



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0073634
(43) 공개일자 2024년05월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04L 41/147 (2022.01) G06F 9/455 (2018.01)
H04L 41/12 (2022.01) H04L 49/00 (2022.01)
(52) CPC특허분류
H04L 41/147 (2022.05)
G06F 9/45533 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0155709
(22) 출원일자 2022년11월18일
심사청구일자 2022년11월18일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
유연호
서울특별시 성북구 고려대로24가길 14-6, 102호
양경식
서울특별시 동대문구 무학로45길 40, 401호(용두동)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김등용

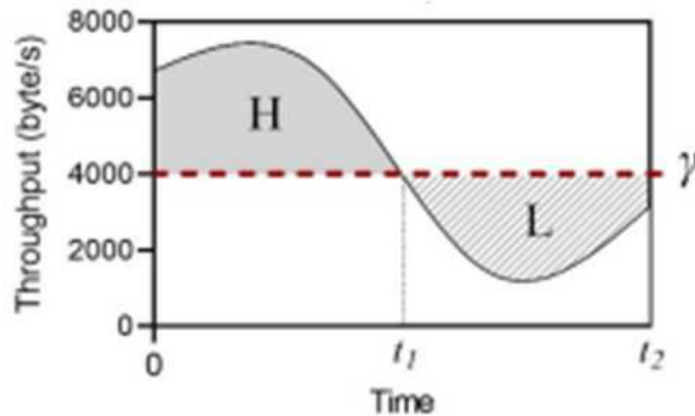
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 프로그래밍 가능한 네트워크 가상화에서의 제어 트래픽 시계열 예측 기반의 제어 채널 고립 방법 및 장치

(57) 요약

SDN(Software Defined Networking) 기반 가상 네트워크를 제공하는 네트워크 하이퍼바이저 장치가 개시된다. 상기 네트워크 하이퍼바이저 장치는 가상 스위치별로 제어 트래픽 데이터와 네트워크 토폴로지 정보를 수집하는 데이터 수집부, 상기 제어 트래픽 데이터와 상기 네트워크 토폴로지 정보에 기초하여 미래의 제어 트래픽을 예측하는 제어 트래픽 예측부, 및 예측 결과에 기초하여 가상 스위치에 대응하는 제어 메시지에 대한 번역을 수행하는 번역부를 포함한다.

대표도 - 도5



(52) CPC특허분류

H04L 41/12 (2022.05)

H04L 49/70 (2013.01)

(72) 발명자

신창용

서울특별시 동대문구 무학로49길 25, 대명빌딩 303호

이정환

서울특별시 성북구 안암로9가길 56. 303호

유혁

서울특별시 용산구 한강대로 205, A-803호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711152940
과제번호	2015-0-00280-008
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	SW컴퓨팅산업원천기술개발
연구과제명	(SW 스타랩) 성능 및 보안 SLA 보장이 가능한 차세대 클라우드 인프라SW 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	고려대학교산학협력단
연구기간	2022.01.01 ~ 2022.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345347378
과제번호	2021R1A6A1A13044830
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공학학술연구기반구축
연구과제명	융합소프트웨어연구소
기 여 율	1/2
과제수행기관명	고려대학교 산학협력단
연구기간	2022.03.01 ~ 2023.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

SDN(Software Defined Networking) 기반 가상 네트워크를 제공하는 네트워크 하이퍼바이저 장치에 있어서,

가상 스위치별로 제어 트래픽 데이터와 네트워크 토폴로지 정보를 수집하는 데이터 수집부;

상기 제어 트래픽 데이터와 상기 네트워크 토폴로지 정보에 기초하여 미래의 제어 트래픽을 예측하는 제어 트래픽 예측부; 및

예측 결과에 기초하여 가상 스위치에 대응하는 제어 메시지에 대한 번역을 수행하는 번역부를 포함하는 네트워크 하이퍼바이저 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제어 트래픽 데이터는, 미리 정해진 시간 구간 동안 미리 정해진 시간 간격으로 측정된 제어 트래픽 양과 제어 트래픽 메시지 수 중 적어도 하나를 포함하고,

상기 네트워크 토폴로지 정보는 가상 스위치에 연결되는 호스트 수와 링크 수 중 적어도 하나를 포함하는,

네트워크 하이퍼바이저 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 제어 트래픽 메시지 수는 FLOWMOD 메시지의 수, PACKETIN 메시지의 수, 및 STATISTIC 메시지의 수를 포함하는,

네트워크 하이퍼바이저 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 제어 트래픽 예측부는 미리 학습된 LSTM-Autoencoder 모델 기반의 예측 모델을 이용하여 예측을 수행하는,

네트워크 하이퍼바이저 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 번역부는, 가상 스위치 별로

수학식을 만족하는 제어 값(V)을 산출하고,

상기 제어 값(V)을 초과하여 수신되는 제어 메시지를 버퍼에 저장하고,

수신되는 제어 메시지가 상기 제어 값에 미달하면 상기 버퍼에 저장된 제어 메시지에 대한 번역 동작을 수행하는,

네트워크 하이퍼바이저 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 수학식은 $\int_{w_i}^{w_{i+1}} P_i(t) dt = |W| \times \gamma_i$ 이고,

