

논문 2012-49TC-7-2

IEEE 802.16e의 절전 클래스 I형과 II형을 위한 강화된 절전 메커니즘

(Enhanced Power Saving Mechanism for Type I and Type II Power Saving Classes in IEEE802.16e)

고 광 섭*, 이 경 혜**, 문 영 성***

(Kwangsub Go, Kyunghye LEE, and Youngsong Mun)

요 약

IEEE 802.16e는 수면 모드 작동기법을 사용하여 이동 단말기(Mobile Station: MS)의 제한된 에너지를 관리한다. MS는 수면 모드의 비가용 구간에 물리적인 작동 요소의 출력을 낮출 수 있다. 이 논문은 비가용 구간을 체계적으로 증가시켜 에너지 소비율을 감소시키기 위하여, MS에 I형과 II형의 활성화된 절전 클래스(PSC)가 존재할 때 강화된 절전 메커니즘(ePSM)을 제안한다. 성능 평가 결과, ePSM은 비가용 구간뿐 아니라 에너지 소비에 있어서도 기존 방식에 비해 성능을 향상시킨 것을 확인하였다.

Abstract

A mobile station(MS) in an 802.16e network manages its limited energy using the sleep mode operation. An MS can power down its physical operation components during the unavailability interval of the sleep mode. To reduce energy consumption by increasing the unavailability interval, this paper proposes an enhanced power saving mechanism(ePSM) when both activated Type I and Type II power saving classes(PSCs) exist in an MS. A performance evaluation confirms that ePSM results in the improved performance in terms of the unavailability interval as well as the energy consumption than conventional schemes.

Keywords : IEEE 802.16, WiMAX, 에너지 소비, 전력관리, 수면모드

I. 서 론

IEEE 802.16e(mobile WiMAX)^[1]는 광대역 무선 솔루션으로서, 광대역 라디오 접근 기술을 통해 이동식과 고정식 광대역 네트워크 변환을 가능케 한다. IEEE 802.16e는 120km/hr 보다 더 빠른 차량 속도로 이동식

광대역 서비스를 전달할 수 있다. MS는 제한된 용량의 배터리로 전원을 공급받으므로, IEEE 802.16e에서는 에너지 관리가 중요한 문제가 된다. MS에 사용될 에너지를 보존하기 위해 IEEE.802.16e 표준은 세 가지 유형(I형, II형, III형)의 절전 메커니즘(PSC: Power Saving Class)을 규정한다. PSC는 공통적 속성을 가지는 트래픽들의 그룹이다. I형 PSC는 웹 브라우징이나 인스턴트 메시징 프로그램과 같은 BE(Best Effort) 트래픽과 NRT-VR(Non Real Time-Variable Rate) 트래픽을 위해 고안된 것이다.

II형 PSC는 스트리밍 미디어와 VoIP(Voice over IP) 서비스와 같은 RT-VR(Real Time-Variable Rate) 트래픽 UGS(Unsolicited Grant Service)에 트래픽에 사용된

* 정회원, 한국과학기술정보연구원 (KISTI)

