

Traffic 특성을 이용한 LTE 기지국의 Power Saving 메커니즘

Power Saving Mechanisms for LTE Base Stations Using Traffic Characteristic

이 승 환* 이 승 형**
(Seung-Hwan Lee) (Seung-Hyong Rhee)

요 약

최근 차세대 이동통신 기술로 각광받고 있는 3GPP LTE(Long Term Evolution) 시스템을 위한 기지국에서의 power saving에 관한 연구가 이슈화 되고 있다. 이는 무선통신 네트워크에서 가장 많은 에너지를 소모하는 부분이 기지국 부분이기 때문이다. 또한 기지국에서의 power saving은 세계가 주목하고 있는 저탄소 배출 녹색 기술에도 부합하는 내용이기도 하다. 따라서 본 논문에서는 UE(User Equipment)의 Traffic의 종류에 따라 DRX/DTX의 주기를 차등적으로 적용함으로써 기존에 일정한 DRX/DTX 주기를 적용하는 방식에 비해 성능은 떨어지지 않으면서 에너지 효율을 극대화하는 방식을 제안한다. 제안된 방식에 따른 모의실험 결과 기존의 방식에 비해서 개선된 power saving 성능을 확인할 수 있다. 본 논문에서는 LTE 기지국과 UE가 통신하는 환경에서 기지국의 에너지를 절약할 수 있는 MAC 프로토콜을 제안하고 시뮬레이션을 통하여 성능이 향상되었음을 확인한다.

Abstract

3GPP(Third Generation Partnership Project) LTE system that is the next step forward in cellular 3G services address the issues related to power saving at LTE base station. This is because that most of the energy in a typical telecommunication network is consumed by the wireless network's base station site. Power saving at LTE base station fall in with low-carbon green technology. This thesis proposes a power saving MAC protocol for LTE base station which utilizes different graded DRX/DTX(Discontinuous Reception/Transmission). Considering traffic type in UE, proposed MAC protocol controls adaptive DRX/DTX cycle. The proposed method is more improve power saving performance than another method which is unchanged DRX/DTX by conditions. In this thesis, I propose an 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, Traffic

† 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 20090076937)

* 주저자 및 교신저자 : 광운대학교 박사과정

** 공저자 : 광운대학교 전파공학과 교수

† 논문접수일 : 2009년 12월 9일

† 논문심사일 : 2010년 2월 7일

† 게재확정일 : 2010년 2월 8일

I. 서론

3GPP LTE는 미래 요구 사항을 극복하고 UMTS (Universal Mobile Telecommunication Service) 휴대전화 단말기 표준을 향상시키기 위한 제3 세대 협력 프로젝트에서 주어진 명칭이다. 3G LTE는 2010년쯤 4세대가 규정하는 서비스 속도인 이동중 100Mbps, 정지 시에는 1Gbps 구현으로 상용화가 가능할 것으로 예상된다. 이 기술은 고속전송, 비트당 비용의 절감, 기존의 주파수 대역에서의 유연한 적용, 낮은 전송 지연을 목표로 하고 있다.[1,2]

이러한 기술이 개발되고 있는 가운데 최근 세계적으로 환경에 관한 문제가 대두되면서 탄소배출권에 관한 기술도 집중을 받고 있다. 따라서 더 이상의 배터리를 사용하는 단말기 뿐 아니라 더 나아가 단말기보다 훨씬 많은 전력을 사용하는 기지국에서의 power saving에 관한 연구가 이슈화되고 있다.[3]

본 논문에서는 LTE 시스템의 기지국에서 적용할 수 있는 power saving을 위한 MAC 프로토콜을 제안한다. 기존의 데이터 전송률이나 통신성능을 만족시키면서 power saving을 할 수 있는 방법으로 3GPP 규격에서 제시한 DRX/DTX(Discontinuous Reception/ Transmission) 기술을 사용한다. 기지국의 셀 반경 내에 존재하는 UE의 전송 traffic의 타입 정보를 이용하여 DRX/DTX의 주기를 차등적용하여 에너지를 절약하는 방식을 제안하고 시뮬레이션을 통하여 성능을 평가한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 기지국 power saving 연구에 관한 내용과 데이터 전송에 있어서의 delay와 power saving과의 관계에 대한 내용을 소개한다. 이어서 3장에서는 제안하는 power saving MAC 프로토콜을 소개한다. 4장에서는 제안하는 MAC 프로토콜에 대한 시뮬레이션을 통해 성능을 분석하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺도록 하겠다.

