

WPAN을 위한 가상 슬롯 기반 다중 접근 방식

준희원 황도연*, 권의혁**, 종신회원 임재성*

Virtual Slot Multiple Access for Wireless Personal Area Networks

Do-Youn Hwang*, Eui-Hyeok Kwon** Associate Members, Jae-Sung Lim*, Lifelong member

요 약

WPAN환경에서 고속·저속 네트워크를 위한 표준 IEEE 802.15.3과 IEEE 802.15.4이 설계되었다. 현재 WPAN 표준에서 제시하는 MAC 프로토콜의 다중 접근 방식은 CSMA방식과 TDMA방식을 분리하여 결합한 방식이다. TDMA부분에서는 PNC(Piconet Coordinator)에 의해 가변적인 길이의 timeslot이 각 station에 할당된다. 그리고 각 timeslot내에는 여러 개의 데이터 패킷이 전송 가능한 multi-frame TDMA구조를 이루고 있다. 하지만 표준에서 정의하는 다중 접근 방식은 VBR (Variable Bit Rate)과 같이 데이터 전송률의 변화가 빈번한 데이터 서비스를 효율적으로 지원하기 어렵다. 이러한 특성의 데이터 트래픽에서는 superframe 내에 많은 수의 idle timeslot을 발생시키므로 시스템의 throughput을 감소시키고 delay를 증가시키게 된다.

본 논문에서는 가상 슬롯 기반의 다중 접근 방식인 VSMA(Virtual Slot Multiple Access)를 제안한다. 제안하는 기법은 multi-frame TDMA의 환경에서 성능을 향상시킬 수 있는 기법으로서 가상 슬롯을 할당 받은 station은 높은 접근 우선 순위를 갖고 그 밖의 station은 낮은 접근 우선 순위를 갖게 하여 채널을 효과적으로 사용할 수 있는 기법이다. 다양한 환경에서의 시뮬레이션을 통해 본 논문에서 제안한 기법이 효율적인 채널 사용을 통해서 향상된 성능을 보인다는 것을 증명하였다.

Key Words : VSMA, Wireless PAN, Wireless MAC protocol, Idle timeslot, Network utilization

ABSTRACT

IEEE802.15.3 and IEEE802.15.4 have defined the hybrid MAC protocols based on TDMA and CSMA where a multi-frame TDMA structure is employed so that multiple data frames can be transmitted within one timeslot to guarantee minimum delay bounds of isochroous traffic. However, TDMA has an intrinsic problem that cannot dynamically allocate optimal length of timeslot to each station. Therefore the idle timeslot can be produced by stations when each transmission queue is instantaneously empty during its timeslot, which would waste lots of timeslots especially in the multi-frame TDMA systems.

In this paper, we propose a more flexible multiple-access scheme for the multi-frame TDMA system based on the concept of virtual slot which is accessible by every station with the highest priority for slot owner and lower priority for other stations. Finally, our simulation results from various environments show that proposed scheme can achieve magnitude improvement of total system throughput and average message delay by maximizing channel utilization.

1. 서론

최근 무선통신 기술의 발전에 기초하여 WWW

(HTTP), 파일전송 프로토콜(FTP) 그리고 멀티미디어 스트리밍(MPEG-4)을 모두 포함하는 인터넷 트래픽의 무선 영역으로의 확장이 활발하게 진행되고

* 아주대학교 정보통신전문대학원 (soyosoyo, jaslim@ajou.ac.kr)

** LG 전자 DAC 연구소 & 솔루션 그룹 (ehkwon@lge.com)

논문번호 : KICS2006-05-241, 접수일자 : 2005년 5월 29일, 최종논문접수일자 : 2006년 9월 19일

있다. 특히, 최대 반경 100m 이내의 무선 네트워크 WPAN(Wireless Personal Area Network) 영역 표준 IEEE 802.15.3과 IEEE 802.15.4가 설계되었고 그와 관련한 네트워크 기술의 연구가 활발히 진행되었다^{1),2)}. IEEE 802.15.3과 IEEE 802.15.4 표준에서 정의하는 다중 접근 방식은 superframe내에 TDMA구간과 CSMA구간을 분리하여 혼합한 형태를 갖고 있다. 그리고 TDMA구간은 multi-frame TDMA 방식으로 필요에 따라서 timeslot내에 복수개의 데이터 프레임 전송할 수 있다. 하지만 본질적으로 TDMA 방식은 데이터 트래픽의 변화에 유연하게 적용할 수 없는 문제점을 갖고 있다. Timeslot을 할당 받은 station의 큐에 남은 데이터가 없더라도 다른 station들이 접근 권한이 없기 때문에 idle timeslot이 발생하고 결과적으로 채널의 낭비가 초래되는 것이다. 이 문제는 특히 multi-frame TDMA 시스템에서 더욱 심각하게 발생할 수 있다.

