

# 전송률 최대화를 위한 이중 채널 ZigBee 라우터의 설계 및 구현

소선섭<sup>○</sup>, 은성배<sup>○</sup>  
 공주대학교 컴퓨터공학부<sup>○</sup>, 한남대학교 정보통신공학과  
 triples@kongju.ac.kr<sup>○</sup>, sbeun@hannam.ac.kr

Design and Implementation of a Dual Channel ZigBee Router for Maximizing Throughput

Sun Sup So<sup>○</sup>, Seongbae Eun<sup>○</sup>  
 School of Computer Engineering<sup>○</sup>, Dept. of Information Communication Engineering

## 요 약

교량의 진동을 모니터링하여 구조물의 안전을 진단하는 응용의 경우, 연속적인 데이터 전송률이 ZigBee의 최대 전송률에 육박할 수 있다. 이처럼 연속적으로 생성되는 데이터를 중계하는 라우터의 경우 수신하면서 동시에 송신할 수 없으므로 전송률이 절반 이하로 떨어지게 된다. 본 논문에서는 라우터에 2개의 송신 모듈을 장착하여 수신하면서 동시에 송신하는 장치의 설계 및 구현을 기술하였다. 또한, 수신과 송신을 동시에 할 수 있도록 서로 다른 채널을 할당하는 중앙집중식 채널할당 알고리즘을 제시하였다. 구현 결과 이중 채널 라우터의 최대 전송률이 150kbps에 이르는 것을 확인하였다.

## 1. 서 론

ZigBee는 2004년 12월에 버전 1.0 이 완성된 PAN을 위한 통신프로토콜이다[1]. ZigBee는 홈네트워크 이나 사무실 환경감시, 실내 위치인식 등에 사용될 수 있도록 저전력, 저가격, 근거리 전송등의 특징을 갖는다. 최근 Chipcon사, Zennic사, 레이디오 펄스사 등에서 상용화된 통신 칩을 제공하는 데에 힘입어 상용화에 박차를 가하고 있다.

ZigBee의 이론상 최대 전송률은 250kbps이나 통신규약부담 및 MAC 계층에서의 랜덤 대기 시간때문에 유효 전송률은 150kbps 정도이다[2]. ZigBee의 응용은 일반적인 경우 데이터 전송주기가 매우 길고, 사이즈도 작으므로 그 정도의 전송률로도 충분하다.

서해대교 등의 교량을 모니터링하는 응용의 경우에 온도, 습도 등과 같은 일상적인 환경 정보 모니터링과 진동, 하중, 인장강도 등의 구조물 모니터링이 함께 이루어진다. 이때 진동 등의 센서 데이터는 연속적으로 전송되어야 하며 전송속도도 수십 kbps 이상이다. 예를 들어, 진동 감지 주기가 1KHz 이고 한번 전송하는 데이터가 10바이트라면 1초에 10Kbyte, 즉 80Kbps의 전송속도가 요구된다.

ZigBee가 최대 150Kbps의 유효전송률을 갖더라도 이를 중계하는 라우터의 경우 1개의 통신 모듈로는 수신하면서 동시에 송신할 수 없으므로 80Kbps의 데이터 스트림은 중계할 수 없다.

본 논문에서는 라우터에 통신 모듈을 2개 장착하여 하나는 수신을 담당하고 다른 하나는 송신을 담당하는 기법을 제안한다. 수신모듈은 데이터 스트림을 연속적으로 수신하고 이를 직렬 채널을 통하여 송신 모듈에 보낸다. 송신 모듈은 이를 받아서 다음 라우터로 중계한다. 수신 모듈과 송신 모듈이 동시에 데이터를 전송하려면 각각 상이한 채널을 사용해야 하며 중계 전송 체계 내에서 이 조건이 만족되어야 한다.

교량 모니터링 체계에서는 센서도 여러개이고 중계기도 여러개이므로 중계기간에 충돌이 일어나서 성능을 저하시키지 않으려면 전송체계에서 서로 다른 채널을 할당하는 채널 할당 알고리즘이 요구된다.

