

펄토셀 네트워크에서 LIPA를 이용한 모바일 데이터 트래픽 오프로드 성능 분석

김세진*, 배상현**

The Performance Analysis of Mobile Data Traffic Offload using LIPA in Femtocell Networks

Se-Jin Kim*, Sang-Hyun Bae**

요약 본 논문에서는 먼저 최근 급격히 증가하는 모바일 데이터 트래픽을 오프로드(Offload)시키는 Local IP Access (LIPA) 기술을 펄토셀 네트워크와 함께 소개한다. 이후, 전형적인 이동통신 시스템, 펄토셀 기반 시스템, 그리고 펄토셀과 LIPA를 함께 이용하는 시스템에서 맥내 모바일 데이터 트래픽을 전송할 때, 트래픽 전송시간과 이동통신 사업자망으로 전송되는 모바일 데이터 트래픽 확률에 대한 성능을 분석한다. 분석결과를 통해 차세대 이동통신 시스템에서 펄토셀과 LIPA를 함께 이용하면 이동통신 사업자망으로 전송되는 모바일 데이터 트래픽 부하를 감소시킬 뿐만 아니라 맥내 모바일 트래픽의 전송시간을 크게 줄이는 효과도 얻을 수 있음을 보인다. 즉, 전형적인 이동통신 시스템과 펄토셀 기반 시스템은 펄토셀과 LIPA를 함께 이용하는 시스템보다 인터넷 지연시간이 10ms에서 약 3배와 4배 정도 길었고, 인터넷 지연시간이 100ms에서 약 14배와 26배 정도 긴 결과를 보였다.

Abstract In this paper, we first introduce a mobile data traffic offload method called Local IP Access (LIPA) with femtocell networks. Then, we evaluate the traffic transmission time and probability of mobile data traffic that is transmitted to the core network (CN) when mobile devices transmit the mobile data traffic to indoor devices in three different scenarios, i.e., conventional systems, femtocell based systems, and femtocell and LIPA based systems. Through performance results, it is shown that the next generation mobile network with the femtocell and LIPA not only decrease the density of the mobile data traffic in CNs but also reduce the total transmission time of the mobile data traffic in indoor environments. That is, for the traffic transmission time, the conventional systems and femtocell based systems have 3 and 4 times higher than the femtocell and LIPA based systems, respectively, when the Internet delay is 10ms while 14 and 26 times higher than that, respectively, when the Internet delay is 100ms.

Key Words : Femtocell network, LIPA, Mobile communication, Data traffic, Offload

1. 서론

최근 스마트폰과 태블릿PC 등의 휴대단말 보급률이 크게 증가하면서 모바일 서비스 이용자들이 전송하는 모바일 데이터 트래픽도 급격하게 증가하고 있다. 그림 1은 2016년 2월 CISCO에서 전망

한 전세계 모바일 데이터 트래픽 변화를 나타낸다 [1]. 보고서 내용에 따르면 2015년부터 2020년까지 모바일 데이터 트래픽이 약 8.2배 증가될 것으로 예상되고 있다. 이로 인해 이동통신 사업자망(Core Network, CN)으로 집중되는 대규모 모바일 데이터 트래픽은 이동통신 사업자들(Mobile Network

*Department of Computer Science and Statistics, Chosun University, Gwangju, Korea

**Corresponding Author : Department of Computer Science and Statistics, Chosun University, Gwangju, Korea
(shbae@chosun.ac.kr)

Received January 12, 2017

Revised February 02, 2017

Accepted February 05, 2017

Operator, MNO)에게 해결해야만 하는 큰 문제가 되고 있다. 따라서, 최근 전세계 MNO들은 CN 증축 및 유지보수 비용(CAPAX/OPEX)을 현재 상태로 유지하면서도 이동통신 서비스의 품질(Quality of Service, QoS)을 보장 할 수 있는 모바일 데이터 트래픽 오프로드(Offload) 기술 개발에 관심을 집중하고 있다[2-3].