Idle timeslot의 발생 문제를 해결하고 무선채널의 효율적인 사용을 위해 다양한 스케줄링 기법들이 제안되었다. 하지만 스케줄링을 통해서 채널사용 효율을 향상시키려는 시도는 제어메시지의 증가 그리고 추가적인 프로세싱 시간, 메모리, 비용 등의 낭비를 초래하게 된다. HAMAC(Hybrid Adaptive MAC) 프로토콜은 이러한 스케줄링의 문제점을 극복하기 위해 제안되었다³⁾. 하지만 HAMAC 프로토콜은 한 timeslot에 오직 하나의 프레임만을 전송하도록 설계되기 때문에 IEEE 802.15.3 표준에서 정의하는 시스템과 같은 고속의 멀티미디어 서비스를 지원하는 시스템에는 적용하기 어렵다.

본 논문에서는 multi-frame TDMA 시스템 환경에서 효율적으로 적용할 수 있는 가상 슬롯 기반의 다중 접근 방식인 VSMA(Virtual Slot Multiple Access)를 제안한다. VSMA는 기존의 TDMA의 슬롯과 다르게 할당된 슬롯의 접근 우선순위를 높게 부여하고 이 외의 station은 낮은 우선순위를 갖고 접근할 수 있도록 설계되었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안하는 기법 VSMA를 정의하고 III장에서는 VSMA 성능을 시뮬레이션을 통해 검증하고 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 가상 슬롯 기반 다중 접근 방식(VSMA)

VSMA 프로토콜은 기존의 다중 접근 방식인 TDMA와 CSMA를 혼합한 구조로 설계되었다. 기

본적으로 VSMA는 TDMA 방식과 유사하다. 네트워크를 관리하는 PNC가 가상 슬롯을 각 station에게 할당하고 각 station은 서로 간의 가상 슬롯의 할당 시간 정보를 공유하고 있다. 각 station에게 할당되는 가상 슬롯의 길이는 QoS요구 수치에 따라서 다르게 주어질 수 있다. 가상 슬롯을 소유하는 station은 슬롯이 시작되면 TDMA와 같이 다른 station과의 경쟁 없이 데이터를 전송할 수 있다. 반면에 VSMA에서는 다른 station들도 가상 슬롯의 소유권을 갖는 station의 데이터 전송이 없는 경우에 CSMA/CA방식을 통해서 가상 슬롯을 사용할 수 있게 된다. 그림 1은 본 논문에서 제안된 VSMA의 동작 모습의 한 예를 보이고 있다.

