

Delay 정보를 이용한 LTE 기지국의 Power Saving 메커니즘

(LTE Base Station Power Saving Mechanism using Delay Information)

이 승 환 [†] 이 승 형 ^{**} 최 용 훈 ^{***} 박 수 원 ^{****}
(Seunghwan Lee) (Seunghyong Rhee) (Yonghoon Choi) (Suwon Park)

요 약 LTE 시스템에서 UE의 QoS를 보장하면서 효율적인 power saving을 위해 본 논문에서는 delay 정보를 이용하여 3GPP(Third Generation Partnership Project) 규격에서 제시한 DRX/DTX(Discontinuous Reception/Transmission)의 차등적 적용 MAC 프로토콜을 제안한다. 제안한 MAC 프로토콜은 LTE 기지국에서 각 UE의 QoS를 고려하여 적응적으로 DRX/DTX 주기를 제어한다. UE의 패킷 delay가 적은 경우에 DRX/DTX 주기를 늘려 에너지를 절약하고 패킷 delay가 커지면 기지국의 DRX/DTX 주기를 줄여 delay를 줄이고 UE의 QoS를 보장한다. DRX/DTX의 차등적용에 따른 모의실험 결과 제안된 power saving 방식은 DRX/DTX를 상황에 따라 변화시키지 않는 방식에 비해 개선된 power saving 성능을 제공하며 특히 상황에 맞게 DRX/DTX를 설정하여 UE의 요구사항을 충족시킬 수 있다. 본 논문에서는 LTE 기지국과 UE가 통신하는 환경에서 기지국의 에너지를 절약할 수 있는 MAC protocol을 제안하고 시뮬레이션을 통하여 성능이 향상되었음을 확인한다.

키워드 : LTE, DRX/DTX, 차등적 적용, MAC 프로토콜, 에너지 절약, QoS

Abstract This thesis proposes a power saving MAC protocol for LTE base station which utilizes different graded DRX/DTX(Discontinuous Reception/Transmission) that specified by 3GPP(Third Generation Partnership Project). Considering QoS in UE, proposed MAC protocol controls adaptive DRX/DTX cycle. When Packet delay of UE is less than normal time, LTE base station economize power by increasing DRX/DTX. When Packet delay of UE is more than normal time, delay of UE is decreased by guaranteed QoS. It depends on the traffic which is sent by UE. The proposed method is more improve power saving performance than another method which is unchanged DRX/DTX by conditions. Especially when set DRX/DTX up in conditions, it will meet the requirements of UE. In this thesis, I propose a power saving MAC protocol in an environment where LTE base station are communicated with UE and prove improvement in performance through simulations.

Key words : LTE, base station, DRX/DTX, MAC protocol, power saving, QoS

· 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20090086288)

† 학생회원 : 광운대학교 전파공학과
shmj@kw.ac.kr
** 중신회원 : 광운대학교 전파공학과 교수
rhee@kw.ac.kr
*** 중신회원 : 광운대학교 정보계공학학과 교수
yhchoi@kw.ac.kr
**** 비 회 원 : 광운대학교 전자통신공학과 교수
spark@kw.ac.kr

논문접수 : 2009년 11월 17일
심사완료 : 2010년 2월 9일

Copyright©2010 한국정보과학회: 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 정보통신 제37권 제3호(2010.6)

1. 서론

세계적으로 이산화탄소(CO₂) 배출량 규제로 인하여 동일한 통신 성능과 데이터 전송률을 달성하면서도 에너지 사용량이 적은 녹색 기술(green technology)에 대한 요구가 증대하고 있다. 기존의 무선 네트워크 시스템에서 power saving은 배터리를 사용하는 사용자 단말기에 중점을 두고 같은 에너지로 더 오랜 시간 단말을 사용할 수 있는 방법에 관한 연구가 진행되었다.

LTE는 3세대 이동통신(WCDMA) 진화 기술인 long term evolution의 약자로 차세대 이동통신 기술을 뜻한다. 2004년 11월에 캐나다 토론토에서 개최된 3GPP RAN evolution workshop에서 처음으로 LTE에 대해서 공론화되었다. 차세대 이동통신인 LTE는 고속 전송, 비트당 비용의 절감, 기존의 주파수 대역에서의 유연한 적용, 낮은 전송 지연을 목표로 하고 있다. LTE-advanced 표준 초안은 2010년말 완성될 예정이며, 초기 상용화는 2012년 이후를 목표로 하고 있다. LTE는 현재 WCDMA망을 기반으로 발전한 기술이어서 기존 네트워크 망과 유연한 연동이 가능하고 기지국 설치 비용과 운영 비용을 줄일 수 있는 장점이 있다[1,2].

