

IEEE 802.16e 시스템에서 이동 단말의 에너지 절약 기법

정회원 심 유 승*, 강 재 은*, 종신회원 이 정 규*

Power Saving Scheme for MS in IEEE 802.16e system

Yu-Seung Sim*, Jae-Eun Kang* *Regular Members*, Jong-Kyu Lee* *Lifelong Member*

요 약

IEEE 802.16e 표준에서는 이동 단말의 제한된 에너지를 효율적으로 관리하기 위하여 서비스의 종류에 따라 서로 다른 수면모드 작동기법을 정의하고 있다. 기존의 수면모드 작동기법에 대한 연구는 이동 단말이 하나의 서비스를 받는 환경으로 제한되어 있으므로, 여러 서비스를 동시에 받을 경우 서로 다른 수면모드 작동기법을 동시에 적용하여 실제로 에너지를 절약하는 구간을 크게 감소시킨다. 본 논문에서 제안하는 에너지 절약 기법은 이동 단말이 여러 서비스를 동시에 받는 환경에서 실제로 에너지를 절약하는 구간을 증가시킴으로써, 에너지 소모를 최소화하고 기존과 비슷한 수준의 QoS(Quality of Services)를 보장한다. 향후 IEEE 802.16e 시스템에서 이동 단말의 제한된 배터리 수명을 증가시키면서 QoS를 보장하고 싶을 경우, 본 논문에서 제안한 에너지 절약 기법이 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

Key Words : WMAN, WiMAX, WiBro, IEEE 802.16e, power saving class, sleep mode

ABSTRACT

IEEE 802.16e standard defines different Sleep Mode Operations according to kind of services which aims at saving energy for MS efficiently. The previous study of Sleep Mode Operation is limited for single service environment, real sleep interval is decreased because different Sleep Mode Operations are applied at once when MS is on multi service. The proposed Enhanced Sleep Mode Operation increasing real sleep interval of this paper guarantees QoS(Quality of Services) which is same as standard, minimizes energy consumption when different Sleep Mode Operations are applied at once. Therefore Enhanced Sleep Mode Operation of this paper will be useful in case of increase battery life time as well as guaranteeing QoS for MS in IEEE 802.16 system.

I. 서 론

IEEE 802.16e 시스템은 셀의 크기가 이동 전화망과 유사한 광대역 무선 접속 표준인 IEEE 802.16d 표준^[1]을 이동 단말의 이동성 지원과 에너지 절약 측면에서 개선하여 사용자들이 고속으로 이동하는 환경에서도 광대역의 데이터 서비스가 가능하도록 설계되었다. 기존의 무선 인터넷은 전파

도달 거리가 짧고 실외에서나 이동 중에는 서비스가 되지 않으며, 휴대 전화를 이용한 무선 인터넷은 제한된 배터리 용량으로 많은 양의 데이터를 처리하기 어렵고 패킷 기반 데이터 서비스를 제공하고 있으므로 패킷 당 과금 정책으로 인하여 요금이 비싸다는 단점이 있다. 따라서 IEEE 802.16e 시스템에서 제공하는 광대역 서비스는 기존의 짧은 전파 도달 거리를 해결하고, 서비스의 종류에 따라 배터

* 한양대학교 컴퓨터공학과 정보통신 연구실(kkksim81@hanyang.ac.kr, {jekang, jklee}@cse.hanyang.ac.kr)
논문번호 : KICS2008-10-468, 접수일자 : 2008년 10월 21일, 최종논문접수일자 : 2009년 3월 12일

리를 효율적으로 관리하는 수면모드 기법과 단말의 이동성을 지원하는 기지국간의 핸드오버 기법을 제공하며, 두 가지 기능이 지향하는 바는 다르지만 핸드오버는 이동 단말의 에너지가 남아 있어야 가능하므로 적절한 수면모드 기법을 통해 에너지를 절약하는 것이 요구된다.

IEEE 802.16e 표준에서는 이동 단말의 제한된 에너지를 효율적으로 관리하기 위하여 서비스의 종류에 따라 서로 다른 PSC(Power Saving Class)를 정의하고 있다. PSC I은 NRT-VR(Non Real Time-Variable Rate), BE(Best Effort) 타입의 서비스에 적용하며, 도착하는 트래픽이 없으면 2배씩 증가하는 수면구간을 통하여 에너지를 절약한다. 또한 PSC II는 UGS(Unsolicited Grant Service), RT-VR(Real Time-Variable Rate), ERT-VR(Extended Real Time-Variable Rate) 타입의 서비스에 적용하며, 주기적으로 고정된 길이의 수면구간을 통하여 에너지를 절약한다. 그 외에, PSC III는 멀티캐스트 트래픽에 적용하며, 이동 단말은 기지국과 수면구간의 협상과정 없이 사전에 정해진 수면구간을 통하여 에너지를 절약한다²⁾.

기존의 수면모드에 대한 연구는 이동 단말이 받는 특정 서비스만 고려하였으며, 수면모드로 진입하기 위한 대기시간과 수면구간 등의 특정 파라미터를 조절하여 성능을 향상시키고^{3,4,5,6,7,8,9)}, 분석이 용이한 모델을 제안하는 것이 대부분이다^{10,11)}. 하지만 실제로 이동 단말이 광대역을 이용하여 다양한 서비스를 동시에 받는 환경을 고려할 때, 기존의 표준 문서 기법과 각 연구들은 IEEE 802.16e 시스템의 현실적이고 범용적인 상용화를 추진하기에는 아직 미흡한 실정이다. 왜냐하면, 이동 단말이 다양한 서비스를 동시에 접하는 멀티미디어 환경에서 서비스 종류에 따라 서로 다른 PSC를 동시에 적용할 경우, 실제로 에너지를 절약하는 구간을 감소시켜 에너지 자원 관리에 대한 효율성을 저하시킬 수 있다. 따라서 제한된 에너지 자원을 가진 이동 단말의 입장에서는 이를 해결할 수 있는 새로운 수면모드 작동기법이 요구된다.

본 논문에서는 이동 단말이 여러 가지 서비스를 동시에 받는 환경에서 서로 다른 PSC를 동시에 적용할 경우, 실제로 에너지를 절약하는 구간을 증가시켜 에너지 자원 관리의 효율성을 높이고 QoS를 보장할 수 있는 향상된 수면모드 작동기법을 제안한다.