함수 $P(t)$ 는 예측 제어 트래픽에 대한 근사함수이고, 상기 $|W|$ 는 상기 미리 정해진 시간 구간인 윈도우의 크기인,

네트워크 하이퍼바이저 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 SDN(Software Defined Networking) 컨트롤러와 네트워크 하이퍼바이저(Network hypervisor)의 가상 스위치 간의 제어 트래픽을 예측하여 제어 채널 간의 고립을 달성하기 위한 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는, 컨트롤러와 하이퍼바이저 사이의 제어 트래픽을 시계열로 예측하고, 하나의 네트워크 하이퍼바이저에서 제공하는 여러 개의 가상 스위치들이 서로 간섭되지 않도록 제어 채널을 고립시키기 위한 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] SDN(Software Defined Networking)은 네트워킹 장비의 전송 평면(Control plane)과 제어 평면(Data plane)을 분리하고, 제어 평면을 중앙 집중화하여 전체 네트워크에 대한 단일한 방식의 제어가 가능한 네트워킹 구조로서, 기존 제조사 종속적이고 새로운 연구의 적용이 어려운 네트워크에 유연성과 프로그래밍 가능성(Programmability)을 부여한다는 장점이 있다. 중앙 집중화된 스위치의 제어 평면은 SDN 컨트롤러라고 불리며, 스위치와 링크와 같은 네트워크 자원으로 구성된 전송 평면을 제어할 수 있다.

[0003] SDN은 전통적인 하드웨어 기반의 네트워킹 장비를 제어 평면과 데이터 평면으로 분리하였고, SDN 컨트롤러를 통해 중앙에서 전체 네트워크를 제어할 수 있다. 또한, SDN 컨트롤러는 소프트웨어로 사용자가 직접 라우팅이나 보안 등의 다양한 네트워크 제어를 하기 위해 네트워크에 프로그래밍 가능성을 부여한다. 이때, SDN에서 네트워크 가상화는 하나의 물리 네트워크를 여러 개의 가상 네트워크로 분리하여 제공하는 기술이다. SDN 기반의 네트워크 가상화는 네트워크 하이퍼바이저를 사용하여 구현될 수 있다. 네트워크 하이퍼바이저는 사용자의 요구에 맞는 가상 네트워크를 제공할 수 있으며, 물리 스위치 대신 가상 스위치를 추상화하여 SDN 컨트롤러가 가상 스위치를 제어할 수 있도록 한다.

[0004] 시계열 예측 모델은 시계열 데이터를 다룬다. 시계열 데이터는 시간 순서에 따라 기록된 일련의 데이터를 의미한다. 시계열 데이터의 대표적인 예로는 분 단위로 기록된 주식 가격, 월 별로 기록된 강수량 등이 있다. 시계열 예측 모델은 일련의 과거 시계열 데이터를 기반으로 미래의 시계열 데이터를 예측한다. 이를 위해, 시계열 예측 모델은 시계열 데이터에 숨겨진 여러 패턴을 찾아 학습한다(시계열 분석). 전통적으로 시계열 예측 모델이 한 가지 데이터의 시간적 흐름의 패턴만 고려한 단변량의 시계열 데이터를 주로 다루었다면, 현재는 시간의 흐름에 따라 관찰된 여러 데이터 간의 상관관계를 분석하여 더 복잡한 다변량 시계열 데이터를 다룬다. 대표적인 시계열 예측 모델로는 ARIMA, RNN, LSTM, LSTM-Autoencoder 등이 있다. SDN 컨트롤러와 가상 스위치가 제어 채널을 통해 주고 받는 제어 트래픽 또한 시계열 데이터로 기록될 수 있다. 제어 트래픽 뿐 만 아니라, 시간의 순서에 따라 함께 관찰되는 변수들을 시계열 예측 모델로 학습하여 시계열 분석할 수 있다.

[0005] 네트워크 가상화는 클라우드에서 테넌트(클라우드로부터 네트워크를 제공받는 고객)들에게 고립된 네트워크를 제공하기 위한 필수 기술이다. 특히, SDN 기반 네트워크 가상화는 클라우드의 물리 네트워크 위에 테넌트 고유의 가상 네트워크를 생성할 수 있기 때문에, 매우 중요한 미래 기술로 여겨진다. 테넌트는 자신이 제공받는 가상 네트워크의 가상 스위치들의 구성을 직접 설계할 수 있고, 자신이 제공하는 서비스에 따라 네트워크를 최적으로 구성할 수 있기 때문에 이 기술에 대한 요구는 계속 증가하고 있다.

[0006] 클라우드의 데이터 센터는 최대한 동시에 많은 테넌트의 가상 네트워크를 안정적으로 제공하는 것을 목표로 한다. 네트워크 하이퍼바이저는 가상 네트워크를 제공하기 위해 물리 스위치로부터 가상 스위치를 생성하고, SDN 컨트롤러와 가상 스위치 간의 제어 채널을 설립한다. 제어 채널을 통해 제어 메시지를 주고받고, 제어 메시지가 실제 물리 스위치에 전달되도록 네트워크 하이퍼바이저는 메시지 번역을 수행하여야 한다. 네트워크 하이퍼바이저가 제공하는 가상 스위치의 수가 증가할수록 번역할 제어 메시지의 수가 증가한다. 많은 수의 제어 메시지를 하나의 네트워크 하이퍼바이저가 선입선출(First-In First-Out, FIFO) 방식으로 번역하기 때문에 긴 지연 시간이 발생한다. 특히, 일반적으로 SDN 컨트롤러가 네트워크 포워딩을 설치, 네트워크 모니터링 등의 네트워크

제어를 수행하기 위해서는 네트워크 전체 스위치에 제어 메시지가 전달되어야 하고, 네트워크 가상화에서는 SDN 컨트롤러가 가상 스위치에 설치한 제어 메시지를 네트워크 하이퍼바이저가 번역하여 물리 네트워크까지 전달되어야지만, SDN 컨트롤러, 즉 테넌트가 원하는 네트워크 제어를 수행할 수 있다.