본 논문에서는 먼저 최근 차세대 이동통신 시스템에서 시스템 성능을 향상시키기 위한 팜토셀 네트워크와 CN으로 전송되는 맥내 모바일 데이터

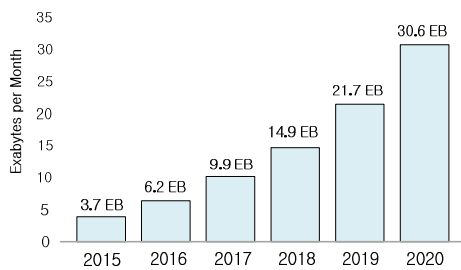


그림 1. 2015~2020년 전세계 모바일 데이터 트래픽 변화(CISCO, 2016)

Fig. 1 Global mobile data traffic from 2015 to 2020 (ISCO, 2016)

트래픽을 오프로드 시키는 3GPP 표준 Local IP Access (LIPA)를 소개한다[3-4]. 이후, 휴대단말이 모바일 데이터 트래픽을 홈서버 또는 스마트TV 등의 맥내 장치들로 전송하는 3가지 시나리오를 제시한다. 마지막으로 수학적 분석방법을 이용하여 모바일 데이터 트래픽 전송시간과 CN의 모바일 데이터 트래픽 확률을 분석한다. 분석결과를 통해 팜토셀 네트워크와 LIPA를 이용하면 CN으로 집중되는 모바일 데이터 트래픽을 크게 감소시킬 뿐만 아니라 평균 데이터 전송시간도 감소될 수 있음을 보인다.

2. 관련 연구

2.1 팜토셀 네트워크

팜토셀 네트워크는 서비스 범위가 0.5~5km인 기존 매크로 기지국(Macro Base Station, MBS)

보다 훨씬 범위가 작은 가정이나 사무실 등의 제한된 영역에서 소형 팜토셀 기지국(Femtocell access point, FAP)을 이용하여 이동통신 서비스를 제공하는 차세대 통신기술이다[4-11]. 그림 2는 휴대단말, FAP, 팜토셀 게이트웨이(Femtocell gateway, FGW), 그리고 Mobility Management Entity (MME) 등으로 구성된 팜토셀 네트워크 구조를 나타낸다. 즉, 맥내에 위치한 FAP는 인터넷을 통해 CN에 위치한 FGW와 연결되고, FGW는 다시 CN의 SGW와 MME, 그리고 MBS까지 연결된다. 따라서, FAP를 이용하면 MBS로 집중되는 모바일 데이터 트래픽을 인터넷으로 분산시켜 무선 통신에서 발생하는 자원 경쟁이 감소된다. 하지만, FAP는 휴대단말로부터 수신된 모바일 데이터

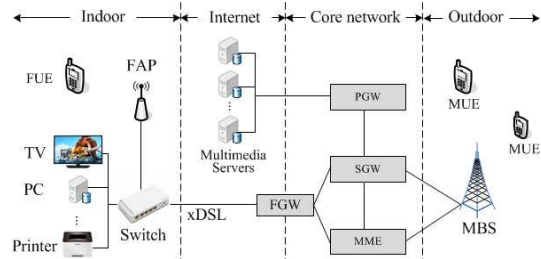


그림 2. 팜토셀 네트워크 시스템 구조

Fig. 2 System structure of femtocell networks

트래픽을 인터넷과 FGW를 경유하여 CN으로 전송하기 때문에, 결국 CN으로 집중되는 모바일 데이터 트래픽 문제는 해결되지 못한다.

2.2 LIPA

3GPP는 Release 10 에서 CN으로 집중되는 모바일 데이터 트래픽을 오프로드하기 위해 Selected IP Traffic Offload (SIPTO)와 LIPA 표준을 진행하였다[3]. SIPTO는 CN으로 전송되는 휴대단말의 인터넷 트래픽을 CN을 경유하지 않고 인터넷으로 직접 전송하는 오프로드 기술이다. SIPTO는 본 논문의 연구내용과 거리가 멀기 때문에 간단한 소개만 진행한다. LIPA는 FAP 내부에 위치한 Local Gateway (L-GW)를 이용하여 팜토셀 사용자 장비(Femtocell User Equipments, FUE)의 맥내 모바일

데이터 트래픽을 내부 망에서 처리될 수 있도록 오피로드 시키는 기술이다. 즉, 불필요하게 CN으로 전송되는 FUE의 맥내 모바일 데이터 트래픽을 줄여 CN의 부하를 감소시킬 뿐만 아니라 평균 데이터 전송시간을 감소시키는 효과도 얻을 수 있다.

