

LTE/SAE 네트워크에서 분산 이동성 관리 기법

김 용 환*, 한 연 희°, 김 민*, 박 용 석*, 문 상 준*, 이 진 호*, 최 대 규*

Distributed Mobility Management Scheme in LTE/SAE Networks

Yong-hwan Kim*, Youn-Hee Han°, Min Kim*, Seok Yong Park*, Sang Jun Moon*, Jin Ho Lee*,
Dae Kyu Choi*

요 약

최근 급격한 모바일 인터넷 트래픽의 증가로 인하여 3GPP LTE/SAE 네트워크에서 코어 네트워크내의 과도한 데이터 트래픽 수용문제와 시스템 확장성 문제가 중요 이슈로 부각되고 있다. 현재 P-GW (PDN Gateway)를 이동성 앵커(Mobility Anchors)로써 활용하고 있는 중앙 집중형(Centralized) 방식의 LTE/SAE 네트워크에서는 급격히 증가하고 있는 모바일 인터넷 트래픽 수요를 감당하기 어려울 것으로 전망된다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 분산 P-GW를 지원하는 새로운 LTE/SAE 네트워크 구조를 제안하고 이에 적합한 동적 분산 이동성 관리 방안을 제안한다. 이를 위하여, P-GW의 분산 배치뿐만 아니라 제어 평면을 담당하는 MME (Mobility Management Entity)들이 각 단말(User Equipment, UE)의 PDN 연결당 형성되는 위치 정보를 동적으로 분산 관리하고, 그러한 분산 MME 및 분산 P-GW에 의하여 PDN 연결의 핸드오버를 처리하는 프로시저를 제안한다. 또한, 제안하는 분산 방식의 LTE/SAE 네트워크 구조와 기존 중앙 집중형 방식의 LTE/SAE 네트워크 구조에 대하여 핸드오버 지연시간과 데이터 처리율 측면에서 성능을 비교 분석한다.

Key Words : 3GPP, LTE/SAE, P-GW, Distributed Mobility Management, Traffic Offload

ABSTRACT

Recently, due to a explosive growth in the mobile Internet traffic, the problem of excessive data traffic handling on core network and thus scalability problem have been magnified in 3GPP LTE/SAE networks. Current LTE/SAE network based on the central P-GW (PDN Gateway) used as mobility anchor cannot deal with such demand for exponentially increasing mobile Internet traffic. In this paper, we propose a new LTE/SAE network architecture supporting distributed P-GWs and corresponding distributed mobility management to solve these problems. For this, in addition to the deployment of such distributed P-GWs, we propose a dynamic and distributed mobility management by distributing MMEs (Mobility Management Entities) which dynamically manages the location information of a UE's PDN connection, and also propose a handover procedure of such PDN connections by using the proposed distributed P-GWs and MMEs. The performance of the proposed dynamic and distributed LTE/SAE network system is compared with the current LTE/SAE network system in terms of handover latency and network throughput.

* 본 논문은 삼성전자 DMC R&D 센터의 지원을 통해 이루어진 연구 개발입니다.

• First Author : 한국기술교육대학교 컴퓨터공학과/첨단기술연구소, cherish@koreatech.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : 한국기술교육대학교 컴퓨터공학과/첨단기술연구소, yhhan@koreatech.ac.kr, 중신회원

* 삼성전자 DMC R&D Center 차세대 통신연구팀, min804.kim@samsung.com, yongseok.park@samsung.com
moonst@samsung.com, skujinho.lee@samsung.com, daekyu.choi@samsung.com

논문번호 : KICS2013-07-286, 접수일자 : 2013년 7월 5일, 최종논문접수일자 : 2013년 10월 18일

I. 서 론

스마트 기기의 보급 및 급격한 확산과 멀티미디어 앱의 활성화로 인해 모바일 인터넷 트래픽의 수요는 해마다 기하급수적으로 증가하고 있으며 3GPP (3rd Generation Partnership Project) LTE/SAE (Long Term Evaluation/System Architecture Evolution) 네트워크에서 모바일 트래픽을 효율적으로 처리하기 위한 이동성 제어 기술에 대한 관심은 갈수록 증대되고 있다^{1,2)}. 이와 같은 과도한 모바일 트래픽 수용 문제를 효과적으로 처리하기 위하여 IETF에서는 “분산형 이동성 관리 (Distributed Mobility Management, DMM)”에 관한 국제 표준화^{10,12-14)}를 추진하고 있고, 3GPP에서는 Rel-9의 “Femtocell Offload”나 Rel-10의 “SIPTO (Selected IP Traffic Offload)” 기술⁷⁾ 등을 내세워 중앙의 P-GW (PDN Gateway)에 집중되는 트래픽을 접근 네트워크 (Access Network) 근처로 분산시키거나 부하감량(Offload)시킴으로써 LTE 코어 네트워크의 데이터 트래픽 수용력을 늘리고 데이터 처리 및 전송 비용을 줄이기 위한 노력을 기울이고 있다. 하지만, 3GPP의 이러한 노력들은 단말 (User Equipment, UE)의 이동성에 대한 고려 없이 고정 단말들로부터 발생하는 데이터 트래픽에 대한 단순한 부하감량 기술에만 집중하고 있으며, IETF의 DMM 기술은 LTE/SAE와 같은 특정 네트워크 시스템에 대한 고려 없이 일반적인 IP 네트워크에 대한 표준화만 시도하고 있다.

LTE/SAE 네트워크는 UE와 PDN (Packet Data Networks)사이의 중간에서 그들 간의 통신 연결을 설정하여 IP (Internet Protocol) 데이터 서비스를 지원한다. 이 때, 이러한 PDN으로의 IP 연결을 PDN 연결이라 하며, PDN과 LTE/SAE 사이의 연결지점은 일반적으로 코어 네트워크 중앙에 위치해 있는 P-GW가 담당한다. 또한 LTE/SAE 네트워크에서 P-GW는 3GPP 액세스 시스템과 non-3GPP (PDN) 액세스 시스템 사이의 이동성 앵커 (Mobility Anchors) 역할도 수행한다. 이러한 중앙 집중화된 P-GW의 역할 설정 때문에, P-GW로의 트래픽 집중 현상, 트래픽 라우팅 경로의 비최적화 문제, SPOF (single point of failure) 문제 등이 발생할 수 있다. 특히, 이러한 문제들은 LTE/SAE 네트워크에 참여하는 UE가 늘어남에 따라 또한 UE의 성능 및 무선통신 대역폭 향상 기술의 발전에 따라 더욱 심각해지기 때문에 시스템 확장성 측면에서 문제가 될 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 이동성 앵커를 담당하는

P-GW들을 최대한 RAN (Radio Access Network)에 가까이 분산 위치시키고, 사용자가 발생시킨 데이터 트래픽을 가능하면 코어 네트워크로 유입시키지 않고 RAN 근방에서 LTE/EPC 코어망으로부터 분리 (Breakout)하여 최적화된 경로를 통해 목적지까지 전달될 수 있도록 하는 방안을 제시한다. 분산 P-GW를 지원하는 LTE/SAE 네트워크 환경에서는 UE의 이동에 따라 RAN과 인접한 곳에 분산 배치되는 P-GW의 잦은 변경이 발생하게 될 것이다. 이에 따라 본 논문에서는 이동하는 UE가 유지하고 있는 IP 세션들에 대한 끊김없는 서비스를 지원하기 위하여 LTE/SAE 네트워크에서 제어 평면을 담당하는 MME (Mobility Management Entity)들이 각 UE의 PDN 연결 (PDN Connection)당 위치 정보를 분산 방식으로 관리하고, 그러한 분산 MME들에 의하여 PDN 연결들의 핸드오버 처리 방안을 제안한다. 그리고, 제안하는 분산 방식의 LTE/SAE 네트워크 구조와 기존 LTE/SAE 네트워크 구조에 대하여 핸드오버 지연시간과 데이터 처리율 측면에서 그 성능을 수학적으로 비교 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존 LTE/SAE 네트워크 구조 및 동작 방식과 최근의 데이터 트래픽 감량 기술에 관한 관련연구를 소개하고, 3장에서는 분산 LTE/SAE 네트워크 구조 및 MME를 활용한 분산 이동성 관리 방안을 제안한다. 4장에서는 성능 분석 및 결과를 보이고 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1. LTE/SAE 네트워크의 기본 구조 및 동작 방식

LTE/SAE 시스템은 이동통신망 기술의 주요 표준화 단체인 3GPP에 의해 표준화가 진행되고 있는 차세대 이동통신망 시스템이며, 특히 SAE는 RAN이 아닌 코어 네트워크의 구조 및 프로시저에 관한 표준 기술을 일컫는다. 기존의 3G 시스템이 음성 서비스를 위한 CS (Circuit Switch)망과 데이터 서비스를 위한 PS (Packet Switch)망을 따로 가지고 있는데 반해서 LTE/SAE 시스템은 CS망 없이 PS망으로만 구성되기 때문에 음성 및 데이터 서비스가 모두 PS망을 통해 제공된다^{3,16)}.

LTE/SAE 네트워크에서는 네트워크 주도형으로 UE의 등록, 위치 관리, 핸드오버 관리 등을 처리한다. UE가 네트워크에 접속하게 되면 UE는 P-GW로부터 IP 주소를 할당 받아 하나의 PDN 연결을 설정 받는다. 한편, UE는 동시에 여러 PDN과 각

각의 PDN 연결을 가질 수 있으며, 하나의 PDN으로부터 여러 개의 PDN 연결을 가질 수도 있다. UE는 각 PDN 연결을 위해 새로운 IP 주소를 할당 받는다. LTE/SAE 네트워크는 UE와의 PDN 연결을 맺고 데이터를 주고받기 위해 GTP (GPRS Tunneling Protocol)를 사용한다. UE가 보낸 IP 패킷은 eNodeB에서 S-GW (Serving Gateway)를 거쳐 P-GW까지 GTP 터널을 통해 전송된다. GTP 터널을 통해 전송된다는 것은 UE의 IP 패킷이 지닌 목적지 IP 주소가 어떤 값이든 상관없이 그 패킷이 항상 eNodeB를 통해 P-GW까지 전송됨을 의미한다. 반대로 PDN으로부터 UE로 유입되는 데이터 패킷 또한 PDN의 IP망을 통해 P-GW까지 전송되고 이후 LTE/EPC 네트워크 내의 GTP 터널을 통하여 UE까지 전송된다^{3,17)}.