본 논문에서는 LTE 시스템의 기지국에서 power saving을 위한 MAC 프로토콜을 제안한다. 통신 성능과 데이터 전송률을 만족하며 power saving을 할 수 있는 방법으로 LTE 시스템에서 전력 소모를 줄이기 위하여 고려되고 있는 DRX/DTX(Discontinuous Reception/Transmission) 기술을 사용한다. 기지국 셀 환경에 있는 단말의 QoS정보를 이용하여 DRX/DTX를 차등 적용하여 에너지를 절약하는 방식을 제안하고 시뮬레이션을 통하여 성능을 평가한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어 2장에서는 본 논문에서 power saving 방식으로 사용된 DRX/DTX 메커니즘에 대하여 살펴본다. 3장에서는 기지국 장비의 power saving 방식에 대하여 설명한다. 4, 5장에서는 본 논문에서 제안하는 단말의 QoS 정보를 이용한 power saving 방식에 대하여 설명하고 시뮬레이션 결과를 분석하며, 마지막으로 6장에서 결론을 도출한다.

2. DRX/DTX

LTE와 WiMAX와 같은 4G 무선 시스템으로 발전하면서 이 전보다 높은 데이터 전송률을 보장해 주어야 한다. 높은 데이터 전송률을 제공하기 위해서는 좀 더 복잡한 64 QAM 기술, advanced coding 기술, MIMO (Multiple-Input Multiple-Output), SDMA(Space Division Multiple Access)기술을 사용하여야 한다. 이렇게

높은 전송 속도를 보장하기 위해 다양한 기술을 사용하게 되면 UE의 회로도가 복잡해지고 그에 따라 UE의 배터리 전력 소모가 커지게 된다. 이러한 전력 소모를 줄이기 위해서 LTE는 DRX, WiMAX에서는 idle/sleep mode를 제공하고 있다. DRX/DTX는 단말의 전력소모를 줄이기 위하여 수신동작을 중지하고 sleep 모드로 진입하도록 제어하는 기능이다. 일정시간동안 주고받는 데이터가 없으면 단말은 업링크의 동기를 끊고 sleep과 wakeup을 반복하면서 소모전력을 최소화한다. DRX 동작은 MAC이 DRX/DTX관련 타이머 등을 제어하고 PHY에서 타이머의 on/off에 따라 관련 DRX/DTX 동작을 수행하며 이루어진다[3].

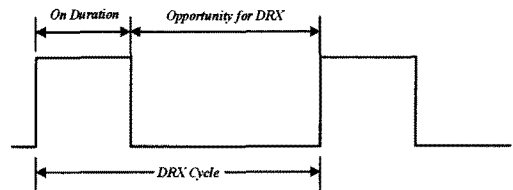


그림 1 DRX/DTX 동작 구조도

LTE DRX모드는 RRC_IDLE에서의 DRX 동작과 함께 RRC_CONNECTED 상태에서의 DRX를 제공한다. 이에 따라, 단말기는 데이터를 전송하고 있는 상태에서도 DRX 동작을 수행하기 때문에 단말기의 전력 소모를 대폭 줄일 수 있다. DRX의 동작 구조도는 그림 1과 같다. Onduration은 단말기가 wakeup하여 PDCCH와 같은 데이터 수신 동작을 수행하는 시간을 의미하며, DRX cycle은 onduration을 반복하는 주기를 의미한다.

3. 기존의 기지국 Power saving 연구

Ericsson에서 2007년 말에 시작한 BTS 에너지 절약 방식은 하드웨어의 변경 없이 소프트웨어만을 변경하여 BTS의 power를 관리하여 에너지를 절약하는 방식으로 기존의 BTS에 비하여 15%에서 20%정도의 에너지를 절약할 수 있는 기술이다. 파워 소모 측면에서 봤을 때 GSM transmitter는 아래와 같이 세부분으로 나눌 수 있다[4].