[0007] 본 발명에서는, 실험을 통해 기존 네트워크 하이퍼바이저에서 가상 스위치 수 8개 대비, 128개일 때 제어 메시지 번역 시간이 최대 11.7배까지 증가함을 확인하였고, 포워딩 룰 설치 시간은 12배, 네트워크 모니터링 시간은 12.9배 증가함을 확인하였다. 이는 가상 스위치, 즉 제어 채널이 증가함에 따라 상호 간의 간섭이 심해지고 고립이 달성되지 않음을 시사한다. 따라서, 본 발명은 가상 스위치 별 실시간 제어 트래픽을 예측하고, 예측 값을 기반으로 트래픽을 제어 및 고립하여 가상 스위치 수 증가에 따른 네트워크 제어 성능 저하 문제를 해결하고자 한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제2015-0013978호 (2015.02.06. 공개)
(특허문헌 0002) 대한민국 공개특허 제2022-0030193호 (2022.03.10. 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명이 이루고자 하는 기술적인 과제는 제어 트래픽 시계열 예측을 기반으로 프로그래밍 가능한 네트워크 가상화에서의 제어 채널 고립 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명의 일 실시예에 따른 네트워크 하이퍼바이저 장치는 SDN(Software Defined Networking) 기반 가상 네트워크를 제공하는 네트워크 하이퍼바이저 장치로서, 가상 스위치별로 제어 트래픽 데이터와 네트워크 토폴로지 정보를 수집하는 데이터 수집부, 상기 제어 트래픽 데이터와 상기 네트워크 토폴로지 정보에 기초하여 미래의 제어 트래픽을 예측하는 제어 트래픽 예측부, 및 예측 결과에 기초하여 가상 스위치에 대응하는 제어 메시지에 대한 번역을 수행하는 번역부를 포함한다.

발명의 효과

[0011] 본 발명의 실시예에 따른 네트워크 하이퍼바이저 장치에 의할 경우, 프로그래밍 가능한 네트워크 가상화에서 제어 트래픽 시계열 예측을 통해 제어 채널을 고립시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0012] 본 발명의 상세한 설명에서 인용되는 도면을 보다 충분히 이해하기 위하여 각 도면의 상세한 설명이 제공된다.

도 1은 제어 트래픽의 자기상관계수를 도시하는 그래프이다.

도 2는 제어 트래픽의 양과 제어 메시지 간의 피어슨 R값을 도시하는 그래프이다.

도 3은 제어 트래픽과 다른 입력 변수들을 반영한 예측 모델의 구조를 도시한다.

도 4는 제어 채널 고립 방법을 설명하기 위한 개념도이다.

도 5는 제어 값과 제어 트래픽의 관계를 설명하기 위한 그래프이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 시스템을 도시한다.

도 7은 도 6에 도시된 네트워크 하이퍼바이저 장치의 기능 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 본 명세서에 개시되어 있는 본 발명의 개념에 따른 실시예들에 대해서 특정한 구조적 또는 기능적 설명들은 단

지 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로서, 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 형태들로 실시될 수 있으며 본 명세서에 설명된 실시예들에 한정되지 않는다.

[0014] 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 변경들을 가할 수 있고 여러 가지 형태들을 가질 수 있으므로 실시예들을 도면에 예시하고 본 명세서에서 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 특정한 개시 형태들에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.

[0015] 제1 또는 제2 등의 용어는 다양한 구성 요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성 요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하는 목적으로만, 예컨대 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 벗어나지 않은 채, 제1 구성 요소는 제2 구성 요소로 명명될 수 있고 유사하게 제2 구성 요소는 제1 구성 요소로도 명명될 수 있다.

[0016] 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성 요소에 직접적으로 연결되어 있거나 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성 요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는 중간에 다른 구성 요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성 요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 "~사이에"와 "바로 ~사이에" 또는 "~에 이웃하는"과 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.

[0017] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로서, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 본 명세서에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0018] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0019] 이하, 본 명세서에 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명한다. 그러나, 특허출원의 범위가 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.

[0020] 우선, 본 명세서에서 사용되는 용어에 대해 설명한다.

[0021] · 네트워크 컨트롤러: 네트워크 컨트롤러는 각 사용자의 가상 네트워크를 제어하기 위해 사용하는 요소를 의미한다. SDN 기반의 가상 네트워크에서 사용자의 중앙 집중화된 가상 네트워크 컨트롤러는 제어 평면 역할을 하며, 가상 스위치와 OpenFlow 등의 프로토콜을 통해 데이터 전송에 필요한 규칙(rule)을 내려 보내는 등의 통신을 수행한다.

[0022] · 네트워크 하이퍼바이저: 네트워크 하이퍼바이저는, 서로 다른 SDN 컨트롤러를 사용하는 다수의 사용자가 존재하고 이 사용자들이 하나의 공유된 물리 네트워크를 사용할 때, 각 사용자들에게 분리된 가상 네트워크를 제공하는 요소를 의미한다. 가상 네트워크 자원과 물리 네트워크 자원의 맵핑 정보를 관리하고 가상 네트워크 컨트롤러로부터 내려온 OpenFlow 등의 컨트롤 메시지를 물리 네트워크에 맞는 형태로 변경해 주는 역할을 수행한다.

[0023] · 제어 트래픽: SDN 컨트롤러는 네트워크를 제어하기 위해 각 스위치와 제어 채널을 생성하고, 제어 채널을 통해 제어 메시지를 주고 받는데, 이 메시지들을 제어 트래픽(control traffic)이라 부른다. 네트워크 가상화에서 SDN 컨트롤러는 물리 네트워크의 존재를 알지 못하기 때문에, SDN 컨트롤러가 생성하는 제어 메시지는 가상 네트워크만을 고려한다. 따라서, 가상 네트워크를 물리 네트워크로부터 추상화하는 네트워크 하이퍼바이저가 SDN 컨트롤러의 제어 메시지를 물리 스위치에게 전달하기 위해 수정하는 과정이 필요하며, 이 과정을 메시지 번역 또는 변환(message translation)이라고 부른다.