기존의 표준 문서에는 다양한 종류의 서비스의 특성만을 고려하여 다수의 PSC를 서로 연관성 없

이 제시하고 있다. 그러나 실제로 다양한 서비스가 존재하는 멀티미디어 환경을 위해서는 서로 다른 PSC의 특성을 파악하고, 최적의 통합된 수면모드 작동 기법을 제시할 필요가 있다. 제안하는 기법은 서비스의 지연을 보장하는 범위 내에서 서로 다른 PSC에 대해 활성 구간의 동기를 맞춤으로써, 기존 표준 문서의 기법과 비교하여 에너지 소비량 측면에서 더 효율적이며, 서비스의 지연이 허용 범위 내에서 발생하게 된다. 따라서 NS-2 시뮬레이터를 이용하여, 최소수면구간 및 최대수면구간의 변화함에 따라 향상된 수면 모드 작동 기법의 성능이 더 우수함을 검증한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 IEEE 802.16e 시스템의 PSC에 대해서 설명하고, 3장에서는 제안한 향상된 수면모드 작동기법을 설명하고, 마코프 체인(Markov Chain) 모델을 이용하여 분석한다. 4장에서는 기존의 표준 문서 기법과 향상된 수면모드 작동기법의 성능을 비교 평가하고, 마지막으로 5장에서는 논문의 결론을 맺는다.

II. IEEE 802.16e PSC

IEEE 802.16e 표준에서는 이동 단말의 제한된 에너지를 효율적으로 관리하기 위하여 서비스의 종류에 따라 서로 다른 PSC를 정의하고 있으며, 각 PSC는 서로 다른 메시지와 동작 절차를 가진다. 또한 서로 다른 PSC를 동시에 적용할 경우, 수면구간이 겹치는 구간에서 실제로 에너지를 절약한다.

2.1. PSC I

PSC I은 트래픽 지연에 민감하지 않은 NRT-VR, BE 타입의 서비스에 적용한다²⁾. 그림 1은 이동 단말이 PSC I을 적용하여 수면모드로 진입한 후 트래픽을 수신하기 위한 활성구간으로 천이할 때까지의 동작 상태를 나타낸다.

이동 단말은 현재 받고 있는 서비스의 트래픽이 일정 기간 동안 존재하지 않으면 기지국과 수면모드로 진입하기 위한 파라미터(수면모드 시작시간, 최소수면구간, 최대수면구간)를 협상한다. 본 논문에서는 최소수면구간을 T_{MIN} 로, 최대수면구간을 T_{MAX} 로, T_{MIN} 과 T_{MAX} 사이에 존재하는 i 번째 수면구간을 T_i 로 나타낸다. 이동 단말은 수면모드로 진입 후 T_{MIN} 을 시작으로 수신할 트래픽이 없으면 2배씩 증가하는 수면구간을 계속해서 유지하다가, 수면구간이 T_{MAX} 에 이르면 수신할 트래픽이 존재할 때까지

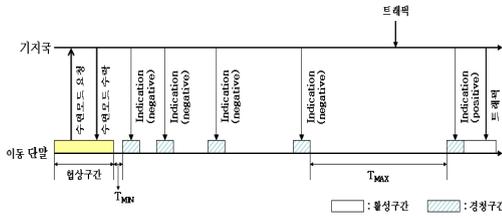


그림 1. IEEE 802.16e PSC I의 수면모드
Fig. 1. Sleep Mode in IEEE 802.16e PSC I

T_{MAX} 를 반복한다. i 번째 수면구간 T_i 의 길이는 식 (1)과 같다.

$$T_i = 2^i T_{MIN}, \quad 0 \leq i \leq M \quad (1)$$

기지국은 수면구간 사이에 존재하는 경청구간 동안 Indication(positive 또는 negative) 메시지를 송신하여 이동 단말에게 수신할 트래픽의 존재 유무를 알리며, 경청구간의 길이는 T_L 로 항상 일정하다. 이동 단말은 Negative-Indication 메시지를 수신하면 2배씩 증가하는 수면 구간을 유지하고, Positive-Indication 메시지를 수신하면 활성구간으로 천이하여 트래픽을 수신한다.

2.2 PSC II

PSC II는 트래픽 지연에 민감한 UGS, RT-VR, ERT-VR 타입의 서비스에 적용한다^[2]. 그림 2는 이동 단말이 PSC II를 적용하여 수면모드에 진입한 후 서비스 트래픽을 수신하는 동작 상태를 나타낸다.

이동 단말이 PSC II를 적용할 경우 고정된 길이의 수면구간을 주기적으로 반복하고, 수면구간에 존재하는 활성구간에서 트래픽을 송, 수신한다. 이동 단말은 특정 서비스를 받기 전에 서비스의 특성에 따라 기지국과 수면모드에 진입하기 위한 파라미터(수면모드 시작시간, 최소수면구간)를 협상한다. 활성구간 사이에 존재하는 j 번째 수면구간을 T_j 로 나타내고, 하나의 활성구간은 하나의 패킷을 송, 수

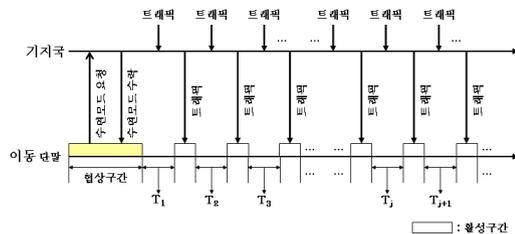


그림 2. IEEE 802.16e PSC II의 수면모드
Fig. 2. Sleep Mode in IEEE 802.16e PSC II

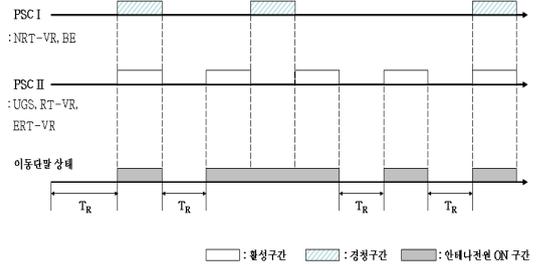


그림 3. 이동 단말의 실제 에너지 절약 구간
Fig 3. Real Sleep Interval of MS as a whole

신한다면, 이동 단말이 PSC II를 적용하여 서비스를 받는 시간은 k 개의 패킷을 송, 수신한 시간이다.

