

느슨한 연결의 LTE/WiFi 망에서 SDN 단말 기반 통합 구조

박준혁*, 윤원용**

SDN Device-Centered Integration Architecture for Loosely-Coupled LTE/WiFi Networks

Junhyuk Park*, Wonyong Yoon**

이 논문은 동아대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음.

요 약

본 논문은 공통의 게이트웨이 라우터 없이 느슨하게 연결된 서로 다른 네트워크들을 적은 비용으로 통합할 수 있고 끊김 없는 핸드오버를 제공하도록 SDN(Software-Defined Networking)에 기반한 이기종 네트워크 구조를 제안한다. 기존의 네트워크 구조에서 이동성이 있는 사용자로 인해 발생하는 느린 핸드오버로 인해 많은 품질 저하가 발생한다. 기존의 구조의 유연하지 못한 구조로 인해 네트워크에서 다른 네트워크로 데이터를 전송하기 위해서는 별도의 게이트웨이 라우터가 필요하고 이 때문에 비용의 증가와 네트워크를 변경하는 핸드오버를 하는 동안 많은 시간이 요구된다. 본 논문에서 제안하는 느슨한 LTE(Long-Term Evolution)/WiFi SDN 기반 구조는 이러한 문제점 해결이 가능하다. 시뮬레이션 결과는 매우 적은 지연을 통해 핸드오버가 가능함을 검증한다.

Abstract

This paper proposes a heterogeneous network infrastructure based on Software-defined networking (SDN) which provides seamless handover between two networks without common gateway routers, in order to consolidate loosely-connected networks at low cost. In traditional network architectures, slow handover caused by mobile users incurs a lot of quality degradation. During data transmission from one network to another, network is changed that involves a separate gateway router which takes a lot of time, due to the inflexibility in the architecture. This paper addresses these issues through SDN based loosely-coupled Long-term Evolution (LTE)/WiFi infrastructure. The simulation results validate the proposed architecture and indicate very low delay during handover.

Keywords

Software-defined networking, loosely-coupled, LTE, WiFi, handover.

* 동아대학교 전자공학과
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3096-6220>
** 동아대학교 전자공학과 교수(교신저자)
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9979-4255>

• Received: May 10, 2019, Revised: Jun. 20, 2019, Accepted: Jun. 23, 2019
• Corresponding Author: Wonyong Yoon
Dept. of Electronics Engineering, Dong-A University, Korea,
Tel.: +82-51-200-7716, Email: wyyoon@dau.ac.kr

1. 서 론

현재 차세대 무선 네트워크 구조는 점점 급진적으로 증가하는 데이터를 매우 짧은 시간동안 효율적으로 제공하는 것이 가장 중요한 요점으로 대두된다. 데이터 증가의 주된 요인으로는 여러 기술의 발전 특히 IOT로 인해 많은 소형 단말들이 생기고 데이터의 종류 또한 영상데이터 등의 큰 용량을 가지고 있기 때문이다[1]. 이런 상황에서 단말들은 하나의 무선 네트워크로는 리소스를 효율적으로 처리하는 것이 힘들기 때문에 multi-RATs(radio access technologies)을 기반으로 서비스를 제공한다. 이런 이중 네트워크(HetNet, Heterogeneous Networks)간의 연동은 서로 다른 인증구조와 보안을 필요로 하기 때문에 쉽지 않다. 그렇기 때문에 기존의 네트워크에서는 별도의 게이트웨이를 사용하여 서로 다른 네트워크간의 연결을 돕게 된다.

3GPP(3rd Generation Partnership Project)[2]에서 제공하는 방식[3]을 살펴보면 단말의 신호의 강도가 어느 일정 수준으로 떨어지게 될 경우에만 주변의

신호강도에 따라 핸드오버 결정을 하는 알고리즘만을 제공하고 그림 1(a)와 같이 LTE 단말이 WiFi에 접속 하더라도 별도의 ePDG(Evolved PDN Gateway), TWAG(Trusted WLAN Access Gateway)와 같은 별도의 게이트웨이와 보안과 인증이 필요하다.

이런 게이트웨이들은 단말의 위치정보를 관리하며 3GPP 라디오 망과 non-3GPP간의 핸드오버를 제공하는 역할을 수행하게 된다. 하지만 이런 구조는 게이트웨이로의 백홀 링크와 기지국간의 프로트홀 링크 설치비용이 필요로 하기 때문에 사업자가 쉽게 필드에 적용하기가 어렵다.

물론 요즘에는 LWA (LTE-WiFi Link Aggregation)나 LAA(Licensed Assisted Access)를 통해 새로운 규격을 제시하고 있지만 이 역시 두개 간의 채널 점유에 대한 문제나 비용 증가에 대한 이슈는 피할 수 없다. 그렇기 때문에 예전과 같은 구조로는 이러한 방대한 양의 단말들을 효율적으로 관리하는 것이 불가능에 가깝다. 이를 위해 많은 연구가 이루어지고 있고 그중 SDN을 이용하는 방식이 가장 많이 소개되고 있다[4][5].