II. 관련연구

1. Delay와 Power Saving의 관계

이번 장 관련연구에서는 DRX/DTX cycle의 크기

<표 1> 시뮬레이션 파라미터
<Table 1> Simulation parameters

Attribute	Value
Node 개수	LTE 시스템 BS:1, UE:1
DRX/DTX 크기 (Td)	10, 20, 32, 40, 64, 80, 128, 160, 320, 512, 700, 1000 (ms)
Onduration (Ton)	1, 2, 5, 9 (ms)
On power	1W
Sleep power	0.01W

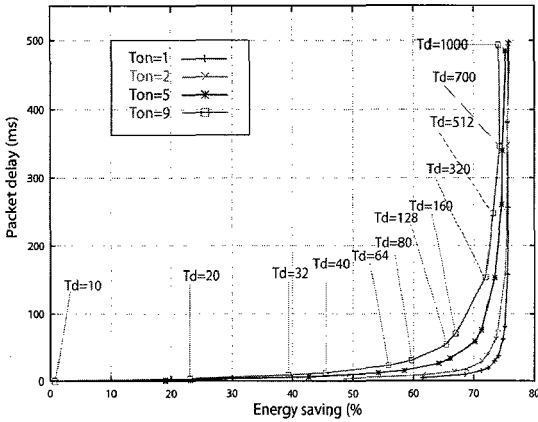
가 변화 할 때 power saving과 delay가 어떠한 관계를 가지는 지를 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 검증한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 delay와 power saving의 관계를 분석하였다. 시뮬레이션에 대한 환경은 표 1과 같다. 시뮬레이션 과정에서 한 개의 노드가 LTE 기지국과 통신하는 것과 RRC_CONNECTED 상태에서 DRX/DTX 주기를 반복하다가 데이터가 수신되면 active 상태로 진입을 반복하는 것으로 가정하였다.

트래픽의 특성에 상관없이 DRX/DTX를 적용하게 되면 실시간 영상 데이터와 같이 delay에 민감한 트래픽이 전송될 때 delay가 크게 발생하여 성능의 저하의 문제가 발생할 수 있다. 그림 1은 matlab을 사용하여 DRX/DTX의 크기와 onduration의 크기에 따른 delay와 에너지 saving의 상관관계를 나타낸 그림이다. Onduration의 크기에 따라 DRX/DTX의 크기인 Td의 값을 변화 시키면서 delay와 에너지 saving을 구하였다. 에너지 saving을 구하는 식은 식 1과 같다.[4]

$$Energy\ Saving = \frac{ME_{sleep} + NE_{awake}}{(M+N)E_{awake}} * 100 \quad (1)$$

식 (1)에서 M은 DRX/DTX 모드로 들어간 프레임의 개수이고 N은 active 모드에 있을 경우의 프레임의 개수이다. Esleep는 DRX/DTX 구간에서 sleep하고 있을 때의 프레임 당 에너지를 나타내며 Eawake는 Active 모드에 있을 때 프레임 당 사용되는 에너지를 뜻한다.