식 (2)와 같이 T_j 와 활성구간의 수면주기를 반복하는 PSC II 적용 중에도 서비스의 실시간 전송을 보장하면서 에너지를 절약하고, T_j 와 활성구간의 수면주기를 k 번 반복한 후 서비스를 마치고 수면모드를 종료한다.

$$T_j = T_{MIN}, \quad 0 \leq j \leq k-1 \quad (2)$$

2.3 실제 에너지 절약 구간(Real Sleep Interval)

Real Sleep Interval은 서로 다른 PSC를 동시에 적용할 경우 수면구간이 겹치는 구간이며, 이 구간에서 실제로 에너지를 절약 할 수 있다. 그림 3은 IEEE 802.16e 표준 문서에서도 언급하고 있는 부분이며, 서비스의 종류에 따라 정의된 PSC를 동시에 적용할 경우에 이동 단말의 Real Sleep Interval을 나타낸다^[1]. 그림 3에서 보는 바와 같이, PSC I과 PSC II가 서로 독립적으로 작동하므로 트래픽이 없을 때에도 실제로 에너지를 절약하는 구간인 T_R 은 길지 않다.

III. 향상된 수면모드 작동기법

IEEE 802.16e 표준에서 서비스의 종류에 따라 정의된 PSC는 서로 다른 주기와 길이의 수면구간을 가지고 에너지를 절약하며, 이동 단말이 서로 다른 PSC를 동시에 적용할 경우 실제로 에너지를 절약하는 T_R 을 감소시킬 수 있다. 제한하는 향상된 수면모드 작동기법은 이동 단말이 서로 다른 PSC를 동시에 적용할 경우, 표준 문서 기법과 비슷한 수준의 서비스 지연 시간을 보장하면서 T_R 의 길이를 최대한 보장함으로써 효율적으로 에너지 자원을 관리할 수 있도록 한다.

3.1 동기화

IEEE 802.16e 표준에서 정의된 PSC I의 T_L 과 PSC II의 활성구간은 용어 자체는 달라도, 기지국으로부터 도착하는 트래픽 및 제어 메시지를 수신하기 위하여 이동 단말의 안테나 전원을 ON 시킨 구간이다.

그림 4는 서로 다른 PSC를 동시에 적용할 경우 동기화 여부에 따른 T_R 의 길이를 나타낸다. 하나의 패킷을 송, 수신하는 하나의 활성구간의 길이를 T_d 라고 하고, T_d 와 T_L 의 길이가 동일하다고 가정한다면, 그림 4(b)에서 적용한 향상된 수면모드 적용기법은 PSC II의 주기적인 T_d 에 PSC I의 T_L 을 동기화시킴으로써 그림 4(a)보다 상대적으로 더 긴 T_R 의 길이를 갖는다.

3.2 다양한 서비스 환경에서 PSC I의 수면구간 결정

IEEE 802.16e 표준에서 정의된 PSC I이 적용되는 해당 서비스는 지연에 민감하지 않으며, 기지국과 협상한 T_{MAX} 는 해당 서비스의 지연을 보장할 수 있는 범위 내에서 결정된다. 비실시간 서비스 지연에 대하여 GSM Association에서는 UMTS QoS와 IP QoS간 매핑 시 400ms 이내로 보장할 것을 제안하였으며, 3GPP WG에서는 10,000ms 이내^[12], ITU-T Y.1540, Y.1541에서는 1,000ms 이내^[13], ITU-T G.1010에서는 60,000ms 이내^[14]로 보장할 것을 명시하고 있다.

향상된 수면모드 작동기법은 서로 다른 PSC를 동시에 적용할 경우, PSC I의 T_{MAX} 범위 내에서 결정된 Adaptive Sleep Interval을 주기적으로 반복하여 기지국으로부터 Indication(positive 또는 negative) 메시지를 수신한다.

그림 5는 서로 다른 PSC를 동시에 적용할 경우, IEEE 802.16e 표준 문서 기법과 향상된 수면모드 작동기법의 동작을 나타낸다. Adaptive Sleep Interval을 T_A 로 나타낸다면, 그림 5(a)와 같이 IEEE 802.16e

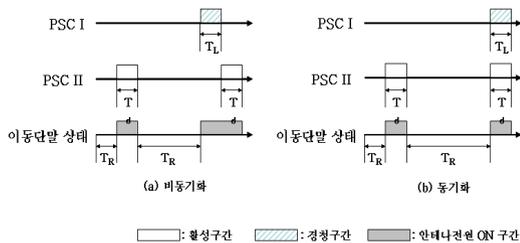


그림 4. 동기화 여부에 따른 실제 에너지 절약 구간
Fig. 4. Real Sleep Interval according to Synchronization

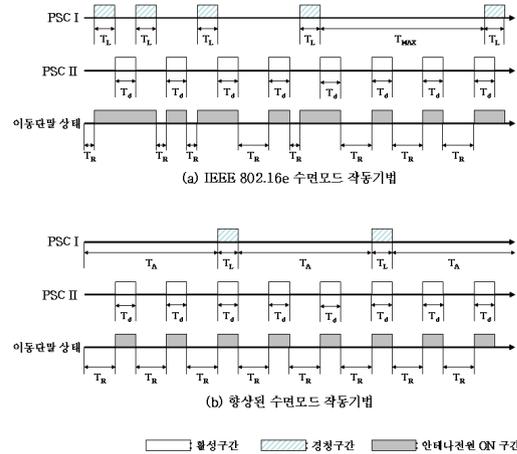


그림 5. IEEE 802.16e 표준 문서 기법과 향상된 수면모드 작동기법
Fig 5. IEEE 802.16e Sleep Mode Operation and Enhanced Sleep Mode Operation

표준 문서 기법은 PSC I의 T_L 과 PSC II의 T_d 는 서로 다른 주기를 가지고 반복되지만, 그림 5(b)와 같이 향상된 수면모드 작동기법은 식 (3)과 같이 T_{MAX} 이내에서 최대한의 길이로 결정된 T_A 를 가지고 T_L 을 PSC II의 T_d 에 동기화시킨다. 즉, 식 (3)에서 $T_A + T_d$ 는 Adaptive Sleep Interval과 하나의 Negative-Indication을 수신하는 구간이며, $T_j + T_d$ 는 PSC II를 적용할 때 수면구간을 포함하여 하나의 트래픽을 수신하는 구간으로써 c번의 사이클을 반복하여 활성구간을 $T_j + T_d$ 의 활성구간에 주기적으로 동기화시킴으로써 에너지를 절약한다. 이와 같이 향상된 수면모드 작동 기법은 PSC II 작동을 하는 단말에서 서로 다른 PSC가 적용될 때, 고려될 수 있다. 따라서 PSC I를 적용하는 서비스의 지연을 보장하고 표준 문서 기법보다 증가된 T_R 과 상대적으로 적은 Indication 메시지를 수신하면서 에너지를 절약할 수 있다.

