
이중 채널 라우터를 사용하는 무선 센서네트워크를 위한 다중경로 라우팅 알고리즘

하기종* · 유승식** · 임상민*** · 김병호****

Multipath Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks Using Dual Channel Routers

Ki-Jong Hah* · Seung-Sik Yoo** · Sang-Min Lim*** · Brian Kim****

요 약

지속적인 데이터 전송이 필요한 센서네트워크의 경우 센서 노드가 증가할수록 네트워크의 요구 대역폭도 증가하게 되어 상대적으로 고속의 데이터 처리 및 전송이 필요하다. 본 논문에서는 이중채널 라우터를 사용하는 센서네트워크에서 연속적인 데이터 스트림의 전송 속도를 최대화하기 위하여 여러 센서 노드로부터 싱크노드로의 다중경로를 설정하는 라우팅 알고리즘을 개발하고 제안하였다. 또한, 지그비 통신 모듈을 사용하는 이중채널 라우터에서 제안한 다중경로 알고리즘의 성능을 분석하였다. 실험을 통해 실제 통신 속도를 측정한 결과, 일반적인 단일 채널 라우터의 전송 성능의 2배에 가까운 150kbps 이상의 전송률을 안정적으로 얻을 수 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

In case of wireless sensor networks being applied to a target environment having continuous data transfer, high-speed data transmission and processing is necessary to meet increased bandwidth needs. This paper proposes a novel multipath routing algorithm to increase the bandwidth of continuous data stream for the wireless sensor network using dual channel routers. We evaluate performance of the proposed algorithm in the wireless sensor network using the dual channel router based on ZigBee protocol. According to the experimental evaluation, the proposed algorithm showed outstanding performance enhancement with the bandwidth of 150Kbps, which is about twice of existing single channel router.

키워드

무선 센서 네트워크, 라우팅 알고리즘, 이중채널 라우터, 지그비

I. 서 론

무선 센서네트워크는 다수의 저전력 저가의 무선 센서노드들로 구성되며 생태 환경, 자연 재해, 군용 시설,

구조물 감시 및 가정, 병원, 창고 등 다양한 분야에서 실시간 모니터링 및 제어에 이용되고 있다. 무선 센서네트워크의 응용분야가 다양해짐에 따라 전송되는 데이터의 종류도 다양하고 그 양도 늘어나고 있다. 초기 센서

* 강릉영동대학 정보통신과

** 공주영성정보대학 TV편집제작과

*** (주)에스엠컴 대표

**** 경성대학교 컴퓨터공학과

접수일자 : 2007. 1. 30

네트워크 시스템에서와 같이 지정된 범위를 벗어나는 간헐적인 센싱 데이터의 전송은 물론 구조물의 진동이나 하중의 모니터링과 같이 특정값에 관계없이 감지된 데이터를 일정 주기마다 지속적으로 전송해야 하는 응용도 있다. 이 경우 감시 대상 영역이 넓어지면 데이터를 주기적으로 전송해야 하는 센서 노드의 수도 늘어나 전체 네트워크에 요구되는 전송 대역폭도 비례하여 증가하게 된다.

한편, 무선 센서네트워크를 구성하는 센서 노드는 대부분 사람이 일일이 설치하기 어렵고 별도의 전원 공급이 곤란한 지역에 설치되기 때문에 자체 배터리로 동작해야 한다. 또한 배터리의 교환 또한 쉽지 않아 배터리 교체없이 장기적으로 동작할 수 있도록 저전력 소모 구조로 설계되어야 한다. 센서노드에서 전력을 가장 많이 사용하는 부품은 통신 모듈이다. 무선 통신에 필요한 전력 소모는 전송 거리의 제곱에 비례하기 때문에 전력 소모를 최소화하기 위해서는 길지 않은 전송거리와 짧은 시간에 전송을 마무리할 수 있는 단순한 통신 모듈이 요구된다. 따라서 센서 네트워크 하드웨어에 대한 대부분의 연구가 단일 채널 RF 모듈의 사용을 전제하고 있으며 이를 통해 전력 소모를 최소화하고 있다[1].