LTE/SAE 네트워크에서는 시그널링의 신속한 처리를 위하여 제어 평면 (Control Plane)과 데이터 평면 (Data or Bearer Plane)의 트래픽을 완전 분리하여 처리한다. LTE/SAE 네트워크의 제어 평면을 처리하기 위하여 MME는 eNodeB, S-GW, HSS (Home Subscriber Server)와의 인터페이스를 지니며 이를 통해 다른 네트워크 개체들과 시그널링을 수행한다. 이러한 시그널링을 통해 MME는 UE에게 EPS 이동성 관리(EMM) 및 EPS Session 관리(ESM) 등의 기능을 제공한다. MME의 ID (MME ID)는 LTE/SAE 네트워크에서 UE의 위치를 파악하는 기본 단위가 되며 HSS에 저장되어 관리되어 진다. UE의 LTE/SAE 네트워크에 접속 시, UE의 등록을 담당하는 MME는 위치 등록 절차를 통해 UE가 자신에게 접속해서 자신이 관리하는 영역에 위치하고 있음을 HSS에게 알려주고 HSS는 해당 MME ID를 저장한다. 이 후, UE가 이동함에 따라 UE를 관리하는 MME가 변경될 경우 새로운 MME는 위치 갱신 절차를 통하여 HSS에 UE의 위치 정보인 MME ID를 갱신한다.

2.2. 기존의 트래픽 부하감량 기법

LTE/SAE의 표준화를 추진하고 있는 3GPP에서는 코어 네트워크 트래픽 부하감량과 관련하여 많은 표준화 작업을 하였다. 3GPP Rel-6 I-WLAN은 SIM 기반의 인증 기술을 WLAN 사용자에게도 적용할 수 있는 방안을 마련하여 WiFi 망을 통해서도 이동 통신망에 접근 가능하도록 하였다⁴⁾. 3GPP Rel-7 Direct Tunnel 기술은 최초로 트래픽 부하감량 기술을 RAN이 아닌 코어 네트워크에도 적용한 기술로서 특정 데이터 트래픽에 대하여 코어 네트워크에 위치하는

SGSN (Serving GPRS Support Node)을 통하여 대체 경로를 제공하는 기술이다⁵⁾. 이는 최근의 3GPP Rel-10의 LIPA (Local IP Access)와 SIPTO (Selected IP Traffic Offload) 기술이 나올 수 있는 토대를 마련하였다. 또한 3GPP Rel-9 Femtocell 기술은 LTE/SAE에서 사업자의 정확한 Cell Panning 없이 가정이나 사무실에 간단하게 설치되어 활용될 수 있는 소형 기지국인 Home eNodeB를 통하여 가입자에게 보다 향상된 3G Coverage와 Capacity를 제공한다. 이러한 기술을 통하여 UE는 코어 네트워크에 가중이 되는 Macro Cell을 활용하지 않고 Femtocell을 활용하여 데이터 트래픽의 송수신이 가능하다⁶⁾. Rel-10의 LIPA 기술은 UE가 이동통신 사업자 망인 코어 네트워크를 거치지 않고 Femtocell을 통하여 가입자의 로컬 IP 네트워크 또는 외부 PDN과 직접적으로 통신할 수 있도록 해주는 기술이다. Rel-10의 SIPTO는 특정 트래픽에 대해 코어 네트워크의 P-GW가 아닌 L-GW (Local Gateway)에 기반한 대체 경로를 제공함으로써 코어 네트워크의 트래픽 수용력을 늘리고 전송 비용을 줄일 수 있는 기술이다⁷⁾.

본 논문에서 제안하는 분산 LTE/SAE 네트워크 구조는 위에서 설명한 트래픽 감량 기술들과 유사한 면이 있다. 특히, 제안하는 구조에서의 분산 P-GW는 SIPTO기술에서 제안하고 있는 L-GW와 배치 위치와 목적 측면에서 유사하다. 하지만 SIPTO 등의 트래픽 부하감량 기술들은 기존 LTE/SAE 구조를 그대로 사용하면서 특정 장소에서만 혹은 선별된 데이터 트래픽 (예를 들어 웹 트래픽)만 Femtocell 또는 L-GW를 통하여 처리하고자 하는 부가적인 기능으로 활용되도록 설계되어 있다. 그러므로, SIPTO의 L-GW는 LTE/SAE 네트워크에서 시그널링 처리의 핵심 기능을 수행하는 MME 및 과금과 QoS 관련 시그널링 처리를 담당하는 PCRF (Policy Charging and Rules Function)와의 인터페이스가 없다. 이에 따라, 위에서 설명한 트래픽 부하감량 기술들에서는 UE 이동성에 대한 고려가 거의 없으며 최근에 이동성을 고려하여 제안된 LIMONET (LIPA Mobility and SIPTO at the Local Network) 기술 또한 한정된 로컬 네트워크 안에서의 UE의 이동 정도를 허용하고 있으며, 서로 다른 로컬 네트워크로의 이동시의 위치 관리 및 핸드오버 이슈는 다루지 않는다¹⁸⁾.

미래의 이동 통신망의 코어 네트워크 구조는 계층적 구조에서 수평적 구조로 진화할 것이라는 전망에서 비롯된 분산형 이동성 관리에 관한 연구가 최근 들어 학계와 IETF를 중심으로 활발히 진행 중이다. P.

Bertin 등은 수평적 IP 구조를 위한 분산형 이동성 관리 기법을 제안하였고^[8], 중앙 집중형 이동성 관리 방식과 비교하여 분산형 이동성 관리 방식이 지니고 있는 장점들에 대하여 분석하였다^[9]. H. Chan 등은 현재 중앙 집중형 이동성 관리 방식의 문제점들을 분석하고 분산형 이동성 관리 기술 설계를 위한 주요 요구사항들에 대하여 기술하였다^[10]. 또한, H. Chan과 C. Bernardos은 Proxy Mobile IPv6 기반의 분산형 이동성 관리 기법을 제안하였고^[11,13], B. Sarikaya은 Mobile IPv6 기반의 분산형 이동성 관리 기법을 제안하였다^[12]. 마지막으로, 또한 P. Seite and P. Bertin은 분산 이동성 앵커 (Distributed Mobility Anchor)에 대한 필요성 및 그 기능에 대해 제안하였다^[14].

3GPP LTE/SAE에서는 eNodeB가 기존 3GPP의 NodeB와 RNC (Radio Network Controller)의 기능을 모두 지냄으로써 LTE 네트워크의 RAN을 eNodeB들로만 구성하여 이전보다 더욱 수평적 구조로 진화하였다. 하지만 중앙의 P-GW를 이동성 앵커로 활용하여 여전히 계층적 망구조 기반에서 활용하는 ‘중앙 집중형(centralized)’ 형태를 취하고 있다. 따라서, 본 논문에서는 미래의 이동 통신망 구조에 부합하도록 LTE/SAE에 적합한 수평적 망구조를 제안하고, 이러한 분산 네트워크 구조에 적합한 동적 분산 이동성 관리에 관한 방안을 제안한다.

III. LTE/SAE에서의 분산 이동성 관리 방안

3.1. 분산 LTE/SAE 네트워크 참조 모델

그림 1은 LTE/SAE에서의 본 논문에서 제안하는

분산형 이동성 제어 구조를 위한 네트워크 참조 모델을 나타낸다. 새롭게 제안하여 추가되는 장비인 P-EGW (PDN Edge Gateway)는 기존 LTE/SAE 시스템에서의 P-GW와 기능적인 면에서 유사한 장비이다. 하지만, P-EGW는 중앙 집중화된 트래픽의 부하 감량을 위해 선택적으로 eNodeB와 S-GW 사이에 배치된다(주1). 한편, P-EGW와 관련된 인터페이스는 PDN과의 통신을 위한 SGi 인터페이스는 그대로 유지하는 한편 다음과 같은 새로운 인터페이스를 추가한다.

S1a-U Interface: eNodeB와 P-EGW 사이의 데이터 평면 베어러(Bearer)를 지원하기 위한 인터페이스

S2d Interface: 서로 다른 P-EGW 사이의 데이터 평면 베어러를 지원하기 위한 인터페이스

S11a Interface: P-EGW와 MME 사이의 제어 평면 베어러를 지원하기 위한 인터페이스

Gy: QoS 및 과금 정보를 주고 받기 위한 MME와 PCRF 사이의 인터페이스

기존 LTE/SAE에서는 QoS 및 과금 정보를 주고받기 위하여 중앙 집중형의 P-GW와 PCRF (Policy and Charging Rules Function) 사이에 Gx 인터페이스가 존재한다. 하지만, 제안 방식에서는 많은 P-EGW가 지역적으로 분산되기 때문에 P-EGW와 PCRF로의 직접적인 인터페이스 생성이 쉽지 않다. 그러므로, MME와 PCRF사이의 새로운 Gy 인터페이스를 생성하고 MME가 그러한 QoS 및 과금 정보를 P-EGW와 PCRF 사이에서 중계해주도록 하였다.