3. 모바일 데이터 트래픽 전송 시나리오

표 1은 매크로 사용자 장비(Macro User Equipments, MUE) 또는 FUE가 맥내에 위치한 스마트TV와 홈서버 등의 맥내 장치들로 모바일 데이

표 1. 모바일 데이터 트래픽 전송 시나리오
Table 1. Mobile data traffic transmission scenarios

Scenario	Feature
1	From MUEs through the MBS and CN
2	From FUEs through the FAP and CN
3	From FUEs through the FAP with LIPA

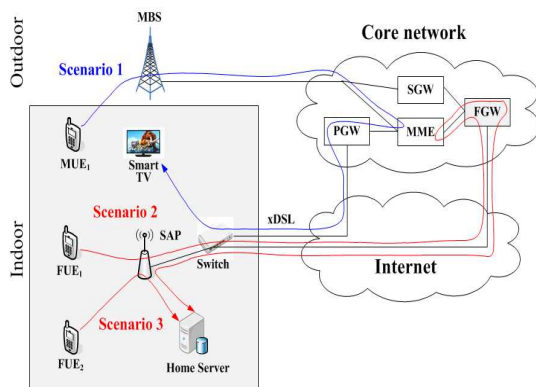


그림 3. 3가지 모바일 데이터 트래픽 전송 시나리오
Fig. 3 Three mobile data traffic transmission scenarios

터 트래픽을 전송하는 3가지 시나리오를 나타낸다. 즉, 시나리오 1은 FAP를 이용하지 않는 전형적인 이동통신 시스템, 시나리오 2는 FAP를 이용하는 펌토셀 기반 시스템, 그리고 시나리오 3은 FAP와 LIPA를 함께 이용하는 펌토셀과 LIPA 기반 시스템을 나타낸다.

그림 3은 표 1의 각 시나리오에서 MUE 또는 FUE가 맥내 장치로 모바일 데이터 트래픽을 전송할 때, 메시지가 전송되는 과정을 나타낸다. 시나

리오 1은 전형적인 이동통신 시스템에서 맥내·외에 위치한 MUE가 맥내의 장치로 모바일 데이터 트래픽을 전송하는 방법을 나타낸다. MUE의 모바일 데이터 트래픽은 MBS, CN, 인터넷, 그리고 맥내에 위치한 Switch를 경유한 후, 맥내 장치로 전송된다. 반면, 시나리오 2는 펌토셀 기반 시스템에서 맥내에 위치한 FUE가 맥내의 장치로 모바일 데이터 트래픽을 전송하는 방법을 나타낸다. FUE의 모바일 데이터 트래픽은 FAP와 인터넷을 경유하여 CN으로 전송된 후, 다시 인터넷과 FAP를 경유하여 맥내 장치로 전송된다. 마지막으로, 시나리오 3은 펌토셀과 LIPA를 이용하는 시스템에서 맥내에 위치한 FUE가 맥내의 장치로 모바일 데이터 트래픽을 우선 전송하는 방법을 나타낸다. 즉, FAP의 L-GW가 맥내 모바일 데이터 트래픽을 오피로드시켜 인터넷과 CN을 경유하지 않는다. 이를 위해, FUE의 모바일 데이터 트래픽을 수신한 FAP는 먼저 L-GW에 의해 트래픽이 전송되는 맥내 장치를 확인해야 한다. 이후, L-GW는 맥내에 위치한 장치로 전송되는 모바일 데이터 트래픽을 오피로드시켜 맥내 장치로 직접 전송하고, 그 외의 모바일 데이터 트래픽은 인터넷을 경유하여 CN으로 전송한다.