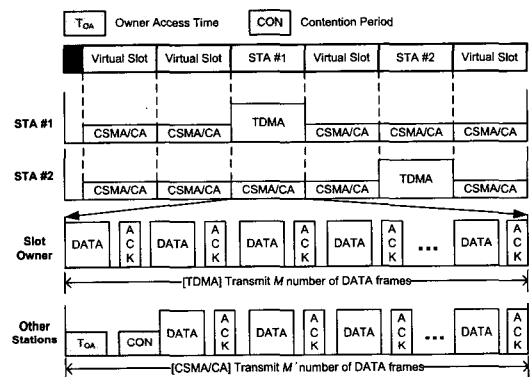


그림 1. VSMA의 동작 모습

가상 슬롯의 소유자인 STA#1은 TDMA방식으로 데이터를 전송할 수 있다. 반면에 다른 station들은 STA#2와 같이 CSMA/CA 프로토콜을 기반으로 동작하게 된다. 그러므로 VSMA는 기존의 IEEE 802.15.3 혹은 IEEE 802.15.4에서 정의하는 다중 접근 방식과 다르게 경쟁 구간과 비경쟁 구간을 분리하여 결합한 형태를 갖고 있지 않다. 가상 슬롯은 슬롯의 소유자와 마찬가지로 이 외에 station도 사용이 가능하다. 물론, 슬롯의 소유자는 경쟁 구간 없이 언제든지 높은 접근 우선순위를 갖고 데이터 전송이 가능하고 그 외의 station들은 경쟁 기반 CSMA/CA 프로토콜을 통해서만 접근한다. 이 외에도 multi-frame TDMA 시스템의 특성상 슬롯의 소유자가 슬롯을 사용하여 데이터를 모두 전송하였다면 그리고 남은 슬롯의 길이가 적어도 하나의 데이터 프레임을 전송할 수 있는 충분한 구간이 있다면 이 외의 station들은 CSMA/CA 프로토콜로 동작하고 있으므로 자동으로 슬롯의 재사용이 가능하다.

특히 위에서 제시한 상황은 데이터 트래픽의 발생 빈도가 불규칙적인 VBR 서비스 상에서는 쉽게 발생할 수 있다. VSMA의 동작 원리를 다음의 그림 2의 플로 차트에서 나타내고 있다.

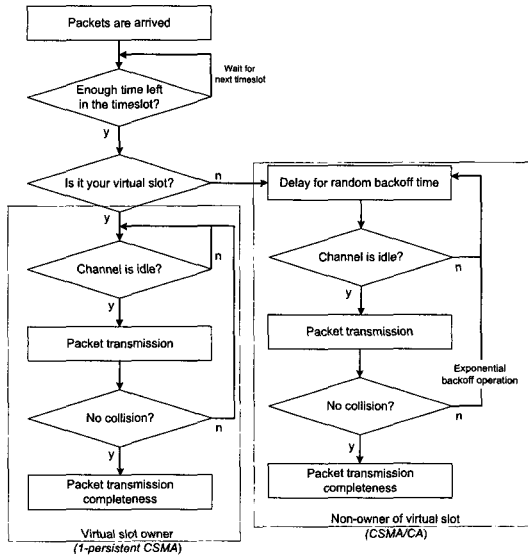


그림 2. VSMA의 세부 동작 원리

Ⅲ. 성능 평가 및 분석

VSMA의 성능 평가는 NS-2시뮬레이터를 통해서 분석하였다. 성능의 검증을 위해 고속 WPAN환경의 성능과 저속 WPAN 환경에서 각각 결과를 측정 하였다.

3.1 고속 WPAN환경 시뮬레이션

고속 WPAN환경의 시뮬레이션은 아래의 표 1에서 정의하는 환경 NS-2 시뮬레이터를 통해서 이루어 졌다. 본 논문에서는 best effort 트래픽인 FTP(File Transfer Protocol)와 실시간 멀티미디어 서비스를 위한 트래픽 MPEG-4 두 종류를 고려하였다. 그리고 MPEG-4의 데이터 전송 지연시간의 한계를 33 msec로 설정하였다. MPEG-4 트래픽을 생성하는 station들은 데이터 전송을 위한 충분한 시간의 가상 슬롯을 할당 받는다. 만일 MPEG-4 트래픽 전송을 위한 station의 가상 슬롯의 할당 요구가 증가하면 superframe의 길이가 증가할 수 있는데 만일 이 superframe의 길이가 최대 superframe 길이의 한계 수치를 넘으려 하면 더 이상 MPEG-4 트래픽을 위한 가상 슬롯을 할당하지 않는다. Superframe 길이의 한

계치는 채널 접근 지연 시간이 과도하게 증가하는 것을 방지하기 위해 정의된 것이다. 한편, best effort 트래픽은 데이터 전송 지연시간의 제약이 심하지 않기 때문에 가상 슬롯을 할당 받을 필요성이 많지 않다. 하지만 superframe내에 사용할 수 있는 시간이 충분하다면 best effort 트래픽의 경우라도 가상 슬롯을 할당 받을 수 있다.

