
이중 채널 ZigBee 라우터의 설계 및 구현

김병호*

Design and Implementation of a Dual-Channel ZigBee Router

Brian Kim*

요 약

ZigBee는 저전력 특성을 기반으로 무선 센서네트워크의 전송 프로토콜로 활용되고 있다. ZigBee 네트워크에서 연속적인 데이터 전송률이 ZigBee에서 처리 가능한 최대 전송률 수준으로 요구되는 경우에 데이터를 중계하는 라우터가 수신과 송신을 동시에 처리할 수 없기 때문에 실질 전송률은 절반 이하로 떨어지게 된다. 본 논문에서는 2개의 송수신 모듈을 장착하여 수신과 송신을 동시에 처리할 수 있는 라우터를 설계하고 구현하였다. 또한, 송수신을 동시에 처리할 수 있도록 서로 다른 채널을 할당하는 중앙집중식 채널할당 알고리즘을 제시하였다. 실험을 통해 제안한 이중 채널 라우터의 최대 전송률이 일반 라우터의 2배에 가까운 150kbps에 이르는 것을 보였다.

ABSTRACT

ZigBee is becoming a promising communication protocol for wireless sensor networks based on low-power consumption. In case of a ZigBee network requesting continuous transmission of sensed data, the required bandwidth can be overwhelm the maximum transmission rate of 150Kbps. However, the ZigBee router which delivers data from source node to destination node can transmit data at most in a half of maximum rate because the router can not send and receive the data simultaneously. In this paper, we propose and implement a dual-channel router which can send and receive data simultaneously. Also, we propose a centralized channel allocation algorithm to allocate different channels to each module. The experiment result by the proposed dual-channel router shows a maximum throughput of 150Kbps as large as twice of normal single-channel router.

키워드

ZigBee, 라우터, 무선 센서네트워크

I. 서 론

ZigBee는 저전력, 저속의 근거리 무선 네트워크를 위한 통신 프로토콜이다[1]. ZigBee는 홈네트워크나 사무실 환경감시, 실내 위치인식 등에 사용될 수 있도록 저전력, 저가격, 근거리 전송 등의 특징을 갖는다. 최근 Chipcon, Zennic, 레디오펀츠 등 관련 기업에서 상용화된 칩 모듈을 제공하고 있어 다양한 응용에 대한 활용이 늘

어날 것으로 전망된다.

ZigBee의 이론상 최대 전송률은 250kbps이나 프로토콜 처리 오버헤드 및 충돌 회피를 위한 랜덤 시간 대기 등으로 유효 전송률은 150kbps 정도이다[2]. 일반적인 ZigBee의 응용 분야는 데이터 전송주기가 길고 데이터의 크기가 작은 경우가 대부분이므로 이 정도의 전송률로도 충분하다.

서해대교와 같은 교량을 모니터링하는 응용의 경우,

온도, 습도 등의 일상적인 환경 정보 모니터링 외에 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 1KHz이고 한 번에 전송되는 데이터가 10바이트라면 1초에 10Kbyte, 즉, 80Kbps의 전송속도가 요구된다.

한편, ZigBee의 유효전송률이 최대 150Kbps라고 하더라도 이를 중계하는 라우터는 한 개의 통신 모듈로 수신과 송신을 동시에 처리할 수 없어 실제로는 그 절반인 80Kbps밖에 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 받아 다음 라우터로 중계한다. 송신 모듈과 수신 모듈이 동시에 데이터를 주고 받으면서 서로 다른 채널을 사용해야 하는데 중계 전송 체계내에서 이 조건이 만족되어야 한다.

교량 모니터링 체계에서는 센서도 여러 개이고 중계기도 여러 개이므로 중계기간의 충돌로 인한 성능 저하를 방지하기 위해서는 전송체계에서 서로 다른 채널을 할당하는 별도의 채널 할당 알고리즘이 요구된다.

