

<http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.5.267>

JIWIT 2012-5-34

점대다중점 매체다중접속을 지원하는 무선통신모듈의 구현

Implementation of Wireless Communication Module with Point-to-multipoint Media Access Control

김준환*, 정진호**

June-Hwan Kim, Jin-Ho Jung

요약 본 논문에서는 50미터 내에서 40개 이상의 단말이 빈번히 통신하는 점대다중점 환경에서 필요한 통신모듈을 개발하였다. 이 통신모듈의 매체다중접속계층은 비동기 시분할다중화방식을 사용하여 여러 단말이 동시에 통신을 하고자 할 경우에도 빠르고 견고한 통신을 제공하며, 매체다중접속계층에서 수신확인응답기능과 재전송기능을 추가하여 송수신간의 장애물이 없는 환경에서 매우 낮은 패킷오류율을 얻었다. 개발된 통신모듈의 점대다중점 통신성능을 확인하기 위해 상용 지그비 통신모듈과의 비교시험을 하였으며, 두 통신모듈에 대하여 각각 10분기에서 40분기까지 시험하여 측정된 데이터를 도시하였다. 본 논문에서 제시한 특정한 환경에서 지그비 모듈보다 개발된 근거리 통신모듈이 보다 빠른 통신속도를 보이며, 특히 20분기 이상의 점대다중점 환경에서 통신속도가 큰 차이를 보였다. 이는 여러가지의 네트워크 토폴로지를 사용하는 지그비모듈은 매체다중접속계층 이외에도 네트워크계층 어플리케이션계층 등의 프로토콜을 사용함으로써 네트워크 오버헤드가 크기 때문이며, 또한 좁은 지역에서 여러 개의 단말이 빈번히 통신하는 환경에서 지그비에서 사용하는 CSMA-CA 다중화방식보다는 비동기 시분할다중화방식이 더 적합한 것으로 판단된다.

Abstract The short-range communication module was developed in this paper which is suitable for the point-to-multipoint circumstances of 40 terminals communicating frequently in about 50 meters. The media access control layer of this communication module using asynchronous time-division multiplexing provides a fast and robust performance even in the worst case of simultaneous transmission events, and low packet error rate was measured in LOS (Line-of-sight) circumstance by adding the function of acknowledge response to media access control layer. The difference test was carried out in order to measure the performance of point-to-multipoint communication. Two communication modules are respectively measured and graphed in 10 branches to 40 branches. The communication module developed in this paper showed a faster performance than the commercial Zigbee module in the specific case presented in this paper. Especially, in over 20 branches showed wide differences of the transmission speed. This results is caused by more network overhead of Zigbee whose wider applications needs the network layer and application layer besides media access control layer. Also, the asynchronous time-division multiplexing proposed in this paper are more suitable than CSMA-CA of Zigbee module when a lot of module ought to be frequently communicated in small area.