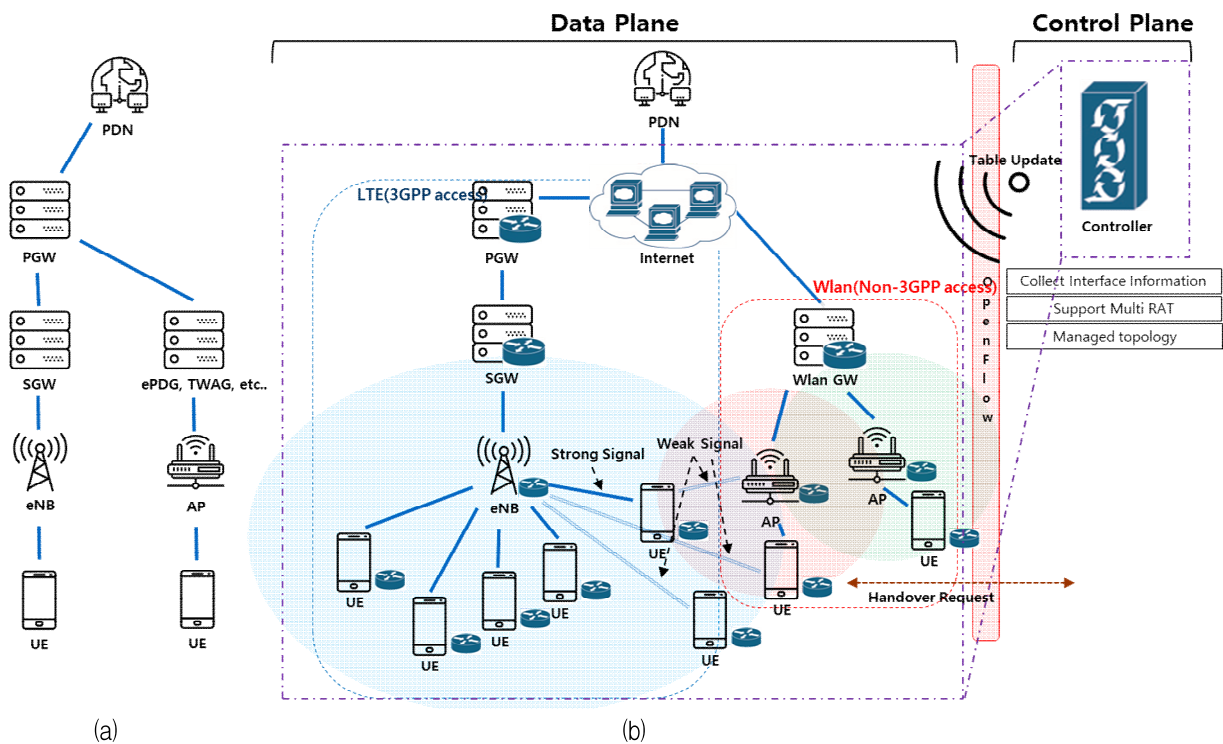


그림 1. LTE/WiFi 인터워킹 구조 (a) 기존 3GPP 구조 (b) 제안하는 SDN기반 구조
 Fig. 1. LTE/WiFi interworking architecture (a) Traditional 3GPP architecture, (b) Proposed SDN based architecture

SDN기술은 네트워크를 소프트웨어를 통해 정의 가능한 기술적 개념을 나타낸다. 이 기술은 글로벌 네트워크 토폴로지를 가지며 네트워크를 제어평면과 데이터평면으로 분리하고, 제어평면을 중앙집중식으로 관리 가능하다. 네트워크에서 발생하는 데이터는 OpenFlow 프로토콜 [6]을 통해 스위치가 컨트롤러에게 처리방식을 제공받아서 원하는 곳으로 제공한다. 이러한 방식은 서비스 제공자가 원하는 방식으로 구조를 수정 또는 배포가 가능하기 때문에 네트워크 구조를 좀 더 효과적으로 다룰 수 있다. 이런 기능을 활용하기 위한 논문으로는 SoftRAN [7]에서 나뉜 컨트롤 모듈들을 효율성 개선을 목적으로 소프트웨어 기반의 중앙화된 제어평면을 제안하였고, OpenRAN[8]은 이종 네트워크 간에 수평적인 제어 프레임워크를 제공함으로써 컨트롤러가 효율적인 관리가 가능하다는 것을 보였다.

이와 같은 SDN의 특성을 통해 본 논문은 그림 1(b)와 같은 느슨한 구조를 가진 SDN기반 LTE/WiFi 연동 구조를 제안한다. 이미 다른 논문에서 SDN을 통해 네트워크 구조를 향상시키려는 연구가 많이 선보이고 있다. 하지만 [9]는 특별한 control path가 요구되며, [10]은 구조상 Home Agent가 요구되며 자세한 동작 방식을 서술하지 못하고 있다. 그리고 끊임 없는 핸드오버에 대해 설명이 부족하거나 높은 딜레이가 요구되며 IP 주소 연속성에 대한 내용이 없다. 하지만 본 논문에서 제안하는 구조는 프로그램이 가능한 스위치를 중앙 집중식으로 제어 가능한 SDN 컨트롤러를 통해 매우 짧은 핸드오버 지연을 가진다. 또한 별도의 게이트웨이가 필요로 하지 않기 때문에 비용이 낮아지고 서로 다른 인증구조를 가진 네트워크로 핸드오버를 하더라도 큰 어려움이 없기 때문에 구조의 확장이 매우 쉽다.