채널할당 알고리즘은 CDMA 통신망에서 채널간 충돌을 방지하기 위하여 각 채널에 코드를 할당[3]하는 것과 유사하다. DCA 알고리즘[4] 에서도 ZigBee의 채널을 충돌이 없도록 할당하는 문제를 다루었다. DCA에서는 이를 위하여 분산알고리즘을 제안하고 메시지 전송횟수를 분석하여 다른 방식보다 성능이 떨어지지 않으면서 메시지 전송횟수가 적다는 것을 시뮬레이션을 통하여 보였다.

본 논문에서는 이중 채널 중계기를 설계하고 구현한다. 교량 모니터링등과 같은 현실적인 응용을 고려하여 DCA 등의 분산 알고리즘보다 단순하고 메시지 전송량도 적은 중앙집중식 채널 할당 알고리즘을 제시한다. 구현 후, 실험을 통하여 연속적인 데이터 전송 속도를 제시한다.

## 2. 배 경

### 2.1. 교량 모니터링

그림 1 은 교량 모니터링 시스템의 구조를 보여준다. 교량등에서는 크게 3가지 종류의 센서가 사용된다. 그 중 첫째는 교량 환경 센서들로서 풍속, 풍향, 온도 등의 센서를 사용한다. 둘째는 교량안전 센서로서 가속도, 진동, 압력, 인장 등의 센서를 활용한다. 셋째는 교량수위 센서들로서 유속/유량, 수위 센서를 사용한다. 각각의 센서 정보는 센서노드 및 라우터의 중계를 받아서 교량 한쪽 끝에 있는 교량관리 사무소의 싱크노드로 전달되고 인터넷을 통하여 중앙의 관제시스템으로 전달된다.

센서들은 종류에 따라 동작 특성이 다른데 환경 및 수위 관련 센서 데이터들은 자주 전송될 필요가 없으므로 저전력 동작을 위하여 긴 슬립주기를 갖는다. 이와 반대로 안전관련 센서 대

이더들은 상시로 모니터링돼야 하므로 슬립 없이 전송되어야 하며 그 중 진동센서는 초당 수백번 이상 샘플링돼야 하므로 데이터 양도 많은 편이다.

예를 들어, 진동 감지 주기가 1KHz 이고 한번 전송하는 데이터가 10바이트라면 1초에 10Kbyte, 즉 80Kbps를 연속적으로 전송해야 한다.

ZigBee가 최대 150Kbps의 유효전송률을 갖더라도 이를 중계하는 라우터의 경우 1개의 통신 모듈로는 수신하면서 동시에 송신할 수 없으므로 80Kbps의 데이터 스트림은 중계할 수 없다.

이를 위하여 라우터에 통신 모듈을 2개 장착하여 하나는 수신을 담당하고 다른 하나는 송신을 담당하는 기법을 제안한다. 수신모듈은 데이터 스트림을 연속적으로 수신하고 이를 직렬 채널을 통하여 송신 모듈에 보낸다. 송신 모듈은 이를 받아서 다음 라우터로 중계한다. 수신 모듈과 송신 모듈이 동시에 데이터를 전송하려면 각각 상이한 채널을 사용해야 하며 중계 전송 체계 내에서 이 조건이 만족되어야 한다.



그림 1 교량 모니터링 개념도

2.2. 채널 할당 정책

두 개의 노드가 직접 전송할 때에는 최대전송률을 가질 수 있지만 수신된 데이터를 중계하는 중계기에서는 2.1 절에서 논의된 것처럼 데이터를 수신하면서 동시에 송신할 수 없으므로 중계 성능은 절반으로 떨어지게 된다.

만약 중계기에 2 개의 통신모듈을 가지고 수신하면서 송신하는 방법을 쓰면 이를 해결할 수 있다. 그렇다면 그림 2 처럼 수신 채널과 송신 채널이 달라야 하며 이것이 전체 네트워크에 동일하게 적용되어야 한다.

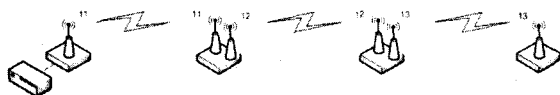


그림 2 이중 채널의 전송 개념도

ZigBee의 경우 2.4GHz 대역에서 16개의 채널을 사용할 수 있다. 채널은 프로그램으로 지정가능하며 두 노드가 같은 채널을 사용하여야 통신이 가능하다. 같은 채널을 사용하는 노드가 여럿일 때는 충돌에 의한 전송률 저하를 가져올 수 있다[1].