채널할당 알고리즘은 CDMA 통신망에서 채널간 충돌을 방지하기 위해 각 채널에 코드를 할당하는 방식[3]과 유사하다. Chowdhury[4]의 연구에서는 ZigBee 채널을 충돌없이 할당하는 문제를 다루었는데, 이를 위하여 분산알고리즘을 제안하고 메시지 전송횟수를 분석하여 다른 방식보다 성능저하가 없으면서도 메시지 전송횟수가 적다는 것을 시뮬레이션을 통하여 보였다.

본 논문에서는 ZigBee 이중 채널 중계기를 설계하고 구현한다. 교량 모니터링과 같은 현실적인 응용을 고려하여 분산알고리즘보다 간단하고 메시지 전송량도 적은 중앙집중식 채널할당 알고리즘을 제시하고 구현한다. 실험을 통하여 연속적인 데이터 전송 속도를 측정하고 분석한다.

II. 배경

2.1 교량 모니터링

그림 1은 교량 모니터링 시스템의 구조이다. 교량 모

니터링에는 크게 세 가지 종류의 센서가 사용된다. 첫째는 교량환경 센서로써 풍속, 풍향, 온도 등의 센서를 사용한다. 둘째는 교량안전 센서로써 가속도, 진동, 압력, 인장 등의 센서를 활용한다. 셋째는 교량수위 센서들으로써 유속/유량, 수위 센서를 사용한다. 각각의 센서 정보는 센서노드 및 라우터의 중계를 통해 교량 한쪽 끝에 있는 교량관리 사무소의 싱크노드로 전달되고 인터넷을 통하여 중앙의 관제시스템으로 전달된다.

센서들은 종류에 따라 동작 특성이 다른데, 환경 및 수위 관련 데이터들은 자주 전송될 필요가 없어 저전력 동작을 위하여 긴 슬립주기를 갖는다. 반면에 안전 관련 센서 데이터들은 상시로 모니터링 되어야하므로 슬립 없이 전송되어야 한다. 그 중 진동센서는 초당 수 백번 이상의 샘플링이 필요하기 때문에 데이터의 양도 상대적으로 많다.

예를 들어, 진동 감지 주기가 1KHz이고 한 번에 전송하는 데이터가 10바이트라면, 1초에 10Kbyte, 즉 80Kbps의 지속적 전송이 요구된다.



그림 1. 교량 모니터링 개념도
Fig. 1. Monitoring of Bridge

ZigBee가 최대 150Kbps의 유효전송률을 갖더라도 이를 중계하는 라우터는 수신과 송신을 모두 처리해야 하는데 하나의 통신 모듈로는 송수신을 동시에 처리할 수 없기 때문에 실제로는 유효전송률의 절반인 80Kbps밖에 중계할 수 없다.

2.2 채널 할당 정책

두 개의 노드가 직접 통신할 때에는 최대 전송률을 보일 수 있지만 수신된 데이터를 중계하는 중계기의 경우에는 2.1절에서 기술한 것처럼 데이터를 수신하면서 동시에 송신할 수 없기 때문에 중계 성능은 절반으로 떨어지게 된다.

만약 중계기가 두 개의 통신모듈을 가지고 송신 수신을 동시에 할 수 있다면 이 문제를 해결할 수 있을 것이다. 그렇다면 그림 2처럼 수신 채널과 송신 채널이 서로 달라야 하는데 이는 전체 네트워크에 동일하게 적용되어야 한다.

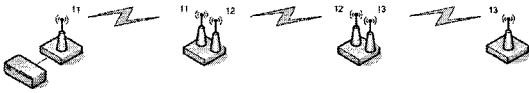


그림 2. 이중 채널의 전송 개념도
Fig. 2. Transmission in Dual Channel

ZigBee는 2.4GHz 대역에서 16개의 채널을 사용할 수 있고, 사용할 채널은 프로그램으로 지정가능하며 송수신 노드가 서로 같은 채널을 사용해야만 통신이 가능하다. 같은 채널을 사용하는 노드가 여럿일 때는 충돌에 의한 전송률 저하를 초래할 수 있다[1].