다음 절에서는 본 논문에서 제안하는 구조에 자세한 설명을 하고 다음으로는 본 논문에서 제안하는 구조를 실제 SDN 컨트롤러 소프트웨어와 ns-3(Network simulator)[11] 시뮬레이션을 사용해서 LTE와 WiFi 간의 핸드오버에 대한 결과에 대해 설명한다. 마지막으로 앞으로 하려고 하는 연구에 대해 설명하고 결론으로 마무리한다.

II. 느슨한 연결의 LTE/WiFi 망의 SDN 기반 통합 구조

느슨한 연결 구조는 특정 게이트웨이를 통하지 않고 이종 네트워크끼리 연결할 수 있는 구조이다. 이 구조를 통해 우리가 얻고자 하는 핵심은 2가지이다. 첫 번째는 특정 게이트웨이가 없기 때문에 네트워크의 확장성이 증가하고 이는 네트워크 자체의 유연성을 높여준다. 두 번째는 지연 없는 핸드오버가 가능하다. 이를 통해 단말은 특정 상황에서 원하는 네트워크를 사용하여 체감품질을 개선할 수 있다.

2.1 네트워크 구조

기존의 네트워크 구조에서 서로 다른 네트워크끼리 연동을 하려면 별도의 게이트웨이가 필요로 하거나 다른 구조로 변경이 되어야한다. 본 논문에서 제안하는 구조는 그림 1(b)에서 볼 수 있듯이 별도의 게이트웨이가 필요로 하지 않는다. 기본적으로 모든 네트워크에는 구성요소인 Packet Data Network Gateway (PGW), Serving Gateway (SGW), Evolved NodeB (eNB), WLAN Gateway (WLAN GW), Wireless Access Point (AP) 그리고 단말에 SDN 스위치가 설치되어 있다. 이 스위치를 통해 SDN 컨트롤러가 각각의 네트워크를 통제 가능하고 각각의 네트워크 정보를 Openflow 프로토콜을 통해 전송 받게 된다. 이때 SDN 컨트롤러가 받는 정보는 예를 들어 신호강도, 단말의 상태, IP 주소 등이 있다. SDN 컨트롤러에 속해있는 네트워크의 정보를 이미 알기 때문에 인터넷망을 통해 느슨하게 연결하는 구조로 연결 가능하다. 그리고 이런 정보를 통해 SDN 컨트롤러는 각각의 스위치에 Flow Table을 OpenFlow를 통해 전송해서 전체 네트워크 토폴로지를 관리하고 패킷의 흐름을 제어할 수 있다.

2.2 일반적인 핸드오버 절차

SDN기반 느슨한 LTE/WiFi 연결 구조에서 제안된 핸드오버에 대한 전략을 알려주기 위해 일반적인 LTE에서 WiFi로 핸드오버 하는 시스템 절차를

그림 2에 정리하였다. 본 논문에서 제안된 핸드오버 전략은 다음과 같이 설명할 수 있다.

이동성을 가진 단말이 WiFi 구역을 지나가게 되면 기본적으로 AP에 접속하게 된다. AP에 접속할 때 기존의 인증구조나 보안에 관련된 부분은 해당 네트워크의 방식을 따른다. 연결이 완료된 후 단말, AP, WLAN GW의 스위치는 컨트롤러와 TCP 연결을 하게 된다.

단말의 스위치는 eNB 스위치를 통해 SDN 컨트롤러에게 핸드오버 트리거 요청을 한다. 이때 스위치는 WiFi 주소에 대한 정보도 같이 전송하게 된다. SDN 컨트롤러는 지속적으로 제공 받은 네트워크 정보(신호 강도, 네트워크에 속한 단말의 개수, 링크 사용량 등)를 통해 단말이 네트워크를 변경하는 것에 대한 결정을 내려준다. 만약 핸드오버가 결정이 된다면 SDN 컨트롤러는 PGW 스위치에게 단말이 WiFi로 옮긴다는 것을 알리고 WiFi에 대한 주소도 역시 제공한다.

· 모든 준비가 완료된 PGW는 컨트롤러에게 그 사실을 알려주면 컨트롤러는 OpenFlow fm 메시지를

통해 단말, AP, WLAN GW와 PGW의 플로우 테이블 정보를 수정, 추가해준다. 이 플로우 테이블은 변경된 데이터 경로로써 LTE를 통해 전송되던 데이터를 PGW를 거쳐 다시 인터넷을 통해 WiFi 네트워크로 향하여 단말에 도착한다. 이 데이터는 SDN 컨트롤러가 제공한 WiFi 주소를 이용하여 인터넷을 거쳐 WiFi 네트워크로 향할 수 있다.

2.3 SDN 컨트롤러와 앵커노드를 이용한 IP 연속성

SDN 컨트롤러는 기본적으로 SDN 네트워크를 구성하는 핵심 기능으로 SDN 스위치들을 지나가는 데이터 플로우를 어떻게 처리할지 결정하는 중요한 역할을 수행한다. 그리고 본 논문의 구조에서 SDN 컨트롤러는 이중 네트워크의 핸드오버에서 중요한 IP 주소 연속성에 중요한 역할을 수행하게 된다.

단말이 핸드오버를 해서 망이 변경되더라도 단말측의 어플리케이션은 IP 주소 변화에 상관없이 연속적인 인터넷 사용이 가능해야 된다.

