

# SDN 기반 Fog Computing 환경에서 서비스 이동성 제공 방안

경연웅<sup>1</sup>, 김태국<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>한신대학교 컴퓨터공학부 교수, <sup>2</sup>동명대학교 정보통신소프트웨어공학과 교수

## Service Mobility Support Scheme in SDN-based Fog Computing Environment

Yeun-Woong Kyung<sup>1</sup>, Tae-Kook Kim<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Professor, Division of Computer Engineering, Hanshin University,

<sup>2</sup>Professor, Dept. of Information, Communications & Software Engineering, Tongmyong University

**요약** 본 논문은 SDN 기반 네트워크에서 fog computing 서비스의 이동성을 제안하고자 한다. Fog computing 아키텍처는 컴퓨팅 및 배터리 자원의 제약이 있는 IoT(Internet of Things) 기기들에게 테스크 오프로딩을 가능하게 함으로써 IoT의 저지연/고성능 서비스를 위한 방안으로 연구되고 있다. 하지만 fog computing 아키텍처에서는 고정된 IoT 기기 뿐만 아니라 이동하는 IoT 기기도 서비스 대상 단말로 고려되어야 하기 때문에 이러한 기기의 이동성을 고려한 오프로딩 방안이 필요하다. 특히 저지연 응답 시간을 요구하는 IoT 서비스의 경우, 오프로딩 이후 단말이 이동했을 때 새로운 fog computing 노드와의 새로운 통신 연결 및 테스크 오프로딩 과정을 다시 수행해야 하기 때문에 지연 시간이 발생하여 사용자의 QoS(Quality of Service) 저하가 발생할 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 단말의 이동성을 고려하여 테스크 또는 테스크의 결과를 이동 후의 fog computing 노드로 미리 migration 시키고 데이터 전송을 위한 rule 또한 미리 배치시킴으로써 통신 지연 및 서비스 복구 지연 시간을 줄일 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

**주제어** : SDN, Fog Computing, QoS, 이동성, 핸드오버, 서비스 Migration, IoT

**Abstract** In this paper, we propose a SDN-based fog computing service mobility support scheme. Fog computing architecture has been attracted because it enables task offloading services to IoT(Internet of Things) devices which has limited computing and power resources. However, since static as well as mobile IoT devices are candidate service targets for the fog computing service, the efficient task offloading scheme considering the mobility should be required. Especially for the IoT services which need low-latency response, the new connection and task offloading delay with the new fog computing node after handover can occur QoS(Quality of Service) degradation. Therefore, this paper proposes an efficient service mobility support scheme which considers both task migration and flow rule pre-installations. Task migration allows for the service connectivity when the fog computing node needs to be changed. In addition, the flow rule pre-installations into the forwarding nodes along the path after handover enables to reduce the connection delay and service interruption time.

**Key Words** : SDN, Fog Computing, QoS, Mobility, Handover, Service Migration, IoT

이 성과는 2020년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2017R1C1B2011285).

\*교신저자 : 김태국(leader@tu.ac.kr)

접수일 2020년 8월 17일 수정일 2020년 9월 10일 심사완료일 2020년 9월 18일

## 1. 서론

4차 산업 혁명과 더불어 우리 사회는 IoT(Internet of Things) 서비스의 급격한 발전에 영향을 받고 있다. 5G 네트워크, 스마트 팩토리, 스마트 빌딩 등 IoT 서비스는 점차 그 영역을 확대해가고 있는 추세이다[1-3]. 이렇게 IoT 기반 서비스가 활성화되면서 방대한 양의 데이터 저장 및 처리가 요구되었는데 IoT 기기들은 컴퓨팅 및 배터리 자원의 제약이 있기 때문에 많은 양의 데이터에 대한 복잡한 연산이나 저장이 불가능하다. 이러한 제약을 해결하기 위해 IoT 기기가 접속 가능한 장비에서 IoT 서비스를 위한 복잡한 연산을 대신 처리해주는 fog computing이라는 개념이 등장하였고, 이를 통해 IoT 서비스의 저지연 및 고성능 지원이 가능해졌다[4].