제안하는 구조에서는 1) P-EGW 단독으로, 또는 2) 기존 P-GW와 새로운 P-EGW 모두 UE를 위한 이동

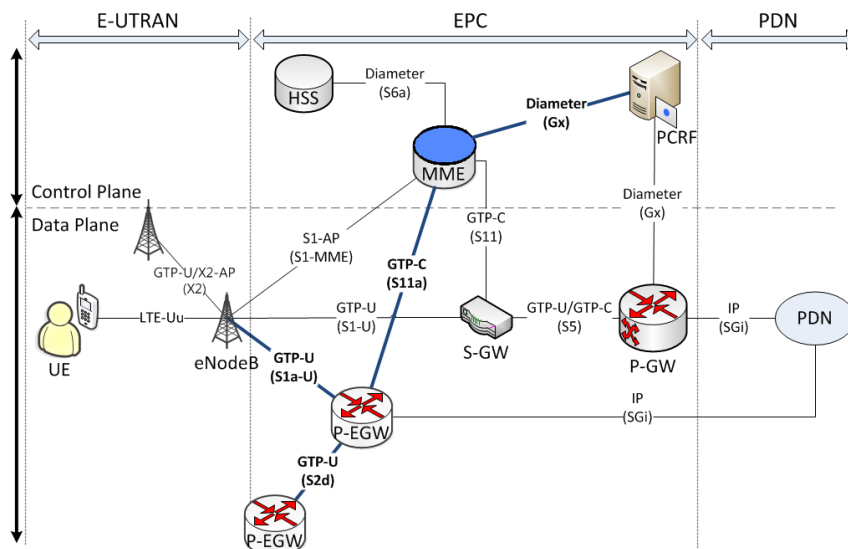


Fig. 1. Reference model for the proposed DMM architecture in LTE/SAE

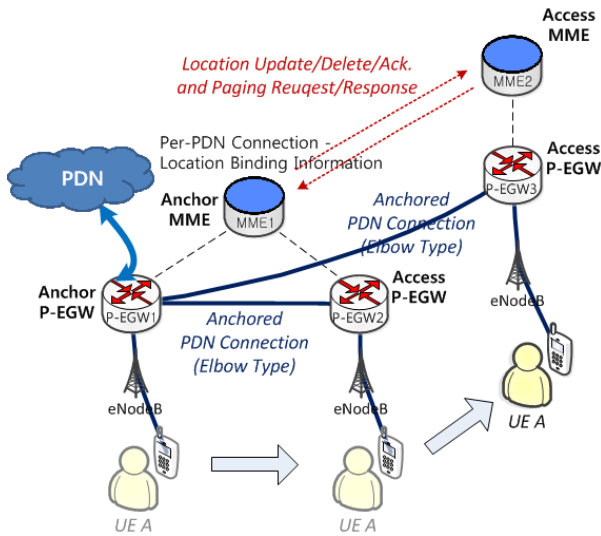


Fig. 2. Roles of distributed P-EGW and distributed MME for a PDN connection

성 앵커로서 활용됨을 가정한다. 따라서, UE의 등록 및 서비스 요청 시 PDN 연결을 위해 MME는 P-GW 또는 P-EGW 중 하나의 이동성 앵커를 선택하여 관련 절차를 수행하며, 선택된 이동성 앵커를 통해 해당 PDN 서비스를 이용하게 된다. 그러나 이미 P-EGW는 기존의 P-GW가 지니는 기능 및 인터페이스 구조를 포함하기 때문에, 트래픽 부하감량 효과를 높이기 위하여 MME가 이동성 앵커로서 P-EGW 선택에 더 높은 우선순위를 둔다. 하지만, UE가 접속한 곳에 P-EGW가 배치되어 있지 않으면, MME는 기존의 P-GW를 선택하여 기존 방식대로 UE에게 PDN 서비스를 제공할 수 있다.

3.2. 분산 이동성 관리를 위한 기본 구조 및 정책

LTE/SAE 네트워크에서 이동성을 지닌 UE는 언제나 어느 셀로 이동/접속하든지간에 끊임없이 서비스를 이용할 수 있어야 한다. 제안 구조에서는 P-EGW가 RAN 근방으로 분산 배치됨에 따라 P-EGW가 빈번하게 변경되는 상황을 올바르게 제어하여야 한다. 이를 위해서 본 논문에서는 그림 2에서 볼 수 있듯이 임의의 UE에 생성되는 PDN 연결(EPS 세션)마다 Anchor P-EGW와 Access P-EGW로 역할을 나누어 각 P-EGW에 그 역할이 할당된다. Anchor P-EGW는 MME에 의하여 최초로 선택되어 PDN 연결 설정 절차를 수행하는 P-EGW이며, 해당 PDN 연결의 종료 시점까지 변경되지 않고 UE와 PDN 사이의 연결지점인 이동성 앵커 (Mobility Anchor) 역할을 수행한다.

한편, Access P-EGW는 UE의 현재 위치에서 PDN 연결 유지를 위해 MME에게 선택된 P-EGW로써 UE의 무선 액세스 포인트인 eNodeB와 베어러를 설정하여 데이터 평면의 메시지를 주고받는 역할을 수행하며, 임의의 PDN 연결에 대한 Access P-EGW는 UE의 이동에 의해 계속하여 변경될 수 있다. PDN 연결이 처음 생성될 때에는 Anchor P-EGW가 Access P-EGW의 역할 또한 수행하지만, UE가 이동을 하게 되어 새로운 P-EGW가 해당 PDN 연결에 대한 Access P-EGW의 역할을 담당하게 되면 Anchor P-EGW와 새로운 Access P-EGW 사이에 GTP 터널을 설정하여 데이터 트래픽 전송을 처리한다. 이에 따라, 그림 2처럼 엘보우 형태 (Elbow Type)의 GTP 터널을 통해 기존 PDN 연결을 계속하여 유지하게 된다.

한편, 분산 P-EGW 구조에 적합한 UE의 위치 관리를 위해 UE에 생성되는 PDN 연결마다 Anchor MME와 Access MME로 각 MME에 그 역할이 할당된다. Anchor MME는 임의의 PDN 서비스 지원을 위하여 PDN 연결 설정을 제어하기 위해 최초로 선택된 MME이며, 해당 PDN 연결에 대한 UE의 위치 정보를 관리하고 해당 PDN 연결의 종료시점까지 변경되지 않는다. Access MME는 UE의 현재 위치에서 PDN 연결 설정을 제어하기 위해 선택된 MME로써 기존 중앙 집중형 LTE/SAE 네트워크에서의 MME와 동일한 역할을 담당하고 UE의 이동에 의해 변경될 수 있다. 만약 UE가 동일한 MME에 의해 관리되는 영역 내에서의 이동한다면 Access MME는 변경되지 않을 수 있다. P-EGW의 역할 구분과 유사하게 UE의 초기 접속 시 PDN 연결 설정 제어를 최초로 담당하는 MME는 해당 PDN 연결에 대해 Anchor MME이면서 동시에 Access MME가 되지만, UE의 이동에 따라 MME가 변경되면 그 MME는 새로운 Access MME가 되어 Anchor MME에게 위치 등록 (Location Registration) 메시지를 보내어 자신이 새로운 Access MME이며 해당 UE를 자신이 제어하고 있음을 알린다.

위와 같은 구조 및 정책을 통해 임의의 UE가 설정하는 각 PDN 연결별로 Anchor MME는 UE의 현재 위치, 즉 현재 Access MME를 관리하는 주체가 되며, Anchor P-EGW는 데이터 전달의 앵커 역할을 하는 주체가 된다. 이와 같은 구조 변화는 중앙 집중화된 현재의 LTE/SAE 시스템에서, 각 UE의 MME 정보를 관리하는 HSS의 기능을 UE의 PDN 연결별로 서로 다른 MME에게 분산화하고, 기존의 P-GW의 데이터 전달 기능을 서로 다른 P-EGW로 분산화한 것이다.

주1) 분산 효과를 극대화 하기 위하여 P-EGW를 eNodeB에 넣어 배치하여도 본 논문에서 제안하는 분산이동성 관리 절차를 수행할 수 있다.

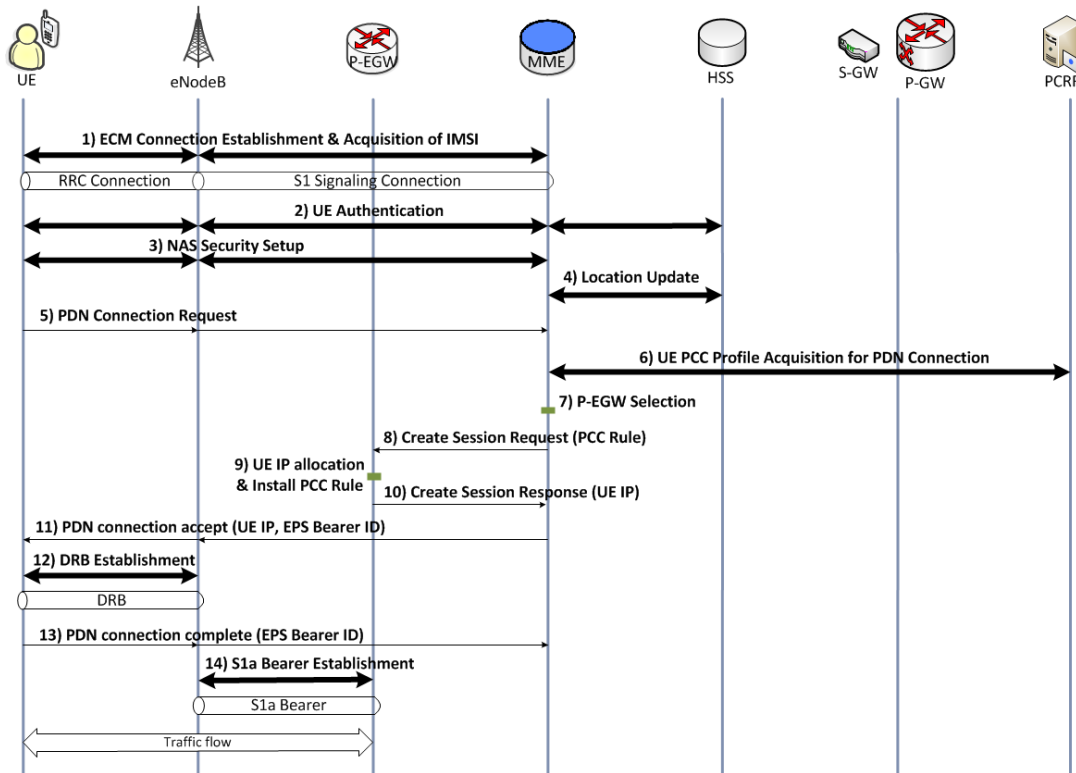


Fig. 3. Initial Attachment & PDN Connection Request Process

3.3. 초기 접속 및 PDN 연결별 위치 관리

임의의 UE가 LTE/EPC 시스템에 초기 접속하면 기존의 LTE/EPC 시스템의 초기 접속 등록절차와 유사한 과정을 수행하면서 LTE/EPC 시스템에 등록한다. 이 때 형성되는 UE와 MME 사이의 ECM 연결은 UE의 등록 및 인증과 같은 시그널링 서비스를 위해 활용된다. 이 후 기본 베어러형성 및 UE에 의한 PDN 서비스 요청을 하게 되면 MME는 분산 배치되어 있는 P-EGW를 우선적으로 선택하고, 선택된 P-EGW와의 PDN 연결 설정 절차를 수행하여 UE가 원하는 PDN 서비스를 지원받을 수 있게 된다. 한편, UE는 한 개 이상의 P-EGW를 통하여 동시에 여러 PDN 연결을 가질 수 있으며 UE는 각각의 PDN 연결을 위해 새로운 IP 주소를 할당 받게 된다. 즉, k개의 PDN 연결을 가진 UE는 k개의 IP 주소를 할당 받게 된다.