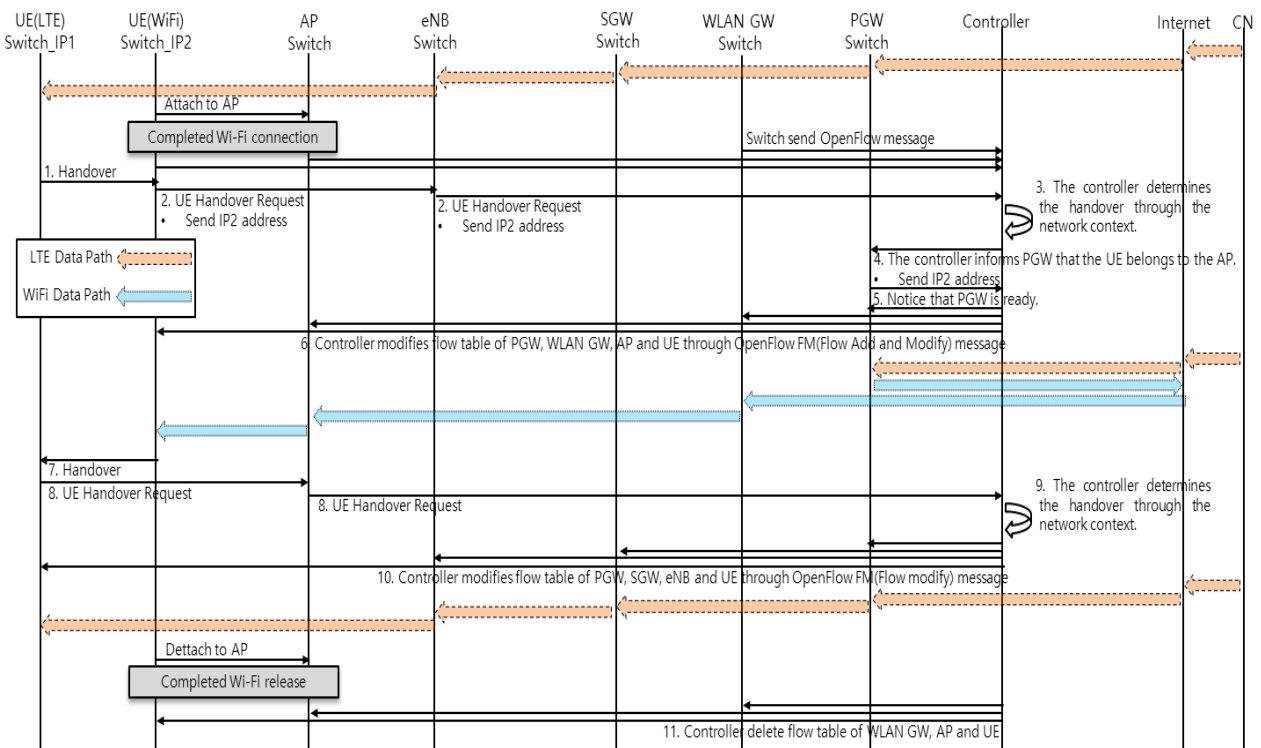


그림 2. LTE에서 WiFi로 핸드오버 하는 과정
Fig. 2. Process of handover from LTE to WiFi

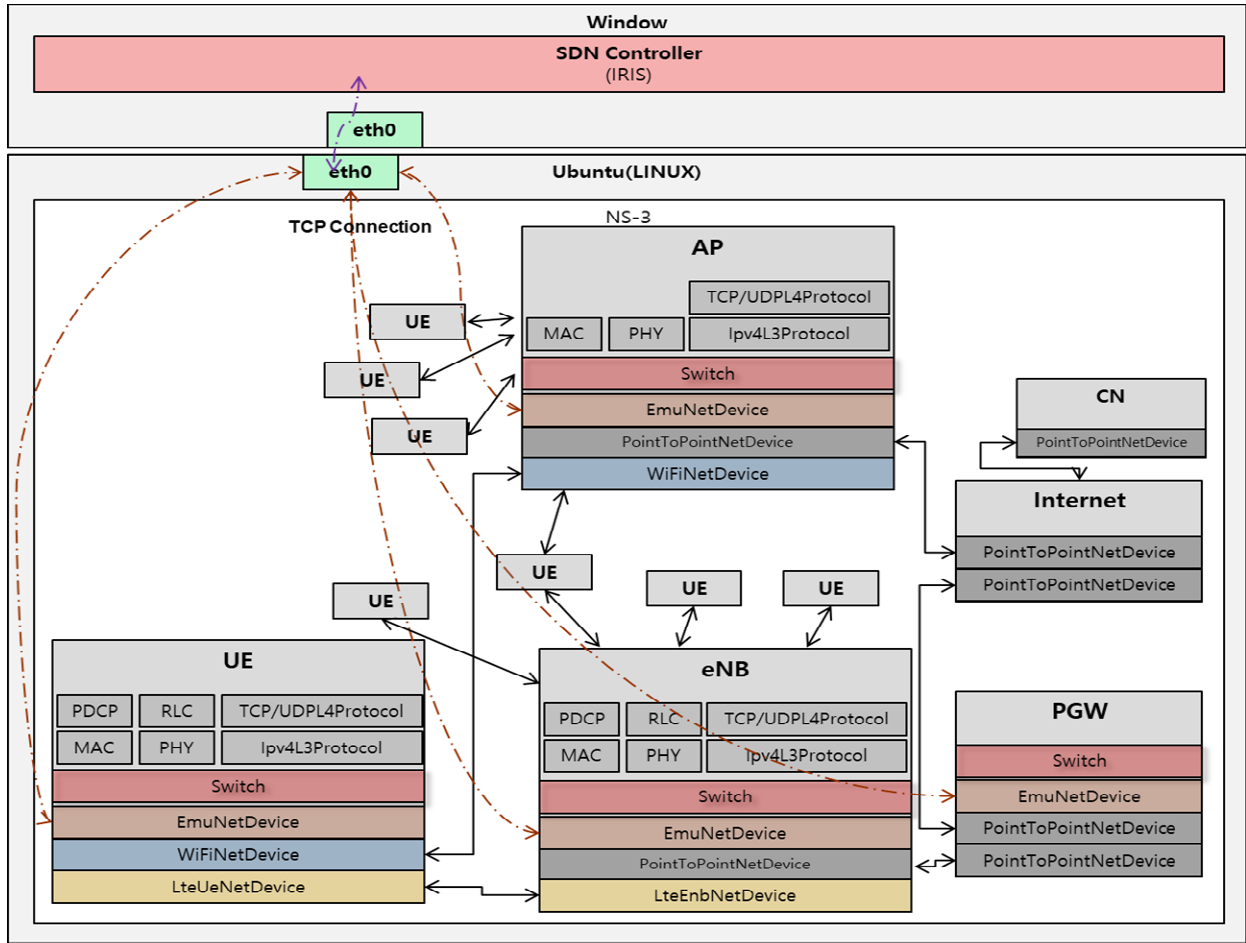


그림 3. 제안하는 구조의 시뮬레이션 구조
 Fig. 3. Simulation scheme of proposed architecture

본 논문에서는 이 문제를 각각의 네트워크에 앵커노드(예를 들어 PGW나 WLAN GW에 각각 지정해 준다.)를 만들어서 해결한다. 단말의 스위치는 컨트롤러에게 자신이 가지는 LTE_IP와 WiFi_IP를 보낸다. 이 IP 주소 정보를 이용하여 SDN 컨트롤러는 핸드 오버되는 패킷의 도착 주소를 변경한다. 예를 들면 데이터의 흐름은 LTE를 통해 단말로 갈 때 이 패킷들의 도착 주소는 LTE_IP가 된다. WiFi로 핸드오버가 이루어지더라도 데이터의 도착 주소가 LTE_IP이기 때문에 패킷은 다시 LTE망으로 돌아오게 된다. 이를 해결하기 위해 SDN 컨트롤러가 PGW에게 WiFi_IP를 알려주게 되고 PGW에서 WiFi로 데이터가 갈 때 PGW Switch가 도착 주소를 WiFi_IP로 변경해준다. 변경된 패킷은 인터넷망을 통해 WiFi 네트워크로 향하게 되고 단말의 WiFi 인터페이스를 통해 패킷이 들어오게 된다. 이 패킷은

단말 스위치에서 다시 LTE_IP의 도착 주소로 변경되어 어플리케이션은 네트워크 변경에 대해서는 신경 쓰지 않고 데이터를 계속 받게 된다.

III. 시뮬레이션 소프트웨어 제작