** 정회원, 송실대학교 (School of Computing, Soongsil Univ.)

*** 정회원-교신저자, 송실대학교 컴퓨터학과 (School of Computer Science & Engineering, Soongsil Univ.)

접수일자: 2012년3월20일, 수정완료일: 2012년7월17일

다. III형 PSC는 멀티캐스트 접속과 관리 작업에 권장되지만, 본 논문에서는 고려하지 않는다. MS를 사용하고자 하는 사람들은 전화, VoIP, 비디오 스트리밍과 같은 실시간 응용 프로그램을 위해서만 스마트폰이나 태블릿 PC를 사용하는 것이 아니다. 트위터, 페이스북, 웹브라우저와 같은 소셜 네트워킹 서비스(Social Networking Service: SNS)는 점점 스마트폰이나 태블릿 PC에 만연된 응용 프로그램이 되어가고 있다. 따라서 IEEE 802.16e가 가능한 장치는 최적의 전력 관리에 있어 II형 PSC만 고려하는 것은 충분하지 않다. I형 PSC와 II형 PSC 모두를 고려하는 것이 더 현실적인 것으로 간주되어야 한다. PSC가 활성화되면 MS는 에너지를 보존하기 위해 수면 모드로 들어간다. 각 PSC는 하나의 수면 윈도우(Sleep window: SW)와 하나의 청취 윈도우(Listening window: LW)로 구성된 수면 주기를 가지고 있다. MS가 SW에 있을 때는 서비스를 제공하고 있는 기지국(Base Station: BS)과 통신하지 않지만, LW에서는 BS가 MS를 위한 다운링크 자료를 가지고 있는지 점검하기 위해 깨어난다. I형 PSC의 경우 MS는 초기 SW 동안 수면하다가 고정된 크기의 LW 동안 깨어난다. BS에 자신을 향한 트래픽이 없으면 MS는 충전의 SW 크기를 두 배로 하여 다시 수면에 들어간다. SW의 크기는 최대 SW를 초과하지 않는 한 계속 두 배로 증가된다. II형 PSC의 경우 MS는 고정된 크기의 SW 동안 수면하고 고정된 크기의 LW 동안 깨어난다. 따라서 II형 PSC에서는 모든 수면 주기의 크기가 동일하다. MS의 모든 활성화된 PSC가 동일한 프레임에서 SW에 있게 되는 시간을 비가용 구간(Unavailability Interval)이라 부른다. BS는 비가용 구간 동안 MS에 트래픽을 전송하지 않으므로 MS는 물리적 작동요소의 출력을 낮추어 전력 소비를 줄일 수 있다.

IEEE 802.16e 에너지 관리에 대해서 [2~10]에서 연구되었다. [2], [3]에서는 I형 PSC에 대한 에너지 절감 메커니즘을 다루었다. [4]에서는 프레임 응답 지연을 잔여 에너지 상태에 따라 조절하는 전력 관리 메커니즘을 소개하였다. [5]에서는 MS에서의 접속을 위해 수면 모드 작동을 조절한다. 트래픽의 수면 모드의 시작 시간을 이미 수면 모드에 있는 트래픽과 시작 시간을 동기화시킨다. [6]에서 제안한 Maximizing Unavailability Interval (MUI)는 II형 PSC에서의 에너지 소비를 효과

적으로 감소시키기 위해 중국인의 나머지 정리 이론(Chinese Remainder Theorem)을 적용하여 비가용 구간을 최대화하였다. [7]에서는 전력 소비와 패킷 블로킹(Packet Blocking) 확률을 고려하여 수면 모드의 성능을 분석하였다. 또한 [8]은 MS가 IEEE 802.16e에서 세션이 진행 중일 때 수면 모드를 사용하고, 진행 중인 세션이 없을 때 유휴 모드를 사용하는 절전 메커니즘을 제안하였다. [9]에서는 응답 패킷의 네트워크 지연을 고려함으로써 수면 구간 위치를 지정하는 에너지 절감 메커니즘을 제안하였다. [10]에서는 일반 분포를 따르는 서비스 시간과 단말기의 에너지 효율을 가정하여 평균 패킷 대기 지연을 분석하였다.

대부분의 연구는 I형 PSC의 성능을 분석하고 I형이나 II형 PSC의 에너지 효율을 개선하는 데에만 초점을 두고 있다. 그러나 더 현실적이기 위해서는 절전 메커니즘은 I형과 II형 PSC의 동시 작동을 고려해야 한다. 이 논문에서는 MS에서 활성화된 I형과 II형 PSC의 비가용 구간의 극대화를 위해 MUI 방식을 응용한 ePSM(enhanced Power Saving Mechanism)을 제안한다. I형 PSC는 모든 II형 PSC 이전에 활성화 될 수 있으므로, ePSM은 MUI 방식을 모든 II형 PSC에 적용하기 전에 먼저 I형 PSC의 SW의 프레임을 점검한다. 또한 ePSM은 I형 PSC의 SW 크기가 증가하였을 때 에너지 소비 최소화를 보장한다. 본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 ePSM을 논의하고 III장에서는 성능 평가를 제시하였다. 그리고 IV장에서는 이 논문의 결론을 제시한다.

II. 제안된 ePSM

MS에서 활성화된 I형 PSC는 한 개이고 II형 PSC는 t 개임을 고려할 때, II형 PSC i 에 대해서는 수면 주기 크기를 m_i , SW의 크기를 s_i , 시작 프레임 번호를 f_i 로 표시하는데, 여기서 $1 \leq i \leq t$ 이다. 또한 I형 PSC에 대해서는 초기 SW를 T_{min} , 최대 SW를 T_{max} , LW 크기를 L 로 표시한다. MUI는 각 II형 PSC에 대해 적절한 시작 프레임 번호를 선정함으로써 비가용 구간의 최대 프레임 개수를 구한다. 각 II형 PSC에 대한 시작 프레임 번호는 $lcm(m_1, m_2, \dots, m_{t-1})$ 행과 m_t 열이 있는 $t-1$ 개의 표를 사용하여 결정하며 이때 lcm 는 최소공배수이다. MUI는 m_1 행과 m_2 열로 표를 작성한 후 첫 번째와