이러한 채널 할당은 이동통신망에서 CDMA 코드를 할당하는 것과 유사한데 Gupta[5]는 이를 그래프 컬러링 문제로 치환하여 해결하였다. Chowdhury[4]는 ZigBee에서 클러스터간의 충돌을 줄여 전체 네트워크의 처리율을 높이려는 과정에서, 이 문제를 NP-complete 2-hop 컬러링 문제로 정의하고 분산된 채널 할당 기법을 제안하였다. Bertossi[6]는 노드들이 일직선으로 나열되어 있을 때를 가정한 Hidden Primary Collision Avoidance(HP-CA)를 제안하였다.

상기한 연구들은 네트워크의 크기가 크고 노드 수도 많은 것을 가정하고 있으므로 분산 방식의 채널 할당 정책이 적절하지만 제어를 위한 메시지의 수가 많아진다 는 단점이 있다.

본 논문과 같이 특정한 응용의 경우에는 단순한 중앙 집중식 알고리즘이 적합하다고 판단된다.

III. 설 계

3.1 가 정

본 논문에서는 교량의 안전 및 환경 모니터링이라는 응용에 한정하여 다음을 가정한다.

- 노드의 수는 100개 이내이다.
- 모든 노드들이 동일한 통신방식을 갖는다. 본 논문에서는 ZigBee로 한정한다.

- 이중채널 라우터는 진동 센서와 같은 고속 데이터 전송에만 사용한다.
- 네트워크에 배치된 이중채널 라우터의 수는 최소 수보다 크고 통신에서 배제된 경우에는 고장허용성을 강화하거나 다른 데이터 전송에 활용된다.

3.2 이중 채널 라우터

그림 3은 이중 트랜시버를 갖는 라우터의 구조이다. 그림에서 라우터는 각각 2개의 RF와 MCU를 갖고 있으며 서로 직렬 통신으로 연결된다. 중계 시에는 왼쪽의 RF모듈로 들어온 비트스트림을 왼쪽 MCU가 받아서 직렬전송률을 통하여 오른쪽으로 전송한다. 오른쪽 MCU는 이를 받아서 RF 모듈에 전달한다. 이때 왼쪽과 오른쪽 RF 모듈이 서로 다른 채널에서 동작된다. 왼쪽과 오른쪽의 역할은 서로 호환 가능하다.

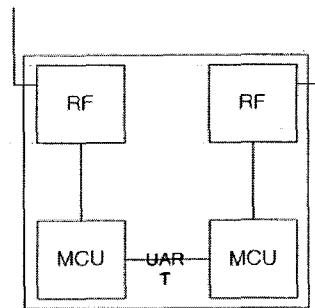


그림 3. 이중 채널 라우터
Fig. 3. Dual-Channel Router

이중 채널 라우터에서는 RF의 성능과 MCU의 성능 및 직렬 통신의 전송속도 등에 의해서 지연이 발생할 수 있으며 이것이 전체 성능을 저하시킬 수 있다. 본 논문에서는 실험을 통해 실제 전송속도 저하 정도를 측정한다.

3.3 채널 할당 정책

채널 할당은 센서노드들이 장착되어 처음 네트워크가 설정될 때 이루어진다. 채널 할당 기법은 3단계로 구성된다. 첫째, 전체 네트워크의 형상을 검색하고 이를 통해 각 노드에 MAC 주소를 할당하는 단계이다. 이 단계는 ZigBee 표준에서도 지정하고 있는 일반적인 알고리즘[1]을 사용하므로 상세 설명은 생략한다. 이 단계를 통하여 싱크노드로부터 특정 센서로의 경로가 설정된다.

둘째, 싱크노드로부터 중계노드들을 거쳐 센서노드에 이르는 경로에서의 채널탐색 단계이다. 채널탐색 단계에서는 중계기가 전송하는 데이터들이 얼마나 많은 중계기와 겹치는지를 확인하는 것이다. 중계기와 통신이 겹친다면 충돌로 인한 성능저하가 발생할 수 있다.