이 장에서는, 제안된 SDN 기반 구조에 대한 시뮬레이션을 수행하기 위한 시뮬레이션 환경에 대해 설명한다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 위해서 ns-3 툴을 사용하고 이는 우분투 버전 12.04 시스템 환경에서 수행하였다. 그리고 SDN 컨트롤러 IRIS는 윈도우 10 환경에서 수행되었다. ns-3에서 제공되는 OpenFlow v0.8.9는 현재 사용하고 있는 SDN 컨트롤러 IRIS의 OpenFlow v1.0.0과 상이하기 때문에 호환가능하게 수정하였다. 그리고 기존의 제공되는 LTE/WiFi에 대한 소스코드들과 OpenFlow 관련 소

스코드들을 수정하였다. 특히 OpenFlow Switch 상에 LLDP(Link Layer Discovery Protocol)를 제어하는 부분이 없고 각각의 디바이스 별로 특정 패킷에 대한 제어부분이 없기 때문에 그 부분에 대한 수정이 이루어 졌다. 그림 3과 같이 각각 UE, eNB, AP, PGW에는 OpenFlow Switch가 설치 되어있고 emu 디바이스를 통해 SDN 컨트롤러와 TCP 연결이 되어 있다.

IV. 성능 분석

그림 6, 7, 8 그리고 9는 본 논문에서 제안하는 구조를 통해 단말이 핸드오버 가능함을 보여주는 결과이다. 결과는 10ms 마다 처리량을 측정하여 나타냈고 컨트롤러는 LLDP 패킷을 통해 토폴로지 상의 모든 구조에 대한 정보를 알고 있다는 가정 하에 진행되었다.

그림 4를 보면 처음 LTE를 통해 TCP 패킷을 단말이 대략 2Mbps의 처리량을 가지고 있고 핸드오버 하기 전에 패킷 처리량이 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 이는 단말이 LTE 네트워크에서 점점 멀어지면서 신호 강도가 떨어졌기 때문이다. 그리고 핸드오버 시점인 22.5초에 WiFi를 통해 TCP 패킷이 단말로 들어온다. 하지만 이때 많은 딜레이와 WiFi로 들어오는 패킷의 처리량이 천천히 증가하는 증상이 발생한다.