- digital signal processing
 - radio power amplifier (PA)
 - active timeslots (TS) : 데이터를 전송하기 위하여 사용
- 보통 radio cell에 하나 이상의 TRX가 있는데 데이터 전송에 필요한 에너지는 traffic의 종류에 따라 다양하게 나타난다. 그림 1은 하나의 radio cell에 4개의 TRX(TCH transceiver)가 있다고 가정할 경우의 Radio cell 구조를 보여준다. BTS의 BSC(Base Station Controller)가

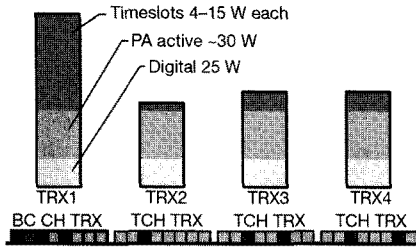


그림 2 DRX/DTX 결정 과정

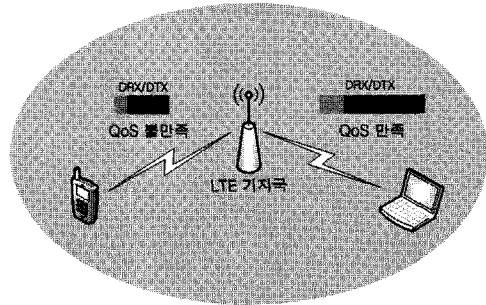


그림 4 제안하는 power saving 방식

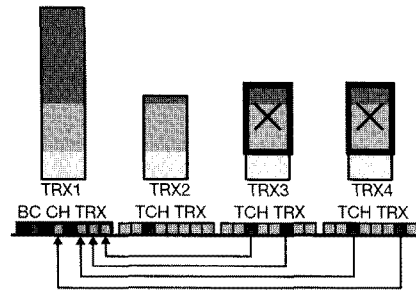


그림 3 BTS의 power saving 기법

트래픽의 양을 측정하고 있다가 시스템에서 요구하는 threshold 값보다 적게 통신을 하게 되면 그림 2와 같이 기지국의 송신 자원을 조절하여 에너지를 절약한다.

그림 3은 트래픽이 적은 시간에 데이터 전송이 적은 TRX3과 TRX4의 power amplifier 부분과 active timeslots을 사용량이 많은 TRX1에게 실행하도록 함으로써 2개의 TRX가 digital signaling processing만을 수행하여 네트워크에서 사용하는 에너지를 절약하는 방식이다. BTS의 BSC가 측정한 트래픽의 양이 threshold 값보다 다시 커지게 된다면 TRX3과 TRX4의 power amplifier와 active timeslots부분을 다시 사용하게 함으로써 네트워크의 통신 품질을 보장할 수 있다.

4. 제안하는 power saving MAC 프로토콜

제안하는 power saving MAC 프로토콜은 UE의 delay의 크기에 따라 DRX/DTX의 크기를 조절하여 QoS를 만족 시키면서 에너지를 절약하는 방식이다. 그림 4에서 LTE 기지국은 cell 커버리지 안에 있는 UE에게 주기적으로 delay에 관한 정보를 받아서 이 정보를 바탕으로 만약 UE가 QoS를 만족하지 않으면 delay를 줄이기 위해 DRX/DTX의 크기를 줄이고 UE가 QoS를 만족하면 power saving을 위해 DRX/DTX의 크기를 증가시켜 에너지를 절약하는 방법을 제안한다.

UE가 현 상태에서 자신의 delay 값을 LTE 기지국으로 주기적으로 전송하게 되면 LTE 기지국은 특정 threshold 값에 의해서 UE의 QoS 상태를 판단하여 시스템

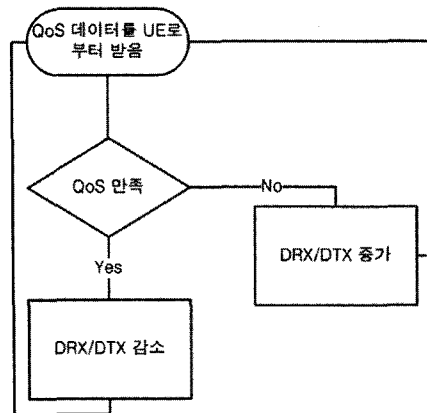


그림 5 DRX/DTX 결정과정

에서 사용하는 DRX/DTX의 크기를 결정하게 된다. 만약 UE가 가지는 delay가 threshold 값보다 크면 기지국은 UE가 요구하는 것보다 더 큰 delay를 가지는 것으로 가정하여 DRX/DTX 주기의 크기를 줄인다. 반대로 UE의 delay가 threshold 값보다 작을 때는 좀 더 큰 delay가 적용되어도 통신에 지장을 주지 않는다고 가정하여 DRX/DTX의 주기의 크기를 크게 하여 기지국의 sleep 시간을 좀 더 길게 보장하여 에너지 절약을 한다.

