

# DANCE : 초고밀도 통신망에서의 소형기지국 온-오프 알고리즘

이길수\*, 김홍석°, 김영태\*, 김병훈\*

## DANCE: Small AP On/Off Algorithms in Ultra Dense Wireless Network

Gilsoo Lee\*, Hongseok Kim°, Young-Tae Kim\*, Byoung-Hoon Kim\*

### 요 약

급증하는 데이터 트래픽을 셀룰러 망에서 처리하기 위한 대안으로 스몰셀이 관심을 받고 있다. 나아가, 스몰셀의 배치밀도는 점차 높아지고 있어 Ultra Dense Network (UDN) 환경이 도래할 것으로 예상된다. 따라서 본 논문에서는 UDN 환경에서 소형기지국의 온/오프를 제어하기 위한 방법을 연구한다. 본 논문에서는 소형 Access Point(AP), user equipment (UE), Small Cell Controller (SCC)로 구성된 프레임워크를 제안하고 이를 기반으로 켜져 있는 기지국 수는 최소화 하며, 네트워크 쓰루풋을 유지시키기 위한 소형기지국 온/오프 방법으로 UE와 같은 사용자 디바이스가 SCC로 피드백하는 채널정보를 활용하는 DANCE 알고리즘을 제안한다. DANCE 알고리즘은 피드백이 1-bit인 경우와 N-bit인 경우, 그리고 활성화시키는 소형AP를 선택하는 기준에 따른 AP-first, UE-first, Proximity ON 등으로 세분화할 수 있다. 본 연구에서는 시뮬레이션을 통해 UE의 수와 네트워크의 쓰루풋, 에너지 효율의 관계를 분석한 후, DANCE 알고리즘을 통해 에너지 효율을 높일 수 있음을 보인다.

**Key Words** : Green communication, Base station operation, Small cell, Ultra dense network, Energy efficient

### ABSTRACT

Deploying small cells is a reliable and influential solution to handle the skyrocketing traffic increase in the cellular network, and the small cell technology is evolving to ultra-dense network (UDN). In this paper we propose a small cell on/off algorithm with a simple but essential framework composed of access point (AP), user equipment (UE), and small cell controller (SCC). We propose Device-Assisted Networking for Cellular grEening (DANCE) algorithms that save the energy consumption by trying to minimize the number of turned-on APs while maintaining the network throughput. In doing so, SCC firstly gathers the feedback messages from UEs and then makes a decision including a set of turned-on APs and user association. DANCE algorithm has several variations depending on the number of bits of the UE's feedback message (1 bit vs. N bit), and is divided into AP-first, UE-first, or Proximity ON according to the criteria of selecting the turned-on APs. We perform extensive simulations under the realistic UDN environment, and the results confirm that the proposed algorithms, compared to the baseline, can significantly enhance the energy efficiency, e.g., more than a factor of 10.

※ 본 연구는 LG전자 지원으로 수행되었습니다.

◆ First Author : 서강대학교 전자공학과 융합통신망 연구실, gilsoolee@sogang.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : 서강대학교 전자공학과 융합통신망 연구실, hongseok@sogang.ac.kr, 중신회원

\* LG전자 차세대통신 연구소, youngtae99.kim@lge.com, 정회원, bh.kimg@lge.com

논문번호 : KICS2013-10-431, 접수일자 : 2013년 10월 6일, 심사일자 : 2013년 12월 15일, 최종논문접수일자 : 2013년 12월 26일

## I. 서 론

스마트폰, 태블릿 등 다양한 퍼스널 디바이스의 보급과 이를 활용한 어플리케이션의 사용으로 인해 셀룰러 망에서의 트래픽은 폭증하고 있다. 트래픽은 2017년까지 13배가 증가하여 전 세계 연간 모바일 데이터 트래픽은 134 EB에 달할 것으로 예상된다<sup>[1]</sup>. 트래픽 증가에 따른 에너지 소비 증가는 피할 수 없으며, 이는 이동통신사에게 운용지출(operational expenditure, OPEX)과 자본지출(capital expenditures, CAPEX)의 증가를 가져온다. 비용적인 측면 외에도, 우리는 에너지 소비 증가에 따른 CO2 배출을 고려해야 한다. 정보통신기술(Information and Communication Technology, ICT) 산업은 전세계 CO2 총 배출량의 2%를 차지하고 있다. 국제적인 탄소배출을 줄이기 위한 노력에 따라 정보통신기술 산업에서는 네트워크 그리닝(Greening)에 많은 노력과 관심을 기울이고 있다.

셀룰러 망의 용량을 늘리는 동시에 에너지 소비를 줄이기 위한 방법으로 높은 밀도의 스몰셀을 배치하는 것이 가능하다<sup>[2]</sup>. 켈컴[3]의 경우 스몰셀을 높은 밀도로 설치하는 방법 등 여러 기술을 이용하여 1,000배의 에너지 효율을 달성하는 것을 목표로 하고 있다. 현재의 셀룰러망은 기존의 매크로셀(macro cell) 위주에서 이종 스몰셀(Heterogeneous and Small Cell) 형태로 진화하고 있다. 이런 스몰셀 환경은 기지국이 가지는 커버리지가 수 십미터에서 십지어는 수 미터 정도까지 작아져 Ultra Dense Network(UDN)으로 진화할 것으로 예상된다. 이러한 UDN을 구성하는 소형의 기지국들은 기존에 펌토셀(femto cell), 피코셀(pico cell)과 같은 이름으로 불리던 기지국들을 포함하는 집합이라고 할 수 있다. UDN을 구성하는 많은 소형 기지국들은 이동통신사에 의해서 사전 계획 하에 설치되기 보다는 사용자가 필요에 의해 직접 설치하는 형태가 될 것이다. 본 논문에서는 소형 기지국이 WiFi Access Point와 유사하게 필요에 따라 임의적으로 설치되는 특성을 나타내어 소형 기지국을 통칭하여 소형 Access Point(AP)라 하도록 한다.

