

## 센서네트워크를 위한 ZigBee 네트워크 프로토콜§

조원근<sup>○\*</sup> 유대훈\* 최웅철\* 이승형\*\* 정광수\*\*

광운대학교 컴퓨터과학과\* 광운대학교 전자정보공학부\*\*

{falltrap, yo2dh}@cs.kw.ac.kr wchoi@daisy.kw.ac.kr {rhee, kchung}@kw.ac.kr

### A ZigBee Network Protocol for Sensor Networks.

WonGeun Jo<sup>○\*</sup> Daehun Yoo\* WoongChul Choi\* Seung Hyong Rhee\*\* KwangSue Chung\*\*

Department of Computer Science, KwangWoon University\*

Department of Electronics Engineering, KwangWoon University\*\*

#### 요 약

본 논문에서는 ZigBee Alliance에서 다루어지고 있는 IEEE 802.15.4를 기반으로 하는 USN을 위한 라우팅 프로토콜을 연구한다. 현재 ZigBee Specification v1.0의 표준에서는 AODV라우팅 프로토콜과 Hierarchical 라우팅 프로토콜을 사용하고 있다. 하지만 ZigBee Specification v1.0의 표준에서 사용하고 있는 이 두 가지 라우팅 프로토콜은 대규모의 센서네트워크에 적용하였을 때, 많은 단점들이 존재한다. 이러한 단점들은 센서네트워크가 가지고 있는 여러 가지 특성들을 고려하지 않은 일반적인 Adhoc 네트워크에서 사용하는 라우팅 프로토콜을 사용했기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 단점들을 해결 할 수 있는 클러스터 기반의 라우팅 프로토콜을 제안한다.

#### 1. 서 론

센서네트워크는 정보통신부의 IT839전략중의 하나로 그 중요성이 날로 증가 하고 있다. 센서네트워크는 필요로 하는 모든 곳에 수많은 센서들을 부착하여 자율적으로 정보를 수집, 관리 및 제어하는 시스템이다. 즉 물리 공간에 빛, 소리, 온도, 움직임 같은 물리적 데이터를 센서노드에서 감지하고 축적하여 중앙의 기본 노드로 전달하는 구조를 가진 네트워크이다. 이러한 센서 네트워크는 물리적 세계와 디지털 세계를 연결 할 수 있는 특징 때문에 많은 응용분야에서 쓰일 수 있다. 예를 들면 홈 네트워크에서 집안의 침입을 감지하는데 쓰일 수 있으며 산업현장에서는 물류 관리 등에 사용될 수 있다. 또한 지능형 환경 모니터링으로 산물 감시나 수질 관리 등에도 쓰일 수 있으며, 각종 의료 시스템이나 과학 분야에도 사용될 수 있어 그 가능성은 무궁무진 하다.

이러한 센서네트워크는 현재 보다 큰 스케일의 네트워크를 구성하는 경우가 등장하고 있으며, 우리나라에서도 누리텔레콤에서 가스, 전기의 원격 검침을 위해 60,000여개의 노드를 사용한 센서네트워크를 구축할 예정이다. 이러한 센서노드들의 RF모듈은 2010년 경에 약 1억 6천개의 802.15.4를 기반으로 하는 RF모듈이 생산될 것으로 추정되며, 약 65%정도가 802.15.4/ZigBee를 사용할 것으로 예측하고 있다. 이는 센서네트워크에서 사실상 802.15.4/ZigBee가 표준으로 자리 잡고 있음을 의미한다.