초기 접속 및 PDN 연결을 위한 절차에서 기존 중앙 집중형 LTE/EPC 시스템과의 가장 중요한 차이점은 PCRF 접근 방식이다. MME가 UE의 PDN 연결 요청을 eNodeB로부터 받으면 본 논문에서 제안하는 MME와 PCRF 사이의 Gy인터페이스를 통하여 우선 해당 UE의 PCC (Policy and Charging Control) 프로파일을 가져온다. 이후 적당한 P-EGW를 선택하고 해당 P-EGW에게 PDN 연결을 위한 세션 생성 요청을

하면 P-EGW는 그 PDN 연결을 위한 IP 주소 할당 및 PCC 프로파일을 통한 QoS 설정 후 세션 요청 응답을 MME에게 보낸다. 이후 MME가 UE에게 PDN 연결 수락 메시지를 보내면, 관련된 DRB 및 S1a 베어러가 생성된다. 이와 같은 전체 과정을 그림 3에 도시하였다.

기존 3GPP LTE/SAE 네트워크에서 UE의 위치 기본 단위는 UE를 담당하고 있는 MME인데 이에 관한 정보는 중앙의 HSS에 저장되어 활용되고 있다[15]. 하지만 본 논문에서는 UE의 PDN 연결마다의 UE 위치를 동적으로 관리하기 해 위치 관리 기능이 MME에게 분산되어 처리하는 방안을 제시한다.

임의의 Anchor MME는 자신이 관리해야 하는 UE들의 PDN 연결 별로 “위치 바인딩 정보(Location Binding Information)”를 <UE ID, IP Address, Access MME ID> 형태로 관리한다. 위치 바인딩 정보 내의 IP Address는 UE에게 생성된 PDN 연결 별로 그 값이 상이하기 때문에 동일한 UE에 대하여 여러 개의 위치 바인딩 정보가 동일한 (또는 서로 다른) Anchor MME에 저장될 수 있다. PDN 연결이 최초로 생성되는 경우에는 Anchor MME와 Access MME가 동일하기 때문에 위치 바인딩 정보 내에 Access MME ID는 Anchor MME 자신의 ID가 저장된다. 하

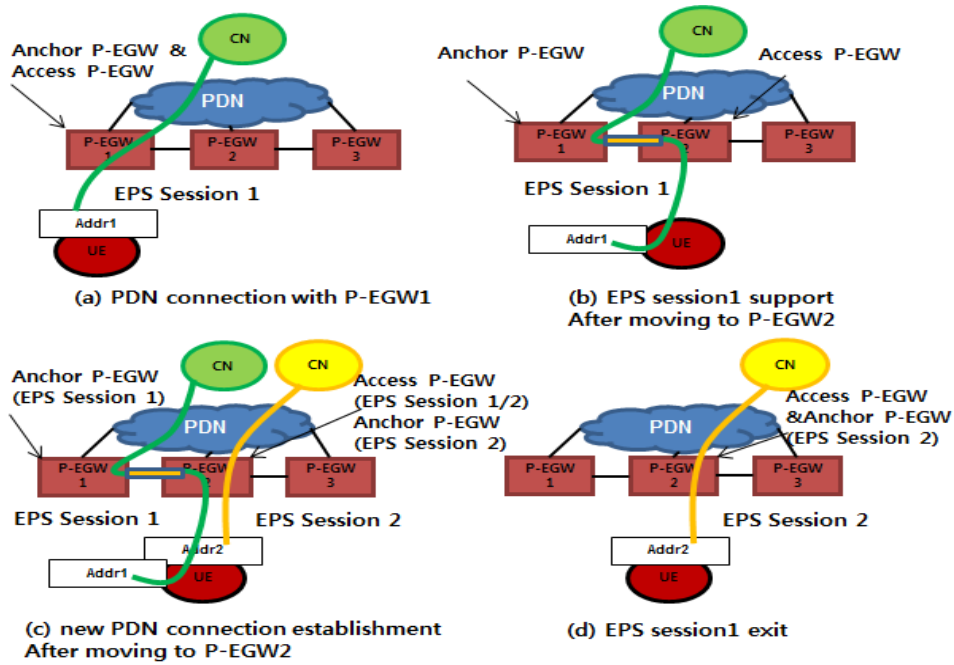


Fig. 4. Dynamic management of PDN connections

지만, UE가 새로운 P-EGW로 이동하여 새로운 Access MME로 제어 주체가 변경되는 경우, 새로운 Access MME는 Anchor MME에게 “위치 갱신 (Location Update)” 메시지를 전달하여 위치 바인딩 정보 내의 Access MME ID 정보를 갱신한다. 이 후, PDN 서비스를 지원받던 UE가 해당 세션을 종료하게 되면 이와 관련된 위치 바인딩 정보는 삭제된다.

3.4. 동적 PDN 연결 관리

제안하는 분산 LTE/SAE 시스템 이동성 구조에서는 UE의 모든 PDN 연결마다 동일한 Anchor P-EGW를 설정해 주는 것이 아니라 PDN 연결이 생성되는 시점에 연결된 P-EGW를 해당 PDN 연결의 Anchor P-EGW로 설정해 준다. 임의의 PDN 연결이 설정되면 UE는 Anchor P-EGW로부터 IP 주소를 할당 받고, 이후 PDN으로 부터 데이터를 주고받으면 외부 PDN에서 UE에게 보내어지는 데이터 패킷은 모두 Anchor P-EGW로 도착한다. 따라서, UE가 새로운 Access P-EGW 영역으로 이동할 경우 Anchor P-EGW와 Access P-EGW 사이에 터널을 설정하여 Anchor P-EGW에서 터널링된 패킷들이 Access P-EGW로 전송되고, 이러한 패킷들은 UE가 이동하여 Access P-EGW와 생성한 기본 베어러를 통하여 전달된다. 하지만, UE가 새로운 Access P-EGW 영역에서 새롭게 생성하는 IP 세션들은 새로운 EPS 베어러를 생성하여 PDN 연결은 수행한다. 즉, 현재 UE가 접속

된 Access P-EGW가 새로운 PDN 연결에 대한 Anchor P-EGW역할을 담당하게 되고, 새로운 PDN 연결 설정은 기존 PDN 연결과 독립적으로 구성된다.

그림 4는 제안하는 동적인 EPS 세션 관리에 대한 사례를 보여준다. 그림 4 (a)는 LTE 망에 등록된 UE가 P-EGW1을 통해 PDN 연결 설정 절차를 수행하여 데이터 트래픽을 주고받는 모습이다. 이 때 UE의 EPS Session 1트래픽 전송을 담당하는 P-EGW1은 EPS Session 1을 위한 PDN 연결의 Anchor P-EGW 이면서 동시에 Access P-EGW가 된다. 그림 4 (b)는 UE가 P-EGW2가 담당하는 영역으로 이동한 이후에 Anchor P-EGW와 새롭게 변경된 Access P-EGW 사이의 GTP 터널 및 UE가 Access P-EGW (P-EGW2)와 구성한 기본 베어러를 통해 유지되는 EPS Session 1의 모습을 보여준다. 그림 4 (c)는 UE가 P-EGW2로의 이동 이후, 새로운 EPS Session 2 트래픽을 생성하기 위하여 새로운 PDN 연결을 설정하는 것을 보여준다. 이 경우, PDN 연결 설정 절차에 따라 P-EGW2가 EPS Session 2을 위한 PDN 연결의 Anchor P-EGW 이면서 동시에 Access P-EGW가 된다. 그림 4 (d)는 UE가 LTE 망으로부터 해당 서비스들을 받다가 EPS Session 1을 종료한 상황을 보여준다. 이 경우, 기존 EPS Session 1과 관련된 PDN 연결 정보를 삭제하지만 여전히 EPS Session 2와 관련된 PDN 연결은 P-EGW2를 통하여 유지된다. 이와 같은 동적인 PDN 연결 관리를 통하여 각 PDN 연결별로 최적의 경로로

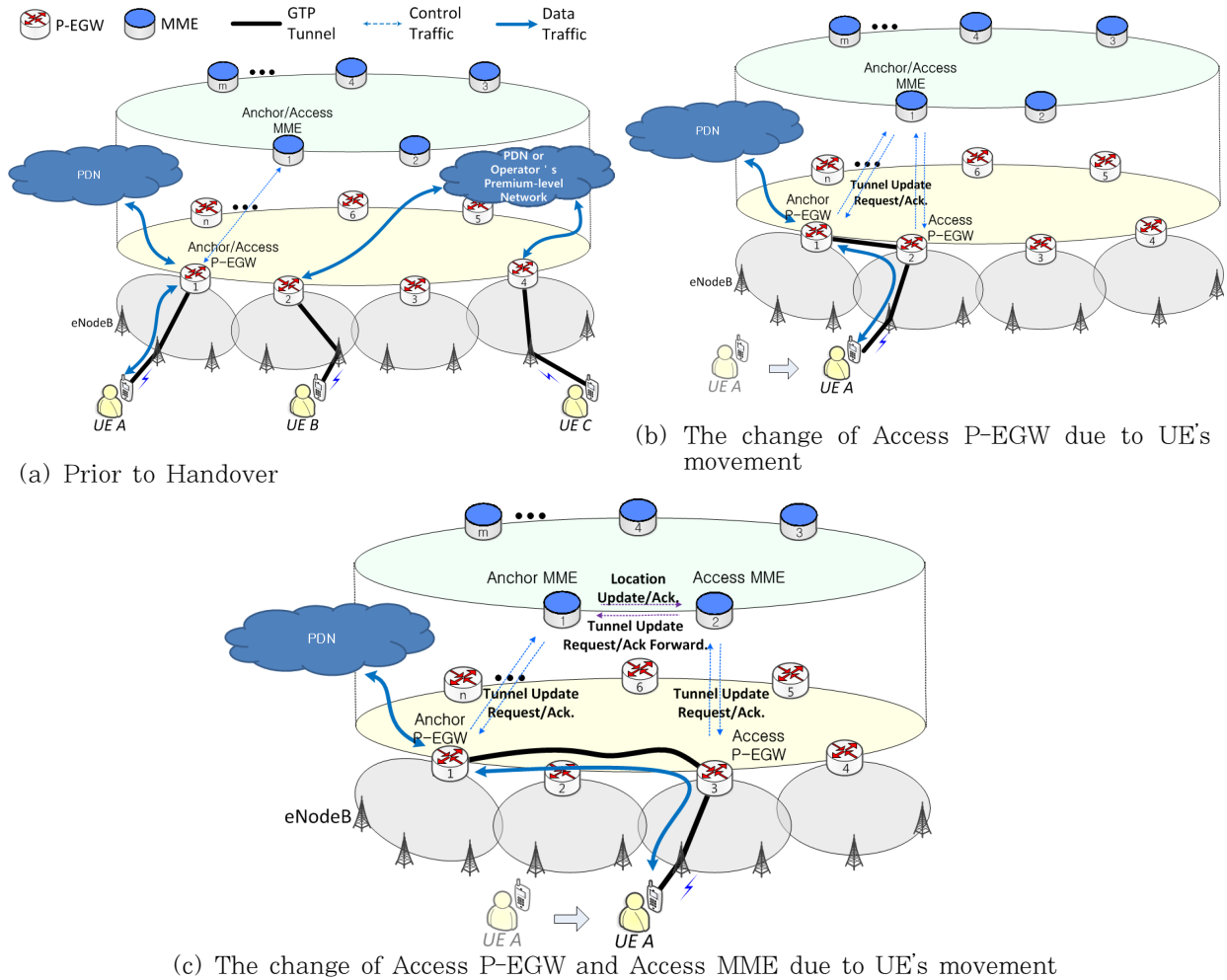


Fig. 5. Updated tunnel bearer in case of the proposed handover management

데이터 전달이 가능하며, 서로 다른 P-EGW에 데이터가 더욱 고르게 분산될 수 있는 효과를 얻을 수 있다.