사용자에 의해 설치되는 매우 많은 수의 소형AP는 상황에 따라 서비스하는 user equipment(UE)가 없을 수 있으며 이런 소형AP를 켜 놓으면 불필요하게 에너지가 낭비되게 된다. 그에 따라, 소형AP의 구조, 토폴로지 및 운영에 있어서 에너지 효율을 높이기 위한 방법이 필요하며 이와 관련된 많은 연

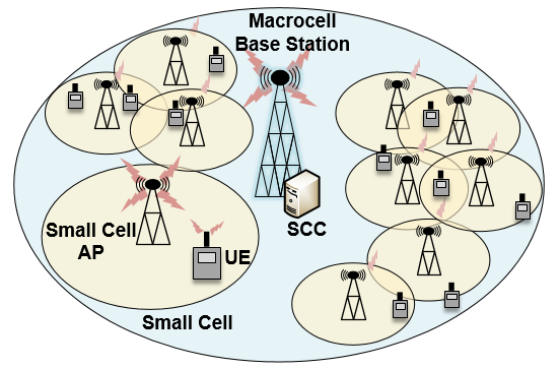


그림 1. 매크로셀과 여러 개의 소형AP로 이루어진 UDN 환경  
Fig. 1. UDN environment consisted of a macro cell and a lot of small APs

구가 진행되고 있다. [4]에서는 소형AP의 구조에서 제어신호와 데이터를 분리하고 네트워크의 무선전송 오버헤드를 줄이고 토폴로지 바꾸어 최적화한 결과 에너지 효율을 약 53% 향상 시킬 수 있을 것이라는 결과를 보여준다. 소형AP의 출력을 줄여서 네트워크에서 소모되는 에너지를 줄이는 방법 또한 제안되었다<sup>[5]</sup>. 소형AP가 사용되지 않을 경우에 소형AP를 슬립모드로 들어가도록 하여 에너지 효율을 높일 수 있는 SLEEP 알고리즘[6]이 제안되었다. [6]에서는 소형AP의 사용자의 통화가 없으면 슬립모드로 들어가게 되며 이 동작은 스몰셀, UE 또는 코어 네트워크가 주체가 되어 제어할 수 있다. [7]에서는 많은 스몰셀이 매크로셀 안에 위치하고 있을 때, 켜지는 소형AP의 숫자를 최소화할 수 있는 알고리즘을 제안하였다.

본 연구에서 고려하는 UDN 구조는 그림 1과 같다. 그림1에서는 하나의 큰 매크로셀이 전체의 단말들을 서비스 할 수 있다. 매크로셀은 셀룰러 망에서 커버리지 홀(Coverage Hole)을 방지하는 역할을 한다. 가령, 여러 개의 소형AP들이 중첩되어 커버리지를 구성하는 동시에 그 전체를 관장하는 매크로셀이 중첩되게 존재하는 오버레이 네트워크(Overlaid Network) 형태가 된다. 이는 사용자가 음성통화와 같은 실시간성이 중요시되는 서비스를 제공받는 도중에 커버리지 홀로 이동하여 통화가 끊어지는 것(Call Drop)과 같은 서비스의 중단이 발생하는 것을 미연에 방지하는 효과를 가진다. 매크로셀은 전체 네트워크의 제어 정보를 처리하는데 사용할 수도 있다. 반면 UDN은 셀룰러 망의 용량 증대(capacity boost)용으로 주로 사용되며, 소형AP간

에 커버리지가 서로 중첩될 수도 있다. 따라서 소형 AP의 개수가 굉장히 많은 경우 연결된 단말이 없는 소형AP 들이 다수 존재할 수 있고, 공간간적인 사용패턴에 따라서 연결된 단말이 없는 소형AP의 전원을 동적으로 비활성화(오프) 시킴으로써 기지국에서의 에너지 소비를 줄일 수 있다.

본 논문에서는 UDN환경에서 그린 셀룰러 네트워크를 구현하기 위한 소형AP, UE, 스몰셀 제어기 (Small Cell Controller, SCC)로 이루어진 시스템 구성과 각 요소의 유기적인 동작으로 구성된 그린 기지국 프레임워크를 소개한다. 본 논문에서는 시공간적으로 트래픽이 변화할 때 에너지 소비를 줄이기 위해, 활성화시킬 소형AP의 개수를 최소한으로 하며 전체 네트워크 쓰루풋을 최대화시킬 수 있는 Device-Assisted Networking for Cellular grEening (DANCE) 알고리즘을 제안한다. 그리고 실제와 유사한 환경에서의 시뮬레이션을 통해 제안하는 DANCE 알고리즘이 UDN환경에서 에너지 소비를 줄일 수 있음을 보인다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 시스템 모델을 소개하고, 3장에서는 소형 기지국 온/오프 제어 위한 DANCE 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 모의실험을 통한 시스템 성능을 분석 한 후, 5장에서 결론을 맺으며 향후 연구방향에 대해 고찰한다.

## II. 시스템 모델

### 2.1. 시스템 구성요소

본 연구에서는 단말(UE)의 도움을 얻어 매크로 기지국에 위치한 스몰셀 제어기(SCC)가 소형AP의 전원을 효율적으로 활성화/비활성화(온/오프)하여 전력소비를 최소화하는 동시에 사용자가 체감하는 네트워크 성능 저하를 최소화하는 방법을 연구하였으며, 이를 위하여 매크로셀에 위치한 모든 소형AP를 ON 시켜놓는 대신, UE의 분포에 따라 필요한 소형AP만을 활성화 시키는 알고리즘을 제안하였다. 따라서 본 알고리즘에서는 3GPP LTE의 시스템 구성을 고려하여 소형AP, UE, SCC로 이루어진 시스템 구성을 제안하였다.