반면에 주기적인 데이터 전송을 필요로 하는 센서네트워크의 경우 센서 노드가 증가할수록 네트워크의 요구 대역폭도 증가하게 되어 상대적으로 고속의 데이터 전송이 필요하다[2]. 이에 따라 최근에는 비용이나 추가적인 전력 소모없이 센서 노드와 네트워크의 성능을 높이기 위한 연구가 활발히 진행되고 있는데 대표적인 방법이 센서 노드의 하드웨어를 개선하는 것이다. 한 예로, 아일랜드 Cork 대학에서 개발한 nRF2401[3] RF 모듈은 저가 저전력을 유지하면서 데이터 송수신에 서로 다른 주파수를 사용하는 이중 채널 기법을 사용하여 데이터 처리 속도를 높일 수 있다.

또한, 센서 네트워크에서의 데이터 전송은 모두 싱크 노드로 집중되기 때문에 개별 센서 노드보다는 싱크노드로 향하는 주요 경로에 상대적으로 많은 트래픽이 발생한다. 이러한 특성을 바탕으로 데이터 중계만을 전담하는 라우터 노드들에 서로 다른 무선 채널을 사용하는 2개의 RF 통신 모듈을 장착하여 송신과 수신을 동시에 처리함으로써 전송 대역폭을 두 배로 향상시킨 이중채널 라우터에 대한 연구도 있다[4].

이와 같이 다중 주파수 채널을 사용하게 되면 인접한

노드들이 동일한 주파수를 사용할 때 야기될 수 있는 충돌을 방지하기 위해 서로 다른 채널을 할당할 수 있는 채널 할당 정책이 요구되는데 이러한 채널 할당 문제는 다중채널을 사용하는 대표적인 예인 CDMA 통신망에서 채널 간 충돌을 방지하기 위해 각 채널에 코드를 할당하는 문제[5]와 유사하다. 네트워크에서 사용하는 주파수가 3개 이상이 되면 주변 노드간에 서로 다른 주파수를 사용할 수 있어 충돌로 인한 성능 저하를 줄일 수는 있지만, 센서네트워크에서는, 센싱된 모든 데이터는 중계 라우터 노드를 통해 목적지인 싱크노드로 전송되어야 하기 때문에 중계 라우터들이 각 해당 주파수별로 별도의 수신 모듈을 갖고 있어야만 그 효과를 나타낼 수 있다. 그러나 라우터 노드에 3개 이상의 RF 수신 모듈을 장착하는 것은 또한 이를 처리하기 위하여 송신 모듈에도 동일한 수의 RF 모듈이 필요하기 때문에 하드웨어 복잡도와 전력 소모 증가는 물론 라우팅 알고리즘 수행을 위한 CPU의 전력소모 증가도 문제가 되기 때문에 현실적으로 적용하기는 어렵다.

본 논문에서는 이중채널 라우터를 사용하는 센서네트워크에서 여러 센서 노드로부터 싱크노드로의 다중 경로를 설정하는 라우팅 알고리즘을 제안한다. 또한, 지그비 통신 모듈을 사용하는 이중채널 라우터에서 제안한 다중경로 알고리즘을 구현하고 성능을 분석한다.

II. 관련 연구

2.1. 지그비 프로토콜 개요

지그비 프로토콜은 세 개의 공용 무선주파수 대역에서 동작한다. 2.4GHz 대역에서 250 kbps, 915MHz 대역에서 40 kbps, 868MHz 대역에서 20 kbps의 전송대역폭을 갖는다. 채널수는 2.4GHz 대역에서 16 채널, 915MHz 대역에서 10 채널, 868MHz 대역의 1 채널을 포함하여 모두 27 채널을 할당할 수 있다[6].

지그비 네트워크는 네트워크의 코디네이터 역할을 담당하는 FFD(full-function device)와 단순 기능의 RFD(reduced-function device)의 두 가지 형태의 노드들로 구성된다. RFD는 오직 FFD를 통해서 통신할 수 있고 자신의 데이터 전송만 담당하기 때문에 기능은 물론 하드웨어 구성을 최소화할 수 있어 가격과 전력소모를 줄일 수 있다.