그림 4는 그림 3에서 설명한 3가지 시나리오에서 모바일 데이터 트래픽이 전송되는 흐름도를 나타낸다. 성능분석을 위해 TMUE-MBS, TMBS-MME, TInternet, TFAP-DEVICE, 그리고 TFUE-FAP 는 맥내에 위치한 MUE와 MBS 사이, MBS와 MME 사이, 인터넷 구간, FAP와 맥내 장치들 사이, 그리고 FUE와 FAP 사이에 모바일 데이터 트래픽을 전송하는 시간을 각각 나타낸다. 또한, TP_MUE, TP_MBS, TP_MME, TP_FAP, 그리고 TP_FUE 는 MUE, MBS, MME, FAP, 그리고 FUE 의 프로세싱 시간을 각각 나타낸다.

그림 4-(a)는 시나리오 1에서 모바일 데이터 트래픽의 흐름을 나타낸다. 즉, 전형적인 이동통신 시스템 환경에서 맥내·외 MUE가 MBS와 CN을 경유하여 맥내 장치들로 모바일 데이터 트래픽을 전송하는 경우이다. 따라서, 모바일 데이터 트래픽을

전송하는 시간, T_{Conv} ,은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned}
 T_{Conv} &= T_{MUE-MBS} + T_{P-MUE} \\
 &+ T_{MBS-MME} + T_{P-MBS} \\
 &+ T_{Internet} + T_{P-MME} \\
 &+ T_{P-FAP-DEVICE} + T_{P-FAP}
 \end{aligned} \quad (1)$$

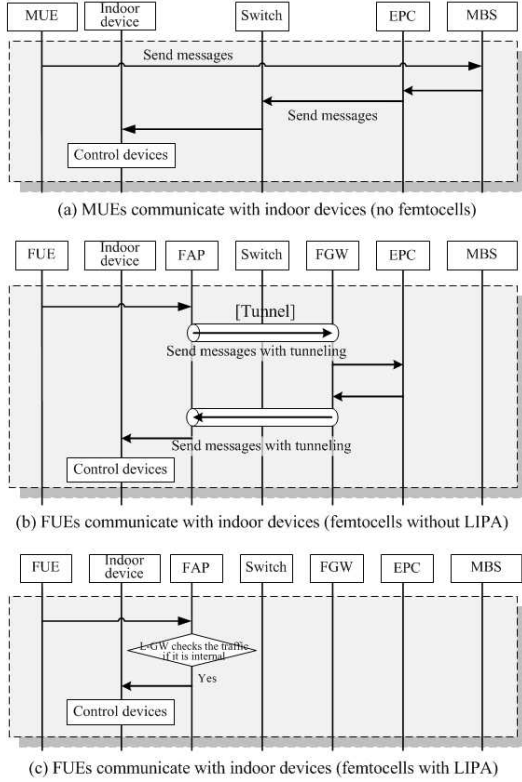


그림 4. 3 가지 시나리오에서 모바일 데이터 트래픽 흐름
Fig. 4 Flows of the mobile data traffic in 3 scenarios

그림 4-(b)는 시나리오 2에서 모바일 데이터 트래픽의 흐름을 나타낸다. 즉, FAP를 이용하는 펄트셀 기반 시스템 환경에서 맥내 FUE가 FAP와 CN을 경유하여 맥내 장치들로 모바일 데이터 트래픽을 전송하는 경우이다. 따라서, 모바일 데이터 트래픽을 전송하는 시간, T_{Femto} ,는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 T_{Femto} &= T_{FUE-FAP} + T_{P-FUE} + T_{Internet} \\
 &+ T_{P-FAP} + T_{Internet} + T_{P-MME} \\
 &+ T_{FAP-DEVICE} + T_{P-FAP}
 \end{aligned} \quad (2)$$

마지막으로, 그림 4-(c)는 시나리오 3에서 모바일 데이터 트래픽의 흐름을 나타낸다. 즉, FAP와 LIPA를 이용하는 펄트셀과 LIPA 기반 시스템 환경에서 맥내 FUE가 FAP를 경유하여 맥내 장치들로 직접 모바일 데이터 트래픽을 전송하는 경우이다.