$$T_A + T_d = c(T_j + T_d) - T_d \leq T_{MAX}, \quad 1 \leq c \leq k \quad (3)$$

3.3 성능 분석

본 절에서는 제한하는 향상된 수면모드 작동 기법을 마코프 체인을 이용한 큐잉 모델(Queueing Model)로 분석하기 위하여, 시스템 상에서 서비스되는 트래픽의 유무에 따라 적용하는 PSC에 따라 상태를 정의하고 수면모드의 작동 과정을 나타낸다. 따라서 안정상태 확률을 이용하여 평균 지연시간과 향상된 수면모드 작동 기법을 적용할 때의 에너지 소비량을 구한다.

3.3.1 분석 모델

향상된 수면모드 작동은 그림 6과 같이 마코프 체인으로 모델링 할 수 있다^[11].

PSC I이 작동하고 있을 때, PSC II를 적용하는 서비스의 트래픽 유무에 따라 향상된 수면모드 작동을 하는 시스템의 상태를 정의하면 $s(t)$ 로 나타낼 수 있다. $s(t)$ 는 $\{S_i, E, T\}$ 의 값을 가지며 그 값이 S_i 일 때에는 PCS I으로 작동하고, 그 값이 E 일 때에는 제안하는 향상된 수면모드 작동기법으로 동작하는 것을 뜻한다. 그리고 $s(t)$ 의 값이 T 인 상태는 새로 도착한 서비스가 PSC II를 적용하는 서비스의 트래픽인지, 아니면 PSC I을 적용하는 서비스의 트래픽인지를 구별하게 된다. 그리고 $s(t)$ 의 값이 S_i 일 때 i 는 $\{0, 1, 2, \dots, M\}$ 과 같은 값을 가지며 기존의 PSC I에서 기지국으로부터 도착하는 트래픽이 없을 때, 2배씩 증가하는 수면구간 T_i 상태를 정의하기 위해 사용되어진다. 따라서 PCS I 방식에서 수면구간의 길이가 T_{MAX} 에 도달하는 상태 S_M 이 되면, 수신할 트래픽이 발생할 때까지 T_{MAX} 를 반복한다.

PSC I의 상태 천이 확률은 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$\alpha_i = e^{-(\lambda + \lambda)T_i} \quad (4)$$

PSC I에 의해 수면모드 상태일 때, 트래픽 지연에 민감하지 않은 NRT-VR, BE 타입의 서비스가 도착하면 단말은 PSC I 작동을 중단하게 된다. 이때, PSC I 작동과 관련한 서비스의 트래픽 도착율을 λ 로, PSC II를 적용하는 서비스의 트래픽 도착율은 λ' 로 나타내며, α_i 는 PSC I 방식의 수면구간 T_i 상태에서 트래픽이 도착하지 않을 확률을 뜻한다. 다양한 타입의 서비스는 각각의 특성에 따라서 서로 다른 서비스 시간을 갖지만, 분석을 위해 제안하는 기법에서 트래픽의 도착은 포아송 분포를 갖는다고 가정한다. 따라서 식 (4)의 α_i 의 확률로 T_i 동

안 새로 도착하는 트래픽이 없으면 PSC I에 따라 다음 수면구간 상태인 S_{i+1} 로 천이하고, 새로운 트래픽이 도착하면 서비스의 종류에 상관없이 상태 T 로 천이한다.

상태 T 에서는 β 의 확률로 수면구간 작동을 중단하거나, $(1-\beta)$ 의 확률로 향상된 수면모드 작동기법으로 동작한다. 확률 β 는 식 (5)와 같이 정의된다.

$$\beta = \begin{cases} 0, & UGS, RT-VR, ERT-VR \\ & \text{서비스만 있을 경우} \\ 1, & \text{그 외의 경우} \end{cases} \quad (5)$$

새로 도착한 트래픽이 PSC II를 적용하는 서비스의 트래픽인 경우 제안하는 향상된 수면모드 작동기법으로 동작하기 위해 상태 E 로 천이하고, 그렇지 않은 경우에는 PSC I을 적용하는 서비스의 트래픽이 도착한 것이므로 향상된 수면모드 작동기법을 멈추고 트래픽 수신을 위해 상태 S_0 로 천이하게 된다. 여기서 β 가 1의 값을 갖는 경우는 PSC I을 적용하는 서비스의 트래픽을 포함하거나, PSC I과 PSC II를 적용하는 서비스의 트래픽을 동시에 포함하는 트래픽이 도착했을 경우를 뜻한다.

PSC II를 적용하는 서비스의 트래픽을 송, 수신하게 되면 T_L 과 T_d 가 동기화된 향상된 수면모드 작동기법을 적용하게 된다. 이 때, 고정된 시간구간 T_A 동안 $(1-\alpha_A)$ 의 확률로 기지국에 도착한 트래픽이 기존에 서비스 중인 PSC II를 적용하는 서비스의 트래픽만 있을 경우에는 계속해서 향상된 수면모드 작동기법을 동작한다. 실제 수면 구간을 증가 시킴으로써 에너지 소비를 최소화하기 위하여, 식 (3)과 같이 T_{MAX} 이내에서 T_L 을 PSC II의 T_d 에 동기화시킨 최대 수면 구간 길이인 T_A 를 가지고 수면모드를 작동시킨다. 따라서 현재 수면구간이 끝난 후, 새로운 트래픽이 도착했을 확률인 $(1-\alpha_A)$ 은 수면구간의 길이 T_A 에 영향을 받는다. 그러나 T_A 동안에 도착한 트래픽이 PCS I과 관련된 지연시간에 덜 민감한 서비스의 트래픽인 경우, 더 이상 수면모드를 적용할 필요가 없고, α_A 의 확률로 T_A 동안에 새로운 트래픽이 발생하지 않으면 PSC I을 동작시키기 위해 상태 S_0 로 천이한다.