그림1과 같은 시스템 구성에서, 소형AP들은 연결된 단말이 없는 상태로 일정 시간이 지나면 스스로 비활성화 상태에 들어간다. 비활성화된 소형AP들은 주기적으로 준활성화 상태가 되어 비콘(Beacon) 메시지를 송출한다. 이 비콘 메시지는 Access Point

Identifier(APID)를 포함하고 있다. APID는 eNodeB Identifier (eND-ID)와 유사한 소형AP 고유의 ID를 의미하며, APID가 포함된 비콘 메시지를 수신한 UE는 해당 비콘 메시지가 어느 소형AP로부터 온 것인지 알 수 있다. 비콘 메시지를 수신한 UE는 비콘 메시지의 수신 여부 또는 신호세기로부터 추정된 전송가능속도를 자신이 연결된 소형AP 또는 매크로 기지국에 리포트 메시지에 담아 피드백하며, 이러한 리포트는 매크로 기지국에 위치한 SCC로 모인다. SCC는 UE들이 전송한 리포트를 바탕으로 UE의 공간적인 분포를 알 수 있고, 그에 따라 에너지 효율과 네트워크 쓰루풋을 동시에 고려하여 어느 소형AP를 켜는 것이 좋을지를 DANCE 알고리즘을 수행하여 결정한 후 이 정보를 AP-ON 메시지에 담아 브로드캐스트 한다. 준활성화 상태의 소형AP는 AP-ON 메시지를 듣고 AP-ON 메시지 필드에서 자신의 활성화 비트(ActivationBit)를 체크한 후 활성화/비활성화를 결정한다. 그리고 경우에 따라, UE는 SCC를 거치지 않고 소형AP를 빠르게 깨울 수도 있으며, 이 경우 소형AP는 업링크 채널(예를 들어, Physical Uplink Shared Channel (PUSCH) 등)을 통해 전송되는 UE의 활성화 요구에 응답한다.

### 2.2. 시스템 동작

#### 2.2.1. 소형AP 동작

본 알고리즘에서 소형AP는 스스로 비활성화 결정을 내린다. 그림 2에서, 소형AP는 서비스 하는 단말이 없는 경우 일정시간 Sleep Time ( $T_s$ )만큼 대기한 후에 스스로 전원을 오프하여 비활성화가 된다. 소형AP는 매크로셀의 기지국과는 다르게 빠른 재가동이 가능한 특성이 있다. 따라서 스스로 전원을 오프하여 비활성화 되어도 새로운 단말이 커버리지 내에 들어올 경우 소형AP는 빠르게 활성화 상태로 전환이 가능하다.

전원이 오프되어 있는 소형AP는 주기  $T_b$ 마다 스스로 준활성화 상태로 켜져서 APID를 브로드캐스트하여 자신의 커버리지 내에 있는 UE들에게 소형AP의 존재를 알려준다. 이러한 자신의 존재를 알리는 신호를 비콘 메시지라 하며,  $T_b$ 주기로 전송된다. 또 소형AP들은 동기화되어  $T_b$ 마다 SCC로부터 메시지를 수신한다.  $T_b$ 의 길이는 성능에 관련된 파라미터로 예를 들어, LTE 표준에서 셀 탐색에 사용하는 System Information Block (SIB)의 주기를 고

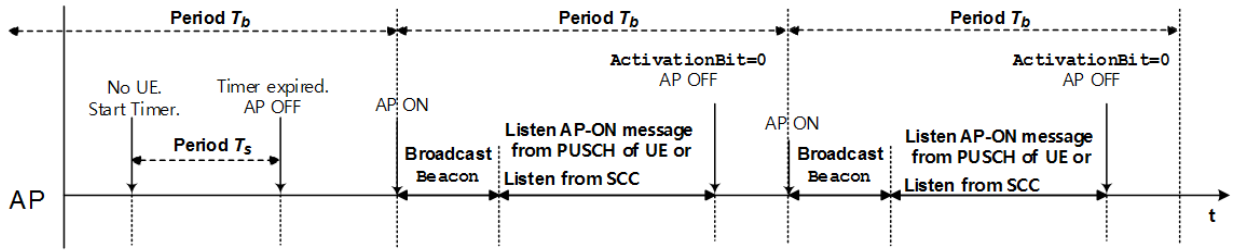


그림 2. 소형AP 비활성화 과정: 주기적으로 비콘 메시지를 송출하고 AP-ON 메시지를 확인한다.  
Fig. 2. Turned-off Procedure: periodically broadcast Beacon and listen AP-ON messages.

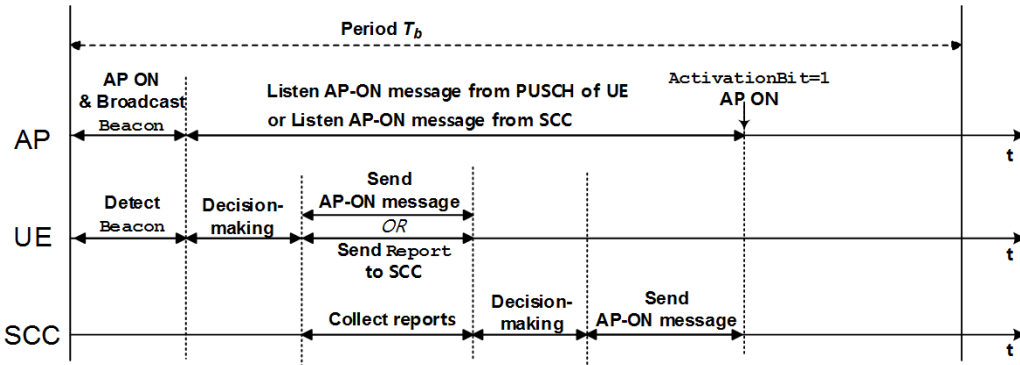


그림 3. 소형AP 활성화 과정  
Fig. 3. Turned-on Procedure

려하여 이것의 정수배로 정할 수 있다.

소형AP는 비콘 메시지를 송출하는 다음 과정으로 유선 또는 무선으로 연결된 SCC로부터 AP-ON 메시지를 수신한다. 또는 경우에 따라서 업링크 채널(예를 들어, physical uplink shared channel (PUSCH))을 사용하여 UE로부터 AP-ON 메시지를 수신한다. 소형AP는 SCC 또는 UE로부터 받은 AP-ON 메시지에서 자신의 활성화 비트를 체크하고 결과에 따라서 소형AP가 활성화 된다.

### 2.2.2. UE 동작

UE는 자신의 이동성(mobility)을 측정할 수 있다. 또한 앞서 기술한 비콘 메시지의 수신을 통해 소형 AP(또는 매크로셀)의 채널의 강도를 Reference Signal Received Power (RSRP), Receive Strength Signal Indicator (RSSI)로 구해지는 Reference Signal Received Quality (RSRQ)를 계산하여 채널의 품질(Channel Quality Indicator, CQI)을 판단할 수 있다. 따라서 본 알고리즘에서는 UE의 피드백을 핵심적인 정보로 활용한다.