표 1. 시스템 및 시뮬레이션 파라미터(고속 WPAN)

parameters	values
MAC protocol	IEEE 802.15.3/VSMA
Channel Capacity	55Mb/s
Traffic type	MPEG-4(4 Mbps), FTP
CTA size	4ms
CAP duration	100us for each DEVs
Number of MPEG-4 flow	1~7
Number of FTP flow	1~7
Superframe length	30ms
MPEG-4 frame rate	30frames/s

그림 3은 VSMA와 TDMA의 MPEG-4 트래픽 전송 지연시간을 측정한 그래프이다. MPEG-4 트래픽이 증가함에 따라서 전체적인 전송 지연시간이 증가하는 것을 관찰할 수 있다. 하지만 MPEG-4 트래픽이 증가함에 따라 상대적으로 VSMA의 전송 지연시간 증가 폭이 TDMA보다 작은 것을 관찰할 수 있다. 이는 자신의 가상 슬롯이 아니더라도 사용되지 않는 idle timeslot으로 데이터를 전송할 수 있기 때문에 얻는 이득이다. 그러므로 VSMA는 TDMA보다 IEEE 802.15.3환경에서 좀 더 많은 수의 MPEG-4 트래픽을 작은 전송 지연시간으로 서비스할 수 있는 것이다.

그림 4는 FTP 트래픽 혹은 FTP 트래픽과 MPEG-4 트래픽이 존재하는 시스템에서 VSMA가 시스템 throughput을 향상시킬 수 있다는 것을 보이고 있다. 그래프에서 관찰하는 바와 같이 FTP 트래픽과 MPEG-4 트래픽이 혼재한 상황에서 좀더 좋은 성능을 보이는 것을 관찰할 수 있다. 이는 MPEG-4 트래픽이 가변 하는 메시지를 생성하고 그로 인해 다량의 idle timeslot을 생성하기 때문이다. 이러한 idle timeslot으로 인한 성능 저하를 VSMA에서는 극복 가능하다는 것을 보이고 있다. 즉, VSMA는 가상 슬롯을 적용함으로써 무선 채널을 최대한 효율적으로 사용하게 되는 것이다.

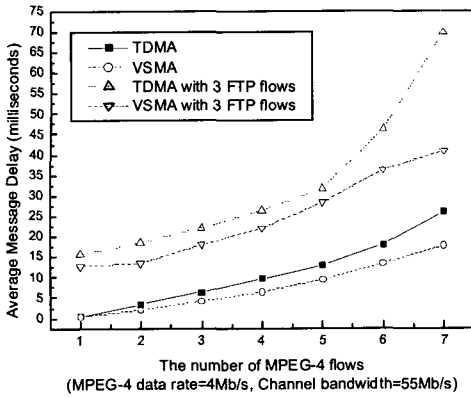


그림 3. VSMA와 TDMA의 전송 지연시간 비교

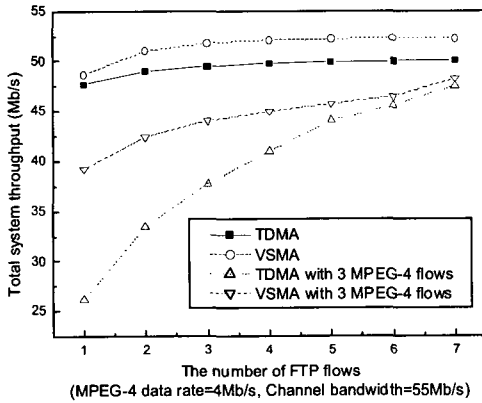


그림 4. VSMA와 TDMA의 시스템 throughput 비교

3.2 저속 WPAN환경 시뮬레이션

기존에 센서 네트워크를 위한 많은 application들이 개발되었고 사용되는 센서의 종류도 다양하다. 센서 노드에서 얻을 수 있는 정보는 센서의 종류에 따라서 다르게 된다. 예를 들면 홈 네트워크에서 발생할 수 있는 트래픽의 종류는 다양하다. 그러므로 홈 네트워크를 위해서 그 사용용도에 따라서 여러 종류의 센서 노드가 혼재하게 된다. 이러한 네트워크를 heterogeneous 네트워크라 한다. Heterogeneous 네트워크의 센서 노드들은 데이터의 발생 빈도가 불규칙적인 특성을 갖게 된다. 반면 단일 센서로 네트워크를 구성할 수도 있다. 이러한 네트워크를 homogeneous 네트워크라 하고 이 네트워크의 센서 노드의 트래픽은 특성이 균일하고 안정적이다. 표 2는 본 논문에서 저속 WPAN 시뮬레이션에 사용한 트래픽 모델이다.