IEEE 802.15.4 그룹은 무선 통신 리모컨, 가전기기 컨트롤러, 빌딩제어, 장난감 등에 사용하기 위한 저속, 저가격, 저소비 전력의 무선전송기술 표준을 제정하기 위한 그룹으로 지난 2003년 10월에 저속 무선전송을 위한 PHY 및 MAC 프로토콜 표준제정을 완료했다.[1]

이와 같은 IEEE 802.15.4 표준화 그룹의 활동결과를 토대로 네트워크 계층을 포함한 상위계층에 대한 구체적인 표준 활동이 'ZigBee Alliance'라는 협력단체에서 이루어지고 있다. 이 단체는 Architecture, Application Framework, Network, Security, Qualification, Gateway 및 Marketing 워킹그룹으로 구성되어 있으며, 본 논문에서 다루어지는 라우팅 프로토콜의 표준을 제정하는 ZigBee 네트워크는 저전력 센서네트워크 구성을 위한 IEEE

802.15.4 표준의 PHY계층과 MAC계층을 기반으로 ZigBee Specification v1.0을 적용하여 만들어 졌다.[2]

본 논문에서는 ZigBee Specification v1.0에서 제안된 라우팅 프로토콜이 센서네트워크에 적용 되었을 때 발생 할 수 있는 문제점을 발견하고 이를 해결할 수 있는 라우팅 프로토콜을 제안 한다. 2장에서는 ZigBee Specification v1.0에서 표준화된 AODV라우팅 프로토콜과 Hierarchical 라우팅 프로토콜에 대하여 알아보고 3장에서는 이 두 가지 라우팅 프로토콜이 센서네트워크에 적용 되었을 때, 발생 할 수 있는 문제점을 발견하고 문제점을 해결할 수 있는 라우팅 프로토콜을 제안한다. 4장에서는 결론을 도출 하고 향후 연구 되어야 하는 센서네트워크에 적용 할 수 있는 ZigBee라우팅 프로토콜 및 연구 과제를 제시한다.

#### 2. 관련 연구

##### 2.1 ZigBee네트워크

ZigBee네트워크는 데이터 프레임을 전송하거나 수신하는 등 다른 계층 간의 상호통신을 위한 인터페이스를 정의하고 있다. 또한 프레임 핸들링, 경로 탐색 및 유지 보수, 네트워크 관리 및 주소 할당 그리고 디바이스 관리 기능을 수행한다. IEEE 802.15.4 표준에서는 사용되는 장치를 FFD(Full Function Device)와 RFD(Reduce Function Device)로 분류하는데 반해 ZigBee 네트워크에서는 이를 기능적인 측면에서 세분화 하여 코디네이터, 라우터, 단말 이렇게 총 세 종류의 장치로 구분하고 있다. 첫째, 코디네이터는 FFD만이 될 수 있으며, 하나의 ZigBee 네트워크 내에는 하나의 ZigBee 코디네이터가 반드시 필요하다 코디네이터는 네트워크정보를 초기화 하거나 다른 장치를 관리 하는 네트워크의 중심 역할을 수행한다. 둘째, 라우터는 코디네이터와 마찬가지로 FFD만이 될 수 있으며, 네트워크 내에서 멀티 홉 라우팅을 위한 라우터로서의 역할을 수행한다. 셋째, 단말장치는 RFD로써 라우팅에는 참여하지 않지만 코디네이터 혹은 이미 네트워크에 형성된 라우터를 통해 네트워크에 참여할 수 있다. 단말장치는 하나의 코디네이터 혹은 라우터와 네트워크를 형성하고 통신을 함으로써, 불필요한 기능을 줄일 수 있고 코디네이터의 비콘 모드(Beacon mode) 사용을 통해 절전 효과를 가져 오므로서 단순한 저전력 센서네트워크를 형성 할 수 있게 된다.

##### 2.2 ZigBee AODV 라우팅

§ 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 [R01 - 2005 - 000 - 10934 - 0 (2006)]의 지원에 의해 수행되었음.

AODV 라우팅 알고리즘은 On-demand 방식의 라우팅 프로토콜이며, 각 노드들이 소스로부터 목적지까지 가장 적합한 다음 경로를 찾아가기 위한 '거리 벡터(Distance vector) 라우팅 성격을 지니고 있다.