Key Words : Short-range communication, Media Access Control

*정희원, (주)모노그램 대표

**정희원, 호서대학교 IT융합기술학부 전자공학과

접수일자 2012년 7월 13일, 수정완료 2012년 8월 27일

게재확정일자 2012년 10월 12일

Received: 13 July 2012 / Revised: 27 August 2012 /

Accepted: 12 October, 2012

*Corresponding Author: jhjung@hoseo.edu

Dept. of Electronic Engineering, Hoseo University, Korea

1. 서 론

근래의 통신장비는 장거리 고속 통신을 위해 물리적인 한계를 극복하려는 기술이 발전하는 가운데 일상생활 속에서 편의성을 증대시키기 위한 통신 또한 한가지의 통신경향으로 발전해가고 있다. 이같은 경향을 반영하는 기술은 RFID와 같은 근거리무선통신(Near Field Communication, NFC)과 지그비(Zigbee)^{[1][2]}, 블루투스(Bluetooth), UWB를 위시한 무선개인통신망(Wireless Personal Area Network, WPAN)이 있으며, 그 중에서도 지그비는 저전력/소형/저가격을 특징으로하며 근거리 무선통신기술 중에서 가장 많이 사용되고 있다. 뿐만 아니라, WBAN(Wireless Body Area Network)^[3]이라는 체내 혹은 인체 주변에서 일어나는 근거리 통신기술표준이 만들어질 정도로 최근의 생활 편의성 증대에 관한 기술에 많은 관심이 모이고 있다. 이는 언제, 어디서나, 누구나 정보통신의 혜택을 누릴 수 있는 유비쿼터스 패러다임을 실현하기 위한 시대적인 추세라고 할 수 있다^[4].

앞서 살펴 본 바와 같이 저전력/소형/저가격의 근거리 무선통신은 사회적인 요구사항이 충분한 상태이며, 이에 따라 근거리 통신에 대한 표준이 계속 늘어가는 추세이다. 그러나, 근거리 통신표준이 십여개에 달하지만 특정한 통신환경과 소비자가 원하는 기술적인 요구사항을 만족시키는 근거리 무선통신표준 및 솔루션을 찾는 것은 쉽지 않은 일이다. 본 논문은 학교와 같은 교육계에서 필요로 하는 근거리 통신장치에 대한 요구사항으로 시작되었다. 최근 몇 년간 이러닝(e-learning) 정책의 일환으로 학교의 교실에는 전자칠판이 도입되었고, 전자칠판의 적극적인 활용을 위해서는 교육컨텐츠와 콘텐츠를 이용할 수 있는 환경 및 툴이 필요한 실정이다. 이에 그림 1과 같은 교육응답시스템이 설계/구현 되었다. 교사가 컴퓨터에 연결된 전자칠판에 특정소프트웨어를 사용하여 문제를 도시하고, 학생들은 개인별로 지급된 학생용 키패드를 사용하여 답안을 작성하고 이를 교사 컴퓨터에 전송하면 교사컴퓨터는 이를 자동채점하고 통계를 산출한다.

현재 대부분의 교실에는 교사용 컴퓨터와 더불어 전자칠판 혹은 빔프로젝터가 설치되어 있으며, 이미 설치된 전자칠판과 컴퓨터에 그림 2와 같은 학생용 키패드, 무선통신동글 및 소프트웨어의 장치가 부가되면 교육응답시스템을 사용할 수 있다. 배터리로 동작하는 학생용 키패드는 LCD와 더불어 자판이 구비되어 있으며, USB

로 연결되는 무선통신동글과 교육응답 소프트웨어는 교사컴퓨터에 설치된다.

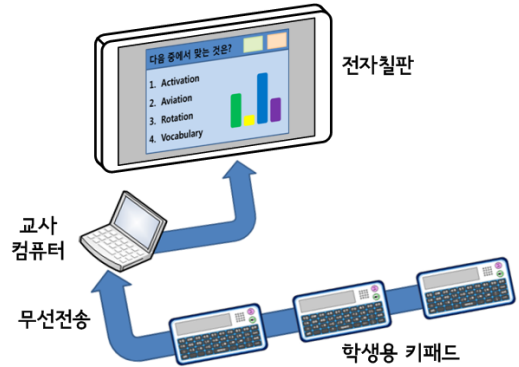


그림 1. 교육응답시스템 개요도
Fig 1. Outline of student response system



그림 2. 교육응답시스템에 소요되는 장치
Fig 2. Devices and software for student response system

위와 같은 교육응답시스템에서 핵심기술은 학생용 키패드와 무선통신동글 사이에 연결되는 점대다중점 근거리 무선통신이다. 시장에서 요구하고 있는 교육응답시스템의 성능특징을 살펴보면 점대다중점 근거리 무선통신의 중요성 및 필요성을 알 수 있다.

