêu tham số) để lựa chọn mô hình. AIC (Akaike Information Criterion) đo lường mức độ phù hợp của một mô hình với dữ liệu trong khi tính đến độ phức tạp tổng thể của mô hình. Một mô hình phù hợp với dữ liệu rất tốt trong khi sử dụng nhiều tính năng sẽ được chỉ định một điểm AIC lớn hơn so với một mô hình sử dụng ít tính năng hơn để đạt được cùng một mức độ phù hợp [17]. Do đó, nhóm tác giả quan tâm đến việc tìm kiếm mô hình mang lại giá trị AIC thấp nhất, quá trình xử lý này có thể mất một khoảng thời gian. Qua thực nghiệm và mô phỏng thì được bộ kết quả tốt nhất là ARIMA (1, 1, 1) x (0, 1, 1, 24) tương ứng giá trị AIC thấp nhất là 1222,92.



**Hình 13.** Biểu đồ các giá trị thực và dự báo của chuỗi dữ liệu

Chia một ngày cuối của dữ liệu đầu vào (8 ngày) để làm dữ liệu kiểm tra đánh giá dự đoán, còn dữ liệu của các ngày trước đó (7 ngày) là căn cứ đầu vào cho việc dự đoán lưu lượng trong tương lai.

Kết quả ở Hình 13 thể hiện số sánh dự báo lưu lượng của ngày tiếp theo của nhóm tác giả rất phù hợp với các giá trị thực, cho thấy xu hướng tăng và giảm tổng thể.



**Hình 14.** Biểu đồ dự đoán chuỗi dữ liệu tiếp theo trong tương lai

Cuối cùng, nhóm tác giả tận dụng mô hình chuỗi dữ liệu thời gian ARIMA theo mùa để dự báo các giá trị trong tương lai. Như trong Hình 14, sau khi chạy thuật toán để dự đoán lưu lượng cho bốn ngày tiếp theo, nếu kênh truyền WAN này được thuê với băng thông 400Mb/s thì vào khoảng 4 ngày tiếp theo lưu lượng có thể đạt đến mức băng thông tối đa. Kết quả dự đoán này cũng có thể là cơ sở để điều chỉnh lưu lượng tránh nghẽn và có kế hoạch nâng cấp mạng để đảm bảo chất lượng truyền tải dịch vụ trong thời gian tới.

#### 4.2. Đánh giá

Kết quả thực nghiệm trong môi trường lab đều đã đáp ứng được yêu cầu từ thuật toán Định tuyến nâng cao được đề xuất để cải thiện chất lượng truyền tải lưu lượng trong mạng SD-WAN. Đối với thuật toán mặc định của hệ thống SD-WAN là cân bằng tải, tất cả hướng WAN đều được sử dụng trong quá trình truyền tải lưu lượng giúp tăng tính khả dụng và dự phòng cao nhưng dẫn đến chất lượng dịch vụ QoS bị giảm sút nếu có các kết nối chất lượng kém về độ trễ/độ mất gói cao. Có thể sử dụng tính năng “Best Quality” của SD-WAN Fortigate khi lưu lượng luôn được truyền tải trên một hướng WAN có độ trễ hoặc độ mất gói tốt nhất để đạt được QoS cao, nhưng dẫn đến mọi thời điểm chỉ có duy nhất một kết nối được sử dụng sẽ dễ gây ra nghẽn. Các vấn đề này được xử lý tối ưu hơn khi áp dụng hệ thống Advanced Routing khi vừa tận dụng được đường đi tối ưu hơn và có thể san tải sang kết nối tốt khác nếu đáp ứng đủ điều kiện trong khi kết hợp theo dõi lưu lượng nếu đạt mức. Với thuật toán ngưỡng cứng, phải có một khoản thời gian theo dõi đủ dài, có thể là 24 giờ hoặc 3 đến 5 ngày để có cái nhìn tổng quan và đầy đủ về trạng thái các kết nối mạng để tự đưa ra mức ngưỡng tốt nhất. Sau đó, đều có chu kỳ cập nhật lại nếu có các kết nối tốt hơn mức ngưỡng này thì đều được chọn làm tuyến đường đi, còn không kết nối nào thỏa điều kiện thì vẫn có tùy chọn tuyến đường tốt nhất có thể. Với thuật toán Trung bình trượt, nhằm đáp ứng cho các dịch vụ yêu cầu khắt khe hơn về chất lượng, luôn đảm bảo dịch vụ truyền tải trên hướng WAN tốt nhất có thể, đồng thời tuyến đường tốt nhất luôn được kiểm tra cập nhật lại liên tục và kèm theo có thể san tải sang tuyến đường tốt tương đương nếu có. Hơn nữa, tính năng dự báo lưu lượng dựa theo mô hình SARIMA giúp hỗ trợ lập kế hoạch mở rộng và nâng cấp mạng kịp thời để tránh tắc nghẽn mà hệ thống SD-WAN mặc định không có.

Khả năng khả thi của các thuật toán này đều đã được thực hiện kiểm chứng trong môi trường lab. Do đó, hướng phát triển tương lai triển khai áp dụng lên các hệ thống thực để kiểm nghiệm thêm tính hiệu quả của các thuật toán này [18-19].