3.5. PDN 연결별 핸드오버 관리

본 논문에서 제안하는 분산형 이동성 관리 구조에서는 P-EGW가 RAN 과 인접한 곳에 분산 배치됨에 따라 잦은 P-EGW간 핸드오버가 발생된다. 본 절에서는 이러한 P-EGW간 PDN 연결별 핸드오버 관리에 관하여 관련 절차를 기술한다.

3.5.1. 핸드오버 이전의 세션 유지 방법

LTE/EPC 네트워크에 접속한 UE는 원하는 PDN 서비스를 받기 위해 Anchor MME로부터 선택된 Anchor P-EGW를 통해 PDN 연결을 설정 및 유지한다. 이 때, Anchor MME는 UE에게 설정된 PDN 연결에 대한 위치 바인딩 정보를 유지하고 있다. 그림 5(a)에는 LTE/SAE 네트워크 밖에 위치한 통신 노드(예를 들어, 포털 서버 등)와 데이터를 교환하는 UE

A가 존재하며, 동일한 LTE/SAE에 접속하여 통신을 하고 있는 UE B와 UE C도 존재한다. 본 논문에서 제안한 P-EGW는 PDN과의 인터페이스를 지니고 있기 때문에 P-EGW를 통해 PDN 연결을 형성한 경우 해당 트래픽은 LTE의 코어 네트워크에서 벗어나게 된다. 즉, UE A의 데이터뿐만 아니라 UE B와 UE C가 서로 주고받는 데이터도 LTE/SAE 코어 네트워크를 벗어나서 교환된다. 이 때, 동일한 사업자에 의해 관리되는 UE B와 UE C와의 데이터 교환에 있어서 QoS를 높이기 위하여 E-PGW 사이에 프리미엄급 PDN을 별도로 구축하여 UE B와 UE C와의 PDN 연결에 수준 높은 서비스를 지원할 수도 있다.

이후 UE A의 이동에 따른 핸드오버 과정을 설명할 것이지만, P-EGW가 모든 데이터 통신의 앵커(Anchor) 역할을 수행하기 때문에 UE B 또는 UE C의 핸드오버 과정에 UE A의 핸드오버 과정을 동일하게 적용할 수 있다.

3.5.2. P-EGW만 변경되는 핸드오버 관리

그림 5(b)와 같이 UE의 Anchor P-EGW 영역을 벗어나 새로운 P-EGW 영역으로 이동할 경우 Access P-EGW는 변경되지 않지만, Anchor MME는 변경되지 않을 수 있다. 이 경우, 이전 Access P-EGW를 통해 설정 및 유지되던 PDN 연결을 새로운 Access P-EGW에서도 지원하기 위하여 Anchor P-EGW와 Access P-EGW는 터널 설정 요청 (Tunnel Setup Request) 메시지와 터널 설정 응답 (Tunnel Setup Ack.) 메시지를 현재의 Anchor/Access MME를 경유하여 주고받는다. 이 때, 이동성 앵커 역할을 하는 Anchor P-EGW와 UE의 이동 후 EPS 베어러를 설정하여 데이터 트래픽의 송수신을 담당하는 Access P-EGW 사이에 GTP 터널을 생성하여 해당 PDN 연결을 유지한다.

3.5.3. P-EGW와 MME가 동시에 변경되는 핸드오버 관리

UE가 이동하여 현재 Access P-EGW 영역을 벗어나 새로운 P-EGW 영역으로 이동함과 동시에 UE를 제어하는 MME도 동시에 변경되는 핸드오버 과정이 그림 5(c)에 도시되어 있다. 이 경우 Anchor MME는 변함이 없지만 변경된 새로운 MME가 Access MME 역할을 담당한다. 이 경우, 새로운 Access P-EGW에서도 기존 PDN 연결을 계속하여 지원하기 위하여 Anchor P-EGW와 새로운 Access P-EGW 사이에 터널 설정 요청 및 터널 설정 응답 메시지가 교환되어야 하는데, 이들 메시지는 Anchor MME와 새로운

Access MME를 경유하여 주고받는다. 한편, 이동성 앵커 역할을 하는 Anchor P-EGW와 UE의 이동 후 EPS 베어러를 설정하여 데이터 트래픽의 송수신을 담당하는 Access P-EGW 사이에 GTP 터널을 생성하여 해당 PDN 연결을 유지한다. 또한, Access MME가 변경되었기 때문에 Access MME는 Anchor MME에게 위치 등록 메시지를 보내어 UE의 현재 위치를 갱신한다. 이 때, 위치 갱신 메시지는 터널 설정 메시지에 Piggyback 하여 함께 전달 할 수 있다.

3.5.4. 핸드오버시 X2/S1a/S2d 인터페이스를 활용한 패킷 손실 제거

기존 LTE/SAE 네트워크에서는 전체 핸드오버 절차를 핸드오버 준비, 실행, 완료의 3가지 단계로 나누어지고 UE가 새로운 eNodeB로 이동하기 전 핸드오버 준비 단계에서 핸드오버를 위해 필요한 대부분의 절차 및 자원 할당 과정을 미리 수행한다. 따라서, 실제 핸드오버가 실행되는 시간은 매우 짧으며 패킷 손실도 매우 작다. 기존 LTE/SAE 네트워크에서 이러한 eNodeB 간에 핸드오버 준비와 실행이 MME와 S-GW 개입 없이 이뤄지는지의 여부에 따라 LTE/EPS 핸드오버를 X2 인터페이스를 이용한 핸드오버(X2 핸드오버)와 S1 인터페이스를 이용한 핸드오버(S1 핸드오버)로 구분한다.

X2 핸드오버는 eNodeB 간 인터페이스인 X2 연결이 존재하는 경우에 수행되면 MME 개입 없이 eNodeB들이 직접 핸드오버 제어를 수행한다. 한편, UE의 이동과정 중 이전 eNodeB로 도착한 DL

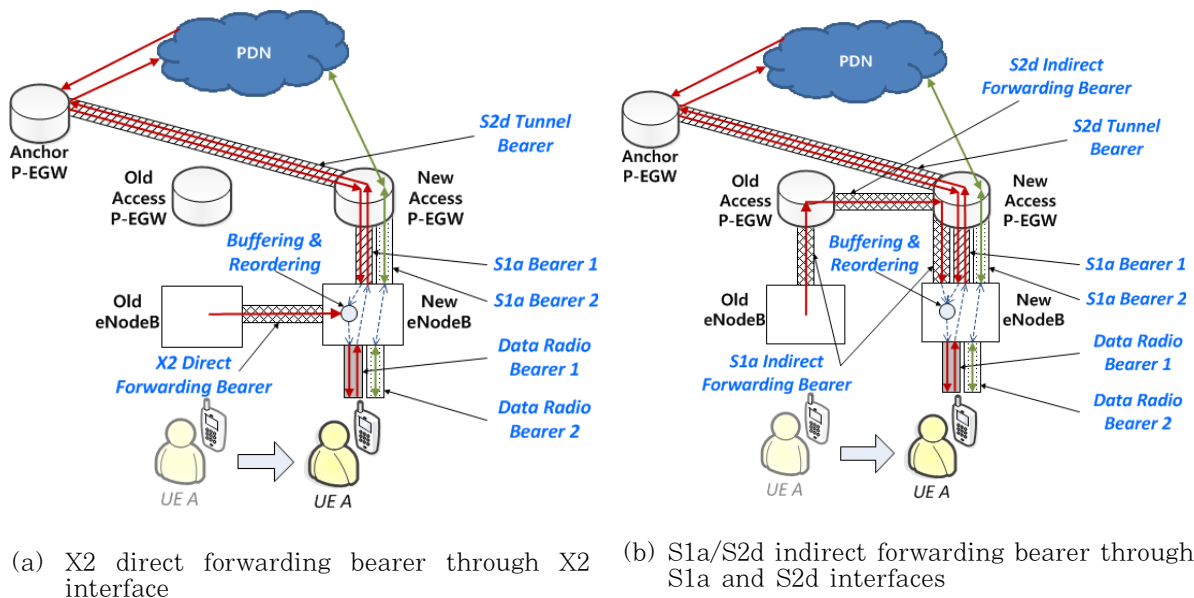


Fig. 6. Packet loss control using X2/S1a/S2d interfaces in case of handover management

(Downlink) 패킷은 eNodeB 사이의 X2 인터페이스를 통하여 전달된다. 제안기법에서도 P-EGW간 핸드오버 수행 시에 이전 eNodeB와 새로운 eNodeB 사이에 X2 인터페이스가 존재하면 기존과 마찬가지로 eNodeB들이 직접 핸드오버 제어를 수행하며 X2 인터페이스를 통하여 UE의 이동과정 중 이전 eNodeB로 도착한 DL 패킷을 전달한다. 그림 6(a)는 이와 같은 제안기법에서의 X2 핸드오버 수행시 생성되는 각 베어러 및 새로운 eNodeB에서의 DL 및 UL (Uplink) 패킷 전달 경로를 보여준다. 주목할 점은 이동 이후 S2d Tunnel Bearer 및 S1a Bearer 1을 통해 전달되는 DL 패킷들과 이전 eNodeB와 새로운 eNodeB 사이의 X2 Direct Forwarding Bearer를 통해 전달되는 DL 패킷들은 새로운 eNodeB에서 버퍼링 및 순서재조합 기능을 통해 각 패킷의 순서를 올바르게 유지하여 Data Radio Bearer 1을 통해 UE에게 전달된다는 점이다. 한편, III.4 절에서 언급한 동적 PDN 관리에서 제시한 것처럼 각 세션의 라우팅 경로를 최적화하기 위하여, 새로운 P-EGW 영역으로 이동 이후 새롭게 생성되는 세션의 DL 및 UL 패킷들은 새로운 Data Radio Bearer 2 및 S1a Bearer 2를 통해 전달된다.