- [0024] · LSTM(Long Short Term Memory): LSTM은, RNN(Recurrent Neural Network)이 예측하는 시계열 데이터가 길어 질수록 과거 정보를 반영할 수 없는 단점을 보완하여, 장, 단기 기억을 가능하게 설계한 신경망 구조이다. RNN은 은닉층의 결과가 다시 같은 은닉층의 입력으로 들어가는 일종의 체인 구조로 되어 있다. 이런 구조는 RNN이 순서 또는 시간 정보를 고려할 수 있게 해준다. 그러나, RNN은 별도의 과거 정보를 기억할 수 있는 구조가 없기 때문에, 어느 정도 먼 미래 데이터를 출력할 때 과거 정보를 반영하지 못한다. 반면, LSTM은 시간의 흐름에 따라 과거 데이터의 중요성을 표현할 수 있는 셀 상태(cell state)라는 별도의 정보를 세가지 게이트(forget, input, output)를 통해 관리한다. 망각 게이트(Forget gate)는 데이터를 얼마나 잊을지, 입력 게이트(Input gate)는 데이터를 얼마나 반영할지, 출력 게이트(Output gate)는 어떤 데이터를 다음 셀로 보낼지 정한다.
- [0025] 본 발명에서는 "제어 트래픽 고립" 문제를 해결하고자 한다. 즉, 가상 스위치 수가 증가함에 따라 저하되는 네트워크 제어 지연의 원인인 네트워크 하이퍼바이저의 메시지 번역 병목 문제를 해결하고자 한다. 이 병목에 대한 원인은 기존의 네트워크 하이퍼바이저에서 메시지 번역 동작이 가상 스위치와 관계없이 메시지가 들어온 순서대로 처리하기 때문에 특정 스위치로 먼저 들어온 메시지들을 처리하는 동안 다른 스위치들의 메시지 처리가 지연되기 때문이다. 따라서, 본 발명에서는 일정한 짧은 시간 각격마다 가상 스위치가 받는 SDN 컨트롤러의 제어 트래픽을 예측하고, 제어 트래픽의 처리량을 조절한다. 이를 통해 네트워크 하이퍼바이저가 초당 번역하는 제어 트래픽의 양을 줄여 병목을 완화하고, 네트워크 제어 성능을 개선할 수 있다.
- [0026] 또한, 본 발명은 정확한 제어 트래픽 예측을 위해 기존에 없었던 제어 트래픽 예측 모델을 생성한다. 이를 위해, 제어 트래픽의 시계열 예측을 위한 LSTM-Autoencoder 모델을 디자인한다. 이 모델은 기존 시계열 모델 (ARIMA) 보다 최대 2.2 배의 예측 정확도를 보인다.
- [0027] 이하, LSTM-Autoencoder 기반 제어 트래픽 예측 모델에 대해 상세히 설명한다.
- [0028] LSTM-Autoencoder 기반 제어 트래픽 예측 모델은 SDN 컨트롤러로부터 받은 제어 트래픽을 예측하도록 설계되었다. 이를 위해, 먼저 제어 트래픽의 과거 데이터와 미래 데이터 간의 시계열 분석을 진행한다.
- [0029] 시계열 분석을 위해 가장 널리 사용되는 제어 트래픽 데이터의 자기상관계수(autocorrelation)를 측정하였다. 자기상관계수는 현재 데이터가 얼마만큼의 과거 데이터와 관계성이 있는지 확인할 수 있는 지표이다. 데이터를 수집하기 위해, 가상 스위치 수 128개에 제어 트래픽을 전송하였고, 120s 동안 제어 트래픽을 1s 간격으로 측정하여 기록하였다. 120개의 시계열 데이터를 이용하여 자기상관계수를 측정하였고, 도 1에는 30s 까지의 측정 결과가 도시되어 있다. 도 1에 도시된 그래프의 x 축은 현재 시간을 기준으로의 과거 시간을 나타내고, y 축은 해당 과거 시간까지의 자기상관계수를 나타낸다. 95%의 신뢰구간(도 1의 그래프의 음영부분)을 초과하면 과거 시간과 상관관계가 있다고 판단할 수 있다. 측정 결과, 제어 트래픽은 1s 부터 5s 까지의 구간에서 자기상관관계가 음영부분을 초과한다. 따라서, 제어 트래픽은 5s 까지의 짧은 과거 데이터와 상관관계가 있다고 판단할 수 있다. 이를 기반으로, 짧은 과거 시간의 제어 트래픽 데이터로 미래의 제어 트래픽을 예측할 수 있는 모델을 디자인할 수 있다.
- [0030] 제어 트래픽 데이터는 과거 시간의 제어 트래픽 뿐만 아니라 다양한 변수들과 함께 관찰된다. 첫 번째로, 제어 트래픽은 제어 메시지들의 데이터이기 때문에, 제어 트래픽의 양은 제어 메시지의 종류와 수와 연관된다. 따라서, 제어 트래픽을 구성하는 제어 메시지들 중 FLOWMOD, PACKETIN, STATISTIC, HELLO, BARRIER, ERROR, 및 CONFIG 메시지의 수를 관찰하여 기록하였고, 개별 제어 메시지의 수와 제어 트래픽 간 대표적인 상관관계 분석 지표인 피어슨 R(Pearson R)값을 측정하였다. 피어슨 R이 1에 가까울수록 두 변수 간의 상관관계가 높다고 판단할 수 있고, 피어슨 R이 0에 가까울수록 두 변수 간의 상관관계가 없다고 판단할 수 있다. 제어 트래픽 양과 제어 메시지 간에 피어슨 R값을 도시하는 도 2를 살펴보면, 6개의 메시지들 중 FLOWMOD, PACKETIN, 및 STATISTIC 메시지가 1에 가까운 피어슨 R값을 보여, 제어 트래픽과 큰 상관관계를 보인다고 판단할 수 있다. 따라서, 이 세 메시지의 수 중 적어도 하나가 입력 변수로 포함될 수 있다.
- [0031] 두 번째로, 개별 스위치의 제어 트래픽은 네트워크 환경에 영향을 받는다. 따라서, 네트워크 환경에 가장 큰 요소인 네트워크 토폴로지 정보를 입력 변수로 추가할 수 있다. 예시적으로, 네트워크 토폴로지 정보 중 가상 스위치(또는 물리 스위치)에 연결되어 있는 호스트의 수, 가상 스위치(또는 물리 스위치)의 링크의 수를 입력 변수로 포함할 수 있다.
- [0032] 따라서, 제어 트래픽과 상관관계가 큰 5가지의 변수(FLOWMOD 메시지 수, PACKETIN 메시지 수, STASTIC 메시지 수, 호스트 수, 및 링크 수) 중 적어도 하나를 포함하여 시계열 예측 모델이 다양한 변수와의 관계를 학습할 수 있도록 하였다.