1. 신뢰성이 확보된 점대다중점 통신
2. 실시간으로 체감되는 응답속도(통신속도)
3. 50미터의 통신통달거리
4. 잦은 배터리교체가 필요없는 저전력 통신
5. 저가격 무선통신 솔루션

교육응답시스템을 구현하기 위해 무선통신모듈은 핵심요소이며, 이를 위해 근거리 무선통신 솔루션 중에서 저가격/저전력을 만족하는 지그비 모듈을 선택하여 실험하였다. 그러나 상용 지그비 모듈 및 펌웨어(프로토콜 스택)의 가격은 시장 요구사항에 부합되지 않았으며, 40대의 학생용 키패드와 무선통신 동글 간의 1:40 점대다중점

무선통신은 신뢰성과 응답속도 측면에서 만족스러운 성능을 내지 못하였다.

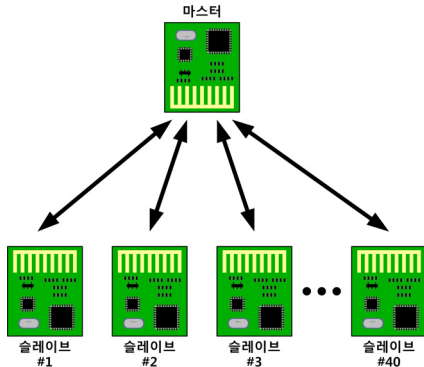


그림 3. 점대다중점 무선통신모듈의 성능시험
Fig 3. Test scenario of point-to-multipoint wireless communication module

따라서 본 논문에서는 8051계열의 MCU (Micro Control Unit)을 내장하고 FSK (Frequency Shift Keying)와 MSK (Minimum Shift Keying)의 모뎀을 탑재한 저가격의 무선 통신 트랜시버에 점대다중점 매체다중접속계층(Point-to-multipoint MAC)의 펌웨어를 개발하여 그 성능을 측정하였다.(그림 3) 무선주파수는 제약 사항이 적은 2.4GHz ISM 밴드를 사용하였으며 성능측정을 위해 지그 및 프로그램을 개발하였다.

II. 점대다중점 매체다중접속의 구현

앞서 언급된 근거리 무선통신에 대한 시장요구사항을 근간으로 스타망형 토폴로지를 사용하는 점대다중점 매체다중접속부는 아래의 설계사항을 만족하도록 구현하였다.

- 2.4GHz ISM 밴드 사용하는 양방향 통신
- 40분기의 점대다중점 비동기 시분할다중접속
- 10^{-6} 이하의 패킷오류율
- 500Kbps의 데이터 전송속도
- 마스터장치와 슬레이브장치 간의 50미터의 전송거리
- 40mA 이하의 저전력 모듈