표 2. 시스템 파라미터
Table 2. System parameters

Parameter	Value
$T_{MUE-MBS}$	2ms [12]
$T_{MUE-MME}$	7ms [12]
$T_{Internet}$	10~100ms
$T_{FAP-DEVICE}$	2ms [12]
$T_{FUE-FAP}$	2ms [12]
T_{P-MUE}	2ms [12]
T_{P-MBS}	2ms [12]
T_{P-MME}	2ms [12]
T_{P-FAP}	2ms [12]
T_{P-FUE}	2ms [12]

다. 이때, L-GW는 모바일 데이터 트래픽을 오프로드하며, 모바일 데이터 트래픽을 전송하는 시간, T_{Femto_LIPA} ,는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned}
 T_{Femto_LIPA} &= T_{FUE-FAP} + T_{P-ME} \\
 &+ T_{FAP-DEVICE} + T_{P-FAP}
 \end{aligned} \quad (3)$$

결과적으로, 그림 4-(a)와 (b)는 MUE 또는 FUE가 맥내 장치들로 모바일 데이터 트래픽을 전송할 때, CN을 경유해야만 한다. 반면, 그림 4-(c)는 FAP의 내부에 위치한 L-GW가 LIPA를 이용하여 맥내 모바일 데이터 트래픽을 오프로드하기 때문에 CN을 경유하지 않아도 된다. 따라서, 표 1에서 소개한 3가지 모바일 데이터 트래픽 전송 시나리오를 기반으로 CN으로 전송되는 모바일 데이터 트래픽 확률을 분석할 수 있다. 즉, CN으로 전송되는 모바일 데이터 트래픽 확률, P_{CN} ,은 다음과 같이 계산된다.

$$P_{CN} = \begin{cases} 1 & \text{for scenario 1 and 2} \\ 1 - P_{Indoor} & \text{for scenario 3} \end{cases} \quad (4)$$

여기에서 P_{Indoor} 는 MUE와 FUE가 맥내 장치로 전송하는 모바일 데이터 트래픽 확률을 나타낸다. 즉, 시나리오 1과 2 에서 MUE와 FUE가 맥내 장치로 전송하는 모바일 데이터 트래픽은 항상 CN을 경유하기 때문에 $P_{CN} = 1$ 이다. 반면, 시나리오 3에서는 FUE가 맥내 장치로 전송하는 모바일 데이터 트래픽을 L-GW가 맥내에서 오프로드 시키기 때문에 $P_{CN} = 1 - P_{Indoor}$ 이다.

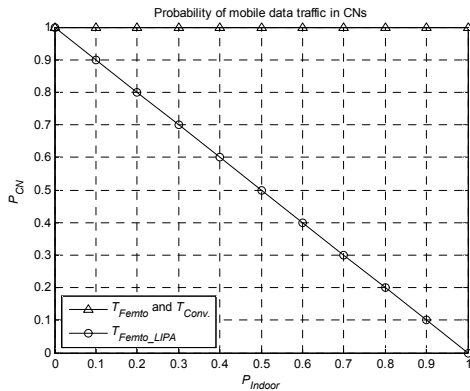


그림 5. CN으로 전송되는 모바일 데이터 트래픽 확률
Fig. 5 Probability of mobile data traffic in CNs

4. 성능 분석

본 절에서는 표 1에서 설명한 3가지 모바일 데이터 트래픽 전송 시나리오에 대한 모바일 데이터 트래픽 전송시간과 CN으로 전송되는 모바일 데이터 트래픽 확률을 분석한다. 표 2는 성능분석을 위한 시스템 파라미터를 나타낸다[12]. 인터넷 구간에서는 인터넷의 트래픽 밀도에 따라 CN으로 전송되는 모바일 데이터 트래픽의 전송시간이 다르기 때문에 $T_{Internet}$ 을 10ms부터 100ms 까지 변화시키며 분석한다.