표 2. 시뮬레이션 트래픽 모델(저속 WPAN)

parameters	values
Packet transmission rates	0.2~2 packet/second
Traffic type	Constant Bit Rate
Homogeneous traffic model	Uniform distribution
Heterogeneous traffic model	Exponential distribution

본 논문에서 시뮬레이션에 사용한 트래픽 모델은 일정한 데이터 전송률을 갖는다. 하지만 표 2에서 정의하였듯이 네트워크의 특성에 따라서 heterogeneous 네트워크에서는 데이터의 발생 주기가 불규칙적인 exponential distribution을 따르고 homogeneous 네트워크에서는 uniform distribution을 따르게 하였다.

표 3. 시스템 및 시뮬레이션 파라미터(저속 WPAN)

parameters	values
MAC protocol	IEEE 802.15.4/VSMA
Data rates	250kbps
Number of sensor nodes	5~40
Packet length	70bytes
Beacon Order(BO)	2
Superframe Order(SO)	2
Number of GTSS	2~7
Topology area size	220m * 220m
Simulation time	200seconds

실제 성능 평가를 위해서 본 논문에서는 구체적인 저속 WPAN 시뮬레이션 환경을 표 3에서 정의하였다. 시뮬레이션 환경 구축의 용이성을 위해 네트워크의 구성은 하나의 PNC(Piconet Coordinator)를 중심으로 주변에 센서 노드를 랜덤하게 배치시키도록 하였다. 센서 노드로부터 얻어진 센싱 정보는 모두 PNC로 일정한 주기로 전달된다.

그림 5와 그림 6은 homogeneous 네트워크 환경에서 VSMA와 기존의 IEEE 802.15.4의 MAC 프로토콜의 전체 시스템 throughput을 비교한 것이다. 그림 5에서는 시스템 상에 존재하는 노드 수가 증가함에 따라서 VSMA의 성능 향상의 폭이 증가하는 것을 관찰할 수 있다. 그림 6에서는 패킷 도착 시간이 짧을수록 즉, 데이터의 발생 빈도가 증가할

수록 VSMA의 성능이 좋아지는 것을 볼 수 있다. 모든 경우에서 VSMA의 성능이 향상되었다는 것을 관찰할 수 있고 특히 보내고자 하는 데이터 트래픽의 발생 빈도가 빈번할수록 좋은 성능을 보인다는 것을 알 수 있다.

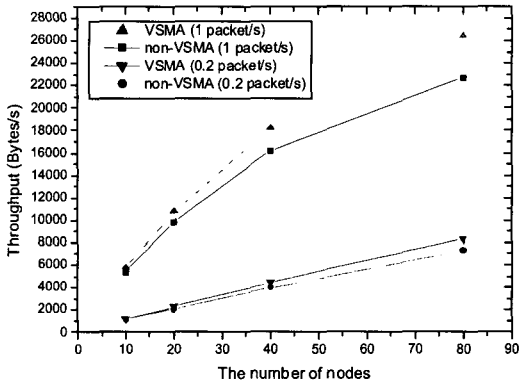


그림 5. 노드 수 증가에 따른 시스템 throughput 비교 (homogeneous network)

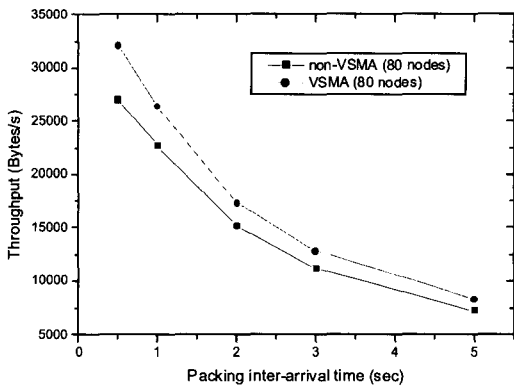


그림 6. 패킷 도착시간에 따른 시스템 throughput 비교 (homogeneous network)

그림 7에서는 heterogeneous 네트워크 환경에서 전체 시스템 throughput을 측정하였다. 패킷 도착시간이 2초일 때 가장 좋은 성능을 보이고 있고 기존의 homogeneous 네트워크에서 보였던 성능 향상과 비교하였을 때 상당히 증가된 throughput 성능의 향상을 보이고 있다.