이제 각 상태에서의 안정상태 확률을 $P_{s(t)}$ 라고 하면 식 (6), (7)과 같이 구할 수 있다.

$$P_{S_0} = \beta P_T + \alpha_A P_E \quad (6)$$

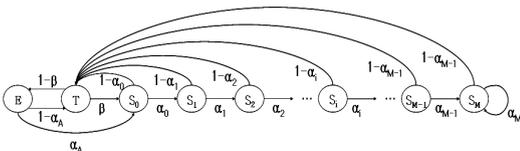


그림 6. IEEE 802.16e 시스템에서의 향상된 수면모드 작동 기법의 마코프 체인 모델
Fig. 6. Markov Chain Model of Enhanced Sleep Mode Operation in IEEE 802.16e system

$$P_{S_1} = \alpha_0 P_{S_0}$$

$$P_{S_2} = \alpha_1 P_{S_1} = \alpha_0 \alpha_1 P_{S_0} = P_{S_0} \prod_{i=0}^1 \alpha_i \quad (7)$$

$$P_{S_3} = \alpha_2 P_{S_2} = \alpha_0 \alpha_1 \alpha_2 P_{S_0} = P_{S_0} \prod_{i=0}^2 \alpha_i$$

$$\vdots$$

PSC I 방식의 초기 수면모드 상태의 확률은 P_{S_0} 이므로, 이것을 이용하여 모든 $s(t)$ 값이 1인 상태의 확률을 구하면 식 (8), (9)와 같이 구할 수 있다.

$$P_{S_j} = P_{S_0} \prod_{i=0}^{j-1} \alpha_i, \quad 1 \leq j \leq M-1 \quad (8)$$

$$P_{S_M} = \frac{P_{S_0}}{1 - \alpha_M} \prod_{i=0}^{M-1} \alpha_i \quad (9)$$

또한 향상된 수면모드 작동기법을 적용하는 상태 E 에서의 확률을 구하면 식 (10)과 같다.

$$P_E = (1 - \beta) P_T \quad (10)$$

그러므로 식 (10)을 이용하여 식 (6)은 식 (11)과 같이 계산되므로, 상태 T 에서의 확률은 식 (12)와 같다.

$$P_{S_0} = \beta P_T + \alpha_A P_E = \beta P_T + \alpha_A (1 - \beta) P_T \quad (11)$$

$$P_T = \frac{P_{S_0}}{\beta + \alpha_A (1 - \beta)} \quad (12)$$

따라서 $\sum_{i=0}^M P_{S_i} + P_E + P_T = 1$ 이므로, 최종적으로 P_{S_0} 는 다음 식 (13)과 같이 구할 수 있다.

$$P_{S_0} = \left(1 + \sum_{j=1}^{M-1} \prod_{i=0}^{j-1} \alpha_i + \frac{1}{1 - \alpha_M} \prod_{i=0}^{M-1} \alpha_i + \frac{2 - \beta}{\beta + \alpha_A (1 - \beta)} \right)^{-1}$$

$$= \frac{(1 - \alpha_M)}{(1 - \alpha_M) \left(1 + \sum_{j=1}^{M-1} \prod_{i=0}^{j-1} \alpha_i + \frac{2 - \beta}{\beta + \alpha_A (1 - \beta)} \right) + \prod_{i=0}^{M-1} \alpha_i} \quad (13)$$

3.3.2 에너지 소비량

이동 단말이 향상된 수면모드 작동기법을 적용할 때 소비하는 에너지는, 기지국으로부터 Indication 메시지를 T_A 간격으로 수신하는 구간과 PSC II를 적용하는 서비스의 트래픽을 송, 수신하는 구간 및 T_R 를 통하여 계산할 수 있다.

서로 다른 PSC가 겹치는 시간은 PSC II를 적용하여 k 개의 패킷을 송, 수신하는 시간이므로, 향상된 수면모드 작동기법을 적용하는 시간은 식 (14)와

같이 구할 수 있다.

$$T = k(T_d + T_j) \quad (14)$$

활성상태에서의 에너지 소비량을 P_A 로 수면상태에서의 에너지 소비량을 P_S 라고 한다면, 향상된 수면모드 작동기법이 적용 중에 PSC II를 적용하는 서비스의 트래픽을 송, 수신하는 구간 및 T_R 에서 소비하는 에너지 E_{PSCII} 는 식 (15)로, Indication 메시지를 수신하면서 소비하는 에너지 E_{PSCI} 는 식 (16)으로 계산될 수 있다.

$$E_{PSCII} = k(P_A T_d + P_S T_j) \quad (15)$$

$$E_{PSCI} = P_A T_d \left[\frac{k(T_d + T_j)}{T_A + T_d} \right] \quad (16)$$

식 (14), (15), (16)을 통하여 향상된 수면모드 작동기법을 적용하는 시간동안 이동 단말이 소비한 에너지 소비량 E 는 식 (17)과 같이 계산될 수 있다.

$$E = E_{PSCII} + E_{PSCI}$$

$$= k(P_A T_d + P_S T_j) + P_A T_d \left[\frac{k(T_d + T_j)}{T_A + T_d} \right] \quad (17)$$

3.3.3 평균 지연시간

NRT-VR, BE 타입의 서비스의 평균 지연시간은 기존의 PSC I으로 적용될 때와 향상된 수면모드 기법이 적용되었을 때를 모두 고려하여 구하면, 식 (18)과 같이 계산될 수 있다.

$$D = \frac{T_A}{2} P_E + \sum_{i=0}^M \frac{T_i}{2} P_{S_i} \quad (18)$$

IV. 성능 시뮬레이션 및 검토

본 장에서는 제안하는 기법의 분석 결과와 NS-2를 이용한 시뮬레이션 결과를 비교하여 성능을 평가한다. 최소수면구간과 최대수면구간의 변화에 따른 에너지 소비량과 평균 지연시간을 기존의 표준 기법과 비교하며, 실제 에너지 절약 구간을 구함으로써, 발생하는 트래픽 양에 따라 에너지 절약 비율을 구한다.