Algorithm 1 Sleep Frames Determination (T_{min} , T_{max} , L)

```

Require:  $M = lcm(m_1, m_2, \dots, m_i)$ 
Ensure: s-set (a set of frames in the sleep window of Type I PSC)
1:  $i \leftarrow 1$ 
2:  $sleep_i \leftarrow T_{min}$ 
3:  $listen_i \leftarrow sleep_i + L$ 
4: add  $sleep_i$  to s-set
5: while  $listen_i < M$  do
6:    $i \leftarrow i + 1$ 
7:    $sleep_i \leftarrow \min(2^{i-1}T_{min}, T_{max})$ 
8:    $listen_i \leftarrow listen_{i-1} + sleep_i + L$ 
9:   if  $listen_i < M$  then
10:    for  $j = listen_{i-1}$  to  $listen_i - 2$  do
11:      add  $j + 1$  to s-set
12:       $j \leftarrow j + 1$ 
13:    end for
14:   end if
15:   if  $listen_i == M$  then
16:    for  $j = listen_{i-1}$  to  $M - 2$  do
17:      add  $j + 1$  to s-set
18:       $j \leftarrow j + 1$ 
19:    end for
20:   end if
21:   if  $listen_i > M$  then
22:    for  $j = listen_{i-1}$  to  $M - 1$  do
23:      add  $j + 1$  to s-set
24:       $j \leftarrow j + 1$ 
25:    end for
26:   end if
27: end while
28: return s-set

```

그림 1. 알고리즘

Fig. 1. Algorithm.

두 번째의 II형 PSC에 대한 m_2 pseudo PSC를 구하고, 두 번째 II형 PSC에 대한 시작 프레임 번호(f_2)를 선택한다.

세 번째 II형 PSC의 시작 프레임 번호(f_3)를 선택하기 위해 MUI는 $lcm(m_1, m_2)$ 행과 m_3 열을 가진 표를 사용하여 m_2 pseudo PSC와 세 번째 II형 PSC에 대한 m_3 pseudo PSC를 계산한다. 이 과정은 마지막 II형 PSC까지 반복된다. 그림 2는 MUI 작동 예를 보여준다. 그림 2의 4번째 행에 묘사된 결과대로 비가용 구간에서 3개의 프레임을 얻는다. 그러나 MS에서 I형 PSC도 활성화되면 MS의 비가용 구간 프레임 개수는 감소된다. 그림 2의 네 번째와 다섯 번째 행에서 I형 PSC의 LW 프레임은 m_3 pseudo PSC의 프레임 2개와 교차한다. 결과적으로 비가용 구간의 프레임 숫자는 3개에서 1개로 감소한다.

I형 PSC와 II형 PSC의 비가용 구간을 극대화시키려면 I형 PSC의 SW 프레임이 II형 PSC의 SW 프레임과 겹치는지 조사하는 것이 중요하다. I형 PSC의 SW 프레임을 점검하기 위해서, I형 PSC의 SW 프레임 집합을 구하는 수면 프레임 결정 알고리즘을 제안한다. ePSM은 표 작성 알고리즘^[6]을 사용하여 $lcm(m_1, m_2, \dots, m_{i-1})$ 행과 m_i 열로 표를 수립한다. 그런 다음 I형 PSC와 첫 번째 II형 PSC에 대한 m_1 pseudo PSC를 구한다. m_1 pseudo PSC는 I형 PSC와 첫 번째 II형 PSC에서

공통으로 SW 내에 있는 프레임 집합이다. m_1 pseudo PSC를 계산한 후 ePSM은 m_2 pseudo PSC를 얻기 위해 $lcm(m_1, m_2, \dots, m_{i-1})$ 행과 m_i 열로 표를 수립한다. MUI와는 다르게 ePSM의 m_2 pseudo PSC는 I형, 첫 번째 II형, 두 번째 II형 PSC의 SW 내의 공통 프레임을 의미한다.