지그비 프로토콜은 IEEE 802.15.4 MAC을 사용하며 MAC 프레임은 비콘, 데이터, 응답 및 명령 프레임의 네 가지 형태로 구분된다. 데이터 프레임과 비콘 프레임만이 상위계층에 전달할 정보를 가지고 있으며 확인 프레임과 MAC 명령 프레임은 MAC 계층간의 일대일 통신에 사용된다. MPDU(MAC Protocol Data Unit)로도 일컬어지는 MAC 프레임은 MHR(MAC Header), MSDU(MAC Service Data Unit) 및 MFR(MAC Footer)로 구성된다.

IEEE 802.15.4 표준은 보다 짧은 처리시간을 요구하는 서비스를 위해 슈퍼프레임 구조를 제공하고 있는데 슈퍼프레임 모드에서는 네트워크 코디네이터로 지정된 노드가 주기적으로 비콘을 다른 노드들에게 방송한다. 두 비콘 사이의 활성주기는 슈퍼프레임의 크기에 관계 없이 16개의 균등한 슬롯, 즉, 비콘, CAP(contention access period) 및 CFP(contention-free period)의 세 부분으로 구성된다. CAP 구간에서 데이터를 전송하는 노드들은 CSMA-CA 방식에 따라 다른 노드들과의 경쟁에서 발생하는 충돌을 회피한다. 네트워크 코디네이터는 지연없는 처리나 일정 대역폭을 요구하는 노드에 GTS(Guaranteed Time Slots)를 할당할 수 있으며 GTS 슬롯은 그림 1과 같이 다음 비콘 바로 앞에 위치한다.

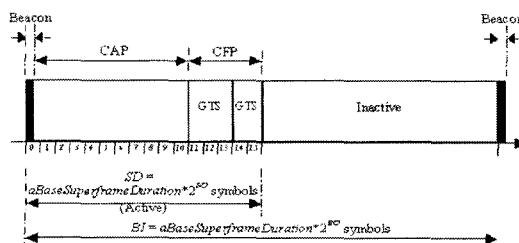


그림 1. 슈퍼프레임 구조
Fig. 1. Structure of Superframe

비콘을 사용하는 네트워크에서는 각 노드들이 슬롯 기반의 CSMA-CA 방식을 통해 코디네이터로부터 GTS 구간을 할당받을 수 있는 반면에, 비콘을 사용하지 않는 네트워크에서는 슬롯 구분없는 CSMA-CA 방식을 사용하여 코디네이터로부터 GTS 구간을 할당받을 수 없기 때문에 데이터 전송을 시도하는 노드는 다른 노드가 전송중인지를 확인하고 채널이 사용중이면 랜덤 시간을 대기한 후 다시 시도해야 한다.

2.2. 채널 할당 문제

센서네트워크의 무선 통신 프로토콜로써 널리 사용되고 있는 지그비 프로토콜의 최대전송률은 250kbps라고 알려져 있지만 프로토콜 처리 오버헤드 및 충돌 회피를 위한 랜덤 시간 대기 등으로 실질전송률은 150kbps 정도이다[7].

지그비의 유효전송률이 최대 150Kbps라고 하더라도 센서네트워크에서 이를 중계하는 라우터는 한 개의 통신 모듈로 수신과 송신을 동시에 처리할 수 없어 실제로는 그 절반인 80Kbps밖에 중계할 수 없다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 이중채널 라우터에서는 수신모듈이 데이터 스트림을 연속적으로 수신하고 이를 직렬 채널을 통하여 송신 모듈로 보낸다. 송신 모듈은 이를 받아 다음 라우터로 중계한다. 송신 모듈과 수신 모듈이 동시에 데이터를 처리하기 위해서는 서로 다른 채널을 사용해야 한다. 즉, 그림 2와 같이 각 노드의 수신 채널과 송신 채널은 서로 달라야 하며 통신하는 두 노드는 동일한 송수신 채널을 사용해야 한다. 이는 전체 네트워크에 동일하게 만족되어야 한다[4].