기존 LTE/EPC 네트워크에서 S1 핸드오버는 eNodeB와 MME 또는 S-GW간의 S1 인터페이스를 통하여 MME가 제어의 주체가 되어 eNodeB 사이의 데이터 교환을 위하여 S-GW를 중간 매개체로 활용하면서 수행된다. 그러므로, UE의 이동과정 중 이전 eNodeB로 도착한 DL 패킷은 우선 이전 S-GW로 보내어지고, 이 패킷은 다시 S-GW로 전달되어 새로운 eNodeB로 전달된다. 이와 유사하게 본 제안기법에서도 그림 6(b)에 도시된 바대로 X2 핸드오버를 수행할 수 없는 경우에 UE의 이동과정 중 이전 eNodeB로 도착한 DL 패킷은 우선 이전 Access P-EGW로 S1a Indirect Forwarding Bearer를 통해 전달되고, 다시 S2d Indirect Forwarding Bearer를 통해 새로운 Access P-EGW로 터널링되어, 새로운 Access P-EGW에서 S1a Indirect Forwarding Bearer를 통해 최종적으로 새로운 eNodeB로 전달된다. 이후의 패킷 순서재조합 및 동적 PDN 관리 과정에 대한 설명은 그림 6(a)의 설명과 유사하다.

IV. 성능 분석

본 장에서는 본 논문에서 제안하는 분산 LTE/SAE 네트워크 구조/절차와 현재 사업자 망에서 운영 중인 중앙 집중형 기반 3GPP LTE/SAE 네트워크 구조/절

Table 1. Lists of performance parameters

Notation	Description
L_{wd}, L_{wl}	Average latency of a packet delivery in the wired (one hop)/wireless link
a	Average number of hops between P-GW and CN (in PDN)
b	Average number of hops between S-GW and P-GW
c	Average number of hops between eNodeB and S-GW
d	Average number of hops between P-EGW and CN (in PDN)
e	Average number of hops between two P-EGWs
f	Average number of hops between eNodeB and P-EGW

차에 대해 핸드오버 지연시간과 데이터 처리율 측면에서 비교 분석한다. 본 논문에서 제안된 핸드오버는 LTE/SAE 네트워크에서의 eNodeB와 S-GW의 사이에 배치되는 새로운 장비인 P-EGW간의 핸드오버이기 때문에 LTE/SAE 네트워크에서의 특정 핸드오버 절차와 비교하기가 어렵다. 하지만, LTE/SAE 네트워크에서 가장 간단한 절차의 핸드오버인 “S-GW 변경이 없는 eNodeB간 핸드오버 (이하 eNodeB간 핸드오버)”를 비교 대상으로 선정하고 핸드오버 지연시간과 데이터 처리율 측면에서 제안하는 P-EGW간 핸드오버의 성능이 상대적으로 그리 나쁘지 않거나 오히려 좋다면, 나머지 LTE/SAE 네트워크에서의 복잡한 절차의 핸드오버 성능보다도 제안 핸드오버 성능이 좋을 것이다. 성능 분석을 위하여 본 장에서 사용하고 있는 파라미터는 표 1과 같고 LTE/SAE 네트워크 참조 구조는 그림 7과 같다.

4.1. 핸드오버 지연시간 모델

본 절에서 핸드오버 지연시간은 “UE가 이전 eNodeB와 연결을 해제하고 새로운 eNodeB에 접속하여 처음 DL (Download) 데이터 패킷을 수신할 때까지 소요되는 시간 (즉, 핸드오버 준비 이후에 핸드오버 실행 단계의 절차를 수행하는데 소요되는 시간)”으로 정의한다. 한편, 총 4가지의 핸드오버, 즉 기존 LTE/SAE 네트워크에서의 X2 핸드오버와 S1 핸드오버 및 제안하는 분산 네트워크에서의 X2 핸드오버와 S1 핸드오버에 대하여 핸드오버 지연시간을 분석하여 비교 분석한다.

핸드오버의 실행 단계에서의 핸드오버 지연시간

은 크게 2가지 요인에 의하여 좌우된다. 첫 번째는 UE가 이전 eNodeB와 연결을 해제하고 새로운 eNodeB에 접속하는데 걸리는 L_2 (Layer 2) 핸드오버 지연시간(T_{L2})이며 두 번째는 네트워크에서 이전 eNodeB로 전송되던 데이터 패킷을 새로운 eNodeB로 전달하는데 걸리는 시간(T_{L3})이다. 이러한 2가지 요인과 관련한 절차가 모두 완료되면, UE는 기존 세션의 데이터 패킷을 새로운 eNodeB를 통하여 수신할 수 있게 된다. 이 때, T_{L2} 와 T_{L3} 과 관련된 각 절차는 동시에 수행되기 때문에 핸드오버 지연시간 T_{HO} 은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$T_{HO} = \max\{T_{L2}, T_{L3}\} + L_{wd} \quad (1)$$

하지만, 새로운 eNodeB에 접속되어 L_2 핸드오버를 완료하는 시간 T_{L2} 는 제안하는 분산 LTE/SAE 네트워크 구조와 기존 LTE/SAE 네트워크 구조에서 모두 동일하기 때문에 두 네트워크에서의 핸드오버 지연시간 차이는 T_{L3} 요인에 의하여 좌우된다.

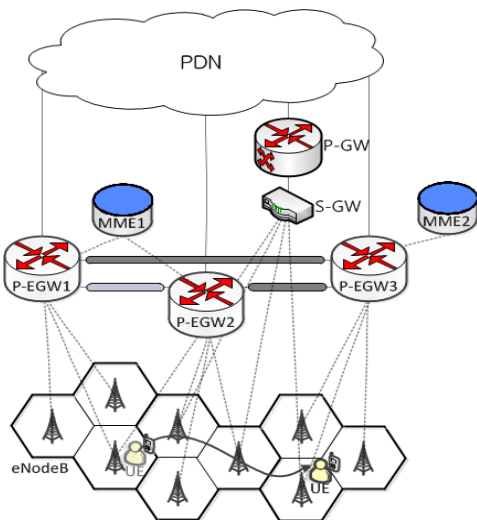


Fig. 7. Reference architecture of LTE/SAE performance analysis

그림 7에서 볼 수 있듯이 제안하는 분산 LTE/SAE 네트워크 구조에서 UE의 이동에 따른 핸드오버는 eNodeB간 핸드오버와 이의 절차를 포함하는 P-EGW간 핸드오버로 구분된다. 아울러 P-EGW간 터널 설정 절차 및 MME의 변경 시에 따른 위치 갱신 절차를 추가적으로 수행하게 된다. 그러나, 이러한 추가적인 절차들은 UE가 이전 eNodeB에 연결된 상태에서 수행되는 핸드오버 준비 단계에서 이뤄지기 때문에, 실제 사용자가 경

험하는 핸드오버 지연시간에는 영향을 미치지 않는다. 따라서, 기존 LTE/SAE 네트워크 구조에서 eNodeB의 변경으로 인한 핸드오버와 비교하여 P-EGW간 핸드오버의 실행 단계에 추가적으로 수행되는 시그널 절차가 없으며 두 시스템 모두 X2 핸드오버 실행 중 DL 패킷을 이전 eNodeB와 새로운 eNodeB 사이의 X2 인터페이스를 통하여 전달하기 때문에 T_{L3} 시간 또한 동일하게 된다. 결론적으로 기존 LTE/SAE 네트워크 및 제안하는 분산 LTE/SAE 네트워크에서의 X2 핸드오버 시의 핸드오버 지연시간인 $T_{HO-X2}^{Central}$ 과 $T_{HO-X2}^{Distributed}$ 은 동일하며 X2 인터페이스를 통하여 eNodeB와 새로운 eNodeB가 1-hop으로 연결되었음을 가정하면 다음과 같이 결정된다.

$$T_{HO-X2}^{Central} = T_{HO-X2}^{Distributed} = \max\{T_{L2}, L_{wd}\} + L_{wd} \quad (2)$$

한편, 기존 LTE/SAE 네트워크에서의 S1 핸드오버 지연시간을 $T_{HO-S1}^{Central}$ 라 할 때 $T_{HO-X2}^{Central}$ 과의 차이는 이전 eNodeB로 전송되던 데이터 패킷을 새로운 eNodeB로 전달하는 방식의 차이에 의하여 비롯된다. S1 핸드오버일 경우, UE가 이전 eNodeB와 연결을 해제할 때 이전 eNodeB는 UE로의 DL 패킷들을 새로운 eNodeB로 전달하기 위하여 그 패킷들을 이전 S-GW로 전송하고 이전 S-GW가 다시 새로운 eNodeB로 그 패킷을 전달한다. 따라서 $T_{HO-S1}^{Central}$ 은 다음과 같이 결정된다.

$$T_{HO-S1}^{Central} = \max\{T_{L2}, 2 \times c \times L_{wd}\} + L_{wd} \quad (3)$$

제안하는 분산 LTE/SAE 네트워크에서의 S1 핸드오버 지연시간을 $T_{HO-S1}^{Distributed}$ 라고 하자. 분산 LTE/SAE 네트워크 구조에서는 UE가 eNodeB와의 연결을 해제하기 이전의 핸드오버 준비단계에서 이미 이전 Access P-EGW와 새로운 Access P-EGW 사이에 GTP 터널을 생성한다. 그러므로, 이전 eNodeB는 UE와의 연결해제 직후 UE로의 DL 패킷을 이전 Access P-EGW로 전달하고, 이전 Access P-EGW는 다시 새로운 Access P-EGW로 패킷을 전송하며, 최종적으로 새로운 Access P-EGW는 새로운 eNodeB까지 패킷을 전달한다. 따라서 $T_{HO-S1}^{Distributed}$ 는 다음과 같다.