Fog computing 서비스는 IoT 서비스가 기존의 정적인 IoT 기기 뿐만 아니라 IoV(Internet of Vehicles), UAV(Unmanned aerial vehicle) 등 이동하는 기기로 서비스가 확대됨에 따라 이러한 기기의 이동성을 고려한 오프로딩 방안이 필요하게 되었다. 특히 저지연 응답 시간을 요구하는 IoT 서비스의 경우, 오프로딩 이후 단말이 이동했을 때 이동성 지원을 위한 핸드오버 지연 및 기존 fog computing 노드와의 비효율적인 경로 유지로 인해 사용자의 QoS(Quality of Service) 저하가 발생할 수 있다[5,6]. 만약 단말의 이동 후 새로운 최적의 fog computing 노드를 선택해서 다시 접속을 수행하는 경우를 고려한다면 연결을 맺는 시간과 테스트 오프로딩 과정으로 인한 지연 시간, 그리고 이미 이전 fog computing 노드에서 테스트를 수행 중임에도 불구하고 다시 테스트를 수행해야 하는 오버헤드도 발생할 수 있다.

전통적인 이동성 관련 연구들은 단말이 이동할 때 IP 세션의 연결성을 보장하면서 핸드오버 지연 시간을 줄이거나 버퍼링을 통해 패킷 손실률을 낮추거나 하는 등의 방법을 제시하였지만 서비스 대상이 서버이고, 동일한 서비스를 다른 위치의 서버에서 제공할 수 있다는 것은 고려하지 못하였다[7,8].

이러한 문제를 해결하기 위해 cloud network에서 사용자의 이동에 따라 gateway가 변경될 때, 동시에 서비스를 제공하는 data center도 최적의 data center로 변경하고자 하는 follow-me-cloud 개념연구가 진행되었다[9]. Follow-me-cloud에서는 단말의 이동으로 인해 GW(Gateway)가 변경될 때, 최적의 data center를 선택하고 해당 data center로 현재의 세션 상태 및 서비스 중인 데이터 정보를 전달함으로써 IP 세션을 유지하면서

서비스의 연속성을 제공하고자 하였다.

또한 해당 개념은 cloud 서비스를 보다 사용자 가깝게 제공하기 위한 fog/edge computing 관련 연구에도 적용되었다. Follow-me-fog 연구에서는 IoT 기기에서 신호 세기를 측정하다가 현재 서비스하고 있는 fog node의 신호 세기가 특정 레벨 이하가 되면 target fog node로 서비스를 pre-migration 시켜서 task migration 지연 시간을 최소화 시키고자 하였다[5,10].

이와 유사하게 CDN(Contents Delivery Network)에서 단말의 이동으로 인해 최적의 CDN edge 서버가 변경될 때, 기존 CDN edge 서버에서 해당 최적의 CDN edge 서버로 migration하는 연구들도 제안되었다[11,12].

특히 이렇게 서비스 레벨의 fog/edge/cloud computing 및 CDN 서비스 migration과 운영, 네트워크 경로 및 트래픽 관리를 종합적으로 고려하기 위한 연구들은 SDN(Software-defined networking) 기반의 중앙집중적인 트래픽 관리와 글로벌 네트워크 뷰, 그리고 네트워크 및 서비스 상태 관리의 장점을 활용하여 제안하는 migration 방법을 제공하고자 한다[10,12].

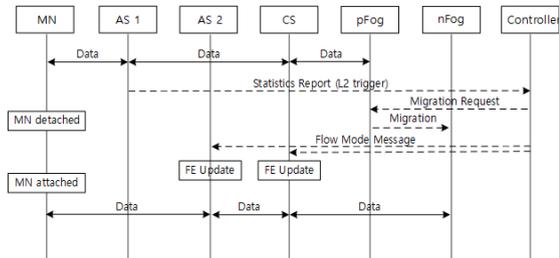
하지만 기존 연구들은 서비스 migration 타이밍과 지연 시간을 줄이는 방법, 최적의 migration 서버 선택 등 서비스 migration에 대해 집중하였고 네트워크 입장에서 발생할 수 있는 연결 지연에 대한 고려는 하지 못하였다. 특히 SDN에서는 단말 및 서비스 서버의 변경으로 인해 데이터 경로가 변경된 경우, 경로 상 전송 장비의 플로우 테이블에 없는 데이터가 입력되면 해당 데이터는 일반적으로 SDN 컨트롤러로 전송이 되어 컨트롤러가 전체적인 네트워크 뷰를 고려하여 플로우 규칙을 전송 장비에 저장한다[13]. 이렇게 테이블에 없는 데이터 입력으로 인해 전송 장비로부터 컨트롤러로 전달되는 메시지를 packet-in 메시지로 정의되어 있다[13]. SDN 관련 연구들에서는 해당 packet-in 메시지 처리로 인해 컨트롤러의 부하가 크게 증가할 수 있으며, 이에 따라 packet-in 메시지 처리에 대한 응답 메시지만 packet-out 메시지의 지연이 발생할 수 있어서 전송 장비 입장에서 입력되는 데이터를 빠르게 처리하기 힘든 문제가 발생할 수 있다[14,15]. 해당 지연 시간을 줄이기 위해 플로우 규칙을 미리 할당하기 위한 연구들이 제안되었지만 주로 액세스 네트워크만 고려되었고 특히 fog computing 아키텍처에 대한 고려는 함께 연구되지 못하였다[15,16].