[0033] 이하에서는, LSTM-Autoencoder 기반의 제어 트래픽 예측 모델에 대해 상세히 설명한다.

[0034] 도 3은 제어 트래픽과 다른 입력 변수들을 반영한 예측 모델의 구조를 도시한다.

[0035] 도 3을 참조하면, 입력 변수들은 2s 동안 100ms 단위로 측정된 관찰 데이터들(과거 시퀀스 데이터)이고, 출력 값은 다음 2초간의 제어 트래픽 데이터(미래 시퀀스 데이터)이다. 예측 모델은 크게 인코더와 디코더로 이루어져 있다. 인코더는 과거 시퀀스 데이터를 하나의 압축된 데이터(encoded state)로 표현하고, 디코더는 압축된 데이터(encoded state)와 과거 시퀀스 데이터를 입력받아 미래 시퀀스 데이터를 예측한다.

[0036] 예측 모델의 인코더는 LSTM 셀로 이루어져 있다. 인코더의 LSTM 셀은 과거 시퀀스 데이터의 수 만큼 생성하여 총 20개의 LSTM 셀로 구성하였고, 각 LSTM 셀은 순차적으로, 과거 시퀀스 데이터 중 하나의 데이터에 대한 새로운 값(cell state)를 생성한다. 셀 상태(cell state)는 LSTM 셀을 지날 때 마다 업데이트되어 데이터 간 시간 종속성 및 입력 변수들 간 종속성 정보가 압축되고, 결국 인코더의 마지막 LSTM 셀은 과거 시퀀스 데이터 전체에 대한 하나의 정보인 압축된 데이터(encoded state)를 생성한다.

[0037] 예측 모델의 디코더는 20개의 LSTM 셀과 20개의 활성화 함수로 구성된다. 디코더의 첫 번째 LSTM 셀은 인코더로부터 전달받은 압축된 데이터(encoded state)와 과거 시퀀스 데이터 중 가장 마지막 데이터로 압축된 데이터(encoded state)를 업데이트하여 새로운 셀 상태(cell state)를 생성하고, 활성화 함수를 이용하여 그 다음 시간의 데이터를 출력한다. 두 번째 LSTM 셀은 첫 번째 LSTM 셀이 출력한 셀 상태 데이터와 예측한 데이터를 전달받아 은닉 상태(hidden state)를 업데이트하고, 그 다음 시간의 데이터를 예측한다. 순차적으로 20개의 LSTM 셀이 각각의 미래 데이터를 예측하면, 미래 시퀀스 데이터 예측을 종료한다.

[0038] 예측 모델의 학습 데이터는 30만개의 제어 트래픽에 대한 과거-미래 시퀀스 데이터를 생성하여 사용하였다. 가상 스위치 1개부터 128개까지 가상 네트워크 내 모든 스위치의 제어 트래픽 데이터를 수집하였으며, 충분한 데이터셋을 통해 예측 모델이 모든 제어 트래픽의 시계열 패턴을 학습할 수 있게 하였다. 예측 모델의 하이퍼파라미터는 그리드 탐색을 통해 최적의 하이퍼파라미터를 탐색하였고, 예측 모델의 하이퍼파라미터는 표 1과 같다.

[0039] [표 1]

Hyperparameter	Best parameter	Hyperparameter	Best parameter
Loss function	MSE	Batch size	720
Activation Function	tanh	Optimizer	ADAM
Hidden layer size	64	Drop rate	0.05
Input sequence size	2 s (20 records in 100 ms unit)	Learning rate	0.01
Output sequence size	2 s (20 records in 100 ms unit)	Epoch	200

[0040]

[0041] 이하에서는, 제어 채널 고립 방법에 대해 상세히 설명한다.

[0042] 도 4는 제어 채널 고립 방법을 설명하기 위한 개념도이다.

[0043] 제안하는 기법은 트래픽 예측 모델, 트래픽 미터(Traffic meter), 및 스위치 탭(Switch tab)으로 구성되어 있다. 상기 구성들 중 적어도 일부는 네트워크 하이퍼바이저(또는 네트워크 하이퍼바이저가 구현된 네트워크 하이퍼바이저 장치)에 구현될 수 있다. 트래픽 미터는 특정 시간 간격(윈도우) 내에서 제어 트래픽 및/또는 가상 네트워크 토폴로지 정보를 수집할 수 있다. 그런 다음, 트래픽 미터는 수집된 데이터를 트래픽 예측 모델에 입력 값으로 전달하고, 트래픽 예측 모델은 각 가상 스위치에 대한 다음 윈도우의 제어 트래픽을 스위치 탭으로 전달한다. 스위치 탭은 예측 결과를 기반으로 각 가상 스위치당 네트워크 하이퍼바이저가 번역할 수 있는 제어 트래픽 양(제어 값, Y)을 계산한다. 제어 값은 가상 스위치별로 윈도우마다 계산되며, 스위치 탭은 제어 값을 넘는 메시지에 대한 번역에 대한 수행이 발생하지 않도록 한다.