그림 5는 $T_{Internet}$ 의 변화에 따른 각 시나리오에 대한 CN으로 전송되는 모바일 데이터 트래픽 확률을 분석한 결과이다. T_{Femto} 와 $T_{Conv.}$ 는 MUE와

FUE가 전송하는 모든 맥내의 모바일 데이터 트래픽을 CN으로 전송하기 때문에 $P_{CN} = 1$ 이다. 반면, T_{Femto_LIPA} 는 P_{Indoor} 가 증가함에 따라 CN으로 전송되는 FUE의 모바일 데이터 트래픽을 맥내에서 오프로드 시켜서 결과적으로 P_{CN} 이 감소된다. 따라서, 펌토셀과 LIPA를 함께 이용하면 CN으로 전송되는 불필요한 맥내 모바일 데이터 트래픽을 줄여 CN의 부하를 감소시킬 뿐만 아니라 트래픽 전송시간을 줄이는 효과도 있음을 알 수 있다.

그림 6은 $T_{Internet}$ 의 변화에 따른 각 시나리오에 대한 전체 모바일 데이터 트래픽 전송시간을 분석한 결과이다. $T_{Conv.}$ 는 MUE가 MBS를 경유하여 맥내 장치들과 모바일 데이터 트래픽을 전송하기

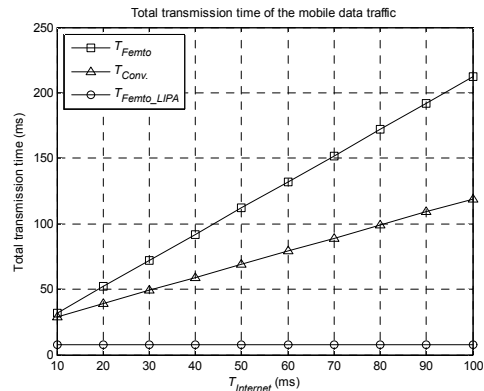


그림 6. 각 시나리오에 대한 모바일 데이터 트래픽의 전체 전송시간

Fig. 6 Total transmission time of the mobile data traffic for each scenario

때문에 CN과 인터넷을 경유한다. 또한, T_{Femto} 는 FUE가 FAP, 인터넷, 그리고 MME를 경유하여 모바일 데이터 트래픽을 전송하기 때문에 인터넷 구간을 두 번 경유하게 된다. 따라서, $T_{Internet}$ 이 증가함에 따라 $T_{Conv.}$ 와 T_{Femto} 의 전체 모바일 데이터 트래픽 전송시간은 크게 증가한다. 하지만, T_{Femto_LIPA} 는 FAP의 L-GW가 맥내 모바일 데이터 트래픽을 오프로드 시키기 때문에 $T_{Internet}$ 의 변화에 관계없이 항상 8ms 으로 일정한 성능을 유지한다. 분석결과를 통해 $T_{Internet}$ 이 10ms 일 때, $T_{Conv.}$ 과 T_{Femto} 는 T_{Femto_LIPA} 보다 약 3배와 4배 정도 전송시간이 긴 결과를 보인다. 또한, $T_{Internet}$

이 100ms 일 때, $T_{Conv.}$ 과 T_{Femto} 는 T_{Femto_LIPA} 보다 약 14배와 26배 정도 전송시간이 긴 결과를 보인다.