$$T_{HO-S1}^{Distributed} = \max\{T_{L2}, 2 \times f \times L_{wd} + e \times L_{wd}\} + L_{wd} \quad (4)$$

4.2. 데이터 처리율 모델

본 절에서 분석하는 데이터 처리율은 PDN에 존재하는 통신 노드 CN (Corresponding Node)이 UE에게 보낸 패킷들에 대해 단위 시간 당 UE가 전송받은 데이터의 총 양으로 정의된다. 이를 위하여 N_P 를 하나의 세션에 전달되는 평균 패킷의 개수, δ 을 각각의 패킷이 전송되는 사이 시간이라고 가정한다. 즉, CN은 N_P 개의 패킷을 UE에게 δ 의 간격으로 보낸다. 기존 LTE/SAE 네트워크의 데이터 처리율을 $P^{Central}$ 이라고 할 때 CN이 UE에게 전송하는 모든 패킷들은 먼저 P-GW에 도착하게 되고 미리 설정된 버퍼러들을 통하여 S-GW 그리고 eNodeB를 거쳐 UE까지 도착하게 된다. 이를 수식화하면 다음과 같다.

$$P^{Central} = \frac{N_P}{d^{Central} + \delta(N_P - 1)} \quad (5)$$

여기서 $d^{Central}$ 는 CN에서 UE까지의 종단 패킷 전달 시간으로 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} d^{Central} &= t_{CN-PGW} + t_{PGW-SGW} + t_{SGW-eNodeB} + t_{eNodeB-UE} \\ &= a \times L_{wd} + b \times L_{wl} + c \times L_{wd} + L_{wl} \\ &= (a + b + c) \times L_{wd} + L_{wl} \end{aligned} \quad (6)$$

제안하는 분산 LTE/SAE 네트워크에서의 데이터 처리율을 $P^{Distributed}$ 라고 정의하자. 이 때, $P^{Distributed}$ 는 PDN 내의 CN이 UE에게 전송하는 패킷들의 세션 생성 시점에 따라 달라진다. 만약, 해당 세션이 UE의 P-EGW 핸드오버 이전에 생성된 경우, CN이 UE에게 전송한 모든 패킷들은 먼저 Anchor P-EGW로 도착하게 되고 이 후 핸드오버 과정 중 생성된 터널을 통하여 Access P-EGW로 전달되고 eNodeB를 거쳐 최종적으로 UE까지 도착하게 된다 (Case I). 만약 CN이 생성한 세션이 UE의 P-EGW 핸드오버 이후에 생성된 경우 3장에서 설명한 동적 PDN 관리 정책에 입각하여, 변경된 P-EGW가 해당 세션에 대한 Anchor P-EGW의 역할을 수행하므로 새로운 P-EGW로 패킷이 직접 도

착하게 되고 이는 eNodeB를 거쳐 UE까지 도착하게 된다 (Case II). 이를 수식화하면 다음과 같다¹⁹⁾.

$$P^{Distributed} = \frac{N_P}{d^{distributed} + \delta(N_P - 1)} \quad (7)$$

여기서 $d^{distributed}$ 는 CN에서 UE까지의 종단 패킷 전달 시간으로 다음과 같이 표현된다.

4.3. 분석 결과

본 절에서는 이전 절에서 기술한 핸드오버 지연 시간 및 데이터 처리율 모델을 활용하여 성능 분석의 결과를 제시한다. 성능 분석을 위하여 표 1에서 제시한 각각의 파라미터 기본 값을 다음과 같이 설정하였다: $L_{wd} = 2ms$, $L_{wl} = 5ms$, $a = 7$, $b = 5$, $c = 6$, $d = 10$, $e = 2$, $f = 4$, $T_{L2} = 20ms$. 한편, 데이터 처리율과 관련된 두 파라미터에 대해서는 다음과 같이 설정하였다: $N_P = 10$, $\delta = 1ms$.

그림 8(a)는 e (P-EGW 사이의 평균 홉 수)에 따른 핸드오버 지연시간 변화를 보여준다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 기존 LTE/SAE 네트워크 및 제안하는 분산 LTE/SAE 네트워크 구조에서의 $T_{HO-X2}^{Central}$ 및 $T_{HO-X2}^{Distributed}$ 경우 수식 (1)과 (2)에 따라 T_{L3} 보다 T_{L2} 가 더 크기 때문에 $T_{L2} + L_{wl}$ (25ms)가 핸드오버 지연시간이 된다. 반면에, $T_{HO-S1}^{Central}$ 는 수식 (1)과 (3)에 따라 T_{L3} 가 T_{L2} 보다 더 크기 때문에 T_{L3} 의 시간인 $2 \times c \times L_{wd} + L_{wl}$ (29ms)이 핸드오버 지연시간이 된다. $T_{HO-S1}^{Distributed}$ 은 P-EGW 사이 홉 수인 e 의 값이 큰 경우 $T_{HO-S1}^{Central}$ 보다 크지만 e 의 값이 작을 때 $T_{HO-S1}^{Central}$ 보다 작아진다. 즉, 제안하는 구조에서 핸드오버 시간은 P-EGW 사이 홉 수가 작을수록 짧아짐을 알 수 있다.

그림 8(b)는 α 에 따른 핸드오버 지연시간의 변화를 보여준다. 여기서 α 는 f/c 로 eNodeB와 S-GW 사이 거리에 대한 eNodeB와 P-EGW 사

$$d^{distributed} = \begin{cases} \begin{aligned} &t_{CN-PEGW} + t_{PEGWs} + t_{PEGW-eNodeB} + t_{eNodeB-UE} \\ &= d \times L_{wd} + e \times L_{wd} + f \times L_{wd} + L_{wl} \\ &= (d + e + f) \times L_{wd} + L_{wl} \end{aligned} & \text{for Case I} \\ \begin{aligned} &t_{CN-PEGW} + t_{PEGW-eNodeB} + t_{eNodeB-UE} \\ &= d \times L_{wd} + f \times L_{wd} + L_{wl} \\ &= (d + f) \times L_{wd} + L_{wl} \end{aligned} & \text{for Case II} \end{cases} \quad (8)$$

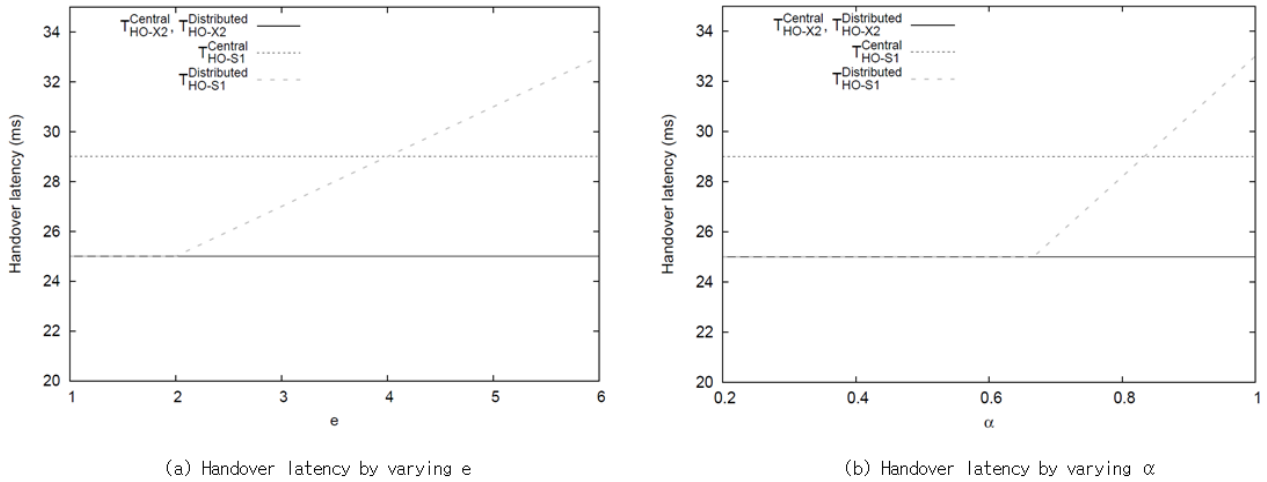


Fig. 8. Handover delay comparison

이 거리의 비율을 나타낸다. 그러므로, α 값은 P-EGW가 RAN과 인접한 곳에 배치될수록 0에 근접하고 코어 망에 가까이 배치될수록 1에 근접한다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 $T_{HO-S1}^{Distributed}$ 는 P-EGW가 코어 망에 근접하게 배치될수록 더 많은 시간이 소요됨을 볼 수 있다. 하지만, 핸드오버 시간을 줄이기 위해 P-EGW를 RAN에 인접하게 배치하게 되면 잦은 P-EGW의 변경이 요구될 수 있기 때문에 두 가지 요소, 즉 핸드오버 시간 및 핸드오버 빈도를 고려한 적절한 P-EGW 배치가 요구된다.

두 시스템간의 데이터 처리율을 분석하기 위하여 기존 LTE/SAE 네트워크에서의 데이터 처리율에 대한 제안하는 분산 LTE/SAE 네트워크에서의 상대적인 데이터 처리율을 R_T 라 명명하고 이를 다음

과 같이 정의한다.

$$R_T = P^{distributed} / P^{central} \quad (9)$$

만약 R_T 의 값이 1보다 크면 제안하는 분산 LTE/SAE 네트워크에서의 데이터 처리율이 기존 LTE/SAE 네트워크에서의 데이터 처리율에 비하여 더 높다고 볼 수 있다.