## 5. Kết luận

Mạng được xác định bằng phần mềm là một mô hình đang nổi lên nhanh chóng trong các mạng cục bộ và cũng đang trở nên phổ biến trong các mạng công ty lớn. Khái niệm SDN phân tách mặt phẳng dữ liệu và mặt phẳng điều khiển trên mạng, điều này làm tăng khả năng kiểm soát mạng trong lập trình và thiết kế linh hoạt. SDN có thể cung cấp mạng WAN với tính linh hoạt trong lập trình và khả năng cấu hình của các cấu hình mạng khác nhau rộng rãi, điều này không thể đạt được theo cách thủ công trong mạng WAN truyền thống. Trong đề xuất này, nhóm tác giả sử dụng lợi thế này của SD-WAN để định cấu hình các tuyến đường trong WAN một cách tự động theo cách có thể tránh được các thời điểm hoạt động kém của các kết nối WAN và bằng cách đó, các tác động trong truyền tải lưu lượng ảnh hưởng đến QoS có thể được giảm thiểu. Đây có thể là cơ sở tham khảo khi triển khai một mạng SD-WAN thực tế cho các doanh nghiệp hiện nay.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng trong đề tài có mã số B2021-DN02-06.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Z. Yang, Y. Cui, B. Li, Y. Liu and Y. Xu, "Software-Defined Wide Area Network (SD-WAN): Architecture, Advances and Opportunities", *2019 28th International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN)*, 2019, pp. 1-9.
- [2] Cléo Luciani, *From MPLS to SD-WAN: Opportunities, Limitations and Best Practices*, 2019 KTH, School of Electrical Engineering and Computer Science (EECS), 2019.
- [3] Silver-peak, "Everything you need to know about SD-WAN", *Silver-peak.com*, 2021, [Online] <https://www.silver-peak.com/everything-you-need-to-know-about-sd-wan>, 10-Aug-2021.
- [4] S. Troia, F. Sapienza, L. Varé and G. Maier, "On Deep Reinforcement Learning for Traffic Engineering in SD-WAN", *Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 39, No. 7, 2021, pp. 2198-2212.
- [5] L. Liu, L. Chen, H. Xu and H. Shao, "Automated Traffic Engineering in SDWAN: Beyond Reinforcement Learning", *IEEE INFOCOM 2020 - IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPs)*, 2020, pp. 430-435.
- [6] Pavan Iddalagi, "SDWAN – Its Impact and The Need of Time", *Journal of Ubiquitous Computing and Communication Technologies (UCCT)*, Vol. 02, No. 04, 2020, pp. 197-202.
- [7] K. Golani, K. Goswami, K. Bhatt and Y. Park, "Fault Tolerant Traffic Engineering in Software-defined WAN", *2018 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, 2018, pp. 01205-01210.
- [8] S. Troia, L. Zorello, A. Maralit, and G. Maier, "Sd-wan: an open-source implementation for enterprise networking services", *2020 22th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, 2020, pp. 1-4.
- [9] Jason Brownlee, *Introduction to Time Series Forecasting with Python: How to Prepare Data and Develop Models to Predict the Future*, Machine Learning Mastery, 2017.
- [10] K. Thompson, G. J. Miller and R. Wilder, "Wide-area Internet traffic patterns and characteristics", *IEEE Network*, Vol. 11, No. 6, pp. 10-23, 1997.
- [11] Maier, G., Feldmann, A., Paxson, V., & Allman, M., "On dominant characteristics of residential broadband internet traffic", *Proceedings of the 9th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement*, 2009, pp. 90-102.
- [12] J. L. Garcia-Dorado, A. Finamore, M. Mellia, M. Meo and M. Munafo, "Characterization of ISP Traffic: Trends, User Habits, and Access Technology Impact", *IEEE Transactions on Network and Service Management*, Vol. 9, No. 2, 2012, pp. 142-155.
- [13] George E. P. Box, Gwilym M. Jenkins, Gregory C. Reinsel, *Time series analysis: forecasting and control*. John Wiley & Sons, 2015.
- [14] Suhartono, "Time series forecasting by using seasonal autoregressive integrated moving average: subset, multiplicative or additive model", *Journal of Mathematics and Statistics*, Vol 7, No. 1, 2011, 20-27.
- [15] Hyndman, Rob J., George Athanasopoulos, *Forecasting: principles and practice*, OTexts, 2018.
- [16] Fernandes, S., Teichrieb, V., Sadok, D., & Kelner, J., "Time series applied to network traffic prediction: A revisited approach.", *International conference on applied modelling and simulation-AMS*, 2002.
- [17] B. Jason, *Deep Learning for Time Series Forecasting: Predict the Future with MLPs, CNNs and LSTMs in Python*, Machine Learning Mastery, 2018.
- [18] J. Xie, F. R. Yu, T. Huang, R. Xie, J. Liu, C. Wang, and Y. Liu, "A survey of machine learning techniques applied to software defined networking (sdn): Research issues and challenges", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 21, No. 1, 2018, pp. 393-430.
- [19] R. E. Mora-Huiracochoa, P. L. Gallegos-Segovia, P. E. Vintimilla-Tapia, J. F. Bravo-Torres, E. J. Cedillo-Elias, and V. M. Larios-Rosillo, "Implementation of a SD-WAN for the interconnection of two software defined data centers", *2019 IEEE Colombian Conference on Communications and Computing (COLCOM)*, 2019, pp. 1-6.