그림 8은 평균 전송에 소모되는 시간을 나타내었다. VSMA는 기존의 일반적인 TDMA와 다르게 다른 station의 빈 슬롯의 접근이 가능하기 때문에 전송 지연시간을 줄일 수 있다. 즉, 자신이 할당 받은

가상 슬롯만으로 데이터를 모두 전송하지 못하였다 라도 다른 station의 가상 슬롯을 경쟁을 통해서 사용이 가능하다. 특히 이러한 VSMA를 통한 시스템의 성능 향상은 heterogeneous network에서 homogeneous network와 비교할 때 상대적으로 높다는 것을 관찰할 수 있다.

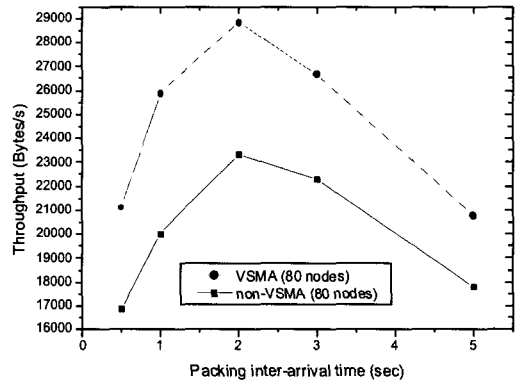


그림 7. 패킷 도착시간에 따른 시스템 throughput 비교 (heterogeneous network)

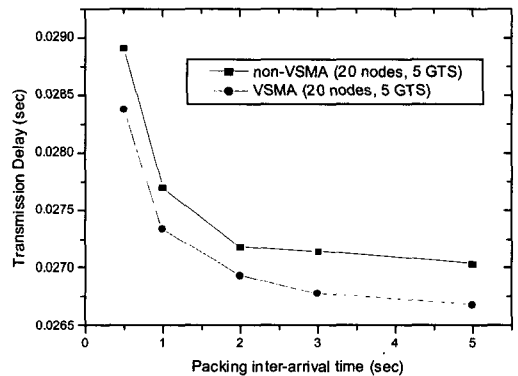


그림 8. 패킷 도착시간에 따른 시스템 전송지연시간 비교 (heterogeneous network)

위의 그림 8에서 사용한 평균 전송지연시간은 아래 그림 9의 절차를 통해서 계산되었다. MAC 계층에서 데이터를 상위 계층으로부터 받은 후 전송을 위해서 채널 접근 권한을 얻어야 한다. 이 동작을 수행하는 동안 큐잉 지연시간을 겪게 된다. 전송 지연시간의 대부분은 큐잉 지연시간이 차지하고 있다. 그 후 데이터 전송 권한을 획득하면 무선 매체를 통해 실제 전송을 하게 된다. 이 때 전송 지연시간을 더하여서 전체 데이터의 전송에 소비되는 시간을 계산하였다.

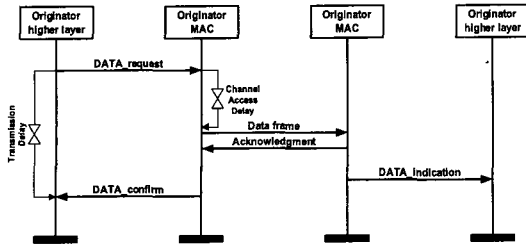


그림 9. 패킷 전송지연시간의 계산 과정

IV. 결론

본 논문에서는 가상 슬롯 기반 다중 접근 방식인 VSMA를 제안하였다. VSMA는 best effort 트래픽과 실시간 멀티미디어 트래픽의 QoS를 효율적으로 지원할 수 있는 기법이다. 특히 트래픽의 특성이 불규칙적인 heterogeneous 네트워크상에서 좀 더 향상된 성능을 보인다. 가상 슬롯을 정의함으로써 idle timeslot을 효율적으로 사용할 수 있게 하였고 결과적으로 전체 시스템의 채널사용 효율을 높이고 전송 지연시간을 감소시킬 수 있었다. 또한, 고속 WPAN환경과 저속 WPAN환경의 시뮬레이션을 다양한 환경에서 수행함으로써 제안된 기법이 향상된 성능을 보인다는 것을 증명하였다.