그림 1을 보면 에너지 saving의 비율이 커질 때



<그림 1> Energy saving vs. delay
<Fig. 1> Energy saving vs. delay

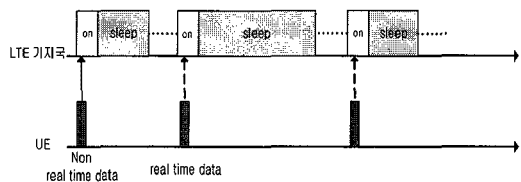
60%까지는 packet delay가 크게 늘어나지 않는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 에너지 saving의 비율이 60~80%사이의 값을 가지게 될 때 packet delay의 값이 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 Td(DRX/DTX 주기 크기)가 증가 하면 에너지 saving 퍼센트가 증가하는 것을 확인할 수 있는데 Td가 160ms 이후 부터 에너지 saving이 증가하는 것에 비하여 delay가 빠르게 증가한다. Ton(onduration의 크기)이 작은 경우에는 그 만큼 데이터를 listening할 확률이 적어지기 때문에 sleep을 하는 기회가 늘어나서 에너지를 많이 절약할 수 있지만 DRX/DTX의 주기가 커짐에 따라서 delay의 값이 급격하게 증가하는 문제점이 있다. 만약 real time 데이터가 송수신 될 때 통신 시스템에서 500~1000과 같이 큰 DRX/DTX를 사용한다면 sleep하는 총 시간이 길어지기 때문에 큰 delay가 발생하고 성능 저하의 문제가 발생할 수 있다. 이러한 점을 개선하기 위해 본 논문에서는 상황에 따라 DRX/DTX의 크기를 상황에 따라 유연하게 할당하여 성능저하를 최소화 하면서 에너지를 절약할 수 있는 방안을 제안한다.

III. 제안하는 power saving MAC 프로토콜

제안하는 power saving MAC 프로토콜은 트래픽의 특성에 따라서 차등적으로 DRX/DTX를 적용시켜 에

너지를 절약하는 방식이다. 통신 시스템에서 전송되는 데이터는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 이들 각각의 데이터들은 고유한 특성들로 인해 서로 다른 요구사항을 가지고 있다. voice, video 데이터 같은 real time 데이터의 경우에는 실시간성 보장을 요구한다. 따라서 이러한 데이터의 경우에는 delay에 민감하게 작용하게 된다. 이에 반해 텍스트 데이터 같은 non real time 데이터는 비트 에러에는 민감하지만 지연시간에 대한 제약은 약한 특성을 가진다. 즉, real time 데이터에 비해 delay에 덜 민감하다고 할 수 있다.[5] 펌토셀과 UE가 통신하는 데이터의 종류에 따라 만약 텍스트 데이터와 같은 non real time 데이터가 송수신 되고 있다면 LTE 기지국은 DRX/DTX의 크기를 real time 데이터 송수신 때보다 더 크게 세팅 함으로 더 많은 시간을 sleep할 수 있어 더 많은 양의 에너지를 절약 할 수 있다. 그리고 voice나 video 데이터 같은 real time 데이터가 수신이 되면 시스템에서 사용하는 DRX/DTX의 크기를 줄여서 packet당 발생하는 delay를 줄인다. 이 경우에는 발생하는 delay가 줄어들며 따라 QoS를 보장할 수 있다. 여기서 DRX/DTX의 크기는 2절의 관련연구에서 본 delay가 급격하게 증가하기 전의 값으로 세팅이 된다. 이 값은 DRX/DTX의 크기를 증가시켜서 delay가 임계값을 넘어 가면 DRX/DTX를 줄이는 방식이다.

그림 2에서 non real time 데이터가 수신되었을 때 LTE 기지국은 다음 DRX/DTX 모드로 진입할 때 더 큰 DRX/DTX 주기를 적용 시킨다. 이 경우 delay가 커지지만 그 만큼 기지국이 sleep할 시간과 확률이 높아져서 더 적은 에너지를 소모하게 된다. 만약 real time 데이터가 수신되면 다음 DRX/DTX 모드로 진입할 때 더 작은 DRX/DTX 주기를 적용 시켜서 QoS



<그림 2> 트래픽에 따른 DRX/DTX 차등적용
<Fig. 2> A graded application of DRX/DTX along the traffic