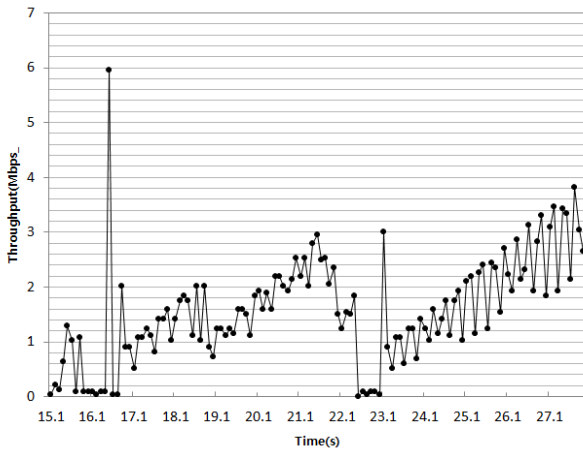


그림 4. LTE에서 WiFi로 TCP 핸드오버 결과
Fig. 4. Result of TCP handover from LTE to WiFi

그림 5는 LTE에서 WiFi로 핸드오버 할 때 Sequence Number를 나타낸 것으로 핸드오버 시점인 22.5초부터 Sequence Number가 널뛰기 하고 제대로 이어지지 않는 것이 확인 가능하다. 이는 ns-3 시뮬레이션 상의 문제로 TCP는 현재 변경되는 망을 모르기 때문에 낮은 속도의 LTE 네트워크의 Slow Start threshold(sssthreshold) 값을 계속 가지고 있기 때문에 WiFi 네트워크로 들어오는 패킷이 느리게 증가하는 증상을 보인다.

그림 6은 기존의 TCP 핸드오버와 수정된 TCP 핸드오버의 결과를 비교한 것이다.

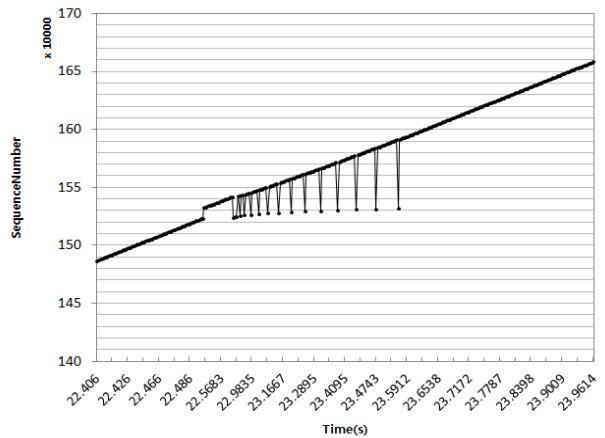


그림 5. LTE에서 WiFi로 TCP 핸드오버 Sequence Number 결과

Fig. 5. Result of TCP handover sequence number from LTE to WiFi

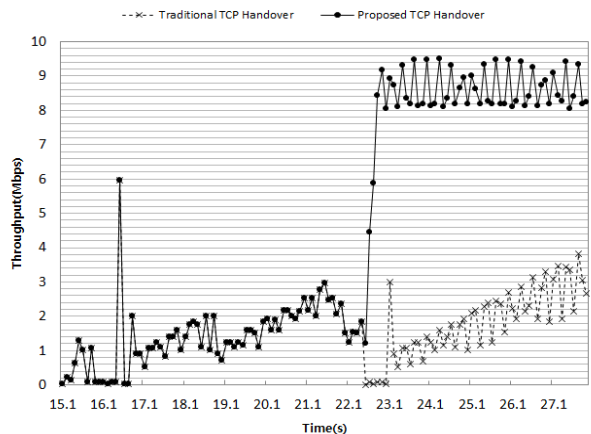


그림 6. LTE에서 WiFi로 기존 TCP 핸드오버와 수정된 핸드오버 비교

Fig. 6. Comparison of conventional TCP handover with revised handover from WiFi to LTE

ns-3상의 ssthreshold의 값을 네트워크가 변경되면 기존의 느린 네트워크가 가지고 있는 값이 아닌 빠른 네트워크가 가져야 되는 값으로 변경하여 값을 저장하는 기법을 통해 수정된 버전은 핸드오버 시점에서 SDN 컨트롤러가 이미 알고 있는 토폴로지 정보를 통해 빠르게 Flow Table을 스위치로 전송할 수 있다. 이를 통해 핸드오버 시 10ms이하의 딜레이를 가지며 네트워크를 변경할 수 있다.

그림 7은 TCP 패킷이 WiFi에서 LTE로 핸드오버 하는 결과이다. 역시 단말이 핸드오버 전에 점점 WiFi망에서 점점 멀어지면서 신호강도가 떨어지고 패킷 처리량이 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 그리고 핸드오버 시점인 22.5초에 핸드오버가 되며 이때는 앞선 그림 4와 같은 문제는 발생하지 않았다.

그림 5는 LTE에서 WiFi로 핸드오버 할 때 Sequence Number를 나타낸 것으로 핸드오버 시점인 22.5초부터 Sequence Number가 널뛰기 하고 제대로 이어지지 않는 것이 확인 가능하다. 이는 ns-3 시뮬레이션 상의 문제로 TCP는 현재 변경되는 망을 모르기 때문에 낮은 속도의 LTE 네트워크의 ssthreshold 값을 계속 가지고 있기 때문에 WiFi 네트워크로 들어오는 패킷이 느리게 증가하는 증상을 보인다. 그림 6은 기존의 TCP 핸드오버와 수정된 TCP 핸드오버의 결과를 비교한 것이다. ns-3상의 ssthreshold의 값을 네트워크가 변경되면 기존의 느린 네트워크가 가지고 있는 값이 아닌 빠른 네트워크가 가져야 되는 값으로 변경하여 값을 저장하는 기법을 통해 수정된 버전은 핸드오버 시점에서 SDN 컨트롤러가 이미 알고 있는 토폴로지 정보를 통해 빠르게 Flow Table을 스위치로 전송할 수 있다. 이를 통해 핸드오버 시 10ms이하의 딜레이를 가지며 네트워크를 변경할 수 있다.