[0044] 트래픽 미터는 입력 시퀀스 단위로 데이터를 수집하고 예측 모델을 위해 전처리를 수행할 수 있다. 먼저, 실시간 모니터링을 통해 제어 트래픽 정보(제어 트래픽 양, FLOWMOD 메시지 수, PACKETIN 메시지 수, STATISTIC 메시지 수, 스위치에 연결되어 있는 호스트 수, 링크 수)를 수집한다. 이때, 최소 가능 모니터링 시간인 100ms 단

위로 20개의 데이터를 수집하고, 20개의 데이터는 하나의 시계열 시퀀스로의 데이터 형태 변환을 거쳐 제어 트래픽 예측 모델에 다음 미래 시퀀스 데이터 예측을 요청한다.

[0045] 스위치 탭은 예측 모델로부터 다음 시퀀스에 대해 예측된 제어 트래픽을 수신하여 제어 값($\bar{Y}$)을 계산한다. 제어 값 계산의 기본 아이디어는, 제어 값을 초과하는 패킷들에 대한 처리(즉, 번역)를 여유있는 시점에 수행하는 것이다. 도 5의 그래프는 윈도우 크기만큼 예측한 시퀀스 데이터를 함수로 표현하여 작성한 그래프이다. 임의의 제어 값($\bar{Y}$)에 대해서, H 는 $\bar{Y}$ 를 초과하는 트래픽 양이고, L 은 $\bar{Y}$ 까지 도달하지 않고 남은 트래픽 양이다. 다음 예측 트래픽에 대해서 $\bar{Y}$ 값으로 제어를 하려고 할 때 $\bar{Y}$ 값에 따라서 세가지 케이스로 분류할 수 있다.

[0046] 첫 번째로, $\bar{Y}$ 를 기준으로 H 와 L 의 크기가 같다면, 윈도우 동안 모든 트래픽을 $\bar{Y}$ 를 초과하지 않고 모두 처리할 수 있다.

[0047] 두 번째로, $\bar{Y}$ 를 기준으로 H 가 L 보다 크다면, 윈도우 구간 내에서 모든 트래픽을 처리할 수 없으며 초과된 트래픽은 해당 윈도우 이후에 처리되어야 한다.

[0048] 세 번째로, $\bar{Y}$ 를 기준으로 H 가 L 보다 작다면, 윈도우 구간 내에서 모든 트래픽을 처리할 수 있지만 $\bar{Y}$ 의 값이 H 와 L 을 같게 만드는 $\bar{Y}$ 보다 낮아 메시지 번역 속도가 느려지게 된다.

[0049] 따라서, 스위치 탭은 첫 번째 케이스를 만족하는 $\bar{Y}$ 를 다음 수학적식을 이용하여 계산할 수 있다.

[0050] [수학식]

$$\int_{w_i}^{w_{i+1}} P_i(t) dt = |W| \times \gamma_i$$

[0052] 상기 수학적식에서, 함수 $P(t)$ 는 예측 제어 트래픽에 대한 근사함수로 도출되며, $\bar{Y}$ 를 제외한 나머지는 시스템 내에서 알고 있는 상수값($|W|$ 는 윈도우 크기)이므로, 용이하게 $\bar{Y}$ 를 계산할 수 있다.

[0053] 스위치 탭은 각 스위치마다 위 수학적식으로 계산한 $\bar{Y}$ 를 유지하도록 제어 메시지를 번역하여 물리 스위치로 전달한다. 스위치 탭은 실시간으로 번역되는 제어 메시지에 대한 처리량을 계산하고, 그 값을 $\bar{Y}$ 로 유지한다. 이를 위해, 스위치로 제어 메시지가 들어올 때마다 처리량이 $\bar{Y}$ 를 초과하는지 확인하여야 한다. 만약, 들어온 메시지들을 번역할 때 $\bar{Y}$ 를 초과하지 않는다면 메시지를 번역하고, 초과한다면 메시지를 버퍼에 임시 저장한 후 $\bar{Y}$ 가 여유로운 시점에 저장된 메시지를 번역할 수 있다.

[0054] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 시스템을 도시한다.

[0055] 도 6을 참조하면, 가상 네트워크 시스템이나 SDN 기반 가상 네트워크 시스템 등으로 명명 가능한 시스템은 복수의 SDN 컨트롤러들, 복수의 SDN 컨트롤러들(즉, 복수의 테넌트들) 각각에 가상 네트워크를 제공하는 네트워크 하이퍼바이저 장치를 포함한다. 또한, 시스템은 복수의 물리 스위치들을 포함하는데, 네트워크 하이퍼바이저 장치는 복수의 물리 스위치들을 가상화하여 가상 네트워크를 복수의 SDN 컨트롤러들 각각에게 제공할 수 있다.

[0056] 하이퍼바이저 장치 등으로 명명될 수도 있는 네트워크 하이퍼바이저 장치는 네트워크 하이퍼바이저가 구현된 장치로써, 적어도 프로세서 및/또는 메모리를 포함하는 컴퓨팅 장치로 구현될 수 있다. 또한, 하이퍼바이저 장치는 각 SDN 컨트롤러와 가상 스위치 간에 형성된 제어 채널에서 전송되는 메시지(또는 패킷)에 대한 번역 동작을 수행할 수 있다.