UE는 주기  $T_b$ 마다 소형AP가 송출하는 비콘 메시지를 수신하고, UE와 소형AP의 연결가능성 (1 또는 0으로 표현) 또는 실질적으로 얻을 수 있는

전송가능속도 (가령 Adaptive Modulation and Coding (AMC) 적용시의 전송속도) 등을 포함한 리포트 메시지를 SCC로 피드백 한다. 경우에 따라서는, UE가 SCC로 리포트 메시지를 피드백 하는 대신 UE가 비콘 메시지를 수신하면 소형AP와의 연결가능성을 측정한 CQI 정보 등을 활용해 판단하고 적절한 알고리즘을 통해 주변의 소형AP들 중에서 활성화 시킬 소형AP를 결정할 수 있다. 이런 UE의 결정은 업링크 채널인 PUSCH를 사용하여 AP로 AP-ON 메시지를 전송될 수 있다.

### 2.2.3. SCC 동작

SCC는 여러 UE들이 보낸 리포트 메시지들을 토대로 다음 번 주기  $T_b$ 에 활성화 시킬 소형AP를 결정하는데 본 논문에서 제안하는 DANCE 알고리즘을 사용한다. UE가 피드백 한 리포트 메시지는 행렬 A로 표시된다. 즉, 행렬 A는 J개의 소형AP j와 I개의 UE i로 구성된  $I \times J$  크기의 행렬이다. 행렬 A를 만드는 방법은 표 1과 같이 행렬 A의 원소가 전송가능속도를 나타낼 수 있는 'N bit' 또는 전송가능 여부만을 나타낼 수 있는 '1 bit'으로 나뉜다.

소형AP와 UE의 밀도의 대소에 따라 행렬 A는 다른 특성을 가지며, 이 특성에 따라 활성화 시키는

1-bit feedback	N-bit feedback
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>A_{ij} = \{1, 0\}</math></li> <li>- Only represents the connectivity</li> <li>- Highly depends on the possible cell range</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>A_{ij} = \{\text{throughput}\}</math></li> <li>- Throughput can be quantized by using the adaptive modulation and coding (AMC).</li> </ul>
$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} AP_1 & AP_2 & AP_3 & AP_4 & AP_5 & AP_6 & \dots & AP_{j-1} & AP_j \end{matrix} \\ \begin{matrix} UE_1 \\ UE_2 \\ UE_3 \\ UE_4 \\ \vdots \\ UE_{i-1} \\ UE_i \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$	$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} AP_1 & AP_2 & AP_3 & AP_4 & AP_5 & AP_6 & \dots & AP_{j-1} & AP_j \end{matrix} \\ \begin{matrix} UE_1 \\ UE_2 \\ UE_3 \\ UE_4 \\ \vdots \\ UE_{i-1} \\ UE_i \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 7 & 9 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 5 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 3 & 7 & 9 & 6 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 3 & \dots & 1 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 1 & 0 \\ 1 & 4 & 6 & 5 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$

표 1. UE의 피드백으로부터 행렬 A를 구성하는 방법  
Fig 1. Constructing matrix A from feedback messages of UEs

소형AP의 집합을 구하는 것은 다른 특성을 가진다. 첫 번째 경우는 소형AP j의 밀도보다 UE i의 밀도가 더 높은 경우로 예를 들어 적은 수의 매크로셀이 많은 수의 UE를 서비스하고 있을 때이다. 이 경우에는 행렬 A가 tall matrix가 되어 활성화 시킬 소형AP의 집합을 결정하는 것은 어려운 문제이다. 두 번째 경우는 소형AP가 매우 높은 밀도로 배치되어 있으며, 상대적으로 UE는 낮은 밀도로 존재하는 경우이다. 이 경우는 본 논문에서 제안하는 DANCE 알고리즘이 가정하고 있는 UDN 환경과 같으며, 소형AP j의 수가 UE i의 수보다 많기 때문에 행렬 A가 열의 개수가 행의 개수보다 많은 fat matrix된다. 또한 행렬 A는 sparse matrix의 특징을 가진다. 이 경우 활성화 시킬 소형AP는 비교적 명확히 결정할 수 있다. 따라서 행렬 A가 주어졌을 때 SCC에서 DANCE 알고리즘을 사용하면 활성화 시킬 소형AP를 결정할 수 있고 이 결과를 행렬 S로 나타낸다. 행렬 S의 각 행은 UE i를 나타내며 각 열은 소형AP j를 나타낸다. 만약  $S_{ij} = 1$  이면 UE i가 소형AP j에 연결된 것을 나타내며,  $S_{ij} = 0$ 이면 연결되지 않은 것을 나타낸다.

본 연구에서 풀고자 하는 문제는 다음과 같이 나타낼 수 있다. 활성화 시킬 소형AP의 개수는 최소한으로 하며 전체 쓰루풋(throughput)을 최대화시키기 위한 목적함수(objective function)  $F(A, S)$ 는

$$\max. \sum_j \sum_i \frac{A_{ij} S_{ij}}{S_j} - \eta \sum_j P_j \times 1(S_j)$$

이다. 여기서  $1(S_j) := \begin{cases} 1, & S_j > 0 \\ 0, & S_j = 0 \end{cases}$  이고,

$S_j = \sum_{i=1}^I S_{ij}$ 이다. 파라미터  $\eta \in [0, \infty)$ 는 전송속도와 에너지 소비 사이의 가중치(tradeoff parameter)이고,  $P_j$ 는 소형AP j에서 소비되는 전력이다.  $F(A, S)$ 에서  $\eta$ 가 매우 크다면 활성화 시킬 소형AP의 개수는 최소가 되어야 한다. 이 문제에서 활성화 시킬 소형AP 및 이와 연결될 UE를 결정하는 것, 즉 행렬 S를 결정하는 것은 NP-hard problem이어서 최적화된 행렬 S를 구하는 것은 일반적으로 그 복잡도가 매우 높다. 따라서 이런 문제를 해결하기 위하여 제안된 DANCE의 5가지 알고리즘에서는 행렬 A에 행렬 소거 알고리즘(column-row elimination algorithm)<sup>[7]</sup>을 적용하여 행렬 S를 도출한다. 알고리즘 1은 DANCE 알고리즘의 하나인 ‘AP first N bit’을 통하여 활성화 시킬 소형AP  $j^*$ 를 구하는 경우의 행렬 소거 알고리즘을 나타낸다.