그러므로 본 연구에서는 SDN 기반의 fog computing 네트워크에서 단말의 이동 시에 서비스 지연 시간을 줄

이기 위한 target fog computing 노드로의 서비스 migration 및 네트워크 연결 지연 시간을 줄이기 위한 선점적인 플로우 규칙 할당을 결합한 이동성 제공 방안을 제안하고자 한다.

## 2. 제안하는 이동성 제공 방법

본 연구에서 제안하는 방법은 네트워크 관점에서 fog computing node의 변경으로 인한 네트워크 연결 지연 시간을 줄이는 것에 초점을 맞추고자 한다. 제안하는 방법의 절차는 [Fig. 1]과 같다. 단말(MN)은 이동 전 pFog(previous fog computing node)에 task 오프로딩을 통해 서비스를 제공받고 있고 해당 경로는 AS1 (Access Switch 1)과 CS (Core Switch)로 구성되어 있다. SDN 컨셉 기반으로 AS1, AS2, CS 등 모든 전송장비들은 SDN 컨트롤러에 의해 제어되고 있고, flow 통계 정보 및 이벤트 발생 정보는 컨트롤러에게 전송하고 있다. 또한 pFog와 nFog(new fog computing node) 등 fog computing 노드들에 대한 자원 관리 및 상태 검사도 SDN 컨트롤러가 수행하고 있다고 가정하였다. 이러한 상황에서 MN의 이동성으로 인해 AS1으로부터 AS2로 핸드오버를 시도하는데, 제안하는 방법은 AS1의 통계적 정보 보고로 인해 L2(Layer 2) 핸드오버 타이밍을 SDN 컨트롤러가 알 수 있다고 가정한다[3].



[Fig. 1] Overall procedure

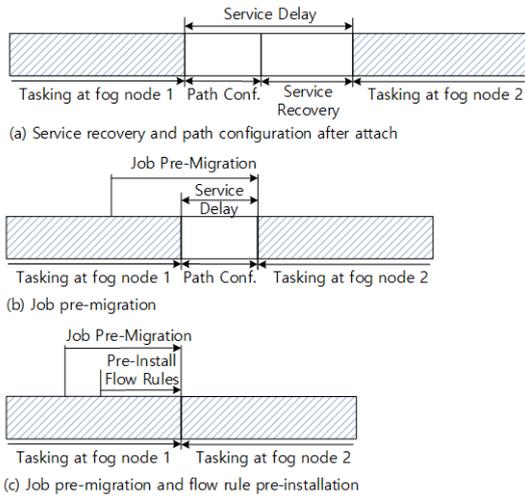
L2 핸드오버 타이밍을 기반으로 컨트롤러는 단말이 이후 접속할 AS2와 nFog, 그리고 두 노드 사이의 최적의 경로를 결정해야 한다. 단말의 이동 후의 위치를 결정하는 것은 하나의 큰 연구 주제로 다양한 연구가 진행되고 있다. 예를 들어 이동할 AS2를 단순히 AS1의 이웃한 노드들로 결정할 수도 있고[3], Markov predictor[15], 확률 또는 특정 알고리즘[18] 기반의 이동 패턴 분석 방법을 통해 결정할 수도 있다. 반면 현재 이동통신망과 같

이 현재 서빙 셀 및 이웃한 셀들의 신호세기 리포트를 통해 정확히 결정할 수도 있다[8]. 이렇게 위치를 결정하는 연구는 하나의 큰 연구주제이기 때문에 본 연구에서는 MN의 이동 후 위치는 결정될 수 있다고 가정하고 진행하고자 한다.