그림 5는 수신 받은 QoS 정보에 의하여 기지국에서 DRX/DTX의 크기를 결정하는 과정을 순서도로 표현하였다. 이러한 과정을 반복하면서 LTE 기지국은 단말이 원하는 QoS를 충족시켜 줄 수 있다. 또한 LTE 기지국은 불필요하게 QoS를 충족하는 것을 방지하여 cell 커버리지 안의 트래픽이 적거나 단말이 적은 전송속도를 요구할 때 효과적으로 에너지를 절약할 수 있다. 이러한 방식을 통하여서 LTE 기지국은 단말의 QoS를 보장하면서 에너지를 절약할 수 있다.

4. 시뮬레이션

4.1 시뮬레이션 환경

시뮬레이션은 LTE 기지국의 power saving을 위해

제안된 MAC 프로토콜을 수행하였다. 4장에서 제안한 power saving의 방법을 시뮬레이션을 통하여 구현하고 결과를 비교한다. 먼저 DRX/DTX는 기지국과 UE의 연결이 일정시간 데이터 수신이 되지 않을 때도 연결상태를 끊지 않는 RRC_CONNECTED를 가정하였다. 그리고 통신의 방향은 단말이 LTE 기지국으로 데이터를 전송하는 UL만을 가정하여 시뮬레이션을 구현하였다. 시뮬레이션에 대한 환경은 표 1과 같다. 시뮬레이션 과정에서 LTE 시스템 기지국 1개와 UE 2개가 통신하는 것을 가정하였으며 DRX/DTX의 크기는 200, 500(ms)를 사용하였다. 기지국이 power를 on 하고 있는 상태에서는 1W의 에너지를 소비하고 sleep을 하고 있는 상태에서는 0.01W를 사용하는 것을 가정하였다.

표 1 시뮬레이션 환경

| Attribute | Value |
|-----------------|--------------------|
| Node 개수 | LTE 시스템 BS:1, UE:2 |
| DRX/DTX 크기 | 200, 500 (ms) |
| Simulation time | 100 sec |
| On power | 1W |
| Sleep power | 0.01W |

4.2 시뮬레이션 결과 및 분석

LTE 시스템에서 기지국과 UE가 통신할 때 기지국에서 사용하는 에너지와 UE가 가지는 패킷 delay를 계산하였다. 패킷 delay는 단말에서 랜덤으로 발생하는 패킷이 기지국의 DRX/DTX 주기에서 sleep하는 구간에 전송되어 통신이 이루어지지 않았을 때를 가정하여 계산하였다. 에너지의 경우 처음 기지국이 가지고 있는 initial 에너지를 100J로 가정하고 기지국이 on 상태에 있는 시간과 off 상태에 있는 시간을 구하여서 DRX/DTX 주기가 반복될 때마다 기지국의 에너지에서 차감하였다. UE의 패킷 delay는 UE에서 트래픽이 발생할 때 그 트래픽이 기지국 on 상태에 전송되어 정상적으로 통신을 하게되면 delay로 처리하지 않고 만약 기지국이 off 상태에 있을 때 트래픽이 전송된다면 그 다음 DRX/DTX의 onduration이 시작할 때까지의 시간을 delay로 간주하여 계산하였다.

그림 6은 제안한 MAC 프로토콜에서 UE가 가지는 delay의 변화를 나타내고 있다. DRX/DTX의 크기를 200ms 만을 사용한 경우와 500과 200ms 두 가지를 사용하는 경우의 결과이다. 결과를 보면 DRX/DTX를 차등적용하였을 때 가지는 delay가 더 큰 것을 볼 수 있다. 그러나 500ms의 DRX/DTX를 적용하여서 더 큰 delay가 발생한 경우는 단말이 QoS를 보장받고 있을 때 적용된 것이어서 네트워크 성능에는 크게 지장을 주지 않을 것으로 예상된다.