참고 문헌

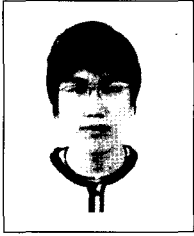
[1] IEEE Std 802.15.3: Wireless MAC and PHY for High Rate WPAN.
 [2] IEEE Std 802.15.4: Wireless MAC and PHY for Low Rate WPAN.
 [3] L. Wang and M. Hamdi, "A Hybrid Adaptive Wireless Channel Access Protocol for Multimedia Personal Communication Systems," *Wireless Personal Comm.*, Vol.13, Issue 1-2, pp.79-96; May 2000.
 [4] E. H. Kwon, D. Y. Hwang and J. S. Lim, "An Idle timeslot Reuse Scheme for IEEE 802.15.3 High-Rate Wireless Personal Area Networks", 62nd IEEE Vehicular Technology Conference (VTC) 2005 Fall, Sep 2005
 [5] The Network simulator - ns-2. [Online]. Available: <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
 [6] W. Ye, J. Heidemann and D. Estrin, "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," in *INFOCOM 2002*,

pp.1567-1576, Jun 2002.

[7] S. Kay, "E-TDMA: High Capacity Digital Cellular Radio," *IEEE International Communications Conference (ICC)*, 1992.
 [8] S. Roy, J. R. Foerster, V. S. Somayazulu, and D. G. Leeper, "Ultrawideband radio design: The promise of high-speed, short-range wireless connectivity," *Proc. IEEE*, vol. 92, no. 2, pp. 295-311, Feb. 2004.
 [9] R. Mnagharam, M. Demirhan, R. Rajkumar, and D. Raychaudhuri, "Size Matters: Size-based Scheduling for MPEG-4 over Wireless Channels," *SPIE conference on Multimedia Computing and Networking 2004*, Jan. 2004.
 [10] *Wireless Universal Serial Bus, Revision 1.0*.
 [11] S. Rhee, K. Chung, Y. Kim, W. Yoon, and K. Chang, "An application-aware MAC scheme for IEEE 802.15.3 high-rate WPAN," *Proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conf., (WCNC)*, vol. 2, pp. 1018-1023, March 2004.
 [12] C. Kang, C. Ahn, K. Jang, and W. Kang, "Contention-Free Distributed Dynamic Reservation MAC Protocol with Deterministic Scheduling (C-FD3R MAC) for Wireless ATM Networks," *IEEE JSAC*, vol. 18, no. 9, pp.1623-1635, Sep. 2000.
 [13] Y. H. Tseng, E. H. Wu and G. H. Chen, "Maximum Traffic Scheduling and Capacity Analysis for IEEE 802.15.3 High Data Rate MAC Protocol," *IEEE Vehicular Technology Conference(VTC) 2003 Fall*, Vol. 3, pp.1678-1682, Oct. 2003.
 [14] IEEE Std 802.11, 1999 Standard for Local and Metropolitan Area Network - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.
 [15] G. Hebuterne and C. Rosenberg, "Arrival and departure state distributions in the general bulk-service queue," *Naval Research Logistics*, vol. 46, pp. 107-118, 1999.

황도연(Do-Youn Hwang)

준회원



2005년 2월 : 아주대학교 정보 및
컴퓨터공학부 졸업
2005년 3월~현재 : 아주대학교
정보통신공학과 석사과정
<관심분야> Wireless Mesh
Networks, 무선 다중접근 방식.

권의혁(Eui-Hyeok Kwon)

준회원



2003년 8월 : 아주대학교 정보 및
컴퓨터공학부 졸업
2005년 8월 : 아주대학교 정보통
신공학과 석사
2005년 9월~현재 : LG 전자, DAC
연구소 제어 & 솔루션 그룹
<관심분야> Wireless Personal
Area Networks, 이동통신.

임재성(Jae-Sung Lim)

종신회원



1983년 2월 : 아주대학교 전자공
학과 졸업
1985년 2월 : 한국과학기술원 전기
및전자공학과 석사
1994년 8월 : 한국과학기술원 전
기및전자공학과 박사
1985년~1988년 : 대우통신종합

연구소 전임연구원

1988년~1995년 : 디지콤정보통신연구소 책임연구원

1995년~1998년 : SK 텔레콤 중앙연구원 책임연구원

1998년~현재 : 아주대학교 정보통신전문대학원 부교수

<관심분야> 이동통신, 무선인터넷