그림 2. 이중 채널 라우터의 전송 개념도[4]
Fig. 2. Transmission in Dual Channel Router [4]

지그비 표준은 2.4GHz 대역에서 16개의 채널을 사용할 수 있다. 사용할 채널은 프로그램으로 지정 가능하며 통신하는 두 송수신 노드는 서로 같은 채널을 사용해야만 통신이 가능하다. 같은 채널을 사용하는 노드가 여럿일 때는 충돌에 의한 전송을 저하를 초래할 수 있다. 이러한 채널 할당 문제는 이동통신망에서 CDMA 코드를 할당하는 것과 유사한데 Gupta[5]는 이를 그래프 컬러링 문제로 치환하여 알고리즘을 제안하였다.

Chowdhury[8]는 지그비 네트워크에서 클러스터간의 충돌을 줄여 처리율을 높이는 문제를 NP-Complete 2-hop 컬러링 문제로 정의하고 이를 위한 분산 채널 할당 기법을 제안하였다. Bertossi[9]는 노드들이 일직선으로 나열되어 있을 때를 가정한 Hidden Primary Collision Avoidance(HP-CA)를 제안하였다.

2.3. 단일경로 알고리즘

이중채널 센서네트워크의 경우에는 분산 알고리즘 이 아닌 중앙처리 방식의 알고리즘을 사용하는 것이 처리 연산에 따른 오버헤드를 줄일 수 있는 방안인데 [4]에서는 지그비 프로토콜 기반 이중채널 라우터를 사용하는 센서네트워크에서 하나의 센서노드로부터 싱크노드로의 단일 경로만을 구하는 중앙처리형 알고리즘을 제안하였다. 단일경로 알고리즘 설계에 사용된 센서네트워크에 대한 가정은 다음과 같다[4].

- 노드의 수는 100개 이내
- 모든 노드들이 동일한 통신방식인 지그비로 통신
- 이중채널 라우터는 진동 센서와 같은 고속 데이터 전송 시 사용
- 네트워크에 배치된 이중채널 라우터의 수는 최소 수요보다 크다

III. 알고리즘 설계

3.1. 이중채널 라우터

이중 채널 라우터는 송신부와 수신부에 각각 2개의 RF와 MCU를 갖고 있으며 두 모듈은 서로 직렬 통신으로 연결된다. 중계 시에는 수신 RF 모듈로 들어온 비트 스트림을 수신부 MCU가 받아서 직렬전송로를 통하여 송신부로 전송한다. 송신부 MCU는 이를 받아서 송신 RF 모듈에 전달한다. 송신부와 수신부의 RF 모듈은 서로 다른 채널에서 동작되어야 하며 송신부와 수신부의 역할은 필요에 따라 서로 바뀔 수 있다.

3.2. 채널 할당 정책

채널 할당은 센서노드들이 장착되어 처음 네트워크가 설정될 때 이루어진다. 중앙처리형 채널 할당은 3단계로 구성된다[4]. 첫째, 전체 네트워크의 형상을 검색하고 이를 통해 각 노드에 MAC 주소를 할당하는 단계인데 이 단계는 지그비 표준을 따라 수행된다. 이 단계를 통하여 싱크노드로부터 각 센서로의 경로가 설정된다.

둘째, 싱크노드로부터 중계노드들을 거쳐 센서노드에 이르는 경로에서의 채널탐색 단계이다. 채널탐색 단계에서는 중계기가 전송하는 데이터들이 얼마나 많은 중계기와 겹치는지를 확인하는 것이다. 중계기와 통신

이 겹친다면 충돌로 인한 성능저하가 발생할 수 있다.

셋째, 싱크노드는 중앙처리형 채널 할당 알고리즘을 통해 각 노드에 할당된 채널 번호를 전달하고 운영을 시작한다.

탐색단계에서 각 중계노드는 순서대로 채널탐색 메시지를 방송한다. 이 메시지를 받은 통신 범위내의 중계 노드들은 이를 기억한다. 이 과정이 해당 센서노드까지 이르게 되면 채널탐색 단계가 끝나고 각 노드는 역순으로 연결 가능한 중계노드의 ID를 피기백 방식으로 싱크 노드까지 전송한다.