4.1 성능 평가 모델

본 논문에서는 NS-2를 사용하여 IEEE 802.16e 표준 문서 기법과 제안한 기법의 에너지 소비량 및 평균 지연 시간을 비교하였다. IEEE 802.16e 시스

템 환경에서 기지국 반경 500m내에 100km/h로 이동하는 단말이 PSC를 적용할 때 소비하는 에너지는 StrongARM SA-1100 프로세서를 기준으로 측정하였고, 그래프의 용이한 분석을 위하여 최소, 최대수면구간을 최소, 최대수면지수로 환산하여 기록하였다. 또한, 단말이 PSC II를 적용하는 VoIP(Voice over Internet Protocol) 서비스를 받으면서 이동하는 경우를 고려하여, 180sec 동안 CBR(Constant Bit Rate) 트래픽을 주기적으로 받으면서 이동 중에 핸드오버와 관련된 메시지를 추가적으로 수신할 수 있도록 설정하였다.

IEEE 802.16e 표준 문서 기법과 제안하는 기법의 성능을 비교 및 평가하기 위해서, 시뮬레이션 환경은 이동 단말을 지원하는 802.16e 시스템 모델을 최대한 반영하였다. 또한 최적의 PSC를 적용하기 위하여, 시스템 환경에 맞추어 설계자가 결정할 수 있는 값인 최소수면구간 및 최대수면구간을 변경하면서 에너지 소비량과 평균 지연시간을 측정하였다.

4.2 성능 평가 결과

그림 7, 8은 제안한 기법에서 T_{MIN} 과 T_{MAX} 의 변화에 따른 분석 및 성능 평가의 에너지 소비량을 나타내고 있다. 패킷 송, 수신과 수면구간에서 소비하는 에너지를 비교하고 있으며, 분석에 의해 식 (17)에 계산된 결과와 표 1의 파라미터를 적용하여 NS-2를 이용해 실험한 결과를 보여준다. 성능 평가와 달리, 분석을 통해 계산된 에너지 소비량에는 패

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation Parameters

Item	Value
시스템 모델	IEEE 802.16e
기지국 반경	500m×500m
이동 단말 속도	100km/h
주파수 대역	2.412 GHz
네트워크 인터페이스	OFDM
라우팅 프로토콜	DSDV
전파 모델	TwoRayGround
안테나 타입	OmniAntenna
큐 타입	DropTail
트래픽 타입	CBR
패킷 크기	1,000bytes
프레임 크기	5ms
최소수면지수	-1 ~ 13
최대수면지수	6 ~ 14
활성상태에서의 에너지 소비량	400mW ^[15]
수면상태에서의 에너지 소비량	0.16mW ^[15]

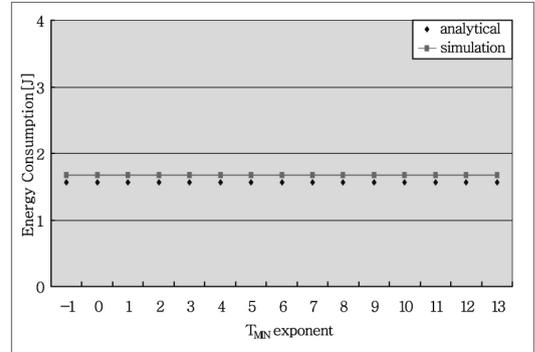


그림 7. T_{MIN} 지수 변화에 따른 분석 및 성능 평가의 에너지 소비량 비교

Fig. 7. Comparison of Energy Consumption by various minimum sleep interval exponent for analytical and simulation results

$$(T_{MAX}=81.920s, T_{MIN}=2^{T_{MIN}exponent} \times 0.01s)$$

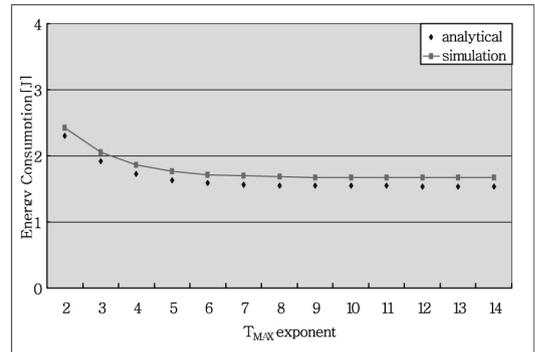


그림 8. T_{MAX} 지수 변화에 따른 분석 및 성능 평가의 에너지 소비량 비교

Fig. 8. Comparison of Energy Consumption by various maximum sleep interval exponent for analytical and simulation results

$$(T_{MIN}=0.005s, T_{MAX}=2^{T_{MAX}exponent} \times 0.01s)$$

킷을 생성하거나, 송, 수신된 패킷이 서로 다른 계층을 이동할 때 소비하는 에너지가 고려되지 않고 있다. 그러나 두 결과는 7.8% 이내의 작은 오차범위를 가지며, 비슷한 분포 특성을 보인다.

그림 9, 10은 서로 다른 PSC를 이동 단말에게 동시에 적용할 경우, T_{MIN} 의 변화에 따라 표준 문서 기법과 제안한 기법의 에너지 소비량과 평균 지연 시간을 나타낸다.

그림 9, 10과 같이 표준 문서 기법은 수면모드 진입 시 PSC I의 T_{MIN} 을 점점 증가시켜 T_{MAX} 만큼 증가시킬수록 수면모드 초기에 에너지를 절약하는 구간이 길어지므로 에너지 소비량은 감소하고, 기지국으로부터 도착하는 트래픽의 평균 지연 시간

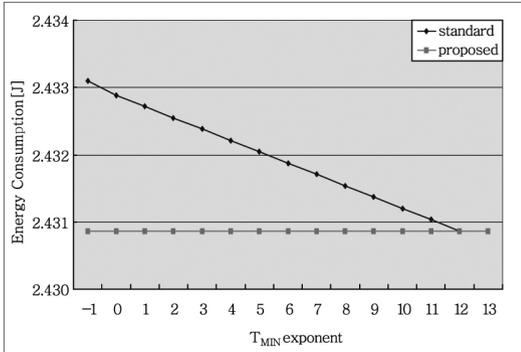


그림 9. T_{MIN} 지수 변화에 따른 에너지 소비량
 Fig. 9. Energy Consumption by various minimum sleep interval exponent
 ($T_{MAX}=81.920s$, $T_{MIN}=2^{T_{MIN}^{exponent}} \times 0.01s$)