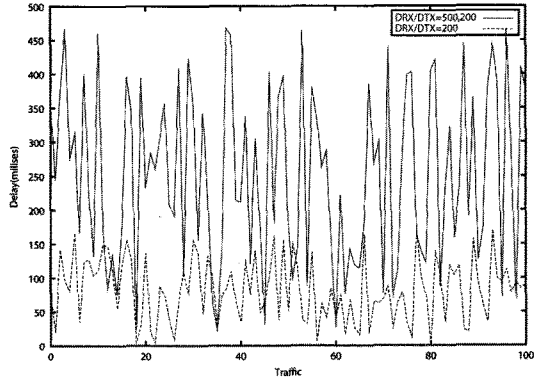


그림 6 트래픽의 패킷 delay

표 2 평균 delay

| DRX/DTX 크기 | Average packet delay |
|--------------------|----------------------|
| DRX/DTX=200ms | 83.903 ms |
| DRX/DTX=200, 500ms | 224.49 ms |

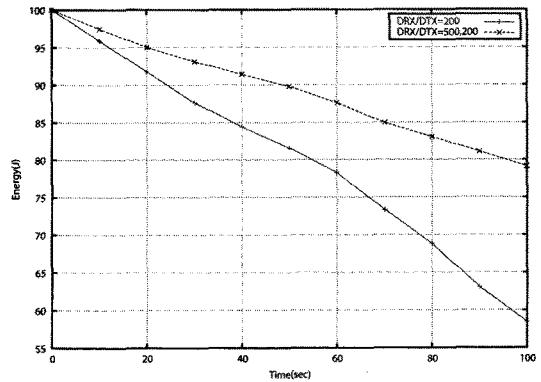


그림 7 제안한 방식의 에너지 소비(DRX/DTX= 200,500ms)

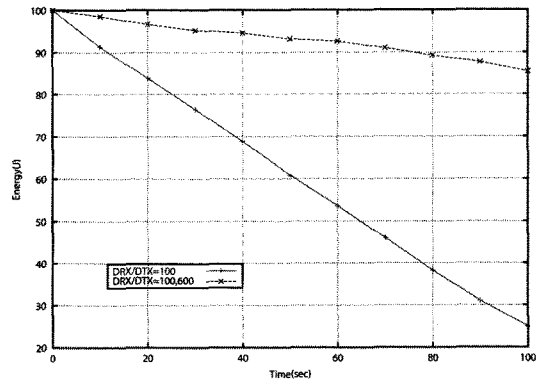


그림 8 제안한 방식의 에너지 소비(DRX/DTX= 100,600ms)

그림 7은 제안한 방식에서의 에너지 소모를 나타낸 그래프이다. DRX/DTX를 차등적용하는 방식이 더 많은

에너지를 절약하는 것을 알 수 있다.

그림 8은 DRX/DTX 주기의 크기를 좀 더 크게 적용시킨 시뮬레이션 결과이다. 이 경우에는 그림 7보다 좀 더 큰 에너지 효율을 가지는 것을 확인할 수 있다.