**Algorithm 1**

**Column-row Elimination Algorithm**

Repeat until  $A = \emptyset$ :

$$j^* = \operatorname{argmax}_j \sum_i A_{ij} / \sum_i S_{ij}$$

$$S_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if } A_{ij} > 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Eliminate column  $j^*$  of matrix A. (Small Cell AP  $j^*$  is activated.)

Eliminate rows of matrix A that UE associated with AP  $j^*$ .

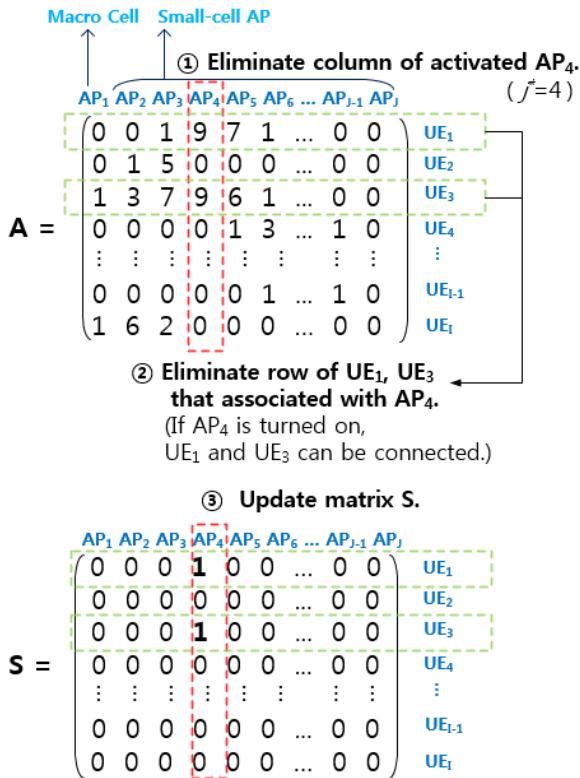


그림 4. DANCE의 'AP first N bit'인 경우 행렬소거알고리즘 예시  
 Fig. 4. An example of Column-row Elimination Algorithm using 'AP first N bit' from DANCE algorithms

그림 4는 행렬 소거 알고리즘을 도식화한 것으로 그 동작은 행렬 A에서  $\sum_i A_{ij}$ 를 최대화 시키는 AP  $j^*$ 를 활성화시키고,  $j^*$ 열을 지우며,  $j^*$ 에 연결될 수 있는 모든 UE  $i$  ( $i$  번째 행)을 지운다. 이와 같은 과정 반복하여 모든 UE가 소형AP에 연결이 될 때, 즉, 행렬 A가 모두 지워질 때까지 알고리즘을 수행한다. 행렬 S를 결정한 후 SCC는 행렬 S를 그림 5와 같은 AP-ON 메시지 형식과 같이 만들어 소형 AP들에게 브로드캐스트한다.

### III. 소형기지국 온/오프 알고리즘 (DANCE: Device-Assisted Networking for Cellular grEening)

소형기지국을 온/오프 제어하기 위해 DANCE 알고리즘을 사용한다. DANCE 알고리즘은 행렬 A로부터 적절한 행렬 S를 구하는 방법으로 UE first 1 bit<sup>[7]</sup>, UE first N bit, AP first 1 bit, AP first N bit, Proximity ON 알고리즘을 포함한다. DANCE 알고리즘은 AP와 UE 중에서 어느 것의 성능을 우

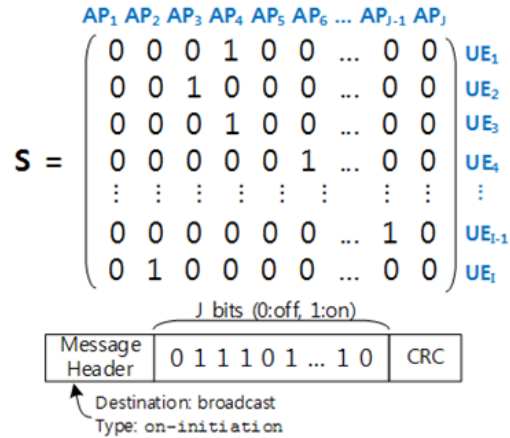


그림 5. 결정된 행렬 S 와 이 행렬의 AP-ON 메시지 형식  
 Fig 5. Decision matrix S and AP-ON message format

선적으로 고려할지에 따라서 UE first, AP first, Proximity ON으로 나눌 수 있으며, UE가 SCC에 보고하는 피드백의 크기에 따라 1-bit 또는 N-bit으로 나눌 수 있다. 예를 들어, 'AP first 1 bit' 알고리즘은 행렬 A를 1 bit으로 만들고, AP first 알고리즘을 적용한 것이다.

#### 3.1. AP first 알고리즘 (AP-First 1-bit / N-bit Algorithm)

각 소형AP에서 UE당 전송 가능한 평균 쓰루풋을 가장 크게 하는 소형AP를 우선 활성화 시킨다. 그리고 해당 소형AP에 연결이 가능한 UE를 모두 연결한다. 이 과정을 행렬 A가  $\emptyset$ 이 될 때까지 반복한다.

#### Algorithm 2 AP first Algorithm

Repeat until  $A = \emptyset$ :

$$j^* = \operatorname{argmax}_j \sum_i A_{ij} / \sum_i S_{ij}$$

$$S_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if } A_{ij} > 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Eliminate column  $j^*$  of matrix A. (Small Cell AP  $j^*$  is activated.)

Eliminate rows of matrix A that UE associated with AP  $j^*$ .

#### 3.2. UE first 알고리즘 (UE-First 1-bit / N-bit Algorithm)

우선 UE 중에서 연결 가능한 소형AP의 수가 가장 적은 UE를 선택한다. 그리고 선택된 UE가 연결

가능한 소형AP 후보들 중에서 가장 많은 UE를 연결할 수 있는 소형AP를 활성화 시킨다. 이 과정을 행렬 A가  $\emptyset$  이 될 때까지 반복한다. UE first 알고리즘 중에서 UE first 1 bit의 경우는 [7]에서 기지국을 비활성화 시키는 알고리즘으로 제안되었고 기지국의 밀도가 높은 상황에서는 최적해(optimal solution)와 알고리즘의 결과가 매우 유사함을 보였다.