그 후 ePSM은 $lcm(m_1, m_2, \dots, m_{i-1})$ 행과 m_i 열이 있는 표를 사용하여 m_2 pseudo PSC와 세 번째 II형 PSC에 대한 m_3 pseudo PSC를 계산한다. 이 과정은 마지막 II형 PSC까지 반복된다. ePSM에서 II형 PSC의 시작 프레임 번호는 MUI에서 얻은 프레임 번호와는 다르다. 이는 MUI 방식을 II형 PSC들에 적용하기 전에 I형 PSC의 SW의 프레임을 먼저 고려했기 때문이다. 그림 3은 ePSM 작동 예를 보여준다. 그림 3의 맨 아래 행은

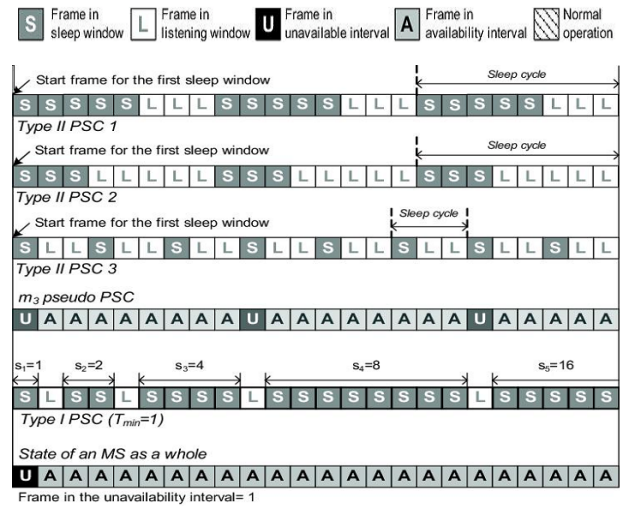


그림 2. MUI scheme

Fig. 2. MUI scheme.

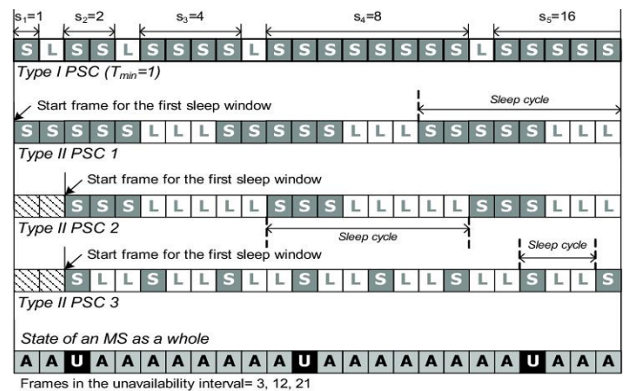


그림 3. Proposed scheme

Fig. 3. Proposed scheme.

제안된 ePSM이 비가용 구간에서 3개 프레임을 생성하였음을 보여주는데, 이는 그림 2의 MUI 방식보다 2개가 더 많은 것이다.

결과적으로 MS는 ePSM을 사용하여 24개 프레임 중 3개 프레임 도중에 물리적 작동요소의 출력을 낮출 수 있다. 따라서 ePSM은 MS에서 활성화된 I형과 II형 PSC의 비가용 구간을 효율적으로 증가시킨다.

III. 성능 평가

이 장에서는 시뮬레이션을 통해 ePSM의 성능을 평가한다. 제안된 알고리즘은 C++를 사용하여 다음 매개변수로 구현되었다: 가용 구간 한 프레임에서 소모되는 에너지 양 = 1.4mW, 비가용 구간 한 프레임에서 소모되는 에너지 양 = 0.045mW, $T_{min}=1$, $T_{max}=64$, $L=1$ ^[5]. 각 II형 PSC의 수면 주기 크기와 SW 크기는 무작위로 생성된다. s_i / m_i 의 평균은 0.75로 설정되었다. 결과는 50,000회 이상의 실행 결과에 대한 평균으로 얻어진다. 그림 2와 3에서 x축은 각각 PSC의 총 개수와 I형 PSC의 LW 크기를 나타낸다. MS의 PSC 총 개수는 8 이하로 가정된다. IEEE 802.16e에서는 모든 BE와 NRT-VR 트래픽을 하나의 PSC로 처리할 수 있으며, UGS 트래픽은 연속된 할당 간 사이가 다를 경우 각기 다른 PSC로 처리해야 함을 명시하고 있다^[1]. 이에 따라 모든 BE와 NRT-VR 트래픽을 위하여 하나의 I형 PSC를 사용하고, 모든 UGS RT-VR 트래픽을 위해서는 두 개 이상의 II형 PSC를 사용하였다. I형 PSC의 경우, 제안된 ePSM과 MUI 방식은 I형 PSC의 최초 수면 주기의 시작 프레임 번호나 SW 크기를 변경시키지 않기 때문에 응답 지연시간에 영향을 미치지 않는다. 첫 번째 II형 PSC를 제외하고는 II형 PSC에서는 약간의 지연이 발생할 수 있다. 첫 번째 II형 PSC는 고정되어 있어서 이 방식에서는 지연되지 않는다. 나머지 II형 PSC에 대한 가능한 최대 지연시간은 한번의 수면 주기 시간이다. IEEE802.16e 프레임 지속시간이 5 ms^[1]이고 II형 PSC의 수면 주기 하나의 크기가 8 프레임이라고 할 때 가능한 최대 지연시간은 40 ms이 된다. VoIP의 끝에서 끝까지의 지연시간 요건은 270 ms임을 고려할 때 40 ms이라는 최악 지연 시간은 II형 PSC에 대한 대부분의 응용 프로그램에서는 허용된다^[11]. 그러나 최악의 경우 특정 실시간 응용 프로그램이 지연시간 40ms을 허