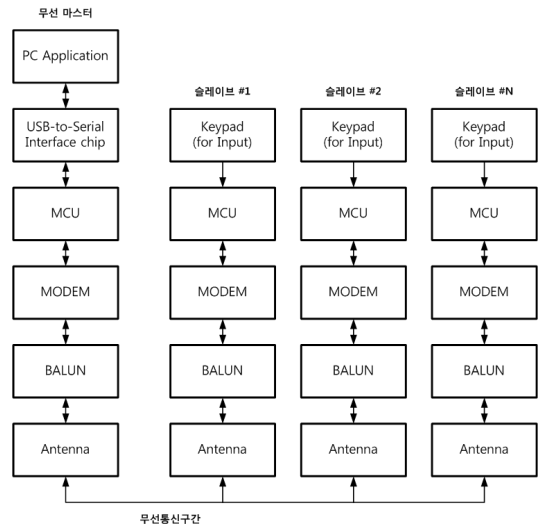


그림 4. 시스템의 연결구성
Fig 4. Configurations of system

상기의 조건을 만족하는 하드웨어 블록설계는 그림 4와 같으며, 크게 두 개의 장치로 나뉜다. 하나는 PC의 응용프로그램과 연결되는 무선마스터장치(무선통신 동글)이며, 나머지 하나는 최소 40개의 개별장치로 이루어진 무선 슬레이브 장치(모듈형태의 무선단말)이다. 무선 슬레이브장치는 최소한의 입력장치로 키패드를 가지고 있다. 또한, 점대다중점 시분할다중화를 위해서 MCU에 매체다중접속계층이 개발되어 탑재되어 있으며, 모뎀계층 및 BALUN, 안테나 등이 물리계층으로 개발되었다^[5]. 무선마스터장치의 하드웨어는 그림 4에 보인 바와 같이 모뎀계층 및 BALUN, 안테나 등이 물리계층과 점대다중점 매체다중접속을 위한 MCU와 PC와의 인터페이스를 위한 USB-to-Serial 인터페이스칩이 포함되어 슬레이브장치와 다른 점을 보인다. 40개 슬레이브장치의 각 입력파트에서 입력된 데이터는 충돌없이 무선주파수 통신을 하여 USB 2.0 인터페이스를 통해 PC 응용프로그램으로 전달되며, 반대로 PC 응용프로그램에서 생성된 데이터는 마스터장치의 USB 2.0 인터페이스를 거쳐 점대다중점 무선주파수를 통해 40개의 각 슬레이브장치에 전달된다.

그림 4에서 안테나는 PCB상의 패턴을 안테나로 사용하는 마이크로스트립 안테나를 사용하였으며, BALUN (Balanced-to-Unbalanced)은 트랜시버 SoC의 모뎀부분과의 임피던스 정합의 역할을 한다. 모뎀과 MCU는 트랜시버 SoC로 한 개의 칩으로 구성되며, 마스터장치의 USB-to-serial interface는 PC와의 연결을 위한 장치이다.

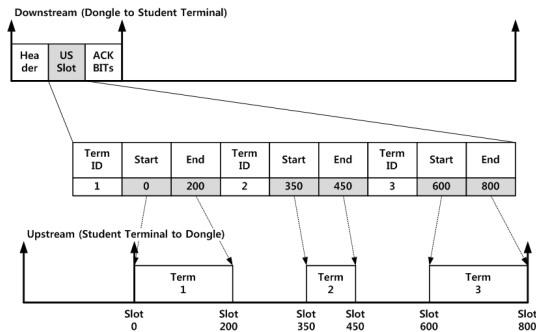


그림 5. 점대다중점 매체접속부의 개념도
Fig 5. Concepts of point-to-multipoint media access control

본 과제의 핵심부이라고 할 수 있는 점대다중점 매체접속계층은 그림 5와 같이 그 개념을 표현할 수 있다. 마스터장치에서 슬레이브장치로의 통신은 하향통신(Downstream)이라 불리며, 통칭 브로드캐스팅 방식으로 데이터를 전달한다. 각 슬레이브장치는 브로드캐스팅으로 받은 데이터에서 자신의 슬레이브 주소를 통해 자신이 수신해야 할 패킷을 파싱하며, 그 외의 패킷은 폐기한다. 반면 점대다중점 통신의 최대 문제점이며 본 논문의 주제에 해당되는 상향통신(Upstream)의 경우 무선채널 구간에서 충돌을 피해야하며, 이를 위해 타임스탬프(Timestamp)를 프레임포맷에 두어 마스터와 슬레이브 간의 로컬오실레이터의 편차를 극복하고 프레임 동기를 맞춘다. 프레임 동기가 맞추어진 상태에서는 슬레이브 주소를 통한 타임슬롯 즉, 특정 슬레이브장치가 상향통신을 할 수 있도록 허가된 시간구간에 상향전송을 하게 된다. 이로써 상향무선채널은 충돌없이 안정적인 통신구간을 이루게 된다.