[0057] 도 7은 도 6에 도시된 하이퍼바이저 장치의 기능 블록도이다.

[0058] 도 7을 참조하면, 하이퍼바이저 장치(10)는 데이터 수집부(110), 제어 트래픽 예측부(120), 및 번역부(130)를 포함할 수 있다. 실시예에 따라, 하이퍼바이저 장치(10)는 저장부(140)를 더 포함할 수도 있다.

[0059] 데이터 수집부(110)는 트래픽 미터, 데이터 수집 모듈, 및 데이터 수집 유닛 등으로 명명될 수도 있다. 데이터 수집부(110)는 미리 정해진 시간 구간(예컨대, 2초) 동안 미리 정해진 시간 단위(예컨대, 100ms)로 데이터를 수집할 수 있다. 수집되는 데이터는 제어 트래픽량, FLOWMOD 메시지 수, PACKETIN 메시지 수, STATISTIC 메시지

수, 스위치에 연결되어 있는 호스트 수, 및 스위치에 연결된 링크 수 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

- [0060] 데이터 수집 동작은 가상 스위치 별로 수행된다. 따라서, 스위치에 연결되어 있는 호스트 수 및/또는 스위치에 연결된 링크 수에서의 스위치는 가상 스위치를 의미하거나 물리 스위치를 의미할 수 있다. 또한, 데이터 수집부(110)는 반복적으로 데이터 수집 동작을 수행할 수 있다. 즉, 미리 정해진 시간 구간(타임 윈도우)마다 데이터 수집 동작이 수행될 수 있다.
- [0061] 실시예에 따라, 데이터 수집부(110)는 수집된 데이터에 대한 소정의 전처리 동작을 수행할 수도 있다.
- [0062] 제어 트래픽 예측부(120)는 학습된 예측 모델을 이용하여 미래의 트래픽에 대한 예측(또는 추론) 동작을 수행할 수 있다. 예측 모델은 소정의 입력 데이터를 수신하고 이에 대응하는 출력 데이터를 출력한다. 이때, 입력 데이터는 미리 정해진 시간 구간 동안 수집된 데이터로써, 제어 트래픽량, FLOWMOD 메시지 수, PACKETIN 메시지 수, STATISTIC 메시지 수, 스위치에 연결되어 있는 호스트 수, 및 스위치에 연결된 링크 수 중 적어도 하나를 포함한다. 따라서, 예측 모델은 다음 시간 구간 동안의 제어 트래픽량, FLOWMOD 메시지 수, PACKETIN 메시지 수, STATISTIC 메시지 수, 스위치에 연결되어 있는 호스트 수, 및 스위치에 연결된 링크 수 중 적어도 하나에 대한 예측값을 출력할 수 있다. 앞선 기재와 중복되는 예측 모델에 관한 상세한 설명은 생략하기로 한다.
- [0063] 제어 트래픽에 대한 예측은 (가상) 스위치별로 수행될 수 있다. 즉, 각 가상 스위치에 대한 미래의 제어 트래픽 예측값이 개별적으로 생성될 수 있다.
- [0064] 번역부(130)는 스위치 탭, 제어부 등으로 명명될 수도 있다. 번역부(130)는 각 (가상) 스위치에 대한 제어 값을 도출하고, 도출된 제어 값에 따라 번역 동작을 수행할 수 있다. 구체적으로, 번역부(130)는 상술한 수학적식을 이용하여 제어 값을 산출할 수 있다. 또한, 번역부(130)는 산출된 제어 값에 기초하여 각 제어 채널의 제어 메시지에 대한 번역 동작을 수행할 수 있다. 이때, 제어 값을 초과하는 제어 트래픽에 대한 번역 동작을 지연시키기 위해, 번역부(130)는 소정의 버퍼를 포함할 수 있다.
- [0065] 저장부(140)에는 하이퍼바이저 장치(10)의 구동에 필요한 OS(Operation System), 어플리케이션, 앱, 프로그램, 학습된 예측 모델 등이 저장되어 있을 수 있다. 또한, 저장부(140)에는 데이터 수집부(110)에 의해 수집된 데이터, 가공된 데이터, 제어 트래픽 예측부(120)에 의한 예측 결과, 번역부(130)에 의한 예측 결과 등이 일시적으로 또는 비일시적으로 저장될 수 있다.
- [0066] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성 요소, 소프트웨어 구성 요소, 및/또는 하드웨어 구성 요소 및 소프트웨어 구성 요소의 집합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성 요소는, 예를 들어, 프로세서, 컨트롤러, ALU(Arithmetic Logic Unit), 디지털 신호 프로세서(Digital Signal Processor), 마이크로컴퓨터, FPA(Field Programmable array), PLU(Programmable Logic Unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(Operation System, OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(Processing Element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 컨트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(Parallel Processor)와 같은, 다른 처리 구성(Processing Configuration)도 가능하다.
- [0067] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(Computer Program), 코드(Code), 명령(Instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(Collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성 요소(Component), 물리적 장치, 가상 장치(Virtual Equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치, 또는 전송되는 신호 파(Signal Wave)에 영구적으로, 또는 일시적으로 구체화(Embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.
- [0068] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계

되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(Magnetic Media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(Optical Media), 플롭티컬 디스크(Floptical Disk)와 같은 자기-광 매체(Magneto-optical Media), 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0069]

본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성 요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성 요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 등록청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0070]