그림 7은 TCP 패킷이 WiFi에서 LTE로 핸드오버 하는 결과이다. 역시 단말이 핸드오버 전에 점점 WiFi망에서 점점 멀어지면서 신호강도가 떨어지고 패킷 처리량이 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 그리고 핸드오버 시점인 22.5초에 핸드오버가 되며 이때는 앞선 그림 4와 같은 문제는 발생하지 않았다.

그림 8과 9는 그림 4와 7과 반대로 UDP 패킷으로 핸드오버 하는 결과이다. 그림 8은 UDP 패킷이 LTE에서 WiFi로 핸드오버 하는 결과이고 핸드오버

시점인 22.5초에 WiFi 네트워크를 통해 패킷이 전송된다.

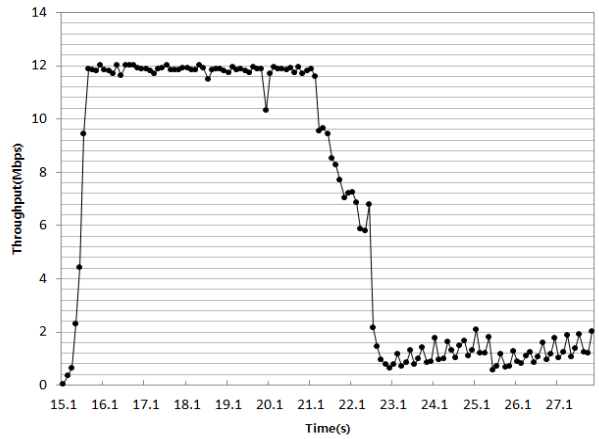


그림 7. WiFi에서 LTE로 TCP 핸드오버 결과
Fig. 7. Result of TCP handover from WiFi to LTE

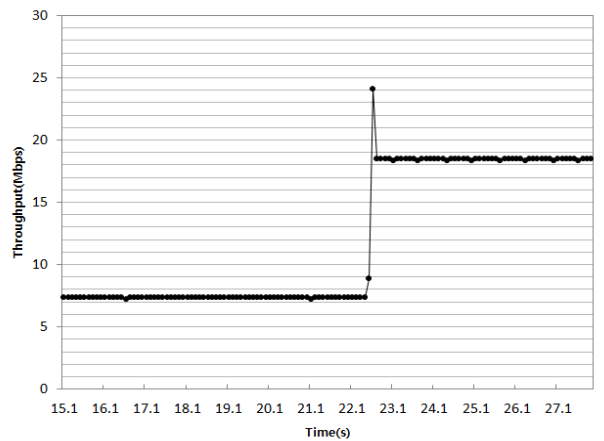


그림 8. LTE에서 WiFi로 UDP 핸드오버 결과
Fig. 8. Result of UDP handover from LTE to WiFi

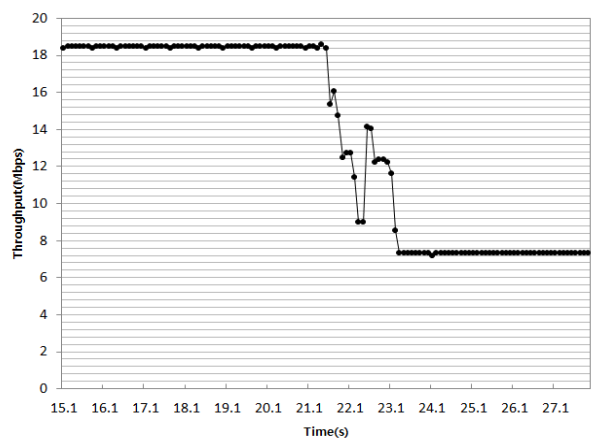


그림 9. WiFi에서 LTE로 UDP 핸드오버 결과
Fig. 9. Result of UDP handover from WiFi to LTE

표 1. 기존 연구 결과와 비교표

Table 1. Comparisons with existing research results

	Architecture	SDN switch function on mobile node	Mobility using dual IP
[9]	tightly-coupled	Supported (Also supported on correspondent Node)	Mobility is supported using single IP
[10]	tightly-coupled	Supported	Mobility is supported using single IP
[12]	tightly-coupled	Unsupported	Mobility is supported using single IP
This paper	loosely-coupled	Supported	Mobility is supported using dual IP

그림 9는 UDP 패킷이 WiFi에서 LTE로 핸드오버 하는 결과이고 핸드오버 시점인 22.5초에 WiFi 네트워크에서 LTE 네트워크로 망 변경이 이루어지지만 일정 시간동안 WiFi와 LTE 네트워크 모두를 통해 패킷이 들어오게 된다. 이는 본 논문에서 제안하는 구조에서 단말이 멀티 라디오를 지원하고 아직 WiFi 네트워크에 패킷이 전송이 완료되지 않은 UDP 패킷이 존재하기 때문이다. 남은 패킷이 다 전송되면 LTE 네트워크를 통해서만 패킷이 전송된다.