**Algorithm 3 UE first Algorithm**

Repeat until  $A = \emptyset$ :

$$i^* = \operatorname{argmin}_i \sum_j A_{ij}$$

$$j^* = \operatorname{argmax}_j A_{i^*j}$$

$$S_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if } A_{i^*j} > 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Eliminate column  $j^*$  of matrix A. (Small Cell AP  $j^*$  is activated.)

Eliminate rows of matrix A that UE associated with AP  $j^*$ .

**3.3. Proximity ON 알고리즘**

UE는 가장 높은 SINR(즉, 쓰루풋)을 제공하는 소형AP를 활성화하고 연결된다.

**Algorithm 4 Proximity ON Algorithm**

Repeat until  $A = \emptyset$ :

AP  $j^*$  provides the best SINR to UE  $i$ .

$$S_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if } A_{ij} > 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Eliminate column  $j^*$  of matrix A. (Small Cell AP  $j^*$  is activated.)

Eliminate rows of matrix A that UE associated with AP  $j^*$ .

**IV. 모의실험 및 성능분석**

3장의 DANCE 알고리즘을 그림 6과 같은 환경에서 가상실험을 수행하여 성능을 평가하였다. 그림 6에서, 1개의 매크로셀의 범위와 같은 넓이(셀 반지름은 500m) 안에 1000개의 소형AP가 균등분포(uniform distribution)에 따라 랜덤하게 공간상에 배치되어 있다. 이 소형AP들은 앞서 3장에서 기술한 알고리즘 동작을 수행한다. 각 소형AP의 출력은 30dBm, 동작전력은 1W로 가정하였다. 기타 파라미

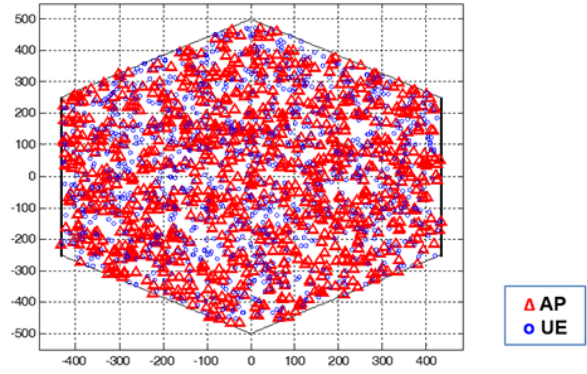


그림 6. 모의실험 환경  
Fig. 6. Simulation setup

터는 IEEE 802.16m evaluation methodology document(EMD)를 사용하였으며, 채널 환경은 indoor small office(light wall) 모델을 사용하였다. UE의 배치는 소형AP의 배치와 유사하게, 각각 10, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000개의 UE가 매크로셀의 범위와 같은 넓이 안에 균등분포에 따라 랜덤하게 분포한다. 모든 소형 AP와 UE는 co-channel environment에서 carrier frequency는 2GHz, 대역폭 10MHz를 사용한다.

가상실험에서는 DANCE 알고리즘을 사용하여 활성화 시킬 소형AP의 집합을 정하고, 각 UE들의 셀 접속(user association)을 정하였다. 그리고 활성화되어 있는 소형AP의 개수의 따라서 소모되는 총 에너지를 계산하였다. 또 UE의 쓰루풋(단위: bits/sec/Hz)을 구하기 위해서 단위 대역폭일 때의 Shannon 공식을 사용하였고, 각 UE 쓰루풋의 합으로 네트워크 쓰루풋을 계산하였다. 가상실험에서는 각 UE의 개수가 다른 경우마다 다수의 반복을 통해 평균값을 구하였다. 실험 환경 및 결과에 대한 예로, 그림 7은 Proximity ON 알고리즘을 1000개의 소형AP, 1000개의 UE 경우에도 동작시킨 결과이다. 1000개 중에서 574개의 소형AP가 활성화되고, 각 UE의 셀 접속은 그림에서의 점선으로 나타나고 있다.

Baseline은 소형AP 온/오프 알고리즘을 사용하지 않아 모든 소형AP가 활성화 되어 있는 경우이다. 여기에서는 Baseline과 다른 알고리즘의 성능을 비교한다. 그림 8에서 Baseline은 모든 소형AP가 활성화되어 있기 때문에 일정한 파워소비를 하는 동시에 UE 개수가 많아지면서 네트워크의 쓰루풋은 증가하면서 수렴하는 결과를 보인다.

Baseline을 기준으로 Proximity ON을 사용하면

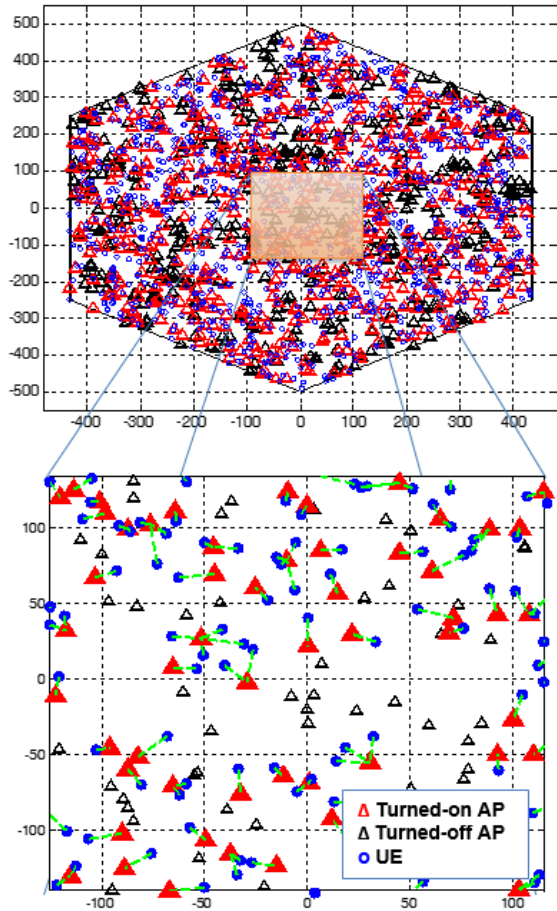


그림 7. Proximity ON 알고리즘을 사용한 1000개 소형 AP, 1000개 UE의 경우의 셀 접속  
Fig. 7. User association using Proximity ON algorithm with 1000 Small Cell APs and 1000 UEs

가장 좋은 비콘 신호를 제공하는 소형AP를 켜기 때문에, UE 개수가 소형AP의 수보다 작은 경우는 파워소비에 있어서 Baseline보다는 적은 파워를 소비하면서 동시에 Baseline과 유사한 네트워크 쓰루풋을 보여준다. UE 개수가 5000개 수준으로 증가하면 거의 모든 소형AP가 켜지게 되어 Baseline과 유사하게 많은 파워소비를 하게 된다. UE first 1 bit, UE first N bit, AP first 1 bit, AP first N bit은 활성화되는 소형AP의 숫자를 가능한 줄이는 기능을 하기 때문에 Baseline, Proximity ON에 비해서 더 적은 파워를 소비한다. 하지만 이 경우에는 네트워크 쓰루풋이 Baseline, Proximity ON 경우보다는 낮아지게 된다.