5. 결론

본 논문에서는 먼저 최근 급격히 증가하는 모바일 데이터 트래픽을 오프로드 시키는 LIPA 기술과 팜토셀에 대해 소개하였다. 이후, 전형적인 이동통신 시스템, FAP 이용하는 팜토셀 기반 시스템, 그리고 FAP와 LIPA를 함께 이용하는 팜토셀과 LIPA 기반 시스템에서 MUE와 FUE가 맥내장치로 모바일 데이터 트래픽을 전송하는 3가지 시나리오를 제시하고, 트래픽 전송시간과 CN으로 전송되는 모바일 데이터 트래픽 확률에 대한 성능을 분석하였다. 분석결과를 통해 차세대 이동통신 시스템에서 팜토셀만 이용하면 맥내 모바일 트래픽의 전송시간이 전형적인 시스템보다 더 증가함을 알 수 있었다. 하지만, 팜토셀과 LIPA를 함께 이용하면 CN으로 전송되는 불필요한 맥내 모바일 데이터 트래픽을 줄여 CN의 부하를 감소시킬 뿐만 아니라 트래픽 전송시간을 크게 줄이는 효과도 얻게 됨을 알 수 있었다. 즉, 전형적인 이동통신 시스템과 팜토셀 기반 시스템은 팜토셀과 LIPA를 함께 이용하는 시스템보다 인터넷 지연시간이 10ms에서 약 3배와 4배 정도 길었고, 인터넷 지연시간이 100ms에서 약 14배와 26배 정도 긴 결과를 보였다. 따라서, 차세대 이동통신 시스템에서는 팜토셀과 LIPA를 함께 이용할 필요가 있으며, 팜토셀 내부에 위치한 L-GW가 모바일 데이터 트래픽을 안전하고 효율적으로 분류할 수 있는 연구가 추가적으로 필요하다.

REFERENCES

[1] Cisco, "Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast, 2015-2020," February, 2016.
 [2] R. Maallawi, N. Agoulmine, B. Radier, T. B. Meriem, "A Comprehensive Survey on

Offload Techniques and Management in Wireless Access and Core Networks," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no.3, pp.1582-1604, 2015.
 [3] 3GPP TS 23.829 Local IP Access and Selected IP Traffic Offload (LIPA-SIPTO) (Release 10), October 2011.
 [4] 3GPP TS 22.220, Service Requirements for Home NodeB (HNB) and Home eNodeB (HeNB), 2009.
 [5] Hanchate, S., Borsune, S., Shahapure, S., "3GPP LTE Femtocell - Pros & Cons", *International Journal of Engineering Science & Advanced Technology*, vol.2, no.6, pp.1596-1602, 2012.
 [6] 3GPP TR 23.830, Architecture Aspects of Home NodeB and Home eNodeB, 2009.
 [7] Chandrasekhar, V., Andrews, J., Gatherer, A., "Femtocell Networks: A Survey," *IEEE Communications Magazine*, vol.46, no.9, pp.59-67, 2008.
 [8] Knisely, D., Yoshizawa, T., Favichia, F., "Standardization of femtocells in 3GPP," *IEEE Communications Magazine*, vol.47, no.9, pp.68-75, 2009.
 [9] 3GPP TR 36.942 V11.0.0, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Frequency (RF) System Scenarios, 2009.
 [10] Golaup, A., Mustapha, M., Patanapongpibul, L., "Femtocell Access Control Strategy in UMTS and LTE", *IEEE Communications Magazine*, vol.47, no.9, pp.117-123, 2009.
 [11] Kim, R., Kwak, J., Etemad, K., "WiMAX femtocell: requirements, challenges, and solutions," *IEEE Communications Magazine*, vol.47, no.9, pp.84-91, 2009.
 [12] Z. Li and M. Wilson, "User Plane and Control Plane Separation Framework for Home Base Stations," *Fujitsu Science Technology Journal*, vol. 46, no.1, pp. 79-86, 2010.

저자약력

김 세 진(Se-Jin Kim)

[일반회원]



- 2004년 2월 : 조선대학교 전산학과 (이학사)
- 2006년 2월 : 고려대학교 대학원 전산학과 (이학석사)
- 2010년 8월 : 고려대학교 대학원 전산학과 (이학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 조선대학교 컴퓨터통계학과 교수

<관심분야>

이동통신, 사물인터넷, 빅데이터

배 상 현(Sang-Hyun Bae)

[중신회원]



- 1982년 2월 : 조선대학교 전기공학과 (공학사)
- 1984년 2월 : 조선대학교 전기공학과 (공학석사)
- 1988년 4월 : 동경도립대학 정보과학과 (공학박사)
- 1988년 9월 ~ 현재 : 조선대학교 컴퓨터통계학과 교수

<관심분야>

인공지능, 멀티미디어시스템