위에서 언급한 바와 같이 MN의 이동 후 위치가 결정이 되면 해당 위치를 기반으로 현재 서비스 중인 pFog의 task를 migration 시킬 nFog를 결정해야 한다. 이는 현재 fog computing 노드들에 대한 자원 활용 및 부하, 그리고 이동 후 MN과의 최적 경로 등을 고려하여 결정할 수 있다[17]. 이 때, 수행중인 task 자체를 migration 시킬 수도 있고, task를 마무리한 다음 결과물을 migration 시킬 수도 있는데, 본 논문에서는 follow-me-fog 컨셉에 따라 후자의 방법을 따르는 것을 가정한다[5]. 컨트롤러는 nFog를 결정한 다음 pFog에게 migration을 요청하고 그때부터 pFog에서 nFog로의 task migration이 진행된다. 이 때, nFog로 이동 시 IP 주소 영역이 변경된다면 현재 진행 중인 세션이 중단되기 때문에 단말과 pFog 사이에서 진행되던 세션도 migration이 필요하다[4].

다음으로 nFog 및 AS2가 결정되었기 때문에 두 노드 사이의 최적의 경로를 선택한다. 이 또한 경로 최적화 연구 관련하여 다양한 연구가 진행되었는데[19] 본 연구에서는 플로우 규칙의 선점 효과에 대해 집중하기 위해 최적의 경로가 AS2와 CS, 그리고 nFog로 구성되어 있다고 가정하였다. 최적의 경로가 결정되면 컨트롤러는 MN과 nFog 사이의 데이터 전송이 바로 수행될 수 있도록 해당 경로에 플로우 규칙을 미리 저장한다. 이에 따라 MN이 AS2에 접속 시에 packet-in / packet-out 메시지에 소요되는 시간 지연 없이 바로 데이터를 전송할 수 있게 된다. 참고로 MN이 AS2 접속 시에 해당 네트워크에서 제공하는 이동성 프로토콜에 따라 추가적인 메시지가 요구될 수는 있다. 예를 들어 PMIP(Proxy Mobile IP)네트워크의 경우 route solicitation/advertisement 메시지가 추가적으로 발생할 수 있다[3].

[Fig. 2]에서는 제안하는 방법을 통해 얻을 수 있는 기대 효과를 보여준다. 먼저 기존의 방법은 [Fig. 2(a)]에서 볼 수 있듯이 단말의 이동 후 서비스 복구 시간과 경로 설정시간으로 인해 서비스 지연이 발생한다. 서비스 복구 시간을 줄이기 위해 제안된 follow-me-fog 개념에서는 [Fig. 2(b)]와 같이 job의 pre-migration을 통해 서비스 지연시간을 줄일 수 있었다[5]. 하지만 해당 연구에서는 nFog를 예측하였음에도 불구하고 경로에 대한 플로우 규칙 설정이 되어 있지 않아서 packet-in / packet-out의

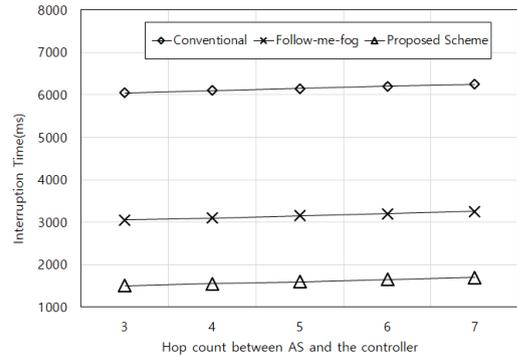


[Fig. 2] Service delay of (a) conventional, (b) follow-me-fog, and (c) proposed scheme.

시간 지연이 발생하게 된다. 해당 시간 지연은 특히 컨트롤러의 부하가 클수록, 컨트롤러와의 경로의 특성에 따라 커질 수 있다는 문제가 있다. 그리고 제안하는 방법은 경로의 재설정 이후 플로우 규칙들도 컨트롤러에 의해 선점적으로 경로 상 장비들에 저장되기 때문에 [Fig. 2(c)]와 같이 서비스 지연이 발생하지 않는다. (위에서 언급했듯이 이동성 프로토콜에 따라 추가적인 시그널링을 위한 지연은 발생할 수 있다.) 즉 단말의 이동 후 AS2에 접속하자마자 단말과 nFog 사이의 모든 전송 장비에 플로우 규칙이 저장되어 있기 때문에 packet-in / packet-out에 소요되는 지연 없이 데이터 전송이 가능해진다.