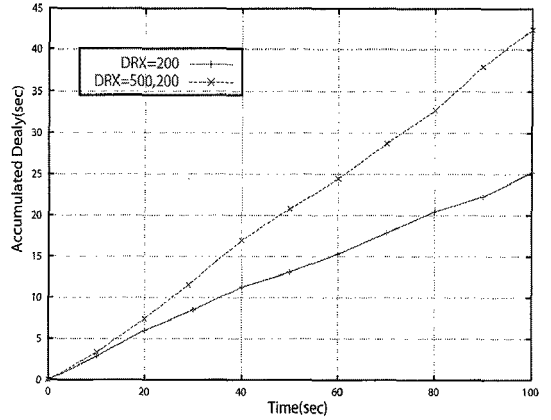
를 보장한다. 이러한 real time과 non real time 데이터는 미리 세팅된 특정 비트라인의 전송으로 구별할 수 있다. 이러한 과정을 통하여 기지국은 단말의 통신 상태에 따라서 에너지를 절약할 수도 있고 QoS도 보장할 수 있다.

IV. 시뮬레이션

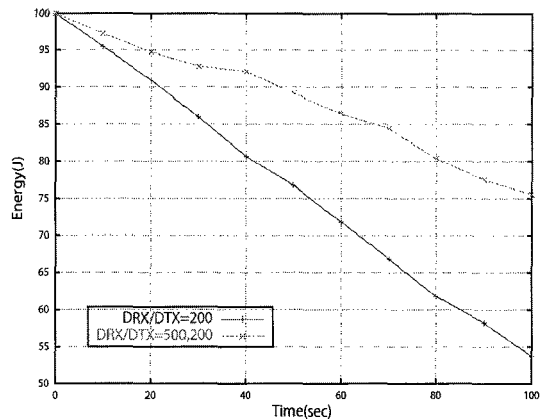
시뮬레이션은 LTE 기지국의 power saving을 위해 제안된 MAC 프로토콜을 수행하였다. 3장에서 제안한 power saving 방법을 시뮬레이션을 통하여 구현하고 결과를 비교한다. LTE 기지국이 RRC_CONNECTED DRX/DTX 구간에서 시스템에서 세팅된 DRX/DTX 주기를 반복하면서 에너지소모를 줄인다. on과 sleep을 반복하다가 onduration 시간에 데이터를 수신 받게 되면 RRC_CONNECTED ACTIVE 상태로 진입하여 데이터를 처리한다. 이 구간에서는 기지국은 계속 on 상태를 유지하며 데이터를 처리하는 것을 가정하였다. 일정시간 on 상태를 유지하다가 데이터가 수신되지 않으면 기지국은 다시 RRC_CONNECTED DRX/DTX 구간으로 진입하여 기지국의 에너지 소모를 줄이게 된다. 이러한 과정을 반복하면서 기지국의 에너지 소모와 UE가 가지는 delay를 측정하였다. 시뮬레이션 파라미터는 표2와 같다. 2개의 UE 중에 1개는 real time 데이터를 전송하고 나머지 한 개는 non-real time 데이터를 전송하는 것을 가정하였다. 그리고 가변적으로 적용 시킨 DRX/DTX의 크기는 200, 500ms로 하였다. DRX/DTX의 onduration 구간은 30ms로 고정하였다. onduration의 소모되는 에너지는 1W로 sleep 구간에서 소모되는 에너지는 0.01W로 하였다.

<표 2> 시뮬레이션 파라미터
<Table 2> Simulation parameters

Attribute	Value
Node 개수	LTE 시스템 BS:1, UE:2
DRX/DTX 크기 (Td)	200, 500 (ms)
Onduration (Ton)	30 (ms)
On power	1W
Sleep power	0.01W



<그림 3> 제안한 MAC의 누적 delay
<Fig. 3> Accumulated delay of proposed MAC



<그림 4> 제안한 MAC의 에너지 소비
<Fig. 4> Energy consumption of proposed MAC

그림 3 는 기지국 UE가 보낸 트래픽을 분석하여 DRX/DTX를 차등 적용하였을 때와 그렇지 않았을 경우에 UE가 가지는 누적 패킷 delay를 나타낸 것이다. 이 경우에 UE가 가지는 누적 delay가 차등 적용하였을 때 더 커지는 것을 알 수 있다. 그 이유는 non real time 데이터와 같은 트래픽이 기지국에 전송이 되게 되면 기지국은 다음 DRX/DTX 모드로 진입할 때 주기를 크게 하여 delay에 덜 민감한 데이터를 처리하면서 에너지 소모를 줄인다.