UE 개수가 증가하여 10000개인 상황에서는 거의 모든 소형 AP가 활성화되어서 심각한 간섭-제한적 (interference-limited) 환경이 된다. 이 때 DANCE 알고리즘을 사용하면 활성화되는 소형AP의 개수가 줄어들어 소형AP 사이의 간섭에 의한 영향을 감소

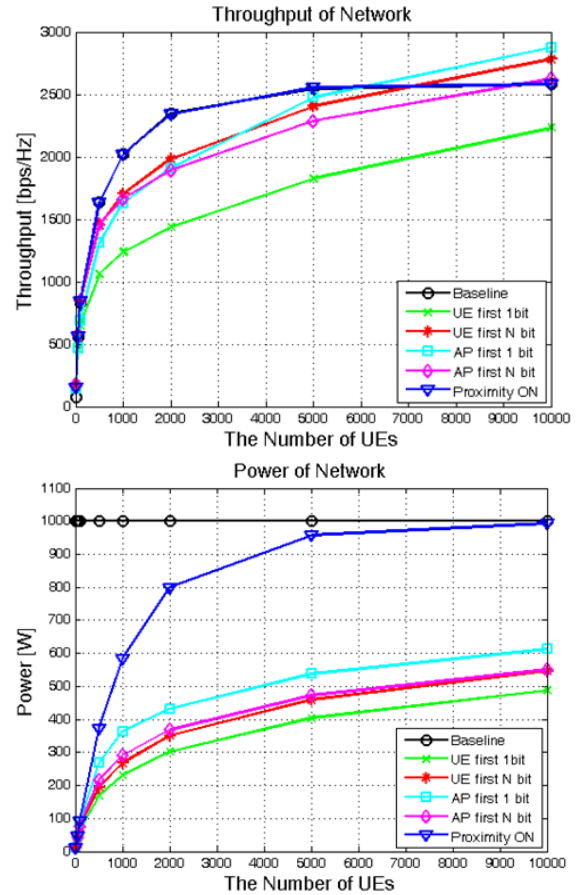


그림 8. UE 개수에 따른 네트워크 쓰루풋(위) 및 네트워크 파워소비(아래)의 변화  
Fig. 8. Network throughput and network power consumption according to the number of UEs

시켜 성능을 향상시킬 수 있다. 따라서 그림8에서 UE가 10000개인 경우, UE first N bit, AP first 1 bit, AP first N bit이 Baseline, Proximity ON과 비슷하거나 오히려 더 높은 네트워크 쓰루풋을 달성하는 것을 볼 수 있다. 그림 8의 결과에서 보면 본 연구에서 제안한 UE first N bit, AP first 1 bit, AP first N bit, Proximity ON이 [7]의 UE first 1 bit 경우 보다 모두 쓰루풋 성능이 우수하게 나타났다.

네트워크의 에너지 효율은 단위 에너지(1 Joule) 당 전송 가능한 정보량(bits/Joule)로 정의된다. Bits/Joule은 bits/sec/power와 같은 물리량으로서 단위 송신전력당 데이터 전송속도를 의미한다. 이 정의에 따라 앞서 도시한 네트워크 쓰루풋과 네트워크 파워소비 결과를 가지고 그림 9의 에너지 효율을 구하였다. 결과적으로 UE 개수가 2000개 이상인 경우는 Baseline과 Proximity ON을 포함한 모든 경우에서 에너지 효율이 일정하게 수렴하는 것을



V. 결 론

본 연구에서는 초고밀화된 무선 이동통신 환경에서 소형기지국의 온/오프를 제어하기 위한 소형AP, UE, SCC로 구성된 프레임워크를 제안하였다. 이를 기반으로 네트워크 성능을 유지하며 에너지 소비를 줄이기 위한 소형기지국 온/오프 방법으로 DANCE 알고리즘을 제안하였다. DANCE 알고리즘에서는 UE가 SCC로 피드백하는 채널정보를 활용하며, DANCE 알고리즘은 피드백이 연결가능성을 나타내는 1-bit인 경우와 실제 전송가능속도를 나타내는 N-bit으로 나뉜다. 그리고 활성화시키는 소형AP를 선택하는 기준에 따라서 AP-first, UE-first, Proximity ON 등으로 나눌 수 있다. 이런 5가지의 알고리즘에 기반하여 UE나 네트워크의 쓰루풋을 유지하면서 에너지 효율을 높일 수 있는 방법으로 제안하였다. 그리고 각 알고리즘은 시뮬레이션을 통해 우수한 성능을 보이는 것을 확인하였다. 현재 연구는 제안된 알고리즘에 대한 성능평가 위주였으나 향후 연구는 Stochastic Geometry 기법 등을 이용하여 AP 및 UE 밀도 및 간섭을 고려하여 초고밀도 통신망에서의 에너지 효율에 대한 분석을 수행하여 에너지 효율에 대한 닫힌 식(closed form)을 구하고, 아울러 매크로셀과 소형AP가 혼재된 HetSNet (Heterogeneous Small-cell Network) 환경에서 셀룰러 망의 에너지효율을 높일 수 있는 방법을 연구할 계획이다.