그림 5는 슬레이브 별로 가변적인 상향통신 타임슬롯에 대한 개념도로 슬레이브 주소별로 가변적인 전송율을 마스터장치로부터 승인받아 이를 상향데이터 전송에 사용하는 것을 표현한 것이다. 항상 마스터장치에서만 전송되는 하향통신은 비교적 안정적인 통신환경으로 오류가 없는 반면 40대의 다른 국부발진기를 갖는 슬레이브 장치가 시분할로 매체를 공유하는 상향통신은 오류가 발생할 가능성이 높다. 따라서 송신채널로 정보를 전달한 후에는 항상 수신채널로 수신확인응답(Acknowledgement) 정보로 매 패킷을 확인하며 일정시간 이상 수신확인응답정보가 없을 경우 5회의 재전송 기회를 갖는다.

III. 제작 및 시험

그림 7과 8은 개발된 무선마스터장치와 무선슬레이브 장치의 사진이며, 전원장치 및 오실로스코프, 스펙트럼분석기가 시험 및 성능측정에 사용되었다. 여러 조건에서의 필드시험을 위해 그림 7과 같이 40개의 무선 슬레이브 모듈을 1개의 세트 안에 배치하고 전원장치를 내장하여 지그를 구성하였다.

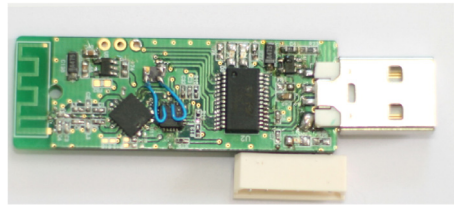


그림 6. 무선마스터장치
Fig 6. Wireless master device

최악의 통신상황을 연출하기 위해 동시에 40개의 슬레이브장치가 동시에 무선송출을 할 수 있도록 좌측하단에 스위치를 설치하여 스위치 1번 조작 시에 40개의 슬레이브장치가 동시에 패킷을 전송하도록 하였다. 안테나 간의 간섭현상에도 불구하고 안정적인 점대다중점 통신 성능을 보였으며, 10^{-8} 이하의 패킷오류율을 얻었다.



그림 7. 40대의 무선슬레이브장치
Fig 7. 40 pcs of wireless slave device

그림 8은 테스트 지그를 위한 소프트웨어로 좌측에는 현재 수신하고 있는 패킷을 보여주며, 우측에는 그래픽

유저인터페이스로 1번 슬레이브장치로부터 40번 슬레이브장치까지 수신성공 상황이 그래픽으로 표현된다. 또한 각 슬레이브 주소별 성공누적횟수가 카운트되어 패킷오류율을 측정할 수 있다.

