

멀티 클라우드 및 멀티 클러스터 환경에서의 네트워크 구성 방식에 따른 통신 성능 분석

김현수¹, 김지수², 남재현³

¹단국대학교 컴퓨터공학과 학부생

²단국대학교 인공지능융합학과 석사과정

³단국대학교 컴퓨터공학과 교수

redapple@dankook.ac.kr, imjs0807@dankook.ac.kr, namjh@dankook.ac.kr

A Empirical Study on Network Performance in Multi-Cloud and Multi-Cluster Environments

Hyunsoo Kim¹, Ji-Su Kim², Jaehyun Nam³

¹Dept. of Computer Engineering, Dankook University (Undergraduate Student)

²Dept. of AI-based Convergence, Dankook University (Graduate Student)

³Dept. of Computer Engineering, Dankook University (Professor)

요 약

최근 클라우드 컴퓨팅 환경에서는 벤더 종속성을 완화하고 서비스 유연성을 확보하기 위한 방안으로 멀티 클라우드 및 멀티 클러스터 전략이 활발히 채택되고 있다. 그러나 이러한 분산된 인프라 환경에서는 네트워크 구성 방식에 따라 통신 성능이 민감하게 영향을 받을 수 있다. 본 연구에서는 AWS와 GCP를 기반으로 멀티 클라우드 및 멀티 클러스터 인프라를 구축하고, 다양한 구성 조건에서 가상 머신 및 파드 간 통신 성능을 정량적으로 비교·분석하였다. 이를 바탕으로 멀티 클라우드 및 멀티 클러스터 환경의 네트워크 설계 시 성능 영향을 고려한 전략 수립의 필요성을 제시한다.

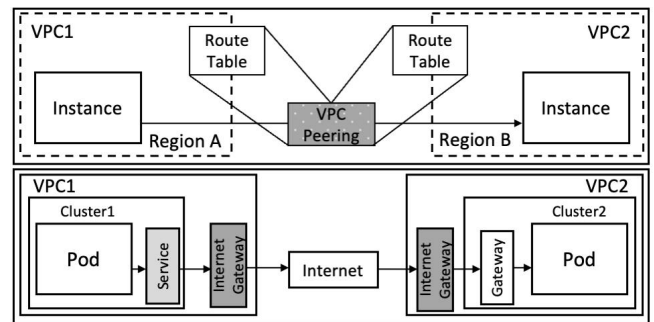
1. 서론

최근 클라우드 컴퓨팅 환경에서는 특정 클라우드 제공자에 대한 벤더 종속성을 피하고자 멀티 클라우드 전략이 널리 채택되고 있다. 동시에, 컨테이너 오케스트레이션 플랫폼인 쿠버네티스의 확산으로 인해, 복수 클라우드에 걸친 멀티 클러스터 환경의 구축 사례 또한 증가하고 있다 [1]. 하지만 이러한 환경은 이질적인 네트워크 인프라 간 분산으로 인해 통신 저하와 같은 문제가 수반된다.

특히, VPC(가상 사설 클라우드) 구성 방식, 리전 간 거리, 클러스터 간 통신 경로, 서비스 노출 구조와 같은 네트워크 아키텍처 요소는 처리량 및 지연 시간 등 핵심 성능 지표에 직·간접적인 영향을 미친다 [2]. 그럼에도 불구하고, 이러한 요소들이 실제 성능에 미치는 영향을 정량적으로 비교·분석한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 AWS와 GCP를 기반으로 가상 머신과 쿠버네티스 클러스터(EKS, GKE)를 구성하고, 다양한 네트워크 환경에서 클라우드 간/클러스터 간 통신 성능을 실험적으로 분석한다. 이를 토대로 효율적인 네트워크 설계를 위한 방안을 제안한다.

2. 클라우드 및 클러스터 네트워크 아키텍처



(그림 1) 클라우드 환경의 네트워크 구성도

(그림 1)은 클라우드 및 쿠버네티스 클러스터 환경의 개념적 네트워크 구성을 보여준다. 클라우드에서는 VPC를 통해 논리적으로 격리된 네트워크 공간을 구성하여 보안성과 운영 효율성을 확보하며, 서로 다른 VPC 간에는 VPC 피어링을 통해 직접적인 통신이 가능하다. 리전은 지리적으로 구분된 물리적 데이터센터 단위를 의미하며, 리전 간 통신은 일반적으로 퍼블릭 인터넷을 경유하게 된다.

쿠버네티스 클러스터는 애플리케이션 파드를 논리적으로 그룹화하여 관리하며, 외부와의 통신은 서비스 객체, 특히 로드밸런서 타입을 통해 이루어진다.

클러스터 외부의 인터넷 게이트웨이를 경유한 통신은 퍼블릭 네트워크의 품질에 영향을 받게 된다.