10 : 네트워크 하이퍼바이저 장치

110 : 데이터 수집부

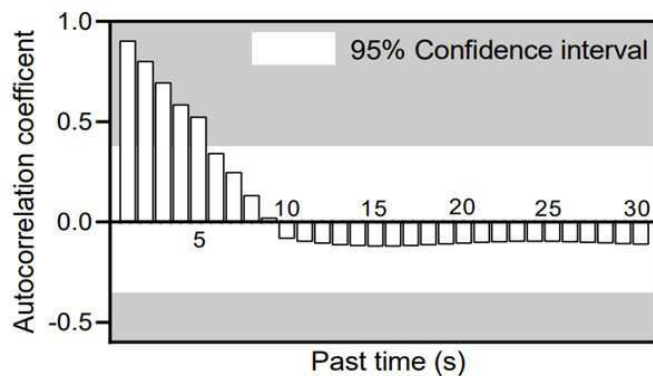
120 : 제어 트래픽 예측부

130 : 번역부

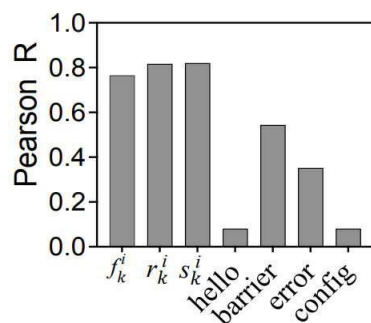
140 : 저장부

도면

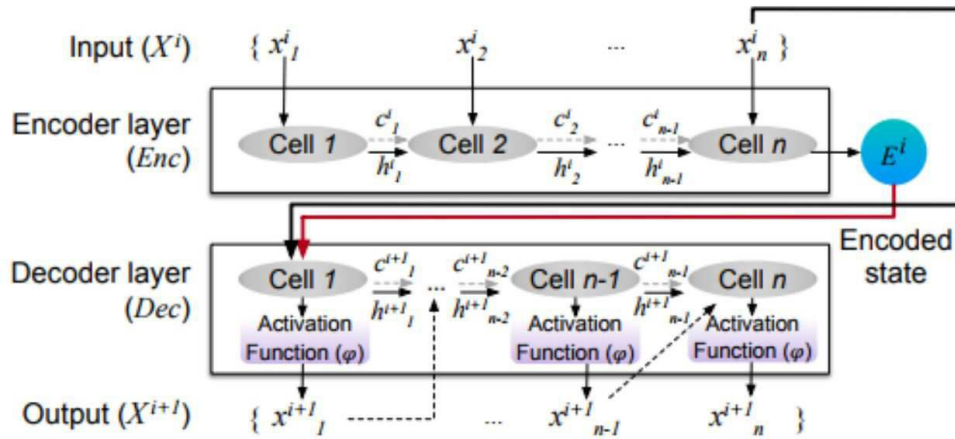
도면1



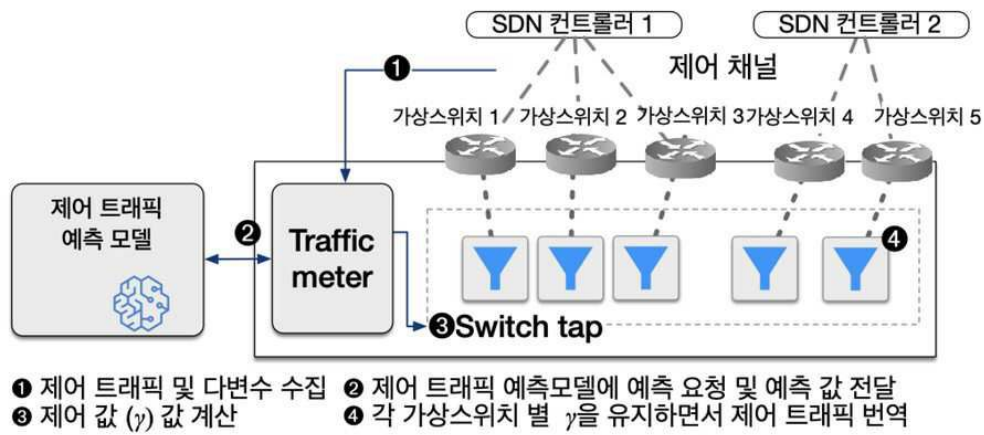
도면2



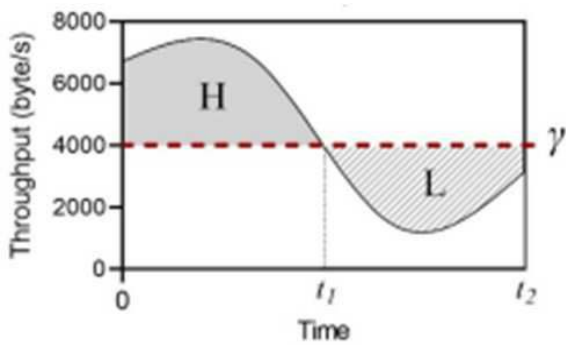
도면3



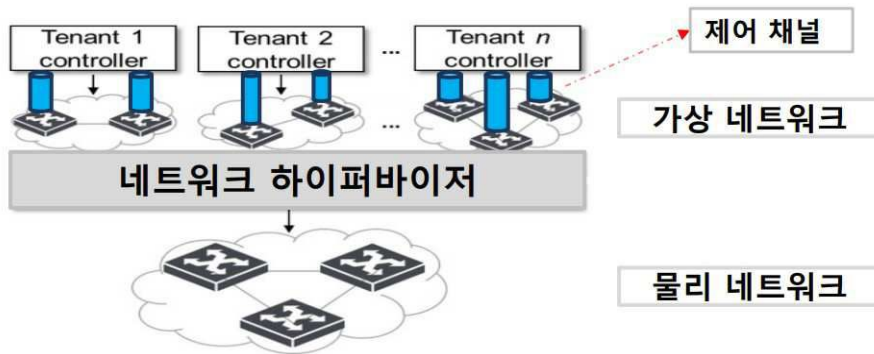
도면4



도면5



도면6



도면7