그림 6와 표 2를 보면 제안한 방식이 좀 더 많은 delay를 가지지만 그림 7과 8의 결과를 보면 제안한 방식이 에너지 측면에서 좀 더 좋은 효율을 가지는 것을 확인하였다. 제안한 방식에서 delay가 더 크게 작용하는 부분은 QoS를 만족할 때 DRX/DTX를 크게하여 발생한 부분이기 때문에 네트워크 성능을 크게 저하시키지 않으면서 에너지를 절약할 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 DRX/DTX의 주기를 상황에 맞게 유연하게 적용시키는 power saving MAC 프로토콜을 디자인하여 성능을 향상시키고 이를 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 새로이 제안한 MAC 프로토콜은 LTE 기지국이 UE와 통신을 할 때 UE의 패킷 delay가 적은 경우에는 DRX/DTX 주기를 늘려 에너지를 절약하고 패킷 delay가 커지면 기지국의 DRX/DTX 주기를 줄여서 delay를 줄이고 UE의 QoS를 보장하며 에너지를 saving하는 방식이다. 이러한 에너지 saving 성능 향상은 새로운 알고리즘을 통하여 기본 방식보다 좀 더 유연하게 통신 상황에 적응하여 좀 더 높은 에너지를 saving을 할 수 있다. 이와 같은 새로운 에너지 saving 알고리즘은 앞으로 사용 될 LTE 통신 시스템에 적용할 수 있고 가정이나 사무실에서 비교적 적은 UE와 통신을 하는 LTE 펌토셀에도 적용이 가능하다. 그러나 복잡한 회로로 구성되어 있는 기지국 장비가 주기적으로 on/off 하는 방식이 에너지 절약 측면에서 어느 정도의 효율을 나타내는 가는 차후에 좀 더 연구해 보아야 할 사항이다. 기지국이 wakeup 했을 때 기지국의 회로가 안정화 되는 시간이 네트워크에 미치는 영향에 대해서 연구해보아야 할 것이다. 그리고 기지국이 DRX/DTX 주기를 사용할 때 통신 시스템에서의 throughput에 어떤 영향을 미치는지에 대한 연구도 필요하다. 현재 LTE의 대한 표준화가 진행 중에 있고 기지국의 에너지를 절약하는 연구는 아직 미흡한 실정이다. 하지만 앞으로 탄소 배출을 줄여야 하는 시점에서 기지국 장비의 에너지 소모는 중요한 문제로 대두될 것이며 앞으로 에너지 소모가 큰 기지국의 에너지를 줄이는 연구는 많은 발전이 있으리라 예상된다. 그러므로 단말의 에너지 소모를 줄이는 연구뿐만 아니라 기지국의 에너지 소모를 줄이는 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] 3GPP TS 36.300, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description"
- [2] 3GPP TS 36.321, "Medium Access Control(MAC) Protocol specification"
- [3] Chandra S. Bontu, Ed Illidge, "DRX Mechanism for Power Saving in LTE," *IEEE Communication Magazine*, June 2009.
- [4] Peter Hjorth, Nina Lövehagen, Jens Malmodin, Kent Westergren; "Reducing CO₂ emissions from mobile communications-BTS Power Savings and Tower Tube," *Ericsson Review*, no.1., 2008.
- [5] Luca Chiaraviglio, Delia Ciullo, Michela Meo, Marco Ajmone Marsan, "ENERGY-AWARE UMTS ACCESS NETWORKS," Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, The 11th WPMC, 2008.
- [6] H. Claussen, W. Lester, L.G. Samuel, "Self optimization of Coverage for Femtocell Deployments," *Wireless Telecommunication Symposium 2008*, vol.1, pp.278-285, April 2008.
- [7] Jul-Hung Yeh, Chi-Chen Lee, Jyh-Cheng Chen, "Performance Analysis of Energy Consumption in 3GPP Networks," *Wireless Telecommun. symp.*, May 2004.
- [8] S. Takeuchi, K. Yamazaki, K. Sezaki, Y. Yasuda, "An improved power saving mechanism for MAC protocol in ad hoc networks," *IEEE GLOBECOM 2004*, vol.5, pp.2791-2796.
- [9] N. H. Lee and S. W. Bahk, "MAC sleep mode control considering downlink traffic pattern and mobility," *IEEE VTC 2005-spring*, vol.3, pp.2076-2080.
- [10] Femtocell forum, <http://www.femtoforum.com>



이 승 환

2008년 광주대학교 학사(무선네트워크전공). 2010년 광주대학교 석사(무선네트워크전공). 2010년 2월~광주대학교 박사과정



이 승 형

1988년 2월 연세대학교 전자공학과 공학박사. 1990년 8월 연세대학교 전자공학과 공학석사. 1999년 5월 Univ. of Texas at Austin 공학박사. 2002년~현재 국가정보원/국방연구원 기술자문. 2000년~현재 광주대학교 전파공학과 교수



최 용 훈

1995년 2월 연세대학교 전자공학 학사. 1997년 2월 연세대학교 전자공학 석사. 2001년 2월 연세대학교 전자공학 박사. 2002년 3월 University of Maryland, Post-doctoral Reserch Associate. 2002년 6월~2005년 8월 LG 전자 책임연구원. 2005

년~현재 광운대학교 정보제어공학과 교수



박 수 원

1994년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 공학사 수학과(복수전공). 1996년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 공학석사. 2003년 2월 KAIST 전자전산학과 공학박사. 1994년 3월~1998년 9월 삼성전자 전임연구원. 1998년 9월~1999년 2월 한

국과학기술원 전일제 위촉연구원. 2002년 6월~2006년 2월 삼성전자 통신연구소 책임연구원. 2006년~현재 광운대학교 전자통신공학과 교수