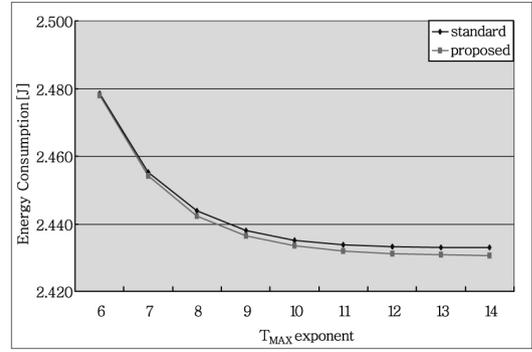


그림 11. T_{MAX} 지수 변화에 따른 에너지 소비량
 Fig. 11. Energy Consumption by various maximum sleep interval exponent
 ($T_{MIN}=0.005s$, $T_{MAX}=2^{T_{MAX}^{exponent}} \times 0.01s$)

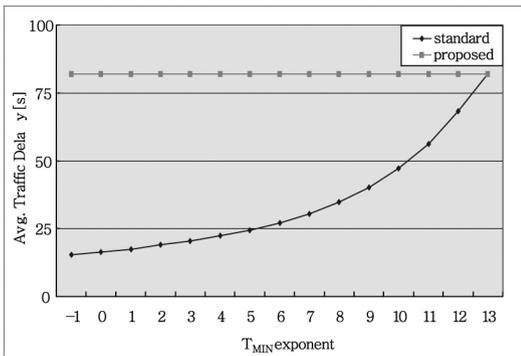


그림 10. T_{MIN} 지수 변화에 따른 평균 지연 시간
 Fig. 10. Avg. Traffic Delay by various minimum sleep interval exponent
 ($T_{MAX}=81.920s$, $T_{MIN}=2^{T_{MIN}^{exponent}} \times 0.01s$)

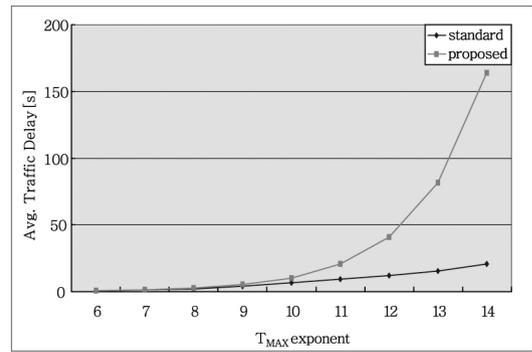


그림 12. T_{MAX} 지수 변화에 따른 평균 지연 시간
 Fig. 12. Avg. Traffic Delay by various maximum sleep interval exponent
 ($T_{MIN}=0.005s$, $T_{MAX}=2^{T_{MAX}^{exponent}} \times 0.01s$)

은 증가한다. 하지만 제안한 기법은 수면모드 진입 시 반복하는 T_A 는 T_{MIN} 변화에 영향을 받지 않고 T_{MAX} 범위 내에서 결정되므로 에너지 소비량은 일정하고, 고정된 길이의 T_A 를 주기적으로 반복하므로 기지국으로부터 도착하는 트래픽의 평균 지연 시간은 일정하다.

그림 11, 12는 서로 다른 PSC를 이동 단말에게 동시에 적용할 경우, T_{MAX} 의 변화에 따라 표준 문서 기법과 제안한 기법의 에너지 소비량과 평균 지연 시간을 나타낸다.

그림 11, 12와 같이 표준 문서 기법은 수면모드 진입 시 PSC I의 T_{MAX} 가 증가할수록 일정 시간 이후 에너지를 절약하는 구간이 많아지므로 에너지 소비량은 감소하고, 기지국으로부터 도착하는 트래픽의 평균 지연 시간은 증가한다. 하지만 제안한 기

법은 수면모드 진입 시 초기에 T_{MIN} 이 아닌 T_{MAX} 범위 내에서 결정된 T_A 를 주기적으로 반복하므로 에너지 소비량은 표준 문서 기법보다 감소하고, T_{MAX} 에 의하여 결정된 T_A 내에서 기지국으로부터 트래픽이 도착하므로 트래픽의 평균 지연 시간은 T_{MAX} 이내로 보장된다.

그림 13은 서로 다른 PSC를 이동 단말에게 동시에 적용할 경우, T_{MAX} 의 변화에 따라 표준 문서 기법과 제안한 기법의 T_R 길이를 나타낸다. 그림 11과 같이 제안한 기법이 표준 문서 기법보다 에너지 소비량이 감소하는 이유는, 그림 13과 같이 표준 문서 기법보다 T_R 의 길이가 상대적으로 증가했기 때문이다.

그림 14는 이동 단말이 서로 다른 PSC를 동시에 적용할 경우, PSC I을 적용하는 서비스 트래픽이

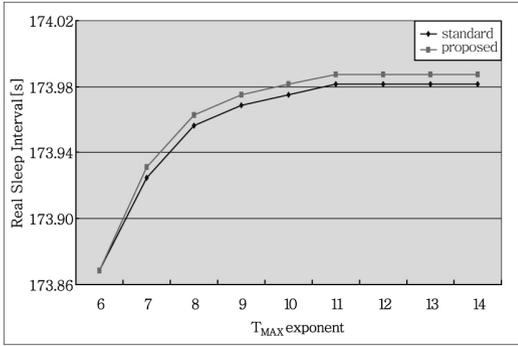


그림 13. T_{MAX} 지수 변화에 따른 실제 에너지 절약 구간
 Fig. 13. Real Sleep Interval by various maximum sleep interval exponent
 ($T_{MIN}=0.005s$, $T_{MAX}=2^{T_{MAX}^{exponent}} \times 0.01s$)

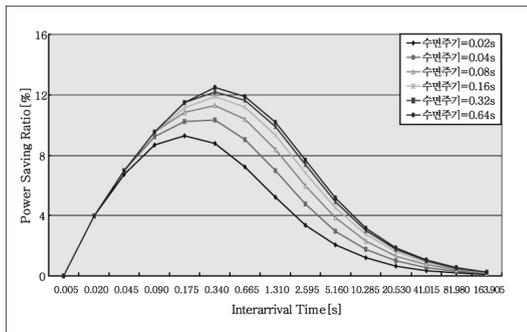


그림 14. Interarrival Time 변화에 따른 에너지 절약 비율
 Fig. 14. Power Saving Ratio by various Interarrival Time
 ($T_{MIN}=0.005s$, $T_{MAX}=81.920s$, $T_{MIN}=2^{T_{MIN}^{exponent}} \times 0.01s$,
 $T_{MAX}=2^{T_{MAX}^{exponent}} \times 0.01s$)

도착하는 간격에 따라 표준 문서 기법보다 제안한 기법의 증가된 에너지 절약 비율을 나타낸다. 트래픽이 도착하는 간격에 따라 에너지를 절약하는 비율이 달라지며, 트래픽 도착 간격이 0.175~0.340s 일 때 전체적으로 가장 높은 에너지 절약 비율을 보인다. 또한 PSC II를 적용하는 서비스 트래픽에 대한 수면주기가 길어질수록 높은 에너지 절약 비율을 보인다.

V. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.16e 표준에서 서비스 종류에 따라 정의된 PSC를 이동 단말이 동시에 적용할 경우, 제안한 기법의 성능 분석 모델을 제안하고 시뮬레이션 결과를 표준 문서 기법과 비교함으

로써 제안된 기법의 성능을 검증하였다. 제안하는 향상된 수면모드 작동기법은 이동 단말이 IEEE 802.16e 시스템에서 다양한 서비스를 동시에 받을 경우 표준 문서 기법보다 에너지를 절약하면서 QoS를 보장할 수 있다.

표준 문서 기법은 서로 다른 PSC를 동시에 적용할 경우 수면구간이 겹치는 구간에서 실제로 에너지를 절약한다. 하지만 서비스 종류에 따라 서로 다른 수면주기와 수면구간길이를 가진 PSC를 동시에 적용하면 실제로 에너지를 절약하는 구간을 크게 감소시킬 수 있다. 따라서 제안한 기법은 서로 다른 PSC를 동시에 적용할 경우 PSC II의 주기적인 활성구간에 PSC I의 최대수면구간 범위 내에서 결정된 값으로 경청구간을 동기화시킴으로써, 실제로 에너지를 절약하는 구간을 최대화한다. 또한 표준 문서 기법에서 PSC I을 적용하는 서비스의 트래픽이 기지국에서 이동 단말에게 도착하는 최대 지연은 최대수면구간이며, 제안된 기법의 최대 지연은 최대수면구간 범위 내에서 결정된 수면구간이므로 표준 문서 기법과 비슷한 수준의 QoS를 보장한다.

하지만 기지국간 핸드오버 발생 시 수면모드에 관련된 파라미터를 재협상하는 과정을 거치게 되며 이는 추가적인 에너지 소모 및 서비스 지연을 발생시킬 수 있다. 향후 핸드오버 환경을 고려한 에너지 절약 기법에 대해서 연구가 추진될 예정이며 이는 기존보다 더욱 향상된 성능을 보일 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks-Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access System", Oct. 2004.
- [2] "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks-Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access System-Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands", Feb. 2006.
- [3] K. Sanghvi, P. K. Jain, A. Lele and D. Das, "Adaptive waiting time threshold estimation algorithm for power saving in sleep mode of IEEE 802.16e", Communication Systems Software and Middleware (COMSWARE), pp.

334 - 340, Jan. 2008.

[4] Min Gon Kim, Jung Yul Choi and Min ho Kang, "Adaptive power saving mechanism considering the request period of each initiation of awakening in the IEEE 802.16e system", Letters Communications (LCOMM), Vol 12, pp. 106 - 108, Feb. 2008.

[5] Guojun Dong, Chengjun Zheng, Hongxia Zhang and Jufeng Dai, "Power Saving Class I Sleep Mode in IEEE 802.16e System", International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), Vol 3, pp. 1487 - 1491, Feb. 2007.

[6] Woo Jin Jung, Hyung Joo Ki, Tae Jin Lee and Min Young Chung, "Adaptive sleep mode algorithm in IEEE 802.16e", Asia Pacific Conference on Communications (APCC), pp. 483 - 486, Oct. 2007.

[7] Shengqing Zhu and Tianlei Wang, "Enhanced power efficient sleep mode operation for IEEE 802.16e based WiMAX", Mobile WiMAX Symposium, pp. 43 - 47, Mar. 2007.

[8] Min Gon Kim, Min Ho Kang and Jung Yul Choi, "Performance Evaluation of the Sleep Mode Operation in the IEEE 802.16e MAC", International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), Vol 1, pp. 602 - 605, Feb. 2007.

[9] Jae Hyuk Jang, Kwang Hun Han and Sung Hyun Choi, "Adaptive Power Saving Strategies for IEEE 802.16e Mobile Broadband Wireless Access", Asia Pacific Conference on Communications (APCC), pp. 1 - 5, Aug. 2006.

[10] Kwang Hun Han and Sung Hyun Choi, "Performance Analysis of Sleep Mode Operation in IEEE 802.16e Mobile Broadband Wireless Access Systems", Vehicular Technology Conference (VTC), Vol 3, pp. 1141 - 1145, 2006.

[11] Jun Bae Seo, Seung Que Lee, Nam Hoon Park, Hyong Woo Lee and Choong Ho Cho, "Performance analysis of sleep mode operation in IEEE 802.16e", Vehicular Technology Conference (VTC), Vol 2, pp. 1169 - 1173, Sep. 2004.

[12] "Services and Service Capabilities", 3GPP TS 22.105, Mar. 2002.

[13] "Network Performance Objectives for IP-based Service", ITU-T Rec. Y.1541, May. 2002.

[14] "End user Multimedia QoS Categories", ITU-T Rec. G.1010, Nov. 2001.

[15] "Intel PXA255 Processor Developer's Manual", Jan. 2004.

심 유 승 (Yu-Seung Sim)

정회원



2006년 2월 홍익대학교 정보통신학과 졸업
 2006년 9월~현재 한양대학교 컴퓨터공학과 석사과정
 <관심분야> 차세대 이동통신, 광대역 무선 통신망

강 재 은 (Jae-Eun Kang)

정회원



2001년 2월 한양대학교 전자 컴퓨터 공학부 졸업
 2003년 2월 포항공과대학교 전자전기공학부 석사
 2004년 3월~현재 한양대학교 컴퓨터공학과 박사과정
 <관심분야> 차세대 이동통신, 광대역 무선 통신망

이 정 규 (Jong-Kyu Lee)

종신회원



1979년 2월 한양대학교 전자 공학과 졸업
 1986년 5월 미국 UCLA 전자 공학과 석사
 1989년 2월 미국 UCLA 전자 공학과 공학박사
 1990년 2월~현재 한양대학교 컴퓨터공학과 교수
 1979년 3월~1984년 8월 국방과학 연구소 연구원
 1989년 3월~1990년 2월 삼성전자 정보통신 연구소 수석 연구원
 <관심분야> 차세대 이동통신, 광대역 무선 통신망