3.2. 채널 할당 알고리즘

앞 절 채널 할당 정책의 두 번째 단계를 통해 얻은 채널 중첩정보를 바탕으로 각 라우터에 어떤 채널을 설정할지가 결정되어야 한다.

그림 3은 고속전송을 요구하는 센서가 3개이고 이중 채널 라우터가 3개인 경우에 연결이 가능한 그래프를 보여준다. 이때 센서 S_1 과 S_2 는 2개의 경로가 가능하며 S_3 는 1개의 경로만을 사용할 수 있다. 만약 S_1 이 경로의 흐름 수를 줄인다는 의미에서 2번 경로를 선택한다면 S_2 는 4번 경로를 선택하게 되고 S_3 는 경로를 설정할 수 없는 경우가 발생한다.

본 논문에서는 이를 방지하기 위하여 중계기마다 ‘경로수’라는 변수를 두고 그 노드를 지나는 경로수를 계산한다. 그림 3에서 R_1 과 R_4 의 경로수는 1이며 R_2 와 R_3 의 경로수는 2이다.

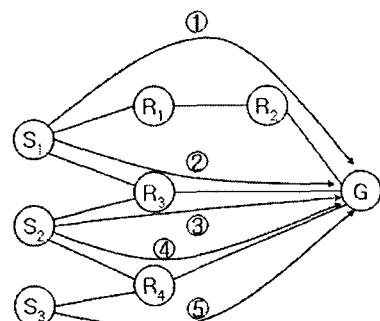


그림 3 설정 가능 경로

Fig. 3. Possible Routes

각 경로마다 혼잡도를 계산하여 ‘경로혼잡도’의 계산

방식은 아래와 같다.

경로혼잡도 i = 경로에 속한 노드의 경로수 합/노드 수

그림 3에서 경로 1의 경로혼잡도는 $2/2 = 1$ 이며 경로 2와 경로 3의 경로혼잡도는 $2/1 = 2$, 경로 4와 경로 5의 경로혼잡도는 $2/1 = 2$ 이다.

본 논문의 알고리즘은 경로혼잡도가 최소인 경로를 먼저 처리함으로써 나중에 경로를 재탐색할 가능성을 최소화한다. 이에 따른 알고리즘은 아래와 같다.

알고리즘 Central Allocation(CA) {

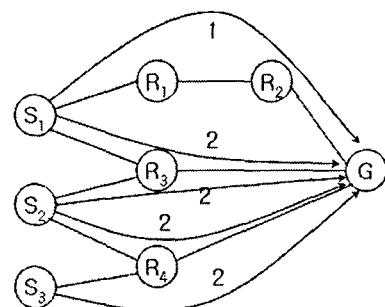
 입력: 각 노드로부터 전달된 인접노드 ID

 출력: 각 노드에 부여된 채널 번호;

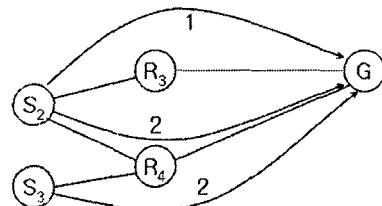
1. 입력된 각 노드의 인접 노드 ID들의 그래프를 생성한다.
2. 그래프를 탐색하여 센서노드로부터 싱크노드로의 경로를 모두 탐색한다..
3. 생성된 경로에 포함된 노드의 경로수 값을 1 종 가시킨다.
4. 각각의 경로의 경로 혼잡도를 계산한다.
5. 경로혼잡도가 최소인 경로를 선택한다.
- 5-1. 선택할 경로가 없으면 종료한다.
6. 그 경로에 센서로부터 싱크노드까지 2홀마다 다른 번호가 부여되도록 채널을 할당한다.
7. 그 경로를 그래프에서 제거한다.
8. 센서가 남아있으면 4번부터 다시 시작한다.