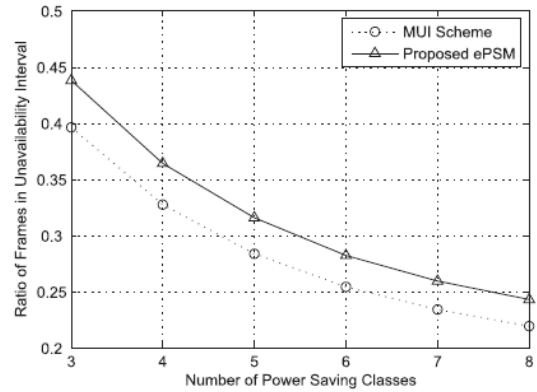


그림 4. Ratio of frames in unavailability interval.
Fig. 4. Ratio of frames in unavailability interval.

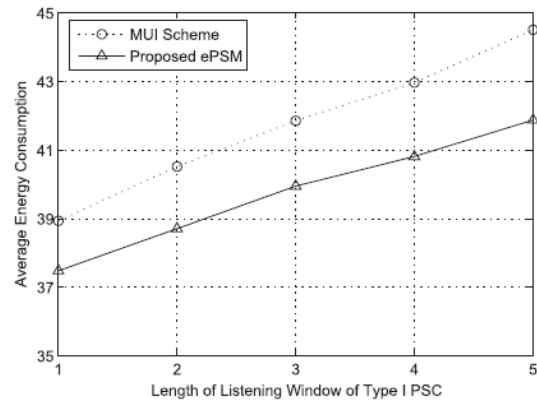


그림 5. Average Energy consumption.
Fig. 5. Average Energy consumption.

용하지 못하면 해당 프로그램은 첫 번째 II형 PSC용으로 준비되어야 한다.

그림 4는 PSC의 개수에 따라 비가용 구간의 프레임 비율을 비교한다. ePSM를 사용하면 I형과 II형 PSC에 대한 최대 비가용 구간을 얻을 수 있다. PSC의 개수가 3과 4인 경우, 제안된 ePSM의 비가용 구간의 프레임 비율은 MUI에서 보다 각각 10.55%, 11.18% 향상된다. PSC 수가 증가할수록 MS의 모든 활성화된 PSC가 동일한 프레임에서 SW에 있을 가능성은 적어진다. 따라서 PSC가 증가할수록 비가용 구간의 프레임 비율은 감소한다. 그러나 제안된 ePSM은 PSC가 8개나 있어도 비가용 구간에 대한 프레임은 10.75% 향상된다. 이러한 결과들은 PSC의 개수가 많을 때에도 ePSM이 I형과 II형 PSC에 대한 비가용 구간의 프레임 숫자를 증가시키는데 효과적임을 확인해 준다.