상기의 채널 할당 정책은 핸드폰망에서 CDMA 코드를 할당하는 것과 유사한데 Gupta[5]는 이를 그래프 컬러링 문제로 치

환하여 해결하였다. Chowdhury[4]는 ZigBee에서 클러스터들 간의 충돌을 없애서 전체 네트워크의 처리율을 높히려는 과정에서 이 문제를 NP-complete 2-hop 컬러링 문제로 정의하고 분산된 채널 할당 기법을 제안하였다. Bertossi[6]는 노드들이 순서대로 열지어 있을 때를 가정한 Hidden Primary Collision Avoidance(HP-CA)를 제안하였다.

상기한 연구들은 네트워크의 크기가 크고 노드수도 많은 것을 가정하고 있으므로 분산 방식의 채널 할당 정책이 적절하지만 제어를 위한 메시지의 수가 많아진다는 단점이 있다.

본 논문에서처럼 특정한 응용의 경우에는 단순한 중앙집중식 알고리즘이 유리하다고 판단한다.

3. 설계

3.1. 가정

본 논문에서는 교량의 안전,환경 모니터링이라는 한정된 응용에서 다음을 가정한다.

- 노드의 수는 100 개 이상을 넘지 않는다. 보통 수십개 정도이다.
- 모든 노드들이 한가지 통신방식을 갖는다. 본 논문에서는 ZigBee로 한정한다.
- 이중채널 라우터는 진동센서와 같은 고속 데이터 전송에만 사용한다.
- 이중채널 라우터는 최소수요보다 많고 통신에 배제된 경우에 고장허용성을 강화하거나 다른 데이터 전송에 활용된다.

3.2. 이중 모듈 라우터

그림 3 은 이중 트랜시버를 갖는 라우터의 구조도이다. 그림에서 라우터는 RF와 MCU를 2개 중복해서 갖고 그 사이를 직렬 통신으로 연결한다. 중계 시에는 왼쪽의 RF모듈로 들어온 비트 스트림을 왼쪽 MCU가 받아서 직렬전송로를 통하여 오른쪽으로 전송한다. 오른쪽 MCU는 이를 받아서 RF 모듈에 전달하면 된다. 이때 왼쪽과 오른쪽 RF 모듈이 서로 다른 채널을 가지면서 운영된다. 왼쪽과 오른쪽이 바뀌어서 동작할 때에도 문제는 없다.

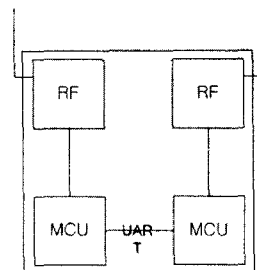


그림 3 이중 RF모듈을 갖는 라우터구조도

이중 채널 라우터에서 RF의 성능과 MCU의 성능, 직렬 통신의 전송속도 등에 의해서 지연이 발생하고 이것이 전체 성능을 저하시킬 수 있다. 본 논문에서는 실제 구현된 실험 장치로부터

전송속도 저하를 구한다.

### 3.3. 채널 할당 정책

채널 할당은 센서노드들이 장착되어 처음 네트워크를 설정할 때 이루어진다. 채널 할당 기법은 3 단계로 이루어지는데,

첫째, 전체 네트워크의 형상을 검색하고 이를 통해 각 노드에 MAC 주소를 할당하는 단계이다. 이 단계는 ZigBee[1] 표준에서도 지정하고 있는 일반적인 알고리즘을 사용하므로 본 논문에서는 제외한다. 이 단계를 통하여 싱크노드로부터 특정센서까지 경로가 설정된다고 가정한다.

둘째, 싱크노드로부터 중계노드들을 거쳐 센서노드까지 이르는 경로에서의 채널탐색단계이다. 채널탐색 단계에서는 중계기가 전송하는 데이터들이 얼마나 많은 중계기와 겹치는지를 확인하는 것이다. 중계기와 통신이 겹친다면 데이터를 충돌 때문에 최고 속도를 낼 수 없다.

셋째, 싱크노드는 3.4의 중앙집중식 채널할당 알고리즘을 수행하여 각 노드에 할당된 채널 번호를 전달하고 운영을 시작한다.