그림 4은 제안한 MAC을 적용하였을 때 에너지 소모량을 구한 결과이다. 트래픽의 특성에 따라서 DRX/DTX를 차등 적용하였을 때와 그렇지 않았을

경우의 에너지 saving의 량이 20% 높은 것을 확인할 수 있다. 그림 3 와 그림 4을 비교 분석하면 제안한 MAC을 적용 시키면 delay의 크기는 커질 수 있지만 에너지의 측면에서 보면 더 효율적으로 에너지를 절약할 수 있다. 그리고 이 경우에는 delay가 더 크게 증가하는 결과를 보였는데 delay에 덜 민감한 데이터가 수신될 때 DRX/DTX 주기가 커지고 delay가 증가하는 것이기 때문에 성능에는 크게 지장을 주지 않을 것으로 예상된다.

V. 결 론

본 논문에서는 3GPP LTE시스템에서의 DRX/DTX의 주기를 트래픽의 특성에 따라 차등적으로 적용시키는 power saving MAC 프로토콜을 구현하여 이 프로토콜에 대한 성능을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 제안된 MAC 프로토콜에서는 LTE 기지국 UE와 통신을 할 때 전송되는 트래픽이 real time 데이터의 경우 DRX/DTX의 주기를 줄여 데이터 전송에 대한 QoS를 보장하고 non-real time 데이터의 경우 DRX/DTX의 주기를 늘려서 power saving을 극대화 시키는 방식이다. 앞에서의 시뮬레이션 결과에서 봤듯이 위와 같은 알고리즘을 사용했을 경우 DRX/DTX 주기를 고정 했을 때보다 훨씬 많은 에너지를 절약할 수 있다는 것을 입증하였다. 이러한 power saving 알고리즘은 기존의 방식보다 좀 더 유연하게 통신 상황에 적용하여 좀 더 많은 에너지를 절약할 수 있을 뿐만 아니라 각각의 트래픽 특성에 따른 요구사항을 모두 만족시킨다는 것을 의미한다.

하지만 아직까지는 실질적으로 기지국 장비를

on/off 했을 경우 초기 세팅 시간에 따른 영향이나 on/off에 따른 전력소모와 power saving 알고리즘을 이용하여 절약 할 수 있는 에너지를 비교했을 때 어느 정도의 효율이 생기는가에 대한 연구가 필요할 것으로 예상된다. 특히 최근 탄소배출에 대한 환경적인 문제가 대두되고 있기 때문에 앞으로는 적은 양의 전력을 사용하는 단말기에서의 에너지 절약에 대한 연구뿐만 아니라 단말기에 비해 많은 양의 전력을 사용하는 기지국에서의 에너지 절약에 관한 연구가 좀 더 활발히 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

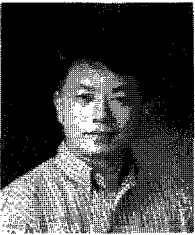
- [1] 3GPP TS 36.300, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description," May 2008.
- [2] 3GPP TS 36.321, "Medium Access Control(MAC) Protocol specification," Mar. 2009
- [3] Peter Hjorth, Nina Lövehagen, Jens Malmödin, Kent Westergren; "Reducing CO2 emissions from mobile communications-BTS Power Savings and Tower Tube" *Ericsson Review* No. 1., 2008.
- [4] Chandra S. Bontu, Ed Illidge, "DRX Mechanism for Power Saving in LTE" *IEEE Communication Magazine*, vol. 47, pp.48-55, June 2009.
- [5] Jul-Hung Yeh, Chi-Chen Lee, Jyh-Cheng Chen, "Performance Analysis of Energy Consumption in 3GPP Networks" *Wireless Telecommun. symp.*, pp.67-72, May 2004.

저자소개



이 승 환 (Lee, Seung-Hwan)

2008년 광운대학교 학사(무선네트워크전공)
2010년 광운대학교 석사(무선네트워크전공)
2010년 2월 ~ : 광운대학교 박사과정



이 승 형 (Rhee, Seung-Hyong)

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