}

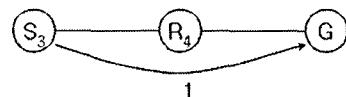
알고리즘 수행 결과는 그림 4와 같다. 그림 4의 a)는 알고리즘의 4단계까지를 나타낸다. 각 경로의 경로 혼잡도에 따라 경로 1이 선택된다. 선택된 경로에는 3.2절의 채널 할당 정책에 의해 채널이 할당된다. 그림 4의 b)는 알고리즘 7단계와 8단계를 수행한 후의 두번째 4단계에 해당한다. 그림에서 경로 3이 최소 경로혼잡도를 가지므로 경로 3이 선택된다. 마찬가지로 그림 4의 c)처럼 최종적으로 남은 경로를 선택하고 알고리즘을 종료한다.



a) S1 의 경로 설정
a) Route of S1



b) S2 의 경로 설정
b) Route of S2



c) S3 의 경로 설정
c) Route of S3

그림 4. 알고리즘 수행 과정
Fig. 4. Flow of Algorithm

IV. 실험 및 성능 분석

4.1. 이중 채널 라우터

실험에 사용된 이중 채널 라우터는 옥타컴사의 통신 모듈인 OCX-Z[10]를 기반으로 구현된 것이다. 그림 5의 왼쪽은 2개의 OCX-Z가 장착된 것을 보여준다. 각 모듈은 직렬통신으로 연결되어 데이터 스트림을 교환한다. 직렬통신은 OCX-Z의 포트들을 직접 연결했다.

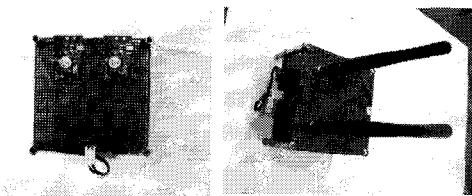


그림 5. 이중 채널 라우터
Fig. 5. Dual Channel Router

OCX-Z의 통신모듈은 Chipcon사의 CC2420[11]을 사용하며 MCU는 Atmel사의 ATmega128[12]를 사용했다. CC2420은 지그비 MAC을 지원하는 통신모듈로써 전송 속도가 최대 250kbps이고 유효속도는 150kbps이다. ATmega128은 8비트 MCU이고 8MHz 클럭을 갖고 있다. OCX-Z의 직렬 통신은 ATmega128의 포트들을 서로 연결한 것으로써 일반적인 PC간의 직렬통신과 달리 수 Mbps 이상의 속도를 벌 수 있다.

소프트웨어의 구조는 상대적으로 간단하다. 수신 모듈은 수신 데이터를 큐에 저장하고 이를 직렬포트에 쓰는 형태이고, 반대로 송신 모듈에서는 직렬 포트에 보내진 데이터를 받아 큐에 저장하고 이를 송신 모듈에 전달한다.

4.2. 성능 평가

평가 방식은 구현된 라우터가 성능 저하없이 수신 데이터를 송신할 수 있는지를 평가하였다. 이중 채널 라우터를 센서노드와 싱크노드 사이에 설치하고 센서노드에서 최고 속도로 데이터를 전송할 때 싱크노드에 어느 정도의 속도로 오류없이 전송되는지를 평가하였다.

성능 실험을 통하여 이중 채널 라우터는 일반 노드의 최고 전송 속도인 150kbps의 중계할 수 있음을 확인할 수 있었다. 이는 라우터내의 MCU와 직렬포트가 송신 및 수신 모듈의 전송속도인 150kbps 이상의 성능을 갖고 두 모듈간의 중계 시에 문제가 없었음을 의미한다.

기존의 [4]의 연구에서는 하나의 센서노드에서 싱크 노드로의 경로만을 구할 수 있었는데 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 다수의 센서노드로부터 싱크노드로의 복수 경로를 설정한다. 따라서 실제 상황에 적용하기에 보다 적합하다고 할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 이중채널 라우터를 사용하는 센서네트워크에서 연속적인 데이터 스트림의 전송 속도를 최대화하기 위하여 여러 센서 노드로부터 싱크노드로의 다중 경로를 설정하는 라우팅 알고리즘을 개발하고 제안하였다. 또한, 지그비 통신 모듈을 사용하는 이중채널 라우터를 구현하고 제안한 다중경로 알고리즘의 성능을 분석하였다.