### 3. 성능 분석

제안된 방법의 효과를 입증하기 위하여 다음의 가정들을 기반으로 성능 분석을 수행하였다. 주어진 네트워크는 PMIP 기반의 이동성 프로토콜을 사용하고 있고, 단말의 이동에 따라 route solicitation/advertisement (RS/RA) 메시지가 발생하는 것을 가정하였다[3]. 또한 rule placement의 효과에 집중하기 위하여 task up/download 및 migration에 소요되는 지연 시간은 task의 사이즈 및 fog node 간 통신이 보장된다는 가정으로 정적인 값을 이용하였다[5]. 그리고 서비스 중단 시간 계산에서 컨트롤러는 단말의 요청을 바로 처리할 수 있을 만큼 여유가 있다는 것을 가정하였다. RS, RA, L2 report, flow-mod는 각각 52 bytes, 92 bytes, 52 bytes, 172 bytes이며



[Fig. 3] Service interruption time according to the hop count between AS and the controller.

link layer 핸드오버에 소요되는 시간은 500 ms으로 가정하였고, 무선 및 유선 대역폭은 각각 10 Mbps와 100 Mbps로 가정하였다. [Fig. 3]은 단말이 이동한 뒤에 접속할 AS와 컨트롤러 사이의 홉 수에 따른 서비스 중단 시간을 나타낸다. Conventional 방법의 경우 이동 후 task 재시작 및 컨트롤러와의 경로 설정 시간이 필요하기 때문에 가장 긴 중단 시간이 발생하고, follow-me-fog의 경우 pre-migration을 통해 중단 시간을 감소시킬 수 있지만 pre-migration 이후에 경로 설정을 위한 지연이 추가적으로 발생하게 된다. 제안하는 방법은 pre-migration과 동시에 컨트롤러의 제어 하에 선점적으로 nFog와 단말간의 경로를 설정하기 때문에 제일 짧은 중단 시간이 소요된다. 또한 단말의 이동 후에 컨트롤러에 부하가 집중되어 있으면 경로설정 요청에 대한 처리 지연이 증가하기 때문에 conventional 및 follow-me-fog 방법은 서비스 중단 시간이 더 길어질 수 있지만 제안된 방법은 선점적인 경로 설정으로 인해 이와 무관하게 동일한 지연 시간을 제공할 수 있다.

### 4. 결론 및 향후 연구 방안

본 논문은 컴퓨팅 및 배터리 자원의 제약이 존재하는 IoT 기기들에게 테스트 오프로딩을 가능하게 함으로써 저지연/고성능 IoT 서비스를 위한 fog 컴퓨팅 환경에서 사용자의 이동성을 지원하는 방안을 연구하였다. 기존 fog 컴퓨팅 환경에서의 이동성 지원 방안은 task의 pre-migration 방법만을 고려하였고 이동 후 발생하게 되는 경로 설정을 위한 시간 지연을 고려하지 못하였다. 그러므로 본 연구에서는 단말의 이동 후 새로운 fog 컴

퓨팅 노드와의 서비스 pre-migration 및 선점적인 경로 설정 및 플로우 규칙 저장 방법을 이용하여 서비스 지연을 최소화 시키고자 하였다. 제안하는 방법은 저지연 특성을 요구하는 IoT 서비스의 요구사항을 만족시킬 수 있을 것으로 기대된다. 향후에는 두 가지 방향으로 본 연구를 확장시키고자 한다. 먼저 제안하는 방법의 모델링을 통해 실환경 시나리오를 고려한 시뮬레이션 연구를 진행하여 성능을 입증할 예정이고, 두 번째로 선점적인 플로우 규칙 저장의 단점인 메모리 할당 문제를 해결하고자 전송 장비들의 메모리 제약을 기반으로 최적화된 경로설정 방법을 연구하고자 한다.

## ACKNOWLEDGMENTS

이 성과는 2020년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2017R1C1B2011285).