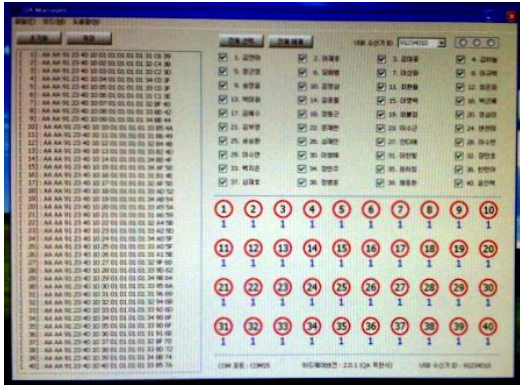


그림 8. 시험을 위한 소프트웨어
Fig 8. Software for test

IV. 지그비와의 성능비교

개발된 점대다중점 매체다중접속부의 성능을 비교하기 위해 상용 지그비모듈 (Firmtech FZ750BC)^[6]을 측정하여 이를 비교하였다. 측정할 대상은 모두 2.4GHz ISM 대역을 사용하며, 본 논문에서 개발한 통신모듈은 4-FSK 변복조 방식을 사용하며 시분할다중화방식으로 40대까지의 슬레이브장치와 1대의 마스터장치 사이의 점대다중점 다중화 통신을 한다. 반면에 상용 지그비 모듈은 O-QPSK 변복조를 사용하며, CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access-Collision Avoidance) 기술로 다중화된다. 표 1과 표 2에 패킷 송수신에 대한 소요되는 심볼의 수와 시간을 msec 단위로 열거하였다. 표 1에서 지그비 통신모듈은 점대다중점 통신을 위해 CSMA-CA에 97.31 심볼을 사용하며, 이에 소요되는 시간은 1.56msec이다. 또한 Tx 패킷은 물리계층 및 매체접속다중화계층, 네트워크계층, 어플리케이션계층 등의 오버헤드와 프레임검사바이트, 페이로드(Payload) 등 총 33 바이트로 최소길이의 프레임을 구성할 수 있다^[7]. 여기서, 페이로드는 1바이트로 최대의 네트워크 스트레스(Network stress)를 부여하였다. 반면 본 논문에서 개발한 점대다중점 통신모듈은 시분할다중을 위한 가드타임

은 1.664msec를 차지하며 물리계층과 매체다중접속계층만을 사용하여 오버헤드를 줄여 전송속도를 높일 수 있었으며, 1바이트의 페이로드를 전송하기 위해 13바이트의 프레임길이가 소요되므로 지그비통신과 비교하여 20바이트의 오버헤드가 감소시켰다.

표 1. 지그비의 점대다중점 통신시간분할
Table 1. Point-to-multipoint communication time allocation of Zigbee module

전송절차	symbols	msec
CSMA-CA	97.31	1.56
Tx Packet	66	1.059
ACK 선회	12	0.19
Tx ACK	22	0.35
합계	197.31	3.159

표 2. 본 논문에서 개발된 점대다중점 통신시간분할
Table 2. Point-to-multipoint communication time allocation of communication module suggested by this paper

전송절차	symbols	msec
Guard Time	104	1.664
Tx Packet	26	0.416
ACK 선회	12	0.19
Tx ACK	26	0.416
합계	168	2.686

개발된 통신모듈과 지그비모듈의 점대다중점 통신성능비교를 위해 데이터왕복시간(Round trip time)을 측정하여 그 결과를 그림 9와 같이 도시하였다. 10분기, 20분기, 30분기, 40분기의 점대다중점 통신에 대해 두 통신모듈이 각기 1바이트의 데이터를 전송하고 수신확인응답 프레임을 수신하는데 걸리는 시간을 나타낸 것이며, 표 1, 2에 나타낸 바와 같다. 그림에서 보인 바와 같이 개발된 시분할다중화 통신의 경우 분기수가 많아짐에 따라 모든 슬레이브장치들이 한번 씩 데이터를 송수신하는데 걸리는 시간은 분기수에 비례하여 늘어나는 반면, 지그비 모듈의 경우 분기수의 증가에 따라 비선형적인 증가 곡선을 보인다. 이는 지그비에서 사용하는 CSMA-CA 다중화방식이 슬레이브장치들이 공용으로 사용하는 송신주파수채널을 다른 슬레이브가 점유하고 있는지 센싱하여 채널점유상태이면 데이터를 대기시키고 점유상태가 아니면 데이터를 전송하는 방식을 사용하기 때문에 채널에서 두 개 이상의 슬레이브장치가 동시에 프레임을

전송하여 데이터가 충돌하고 대기하는데 소요되는 시간 때문인 것으로 보인다.