그림 5는 평균 에너지 소모율에 미치는 I형 PSC의 LW 크기의 효과를 보여준다. I형 PSC의 LW 크기가

증가하면 평균 에너지 소비가 증가한다. I형 PSC의 LW 크기가 1, 3, 5일 때 에너지 소모율은 각각 3.74%, 4.55%, 5.92% 낮아진다. 이러한 결과는 I형 PSC의 LW 크기가 커져도 나타난다. 따라서, ePSM이 에너지 소모율을 효율적으로 감소시킬 수 있음을 보여준다. 에너지 소모율은 주로 비가용 구간의 프레임 개수의 영향을 받기 때문에 비가용 구간의 최대화는 결국 에너지 소모율을 최소화한다. 그림 4와 5을 통하여 ePSM이 에너지 소모율 감소와 비가용 구간 증가에 효과적인 방식임을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

이 논문에서는 MS에서 활성화된 I형과 II형 PSC의 비가용 구간을 증가시키는 ePSM을 제안하였다. ePSM은 I형과 II형 PSC에 대한 비가용 구간에서 프레임 개수를 증가시키므로 MS의 에너지 소모율을 줄인다. 성능 평가 결과는 PSC 개수에 따른 비가용 구간의 프레임 비율과, I형 PSC의 LW의 크기에 따른 에너지 소모율을 평가하였고 이를 통하여 ePSM의 성능 향상을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] IEEE Standard for local and metropolitan area networks Part 16: Air interface for fixed broadband wireless access system Amendment 2: Physical and medium access control layers for combined fixed and mobile operation in licensed bands, IEEE Standard 802.16e, 2006.

[2] Y. Xiao, "Energy saving mechanism in the IEEE 802.16e wireless MAN," IEEE Commun. Lett., vol.9, no. 7, pp.595-597, July 2005.

[3] Y. Zhang and M. Fujise, "Energy management in the IEEE 802.16e MAC," IEEE Commun. Lett., vol.10, no. 4, pp.311-313, April 2006.

[4] M. -G. Kim, J.Y. Choi, B. jung, and M. Kang, "Adaptive power management mechanism considering remaining energy in IEEE 802.16e," IEICE Trans, Commun., vol.E90-B, no. 9, pp.2621-2624, Sept. 2007.

[5] M. -G. Kim, J.Y. Choi, and M. Kang, "Schedule power-saving mechanism to minimize energy consumption in IEEE 802.16e systems," IEEE

Commun. Lett., vol.12, no. 12, pp.874-876, Dec. 2008.

[6] T.-C. Chen, J.-C. Chen, and Y.-Y. Chen, "Maximizing unavailability interval for energy saving in IEEE802.16e wireless MANs," IEEE Trans. Mobile Comput., vol.8, no.4, pp.475-487, April 2009.

[7] Y. Park and G.-U. Hwang, "An efficient power saving mechanism for delay-guaranteed services in IEEE 802.16e," IEICE Trans. Commun., vol.E92-B, no.1, pp.277-287, Jan. 2009.

[8] E. Hwang, Y. H. Lee, K. J. Kim, J. J. Son, and B. D. Choi, "Performance analysis of power saving mechanism employing both sleep mode and idle mode in IEEE 802.16e," IEICE Trans. Commun., vol.E92-B, no.9, pp.2809-2822, Sept. 2009.

[9] J. -R. Ree, and J. W. Lee, "A Probabilistic approach for the determination of sleep interval in IEEE 802.16e," IEICE Trans. Commun., vol.E92-B, no.8, pp.2743-2746, Aug. 2009.

[10] F. Thu, Y. Wu, and Z. Niu, "Queueing delay and energy efficiency analyses of sleep based power saving mechanism," IEICE Trans. Commun., vol.E93-B, no.4, pp.1069-1072, April 2010.

[11] H.-H. Choi, J. -R. Lee, and D. -H. Cho, "Hybrid power saving mechanism for VoIP services with silence suppression in IEEE 802.16e systems," IEEE Commun. Lett., vol.11, no.5, pp.455-457, May 2007.

— 저 자 소 개 —



고 광 섭(정회원)
2008년 송실대학교 컴퓨터학과
박사과정
2000년~현재 한국과학기술정보
연구원(KISTI)
책임연구원

<주관심분야 : MIPv6, Future Network, Sensor
Network, Security, Parallel computing>



이 경 혜(정회원)
2003년 한신대학교 컴퓨터학과
학사
2006년 송실대학교 컴퓨터학과
석사
2007년 송실대학교 컴퓨터학과
박사과정

<주관심분야 : 이동/무선 통신, Mobile IP, IPv6,
Green IT>



문 영 성(정회원)-교신저자
1983년 연세대학교 전자공학과
학사
1986년 Univ. of Alberta
전자공학과 석사
1992년 Univ. of Texas, Arlington
컴퓨터공학 박사

현재 송실대학교 컴퓨터학과 교수
<주관심분야 : Mobile IP, IPv6 보안, Grid, QoS,
성능분석, Honeypot >