## REFERENCES

- [1] D.W.Lee, K.Cho and S.H.Lee, "Analysis on Smart Factory in IoT Environment," *Journal of The Korea Internet of Things Society*, Vol.5, No.2, pp.1-5, 2019.
- [2] K.B.Jang, "A Study on IoT Platform for Private Electrical Facilities Management," *Journal of The Korea Internet of Things Society*, Vol.5, No.2, pp.103-110, 2019.
- [3] Y.W.Kyung and T.K.Kim, "Flow Handover Management Scheme based on QoS in SDN Considering IoT," *Journal of The Korea Internet of Things Society*, Vol.6, No.2, pp.45-50, 2020.
- [4] P.Mach and Z.Becvar, "Mobile Edge Computing: A Survey on Architecture and Computation Offloading," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol.19, No.3, pp.1628-1656, 2017.
- [5] W.Bao, D.Yuan, Z.Yang, S.Wang, W.Li, B.B.Zhou and A.Y.Zomaya, "Follow Me Fog: Toward Seamless Handover Timing Schemes in a Fog Computing Environment," *IEEE Communications Magazine*, Vol.55, No.11, pp.72-78, 2017.
- [6] Y.Ma, W.Liang, J.Li, X.Jia and S.Guo, "Mobility-Aware and Delay-Sensitive Service Provisioning in Mobile Edge-Cloud Networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Early Access, 2020.
- [7] Y.Kyung and T.Kim, "QoS-Aware Flexible Handover Management in Software-Defined Mobile Networks," *MDPI Applied Sciences*, Vol.10, No.12, 2020.
- [8] 3GPP TS 36.300 v.15.8.0 Release 13, LTE.; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description; Stage 2. Available online: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/136300\\_136399/136300/15.08.00\\_60/ts\\_136300v150800p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136300_136399/136300/15.08.00_60/ts_136300v150800p.pdf)
- [9] T.Taleb and A.Ksentini, "Follow Me Cloud: Interworking Federated Clouds and Distributed Mobile Networks," *IEEE Network*, Vol.27, No.5, pp.12-19, 2013.
- [10] Y.Bi, G.Han, C.Lin, Q.Deng, L.Guo and F.Li, "Mobility Support for Fog Computing: An SDN Approach," *IEEE Communications Magazine*, Vol.56, No.5, pp.53-59, 2018.
- [11] M.Liebsch and F.Z.Yousaf, "Runtime Relocation of CDN Serving Points-Enabler for Low Costs Mobile Content Delivery," in *Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, 2013.
- [12] M.Wichtlhuber, R.Reinecke and D.Hausheer, "An SDN-Based CDN/ISP Collaboration Architecture for Managing High-Volume Flows," *IEEE Transactions on Network and Service Management*, Vol.12, No.1, pp.48-60, 2015.
- [13] OpenFlow switch specification 1.5.1, [Online]. Available: <https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/onf-specifications/openflow/openflow-switch-v1.5.1.pdf>, 2015.
- [14] Y.W.Kyung and J.W.Park, "Prioritized Admission Control with Load Distribution over Multiple Controllers for Scalable SDN-based Mobile Networks," *Springer Wireless Networks*, Vol.25, pp.2963-2975, 2019.
- [15] S.Bera, S.Misra and M.S.Obaidat, "Mobi-Flow: Mobility-Aware Adaptation Flow-Rule Placement in Software-Defined Access Network," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol.18, No.8, pp.1831-1842, 2019.
- [16] S.H.Rastegar, A.Abbasfar and V.S-Mansouri, "On Fair Rule Caching in Software Defined Radio Access Networks," *IEEE Wireless Communications Letters*, Vol.7, No.3, 2018.
- [17] Q.Fan and N.Ansari, "Towards Workload Balancing in Fog Computing Empowered IoT," *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*, Vol.7, No.1, 2020.
- [18] H.Li, P.Li and S.Guo, "MoRule: Optimized Rule Placement for Mobile Users in SDN-enabled Access Networks," in *Proc. IEEE Globecom*, 2014.
- [19] F.Y.Okay and S.Ozdemir, "Routing in Fog-Enabled IoT Platforms: A Survey and an SDN-based Solution," *IEEE Internet of Things Journal*, Vol.5, No.6, 2018.

경 연 웅(Yeun-Woong Kyung) [종신회원]



- 2011년 2월 : 고려대학교 전기전자전파공학부(공학사)
- 2016년 8월 : 고려대학교 전기전자전파공학부(공학박사)
- 2016년 9월 ~ 2020년 3월 : 삼성전자 무선사업부 책임연구원

• 2020년 3월 ~ 현재 : 한신대학교 컴퓨터공학부 조교수

〈관심분야〉

사물인터넷(IoT), SDN, 5G/6G, 이동성, 모바일 서비스

김 태 국(Tae-Kook Kim) [종신회원]



- 2004년 8월 : 고려대학교 전기전자전파공학부(공학사)
- 2006년 8월 : 고려대학교 메카트로닉스학과(공학석사)
- 2014년 8월 : 고려대학교 모바일솔루션학과(공학박사)

• 2016년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 정보통신소프트웨어공학과 조교수

〈관심분야〉

사물인터넷(IoT), 재난안전통신망, 콘텐츠 전송 네트워크