표 1은 기존 연구 결과와 비교한 결과표이다. 성능 비교는 정확히 같은 환경에서 진행되어야 하기 때문에 정량적인 비교는 하지 못하고 정성적인 비교를 수행하였다. 구조적으로 서로 다른 망이 느슨하게 연결되어 있는 구조에서 서로 다른 IP 주소를 사용하는 경우에도 본 논문은 IP 세션의 끊김 없는 이동성을 지원할 수 있다. 기존 연구는 모두 비용이 많이 드는 단단한 연결 (tightly-coupled) 구조를 전제로 하고 있어서 적용 대상이 되는 망이 고비용이고 각 망에 공통의 단일 IP 주소를 할당하는 개체가 있어야 이동성이 지원되므로 본 논문과는 적용 대상이 다르다고 할 수 있다.

V. 결 론

본 논문은 느슨한 연결 구조의 이기종 LTE/WiFi망의 연결을 SDN을 통해 제안하고 그 구조를 ns-3 시뮬레이션을 통해 실제 상용 SDN 컨트롤러인 IRIS 컨트롤러와 연동시켜 시뮬레이션 구조를 소프트웨어로 제작했습니다. 제안된 구조는 SDN 컨트롤러를 통해 TWAG와 ePDG를 사용하지 않고 LTE와 WiFi 인터워킹이 가능하고, 끊김 없는 핸드오버가 가능함을 보였다. 하지만 제안된 구조는 하나의 SDN 컨트롤러만을 통해서 모든 시그널 메시지를

다루는데 성능 제약이 있다.

향후 과제로는 본 논문에서 제안하는 구조를 실제 하드웨어로 구현 시 Switch로 인한 지연이 발생할 것으로 예상되므로 성능을 정확히 검증하기 위해서는 실제 하드웨어 제작 및 실험결과가 확인할 필요가 있다. 그리고 다중 SDN 컨트롤러에 의한 메시지 처리 부하 분산과 핸드오버 성능 향상에 관한 향후 연구가 필요할 것이다. 향후 5G 네트워크와 WiFi 네트워크 간의 SDN 기반 연동 기법에 대한 연구도 필요할 것이다.

References

- [1] Ericsson Mobility Report, November. 2018. <https://www.ericsson.com/assets/local/mobility-report/documents/2018/ericsson-mobility-report-november-2018.pdf>. [accessed: Jan. 18 2019]
- [2] The 3rd Generation Partnership Project (3GPP), <http://www.3gpp.org> [accessed: Jan. 18 2019]
- [3] 3GPP, Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Architecture enhancements for non-3GPP accesses, TS 23.402 ver 12.8.0, Apr. 2015.
- [4] H. Wu and K. Wolter, "Stochastic analysis of delayed mobile offloading in heterogeneous networks", IEEE Trans. Mobile Computing, Vol. 17, No. 2, pp. 461-474, Feb. 2018.
- [5] W. Cao, G. Feng, S. Qin, and M. Yan, "Cellular offloading in heterogeneous mobile networks with D2D communication assistance", IEEE Trans. Veh. Technol, Vol. 66, No. 5, pp. 4245-4255, May 2017.
- [6] ONF, OpenFlow Switch Specification Version 1.5.1,

ONF Standard TS-025, 2015.

- [7] A. Gudipati, D. Perry, L. E. Li, and S. Katti, "SoftRAN: Software Defined Radio Access Network", ACM HotSDN 2013, pp. 25-30, Aug. 2013.
- [8] M. Yang, Y. Li, D. Jin, L. Su, S. Ma, and L. Zeng, "OpenRAN: A Software-defined RAN Architecture Via Virtualization", ACM SIGCOMM 2013, pp. 549-550, Aug. 2013.
- [9] F. Meneses, D. Corujo, C. Guimaraes, and R. L. Aguiar, "Extending sdn to end nodes towards heterogeneous wireless mobility", Globecom Workshops (GC Wkshps), 2015 IEEE. IEEE, pp. 1-6, Dec. 2015.
- [10] K. Chen, R. Izzard, H. Hu, K. Wang, J. Martin, and J. Deng, "HetSDN: Exploiting SDN for intelligent network usage in heterogeneous wireless networks", IEEE/ACM 24th International Symposium on Quality of Service (IWQoS), pp. 1-6, Jun. 2016.
- [11] ns-3 Network Simulator, <http://www.nsnam.org>. [accessed: Jan. 20, 2019]
- [12] S. Chourasia and K. M. Sivalingam, "SDN based Evolved Packet Core architecture for efficient user mobility support," Proceedings of the 2015 1st IEEE Conference on Network Softwarization (NetSoft), London, pp. 1-5, Jun. 2015.

윤 원 용 (Wonyong Yoon)



1996년 2월 : 서울대학교
컴퓨터공학과(공학사)
1998년 2월 : 서울대학교
컴퓨터공학과(공학석사)
2002년 2월 : 한국정보통신
대학원(공학박사)
2011년 9월 ~ 현재 : 동아대학교

전자공학과 부교수

관심분야 : SDN, Wireless networking

저자소개

박 준 혁 (Junhyuk Park)



2013년 3월 ~ 현재 : 동아대학교
전자공학과(석박통합 수료)
관심분야 : SDN, Mobile networks