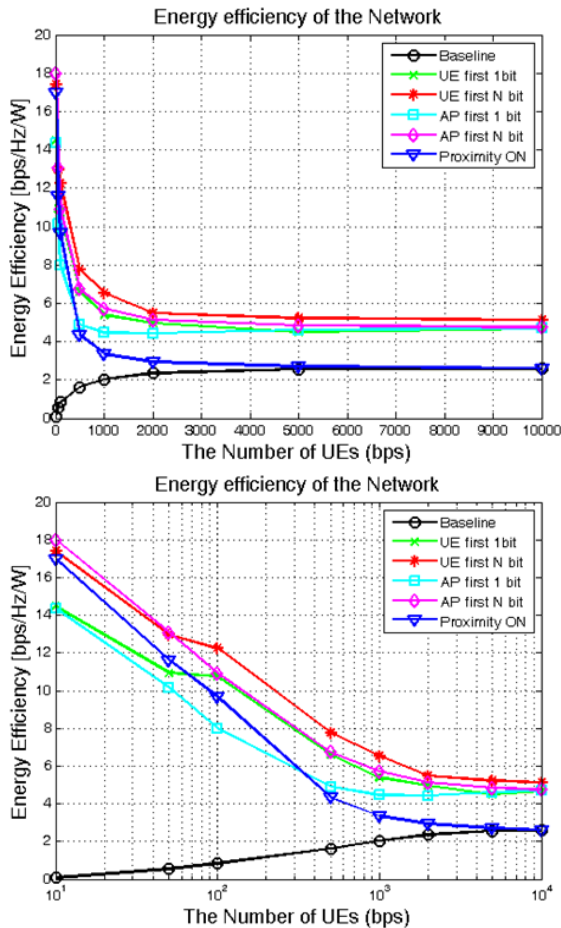


그림 9. UE 개수에 따른 네트워크 에너지 효율의 변화  
 Fig. 9. Network energy efficiency according to the number of UEs (x axis in linear scale (top), log scale(bottom))

관찰할 수 있다. 에너지 효율적 측면을 관찰하기 위해서는 UE가 1000개 미만인 경우를 살펴보면, UE의 밀도가 소형AP의 밀도와 비슷하거나 낮은 경우는 Baseline과 비교했을 때 에너지 효율이 매우 높음을 확인할 수 있다. 예를 들어 UE가 100개 인 경우 약 10배의 에너지 효율을 달성할 수 있다.

또한 UE 개수가 약 500개 이상인 경우에서 Proximity ON을 사용하면 이미 많은 소형 AP가 활성화되어 간섭에 의한 성능 저하가 강해지기 시작한다. 이렇게 활성화된 소형 AP의 밀도가 높을 때, DANCE 알고리즘을 사용하여 활성화되는 소형 AP의 개수를 줄이면 간섭이 줄어든다. 즉, 그림 9의 UE가 500개 이상인 경우들에서, UE first 1 bit, UE first N bit, AP first 1 bit, AP first N bit이 Baseline, Proximity ON과 비슷하거나 더 높은 네트워크 에너지 효율을 달성하는 것을 볼 수 있다.

References

- [1] Cisco Visual Networking Index, "Global mobile data traffic forecast update, 2012-2017," *Cisco White Paper*, May, 2013.
- [2] J. G. Andrews, H. Claussen, M. Dohler, S. Rangan, and M. C. Reed, "Femtocells: past, present, and future," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 30, no. 3, pp. 497-508, Mar. 2012.
- [3] Qualcomm, *Rising to Meet the 1000x Mobile Data Challenge*(2013), Retrieved Sep., 20, 2013, from <http://www.qualcomm.com/media/documents/rising-meet-1000x-mobile-data-challenge>.
- [4] G. He, S. Zhang, Y. Chen, and S. Xu, "Architecture design and performance

evaluation for future green small cell wireless networks,” in *Proc. 2013 IEEE Int. Conf. Commun. (ICC 2013)*, pp. 1198-1202, Budapest, Hungary, June 2013.

- [5] X. Gelabert, P. Legg, and C. Qvarfordt, “Small cell densification requirements in high capacity future cellular networks,” in *Proc. 2013 IEEE Int. Conf. Commun. (ICC 2013)*, pp. 1132-1136, Budapest, Hungary, June 2013.
- [6] I. Ashraf, F. Boccardi, and L. Ho. “Sleep mode techniques for small cell deployments,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 49, no. 8, pp. 72-79, Aug. 2011.
- [7] W. Vereecken, M. Deruyck, D. Colle, W. Joseph, M. Pickavet, L. Martens, and P. Demeester, “Evaluation of the potential for energy saving in macrocell and femtocell networks using a heuristic introducing sleep modes in base stations,” *EURASIP J. Wireless Commun. Networking*, vol. 2012, no. 170, pp. 1-14, May 2012.

**이길수 (Gilsoo Lee)**



2013년 2월 서강대학교 전자공학과 학사  
 2013년 2월~현재 서강대학교 전자공학과 석사과정  
 <관심분야> Green Wireless, SON, HetSNet

**김홍석 (Hongseok Kim)**



1998년 2월 서울대학교 전기공학부 학사  
 2000년 2월 서울대학교 전기공학부 석사  
 2009년 The University of Texas at Austin, Electrical and Computer Engineering

박사

2010년~2011년 프린스턴대학교 박사후연구원  
 2000년~2005년 KT 선임연구원  
 2010년~2011년 Bell Laboratories, MH, NJ,

Alcatel-Lucent, USA

2011년~현재 서강대학교 전자공학과 조교수  
 <관심분야> 무선통신망자원관리 및 최적화, HetSNet, 5G, SON, D2D, Cognitive Radio, Green Wireless, 스마트그리드 네트워크, ICT 융합형 에너지 최적화, 수요반응

**김영태 (Young-Tae Kim)**



2006년 고려대학교 전기전자전파공학부 공학사  
 2008년 고려대학교 전자전기컴퓨터공학 공학석사  
 2012년 고려대학교 전자전기컴퓨터공학 공학박사  
 2012년~현재 LG전자, 선임연구

구원

<관심분야> 이동 통신 Physical Layer, 협력 통신, D2D, small cell, 3D-MIMO

**김병훈 (Byoung-Hoon Kim)**



1994년 서울대학교 전자공학과 공학사  
 1996년 서울대학교 전자공학과 공학석사  
 2000년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 공학박사  
 2000년~2003년 GCT

Semiconductor, Staff Engineer

2003년~2008년 Qualcomm, Senior Staff Engineer/Manager

2008년~현재 LG전자, 상무/연구위원

<관심분야> 이동 통신 Physical Layer, Cross Layer 설계, Relay, 협력 통신, D2D, small cell, 3D-MIMO, SON, WLAN