구현을 통해 실제 통신 속도를 측정한 결과, 일반적인 단일 채널 라우터의 전송 성능의 2배에 가까운 150kbps 이상의 전송률을 안정적으로 얻을 수 있음을 확인하였다.

향후 연구로는, 제안한 알고리즘이 동시에 송신을 원하는 센서 노드들의 수에 비례하여 복잡도가 증가하는 데 이를 노드 수에 상관없이 계산하여 연산 오버헤드를 줄일 계획이다.

참고문헌

- [1] W. Ye, J. Heidemann, D. Estrin, "An energy -efficient MAC protocol for wireless sensor networks," IEEE Infocom, pp. 1567-1576, 2002.
- [2] A. Ruzzelli, G. O'Hare, R. Jurdak, R. Tynan, "Advantages of Dual Channel MAC for Wireless Sensor Networks," Int. Conference on communication system software and middleware, IEEE press, 2006.
- [3] N. semiconductor, "nRF2401 datasheet," Nordic, Tech. Rep., 2002.
- [4] 김병호, "이중 채널 ZigBee 라우터의 설계 및 구현," 한국해양정보통신학회논문지, 제11권 2호, 2007.
- [5] I. Gupta, "Minimal CDMA Recoding Strategies in Power Controlled Ad-Hoc Wireless Networks," Technical Report, Dept. of Computer Science, Cornell Univ., 2001.
- [6] 김동일, 송창안, "에너지 효율을 고려한 다중홉 센서망에서의 MAC 프로토콜 구현," 한국해양정보통신학회논문지, 제8권 4호, pp. 793-797, 2004.
- [7] 서진철 외, "ZigBee MAC 프로토콜 성능 실험 및 평가," 제9회 차세대통신소프트웨어 학술대회, pp.

259-264, 2005년.

- [8] K. Chowdhury, P. Chanda, D. Agrawal, Q. Zeng, "DCA: a distributed channel allocation scheme for wireless sensor networks," Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications, 2005.
- [9] A. Bertossi, M. Bonuccelli, "Code Assignment for Hidden Terminal Interference Avoidance in Multihop Packet Radio Network," IEEE/ACM Trans. on Networking, Vol.3, No. 4, pp. 441-449, 1995.
- [10] 옥타콤, OCX-Z, <http://www.octacom.net>, 2006.
- [11] Chipcon, SmartRF CC2420 ZigBee Development Kit User Manual, 2004.
- [12] Atmel, AVR 8-bit RISC, <http://www.atmel.com/products/AVR/>, 2006

저자소개



하 기 종(Ki-Jong Hah)

1981년 광운대학교 응용전자과 공학사
1986년 중앙대학교 전자공학과
공학석사

1992년 청주대학교 전자공학과 공학박사

1986년-1994년 한국통신 연구개발원 전임연구원

1994년-현재 강릉영동대학 정보통신과 부교수

※관심분야: 컴퓨터 네트워크, 통신망관리, USN



유 승 식(Seung-Sik Yoo)

1986년 충남대학교 전자공학과 공학사
1988년 충남대학교 전자공학과
공학석사

1998년 충남대학교 전자공학과 박사수료

1991년-1996년 한국통신 연구개발원 전임연구원

1996년-현재 공주영상대학 TV편집제작과 조교수

※관심분야: 영상신호처리, 영상통신, 3D TV, 방송기술,
USN



임 상 민(Sang-Min Lim)

1999년 서울산업대학교 전자공학과
공학사

2006년 연세대학교 경영대학원
경영학석사

1996년-1999년: 중앙데이터통신

2002년 (주)레이텍 실장

2002년-현재 에스엠컴 대표이사

※관심분야: 이동통신, 컴퓨터 네트워크, 광통신



김 병 호(Brian Kim)

1990년 연세대학교 전산과학과 졸업

1997년 KAIST 전산학과 공학박사

1997년-1998년 포스테이타 주식회사

1998년-2005년 Brain21 대표이사

2007년-현재: 경성대학교 컴퓨터공학과 전임강사

※관심분야: 무선 센서네트워크, 컴퓨터 네트워크