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

탐색단계에서 각 중계노드는 순서대로 채널탐색 메시지를 방송한다. 이 메시지를 받은 통신 범위내의 중계노드들은 이를 기억한다. 이 과정이 해당 센서노드까지 이르게 되면 채널탐색 단계가 끝나고 각 노드는 역순으로 연결 가능한 중계노드의 ID를 Piggyback 방식으로 싱크노드까지 전송한다.

그림 4는 중계기 I에서 받은 탐색메시지의 노드 번호를 보여준다. 노드 I에서의 인접한 세 노드, 즉, 노드 I-1, I+1, I+2에서 탐색메시지를 받은 것을 나타내며 나중에 이 노드들과는 서로 다른 채널 번호를 할당받게 된다.

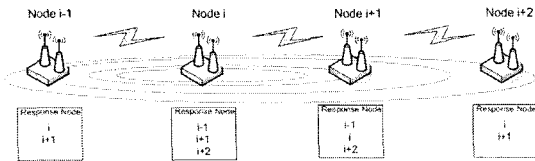


그림 4. 채널탐색 단계의 메시지 도달 경우
Fig. 4. Channel Investigation

3.4 중앙집중식 채널 할당 알고리즘

3.3절의 두번째 단계를 통해 얻은 채널 중첩정보를 바탕으로 각 중계기에 어떤 채널을 설정할지가 결정되어야 한다. 본 논문에서는 중앙집중식 채널할당 알고리즘인 C2A2(Centralized Channel Allocation Algorithm) 알고리즘을 설계하였다.

알고리즘 C2A2 {

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 결정한다.

3. 생성된 경로 중에서 최소 홉 수를 갖는 경로를 선택한다.
4. 경로에 2홉마다 다른 번호가 부여되도록 채널을 할당한다.

}

C2A2 알고리즘의 동작은 다음과 같다. k 번 노드가 N_i 노드들로부터 탐색메시지를 받은 상태를 $\langle k: N_i, \dots, N_j \rangle$ 라 할 때, 네트워크에 총 6개의 노드가 존재할 경우 C2A2 알고리즘에 입력되는 상태는 아래와 같다.

- $\langle 1: sensor, 2, 3 \rangle$
- $\langle 2: 1, 4 \rangle$
- $\langle 3: 1, 5 \rangle$
- $\langle 4: 2, 5, 6 \rangle$
- $\langle 5: 3, 4, 6 \rangle$
- $\langle 6: 4, 5, Sink \rangle$

알고리즘의 단계 1의 결과로 그림 5의 그래프가 생성된다. 단계 2에서는 세 개의 경로가 탐색되는데 그림 5의 ①, ②, ③으로 표시한 경로가 된다. 단계 3에서 두 개의 경로 ①과 ③이 선택되고, 최종적으로 둘 중에서 임의로 ①을 선택한다.

단계 4에서는 그림 6에서와 같이 인접한 노드에 서로 다른 채널번호를 설정한다.

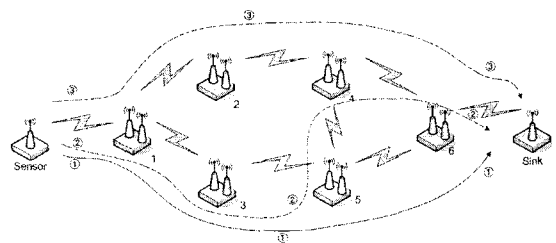


그림 5. 최소 홉 수 선택
Fig. 5. Finding of Minimum Hop Count

경로에서 배제된 라우터들은 다른 용도로 사용되거나 고장허용성을 강화하는데 사용될 수 있다.

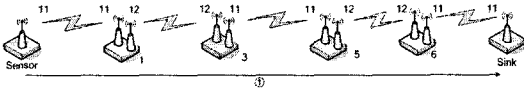


그림 6. 채널 설정
Fig. 6. Channel Establishment

상기한 알고리즘은 하나의 센서로부터 싱크까지의 단일 경로를 찾는 알고리즘이다. 만약 다수개의 센서로부터 싱크까지의 다수의 경로 및 채널을 설정하기 위해서는 상기 알고리즘을 일부 수정하여야 한다.