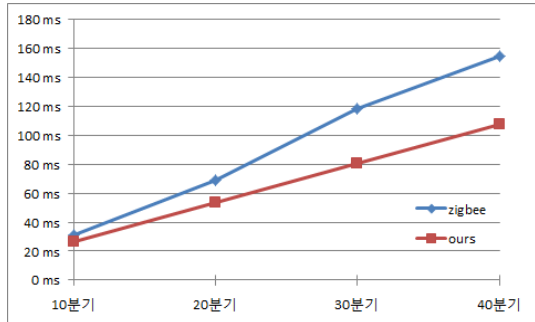


그림 9. 지그비모듈과 개발된 모듈과의 점대다중점 분기수에 따른 통신속도

Fig 9. Round trip time of Zigbee module and suggested module according to point-to-multipoint branch number

V. 결론

본 논문에서는 50미터 이내의 근거리에서 40개의 슬레이브단말이 마스터장치에 연결하는 근거리 점대다중점 통신에서 최적의 통신성능을 얻기위해 점대다중점 매체다중접속계층을 설계, 구현하고 그 성능을 가늠하기 위해 상용 지그비 모듈과 가능한 동일한 환경에서 동일 조건으로 통신성능을 측정하여 비교 데이터를 도출하였다.

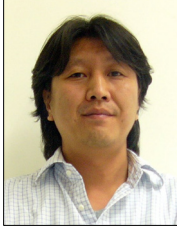
상용 지그비모듈은 점대다중점 통신을 위해 CSMA-CA라는 다중화방식을 사용하며, 이 다중화방식은 본 논문에서 개발한 통신모듈이 사용한 비동기 시분할다중화 방식에 비하여 여러 개의 슬레이브장치가 짧은 데이터를 자주 송수신하는 환경에서 보다 낮은 성능을 내었다. 이는 공용으로 사용하는 송신주파수채널을 경쟁적으로 점유하려는 가운데 충돌이 발생하는 경우 소실되는 시간이 20대 이상의 단말에서 많이 발생하는 것으로 보인다. 또한 개발된 근거리 통신모듈은 점대다중점 토폴로지만을 지원하므로 매체다중접속계층 구현을 통해 통신이 이루어진다. 반면, 지그비 통신의 경우 점대다중점 이외의 여러 네트워크 토폴로지에서의 통신을 위해 네트워크계층까지 사용하여 프레임 오버헤드가 본 논문에서 개발된 통신방식보다 큰 것도 성능에 영향을 미치는 것으로 보인다.

참고 문헌

- [1] ZigBee Alliance, <http://www.zigbee.org>
- [2] IEEE, "802.15.4 Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LRWPANs)," IEEE Computer Society, 2003. 10.
- [3] H.S. Nam, H.S. Lee, J.Y. Kim, "Trend of WBAN Application Service", Trend Analysis of Electronics and Telecommunications vol.24 no.5 pp.109-118, 2009.2.
- [4] ES. Kim, Y.W. Kim, "technical standardization trend of IP-USN based on 6LoWPAN", Trend Analysis of Electronics and Telecommunications vol.22 no.6 pp.24-32 2007.12.
- [5] Texas Instrument. (2007, 09/20/2007). SWRS055D Low-Power SoC (System-on-Chip) with MCU, Memory, 2.4 GHz RF Transceiver, and USB Controller, technical specification. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/swrs055f/swrs055f.pdf>
- [6] T.R. Burchfield, S. Venkatesan, and D. Weiner, "Maximizing Throughput in ZigBee Wireless Networks through Analysis, Simulations and Implementations," UTDCS-24-07 and in proceedings of First International Workshop on Localized Algorithms and Protocols for Wireless Sensor Networks (LOCALGOS 2007) located with Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS), 2007.
- [7] FIRMTECH Co., Ltd. (2008) Zigbee Embedded Module FZ750BS/FZ750BC Manual. Available: <http://www.firmtech.co.kr/02download/zigbee/manual/FZ750ManualV01.pdf>

저자 소개

김 준 환(정회원)



- 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학박사)
- 삼성종합기술원 디지털통신랩 전문연구원
- (주)크로스웍스 연구소장
- 현재 : (주)모노그램 대표

정 진 호(정회원)



- 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학박사)
- 미국 테네시주립대학 방문교수
- 현재 : 호서대학교 IT융합기술학부 전자공학과 교수