탐색단계에서 각 중계노드는 순서대로 채널탐색메시지를 브로드캐스팅한다. 이 메시지를 받은 통신범위내의 중계노드들은 이를 기억한다. 이 과정이 센서노드까지 이르게 되면 채널탐색 단계가 끝난다. 그후 각 노드는 역순서로 연결가능한 중계노드의 ID를 Piggyback해서 싱크노드까지 전송한다.

그림 4 는 중계기 1 에서 받은 탐색메시지의 노드 번호를 보여 준다. 노드 1 에서의 인접한 3노드, 즉, 1-1, 1+1, 1+2에서 탐색메시지를 받았고 나중에 이 노드들과는 다른 채널 번호를 할당 받게 될 것이다.

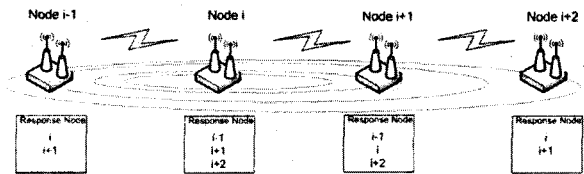


그림 4 채널탐색 단계의 메시지 도달 경우

### 3.4. 중앙집중식 채널 할당 알고리즘

3.3의 둘째 단계를 거쳐서 얻은 채널 중첩정보를 바탕으로 각 중계기에 어떤 채널을 설정할지 결정해야 한다. 본 논문에서는 중앙집중식 채널할당 알고리즘을 고안하였는데 이를 C2A2(Centralized Channel Allocation Algorithm) 알고리즘이라고 부른다.

알고리즘 C2A2 {

- 입력: 각 노드로부터 전달된 인접 노드 ID 들;
- 출력: 각 노드에 부여된 채널 번호;

1. 입력된 각 노드의 인접 노드 ID들로부터 그래프를 생성한다.
2. 그래프를 탐색하여 센서노드로부터 싱크노드까지의 경로를 결정한다.

3. 생성된 경로 중에서 최소 HOP수를 갖는 경로를 선택한다.
4. 경로에 2 Hop 마다 다른 번호가 부여되도록 채널을 할당한다.

C2A2의 동작은 다음과 같다. 1번 노드가 센서와 2번 3번 노드로부터 탐색메시지를 받은 것을 <1: sensor, 2, 3> 로 표현할 때, <2: 1, 4>, <3: 1, 5>, <4: 2, 5, 6>, <5: 3, 4, 6>, <6: 4, 5, sink> 가 알고리즘에 입력될 것이다.

알고리즘의 단계 1에서 그림 5의 그래프가 만들어진다. 또한 단계 2에서 3개의 경로가 탐색되는데 그림 5의 ①, ②, ③ 이 그것이다. 단계 3에서 2개의 경로, ①과 ③이 선택된다. 이 경우엔 임의로 ①을 선택한다. 단계 4에서는 그림 6에서와 같이 인접한 노드에 서로 다른 채널번호를 설정한다.

경로에서 배제된 라우터들은 다른 용도로 사용되거나 고장허용성을 강화하는데 사용된다.

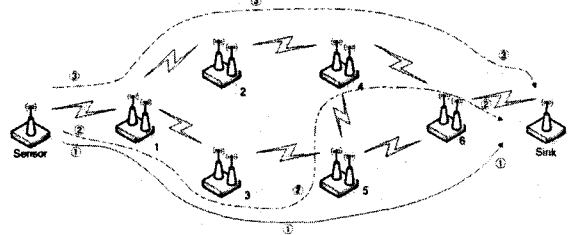


그림 5 최소 Hop수 선택

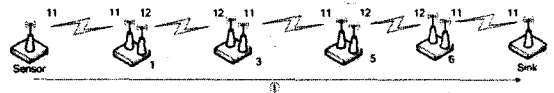


그림 6 채널 설정

상기한 알고리즘은 다수의 라우터에서 센서로부터 싱크까지의 1개의 경로만을 찾는 알고리즘이다. 만약 다수의 센서로부터 싱크까지의 경로 및 채널 설정을 하려면 상기 알고리즘을 일부 수정해야 할 것이다.

## 4. 구현

### 4.1. 라우터의 구현

라우터는 (주)옥타콤의 통신 모듈인 OCX-Z를 기반으로 구현되었다. 그림 왼쪽은 2개의 OCX-Z가 장착된 것을 보여준다. 각 모듈은 직렬통신으로 연결되어 데이터 스트림을 교환한다. 직렬통신은 OCX-Z의 포트들을 직접 연결했다.