3. 실험 환경 및 측정 방법

본 연구에서는 AWS 및 GCP 상에 각각 두 개의 리전과 VPC를 구성하고, <표 1>과 같은 사양의 가상 머신과 쿠버네티스 클러스터를 배포하였다. 네트워크 정책의 구성에 따라 싱글/멀티 클라우드, 싱글/멀티 VPC, 싱글/멀티 리전의 시나리오를 설정하였다. 성능은 1)iperf3와 2)wrk를 통해 측정하였다.

<표 1> 실험 환경

| 종류 | 항목 |
|----|--|
| VM | AWS: t2-medium(2vCPU, 4GiB RAM) Region: ap-northeast-2(single cloud), us-east-1 |
| | GCP: e2-medium(2vCPU, 4GB RAM) Region: asia-northeast3(single cloud), us-east4 |
| OS | Ubuntu 22.04 LTS |
| SW | Linkerd edge-25.3.4 |

4. 실험 결과 및 분석

(그림 2)와 (그림 3)은 각각 가상 머신 간 통신과 파드 간 통신의 네트워크 성능 측정 결과를 나타낸다. 분석 결과, 네트워크 구성요소(클라우드 제공자, VPC 구조, 리전 위치)에 따라 통신 성능이 크게 변화하는 것으로 나타났다.

| | Single Cloud | | | Multi Cloud | |
|-----|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------|-----------------|
| | Single VPC Single Region | Multi VPC Single Region | Multi VPC Multi Region | Single Region | Multi Region |
| AWS | 1020 2.79 | 1010 2.99 | 116.2 181.05 | 796.2 4.66 | 1.84 180.99 |
| GCP | 1940 4.01 | 1,940 4.82 | 147 172.64 | | |

Throughput(Mbits/sec), Latency(ms)

(그림 2) 가상 머신 간 네트워크 성능 측정 결과

| | Single Cloud | | | Multi Cloud | |
|-----|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------|-----------------|
| | Single VPC Single Region | Multi VPC Single Region | Multi VPC Multi Region | Single Region | Multi Region |
| AWS | 857.4 24.73 | 894.4 39.11 | 38 213.3 | 1520 28 | 134.8 223.4 |
| GCP | 1300 30.7 | 1280 45.41 | 120.8 213.6 | | |

Throughput(Mbits/sec), Latency(ms)

(그림 3) 파드 간 네트워크 성능 측정 결과

1)iperf3를 통한 10초간 1초 간격의 데이터 전송 5회
2)wrk를 통한 10초간 10개 스레드와 100개 연결 5회

멀티 클라우드 환경(GCP-AWS)은 동일 클라우드 내 통신에 비해 성능 저하가 뚜렷하게 나타났다. GCP 기준으로, 단일 클라우드의 단일 VPC, 단일 리전(서울) 구성에서는 처리량이 1,940 Mbps, 지연 시간이 4.01 ms였던 반면, 멀티 클라우드 구성(모두 서울 리전)에서는 처리량이 796.2 Mbps로 약 58.9% 감소, 지연 시간은 4.66 ms로 약 16.2% 증가하였다. 멀티 리전 조건(서울-미국 동부)에서는 처리량이 147 Mbps에서 1.84 Mbps로 약 98.75% 감소하였고, 지연 시간은 약 4.83% 증가하였다. 이와 같은 성능 저하는 클라우드 간 통신 시 인터넷 경유로 인한 라우팅 지연 및 품질 변동성이 원인으로 분석된다.

싱글 클라우드 내에서 VPC를 분리하고 피어링을 구성한 경우, 가상 머신 간 통신 성능에는 큰 차이가 없었다. 그러나, 동일 조건에서 파드 간 통신의 경우에는 GCP 기준 지연 시간이 30.7 ms에서 45.41 ms로 증가하여 약 47.9%의 지연 증가율을 보였다. 이를 통해 클러스터 내부 통신이 VPC 경계를 넘는 라우팅 경로에 더욱 민감함을 확인하였다.

5. 결론

본 연구에서는 멀티 클라우드 및 멀티 클러스터 환경에서 네트워크 구성 방식이 통신 성능에 미치는 영향을 실증적으로 분석하였다. 실험 결과, 가상 머신 기반 구성에서는 멀티 VPC 환경에서도 비교적 안정적인 통신 성능을 확보할 수 있었다. 반면, 파드 기반의 서비스 환경에서는 네트워크 경로, 라우팅 구조, 그리고 클러스터 내부 구성 방식 등에 따라 성능 편차가 크게 나타났다. 결과적으로, 파드 간 통신에서는 보다 정교하고 세밀한 네트워크 설계가 요구됨을 확인할 수 있었다.

Acknowledgement

본 연구는 2024년 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학사업 지원을 받아 수행되었음 (2024-0-00035)

참고문헌

- [1] B. Madupati, "Kubernetes for Multi-Cloud and Hybrid Cloud: Orchestration, Scaling, and Security Challenges.", Scaling, and Security Challenges, 2023.
- [2] B. Yeganeh, et al., "A case for performance and cost-aware multi-cloud overlays.", CLOUD. IEEE, 2023.