그림 9(a)는 e 에 따른 R_T 의 변화를 보여준다. 제안하는 분산 LTE/SAE 네트워크 구조에서 CN이 UE에게 데이터 패킷을 전송할 때, 그 패킷들은 SAE내의 P-GW와 S-GW를 경유할 필요 없이 직접 P-EGW를 통하여 보다 최적화된 경로로 전송될 수 있기 때문에 일반적으로 (특히, $P^{Distributed}$ 가 Case II을 따를 경우)

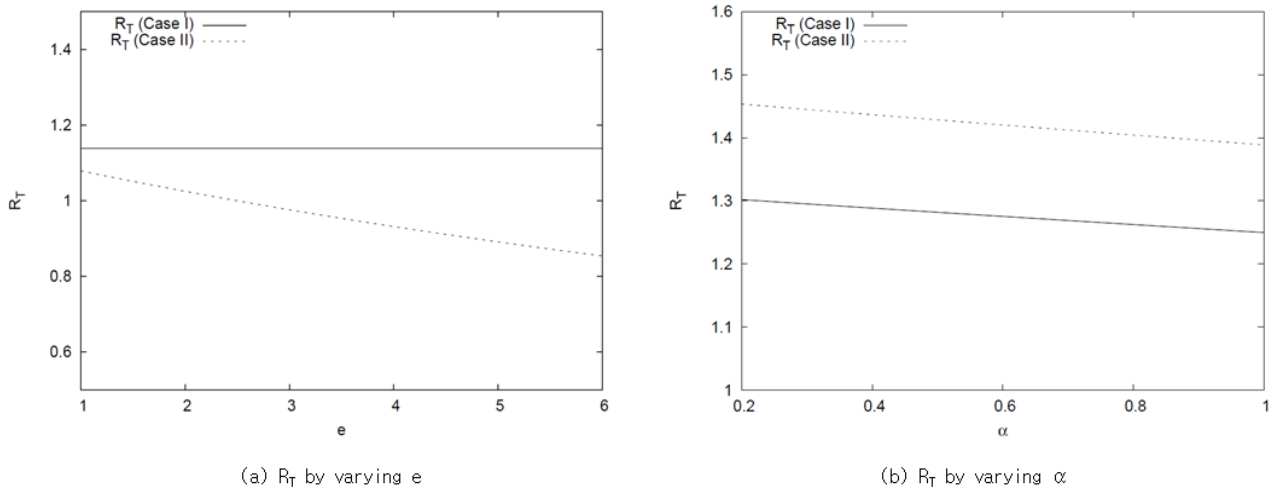


Fig. 9. Throughput comparison

$P^{Distributed}$ 는 $P^{Central}$ 보다 나은 성능을 보인다. 하지만 $P^{Distributed}$ 가 Case I을 따를 경우, e 가 증가함에 따라 P-EGW간 데이터를 전송하는데 드는 시간이 늘어나게 되어 R_T 가 1보다 작게 되는 경우가 발생하기도 한다.

그림 9(b)는 α (P-EGW의 위치)에 따른 상대적 데이터 처리율을 보여준다. $P^{Distributed}$ 는 P-EGW가 RAN에 근접하게 배치될수록 Traffic Offload의 효과를 가져와 보다 최적화된 경로로 데이터가 전송되기 때문에 R_T 가 1보다 커지는 것을 알 수 있다. 게다가 실제 LTE/SAE 네트워크내의 데이터 전송은 패킷마다 GTP 헤더를 수반한다고 볼 때, P-EGW에서 트래픽 부하감량을 하는 분산 LTE/SAE 네트워크에서의 실제 데이터 처리율은 기존 LTE/SAE 네트워크에 비해 더 높을 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 최근 급격한 모바일 인터넷 트래픽의 증가로 인한 3GPP LTE/SAE 네트워크에서의 트래픽 수용문제와 시스템 확장성 문제를 해결하기 위하여 LTE/SAE 네트워크에서의 분산 이동성 관리 방안을 제시하였다. 이를 위하여 LTE/SAE 네트워크에서 이동성 앵커를 담당하는 P-EGW들을 최대한 RAN에 가까이 분산 위치시키고, 사용자가 발생시킨 데이터 트래픽을 가능하면 코어 네트워크로 유입시키지 않고 RAN 근방에서 최적화된 경로로 목적지까지 전달하는 네트워크 구조를 제시하고 이에 적합한 분산 이동성 관리 방안을 제안하였다. 그리고 제안하는 분산 방식의 LTE/SAE 네트워크 구조와 기존 중앙 집중형 방식의 LTE/SAE 네트워크의 성능을 수학적으로 비교 분석함으로써 분산 이동성 방안의 유효성 및 효율성을 입증하였다. 한편, 제안하는 분산 LTE/SAE 구조에서는 P-EGW가 임의의 세션에 대한 앵커 역할을 담당하기 때문에 만약에 해당 세션이 오랫동안 유지되는 가운데 UE가 계속해서 이동을 하게 된다면 Access P-EGW와 Anchor P-EGW가 멀어져서 세션의 라우팅 경로가 길어지는 현상이 발생할 수 있다. 그러므로, 향후 연구에서는 분산 LTE/SAE 구조에서 데이터 트래픽의 경로 최적화 방안을 연구할 예정이다.

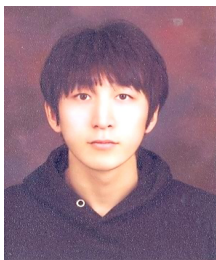
References

- [1] Morgan Stanley Reports, Internet Trends, Apr. 2010.
- [2] Cisco, Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, Cisco White Paper, 2011-2016, Feb. 2010.
- [3] 3GPP, General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, 3GPP TS 23.401.
- [4] 3GPP, Mobility between 3GPP Wireless Local Area Network (WLAN) interworking (I-WLAN) and 3GPP systems; General Packet Radio System (GPRS) and 3GPP I-WLAN aspects, 3GPP TS 24.327.
- [5] 3GPP, Direct tunnel deployment guideline, 3GPP TR 23.919.
- [6] 3GPP, Service requirements for Home Node B (HNB) and Home eNode B (HeNB), 3GPP TS 22.220.
- [7] 3GPP, Local IP Access and Selected IP Traffic Offload (LIPA-SIPTO), 3GPP TS 23.829.
- [8] P. Bertin, S. Bonjour, and J.-M. Bonnin, "A distributed dynamic mobility management scheme designed for flat IP architectures," in Proc. New Technol., Mobility, Security (NTMS), pp. 1-5, Tangier, Morocco, Nov. 2008.
- [9] P. Bertin, S. Bonjour, and J.-M. Bonnin, "Distributed or centralized mobility?," in Proc. IEEE GLOBECOM, pp. 1-6, Honolulu, U.S.A., Dec. 2009.
- [10] H. Chan, "Requirement of Distributed Mobility Management," IETF Internet Draft, draft-chan-dmm-requirements-00, Mar. 2012.
- [11] H. Chan, "Proxy mobile IP with distributed mobility anchors," in Proc. IEEE GLOBECOM Workshops (GC Workshops), pp. 16-20, Miami, U.S.A., Dec. 2010.
- [12] B. Sarikaya, "Distributed mobile IPv6," IETF Internet Draft, draft-sarikaya-dmm-dmipv6-00, Feb. 2012.
- [13] C. Bernardos et al., "A PMIPv6-based solution for Distributed Mobility Management," IETF

Internet Draft, draft-bernardos-dmm-pmip-01, Mar. 2012.

- [14] P. Seite and P. Bertin, "Distributed Mobility Anchoring," *IETF Internet Draft*, draft-seitedmm-dma-00, Feb. 2012.
- [15] 3GPP, *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description*, 3GPP TS 36.300.
- [16] K. Kim, H. Jung, and J. Lee, "A Seamless voice call handover scheme for the 3G LTE system," *J. Korean Inform. Commun. Soc. (KICS)*, vol. 35, no. 2, pp. 174-185, Feb. 2010.
- [17] J. H. Kim, "Network evolution stages and characteristics of LTE/LTE-Advanced system." *J. Inst. Electron. Eng. Korea (IEEK)*, vol. 49-TC, no. 6, pp. 71-76, June 2012.
- [18] 3GPP, *Local IP access (LIPA) mobility and Selected IP Traffic Overload (SIPTO) at the local network*, 3GPP TR 23.859.
- [19] J.-H. Lee, J.-M. Bonnin, and X. Lagrange, "Host-based distributed mobility management support protocol for IPv6 mobile networks," in *Proc. IEEE 8th Int. Conf. Wireless Mobile Comput. Networking, Commun. (WiMob)*, pp. 61-68, Barcelona, Spain, Oct. 2012.

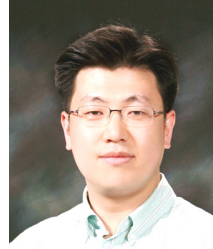
김 용 환 (Yong-hwan Kim)



2005년 3월 한국기술교육대학교 공학 학사
 2008 8월 한국기술교육대학교 정보미디어공학과 석사
 2010 8월 한국기술교육대학교 컴퓨터공학과 박사 수료
 <관심분야> Mobility Management,

Social Networks, Sensor Networks

한 연 희 (Youn-Hee Han)



1996년 2월 고려대학교 수학과 (이학사)
 1998년 5월 고려대학교 컴퓨터학과(이학석사)
 2002년 2월 고려대학교 컴퓨터학과(이학박사)
 2002년 2월~2006년 2월 삼성

종합기술원 전문연구원

2006년 3월~현재 한국기술교육대학교 부교수

<관심분야> Mobility Management, Social Networks, Future Internet

김 민 (Min Kim)



2005년 8월 광운대학교 전자통신공학 (학사)
 2009년 8월 광운대학교 전자통신공학 (석사)
 2010년 1월~현재 삼성전자 DMC 연구소 선임 연구원
 <관심분야> Mobile Network,

Ad-Hoc Network, Future Internet

박 용 석 (Seok Yong Park)



* 1986년 2월 서울대학교 전자공학과 (학사)
 1988년 2월 서울대학교 전자공학과 (석사)
 1996년 5월 미국 퍼듀대학교 전기공학과 (박사)
 2002년 2월~현재 삼성전자

DMC 연구소 수석 연구원

<관심분야> Smartphone Network Middleware, Future Internet

문 상 준 (Sang Jun Moon)



× 1993년, 서울대 전자공학과 이
학사
1995년, 서울대 전자공학과 석사
2000년, 서울대 전기전자컴퓨터
공학부 박사
2000년~현재, 삼성전자 근무
<관심분야> Mobility

Management, Future Internet, Smartphone
Networking

이 진 호 (Jin Ho Lee)



1997년 2월 성균관대학교 정보
공학과 (학사)
1999년 2월 성균관대학교 전기
전자컴퓨터공학과 (석사)
2005년 8월 University of
Florida Computer and
Information Science

Engineering (박사)

2005년 11월~현재 삼성전자 DMC 연구소 책임 연
구원

<관심분야> Smartphone Traffic Management,
Cloud Computing

최 대 규 (Dae Kyu Choi)



2002년 2월 성균관대학교 정보
통신공학과(학사)
2004년 2월 성균관대학교 전기
전자및컴퓨터학과(석사)
2003년 12월~현재 삼성전자
DMC 연구소 책임 연구원
<관심분야> Mobile Network,

Ad-Hoc Network, Future Internet