OCX-Z는 통신모듈로서 칩사의 cc2420을 장착하고 있으며 MCU는 ATmega128을 사용한다. cc2420은 ZigBee MAC을 지원하는 통신모듈이며 전송속도가 최대 250kbps, 유효속도 150kbps이다. ATmega128은 8비트 MCU이고 8MHz 클럭을 가진다. OCX-Z의 직렬 통신은 ATmega128의 포트들을 서로 연결한 것으로 PC와 PC 사이의 일반적인 직렬통신과 달리 수 Mbps 이상의 속도를 낼 수 있다.

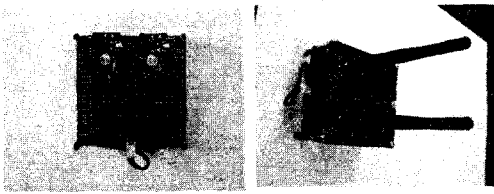


그림 7 라우터 구현 모습

소프트웨어의 구조는 단순해서 수신 모듈의 경우엔 수신 데이터를 큐에 저장하고 이를 직렬포트에 쓰는 구조이다. 반대로 송신 모듈에서는 직렬 포트의 데이터를 받으면 큐에 저장하고 이를 통신 모듈에 전달한다.

#### 4.2. 성능 평가

성능 평가는 구현된 라우터가 성능저하 없이 수신 데이터를 송신할 수 있는지를 평가한다. 구현된 라우터를 센서노드와 싱크노드사이에 설치하고 센서노드에서 최고 속도로 데이터를 전송할 때 싱크노드에 얼마만한 속도로 오류 없이 전송되는지를 평가한다.

실제 성능 실험에서 라우터는 단일 채널 라우터가 낼 수 있는 최고 속도로 중계할 수 있음을 보여주었다. 즉, 150kbps의 속도를 낼 수 있었다. 이는 라우터내의 MCU와 직렬포트가 송신 및 수신 모듈의 전송속도인 150kbps 이상의 성능을 가져서 두 모듈간의 중계 시에 문제가 없다는 것을 의미한다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 ZigBee를 사용하면서 연속적인 데이터 스트림의 전송속도를 최대화하기 위하여 이중 채널을 갖는 라우터를 설계하고 구현하였다. 각 채널에 상이한 채널을 할당하기 위하여 네트워크 설정 시에 중앙집중식으로 채널을 할당하는 알고리즘을 제시하였다. 이중 채널을 갖는 라우터를 구현하였으며 실제 통신 속도를 측정하여 150kbps 이상의 전송률을 안정적으로 얻을 수 있음을 보였다.

현재는 한 개의 센서로부터 싱크까지의 경로 및 채널 설정을 다루었으나 향후엔 다수개의 센서로부터 싱크까지의 다수의 경로와 채널을 설정하는 알고리즘을 개발하여야 할 것이다.

또한, 현재는 한 개의 라우터가 실제 동작할 때 연속적인 센서 데이터 스트림을 얼마나 빨리 전송하느냐를 측정하였다. 향후 연구방향은 라우터를 여러 개 거칠 때 전송 지연에 의한 성능 저하가 얼마나 나타나는 지 실측하는 것이다

#### 참고 문헌

- [1] ZigBee Document 053474r06, v.1.0, ZigBee Alliance, Dec. 2004.
- [2] 서진철 외 6인, "ZigBee MAC 프로토콜 성능 실험 및 평가," 제9회 차세대 통신소프트웨어 학술대회 논문집, 2005년 12월, 259-264.
- [3] L. Hu, "Distributed code assignments for CDMA packet radio networks," IEEE/ACM Trans. on Networking, Vol. 1, No. 6, pp668-677, Dec. 1993.
- [4] K. R. Chowdhury, P. Chanda, D. P. Agrawal, and Q.

Zeng, "DAC-A Distributed channel allocation scheme for wireless sensor networks," 16th International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications, Berlin Germany, Sep. 2005.

[5] I. Gupta, "Minimal CDMA recoding strategies in power controlled Ad-Hoc wireless networks," Technical Report, Dept. of Computer Science, Cornell University, 2001.

[6] A.A. Bertossi and M.A. Bonucelli, "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.