IV. 구현 및 실험

4.1 이중 채널 라우터의 구현

이중 채널 라우터는 옥타컴사의 통신 모듈인 OCX-Z[7]를 기반으로 구현되었다. 그림 7의 왼쪽은 2개의 OCX-Z가 장착된 것을 보여준다. 각 모듈은 직렬통신으로 연결되어 데이터 스트림을 교환한다. 직렬통신은 OCX-Z의 포트들을 직접 연결했다.

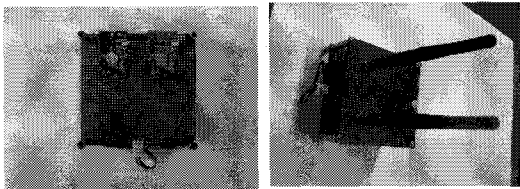


그림 7. 라우터 구현 모습
Fig. 7. Router Implementation

OCX-Z의 통신모듈은 Chipcon사의 CC2420[8]을 사용하며 MCU는 Atmel사의 ATmega128[9]를 사용했다. CC2420은 ZigBee MAC을 지원하는 통신모듈로써 전송속도가 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 낼 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. 구현된 라우터를 센서노드와 싱크노드 사이에 설치하고 센서노드에서 최고 속도로 데이터를 전송할 때 싱크노드에 어느 정도의 속도로 오류없이 전송되는지를 평가하였다.

성능 실험을 통하여 라우터는 일반 노드의 최고 전송속도인 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.

V. 결론

본 논문에서는 ZigBee 네트워크에서 연속적인 데이터 스트림의 전송 속도를 최대화하기 위하여 이중 채널을 갖는 라우터를 설계하고 구현하였다. 각 채널에 상이한 채널을 할당하기 위하여 네트워크 설정 시에 채널을 할당하는 중앙집중식 채널할당 알고리즘을 제시하였다. 구현을 통해 실제 통신 속도를 측정할 결과, 일반적인 단일 채널 라우터의 전송 성능의 2배에 가까운 150kbps 이상의 전송률을 안정적으로 얻을 수 있음을 확인하였다.

향후 연구로는, 현재 한 개의 센서로부터 싱크까지의 경로 및 채널 설정을 다루었으나 다수개의 센서로부터 싱크까지의 다수 경로와 채널을 설정하는 알고리즘을 개발하려고 한다.

또한, 현재는 한 개의 라우터가 실제 동작할 때 연속적인 센서 데이터 스트림을 얼마나 빨리 전송하느냐를 측정하였지만, 향후 연구방향은 라우터를 여러 개 거칠 때 발생하는 전송 지연으로 인한 성능 저하가 어느 정도 인지를 실측할 계획이다.

참고문헌

- [1] ZigBee Document 053474r06, v.1.0, ZigBee Alliance, Dec. 2004.
- [2] 김병호, "IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜의 성능 평가 및 실험," 해양정보통신학회논문지, 11권 1호, 2007.
- [3] L. Hu, "Distributed Code Assignments for CDMA Packet Radio Networks," IEEE/ACM Trans. on Networking, Vol. I, No. 6, pp. 668-677, Dec. 1993.
- [4] K. Chowdhury, P. Chanda, D. Agrawal, Q. Zeng, "DAC - A Distributed Channel Allocation Scheme for Wireless Sensor Networks," 16th International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications, 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. Bertossi, M. 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.
- [7] 옥타콤, OCX-Z, <http://www.octacomm.net>, 2006.
- [8] Chipcon, SmartRF CC2420 ZigBee Development Kit User Manual, 2004.
- [9] Atmel, AVR 8-bit RISC, <http://www.atmel.com/products/AVR/>, 2006

저자소개

김 병 호(Brian Kim)



1990년 연세대학교 전산학과 졸업
1997년 KAIST 전산학과 (공학박사)
1997년-1998년 포스데이타주식회사
1998년-2005년 Brain21 대표이사

2006년 9월-현재 경성대학교 컴퓨터공학과 초빙교수
※ 관심분야: 임베디드시스템, 센서네트워크, VoIP