코디네이터와 라우터는 목적지와 주위 노드들의 관계를 저장하는 라우팅 테이블(Routing table)을 유지하고 관리한다. ZigBee 네트워크 계층에서는 데이터 전송 시 이 라우팅 테이블을 기반으로 소스 노드로부터 목적지 노드까지의 경로를 구하게 된다. 만약 데이터 프레임의 목적지 노드 주소에 대한 정보가 라우팅 테이블에 없다면, 소스 노드는 주위 노드들에게 목적지 노드 주소로의 경로 요청(Route request) 명령을 내리게 된다. 이 프레임은 하나의 ZigBee 네트워크에 있는 노드들에게 목적지로 가는 경로를 알고 있는 노드(이하 응답 노드)를 찾을 때까지 플러딩(Flooding)된다. 이때 이 경로 요청 프레임은 네트워크의 노드들을 거쳐 가면서 노드와 노드사이의 링크 코스트를 계산하고 이를 저장한다. 응답 노드는 여러 개의 경로 요청 프레임을 받게 되는데 이 노드는 경로 코스트가 가장 낮은 경로를 선택하고 경로 응답(Route response) 프레임을 경로 요청을 한 소스 노드에게 보내게 된다. 소스 노드와 응답 노드 사이의 모든 노드들은 경로 탐색 테이블(Route Discovery table)에 경로 요청 프레임에 대한 새로운 엔트리를 만들고 정보를 저장한다.

만약 소스 노드가 경로 요청을 통해 찾은 경로로 데이터 프레임이 전송되는 도중에 라우팅 테이블에 저장된 다음 노드가 어떠한 문제로 인해 데이터의 전송이 불가능해지는 상황이 발생하면, 현재 데이터 프레임을 가지고 있는 노드를 소스 노드로 하여 목적지 노드로의 경로를 다시 구하게 된다. 만약 경로 탐색이 성공한다면 새로운 경로를 통해 데이터 프레임을 전송하지만 실패한다면 처음 데이터를 보낸 소스 노드에게 경로 에러(Route error) 프레임을 보내게 된다. 경로 에러 프레임을 받은 최초의 소스 노드는 발생한 문제에 따라서 새로운 경로를 찾기 위해 경로 요청 프레임을 다시 보내게 된다.

라우팅 테이블과 경로 탐색 테이블의 차이점은 경로 탐색 테이블의 엔트리가 오직 하나의 경로 탐색 동작을 하거나 재사용할 때만 유지되며 일정시간이 지난 후 지워지는 반면에, 라우팅 테이블은 지속적이고 오랜 시간 유지하여 다음 경로 요청 시 이용된다.

2.3 ZigBee 계층 구조(Hierarchical) 라우팅

계층 구조(Hierarchical) 라우팅은 라우팅 테이블과 경로 탐색 테이블을 사용하지 않고, 이웃 테이블(Neighbor Table)에 인접한 노드와 자식 노드들의 정보를 저장하여 경로를 찾음으로써 ZigBee 네트워크의 트래픽과 오버헤드를 줄일 수 있는 라우팅 프로토콜이다. 계층 구조 라우팅에서는 하나의 ZigBee 네트워크안의 모든 노드들에게 계층적으로 주소 할당이 이루어진다. 따라서 어떤 노드가 새롭게 네트워크에 참여할 때 이 노드의 부모가 되는 코디네이터 혹은 라우터 노드가 정해진 식에 따라 분산 주소 할당 메커니즘(Distributed Address Assignment Mechanism)을 이용하여 16비트 주소를 부여한다. ZigBee 코디네이터와 같이 하나의 노드가 모든 정보를 가지고서 주소를 부여하는 대신, ZigBee 코디네이터 혹은 ZigBee 라우터가 자신의 자식이 될 노드에게 주소를 부여할 수 있기 때문에 네트워크에서의 트래픽을 줄일 수 있다. 이때 부여되는 주소가 하나의 ZigBee 네트워크 내에서 노드들을 구분하는 유일한 주소가 된다. 이러한 분산 주소 할당 메커니즘을 위해 정의된 수식과 변수는 다음과 같다.

$$Cskip(d) = 1 + Cm * (Lm - d - 1), \quad \text{if } = 1$$

$$Cskip(d) = \frac{1 + Cm - Rm - Cm * Lm - d - 1}{1 - Rm}, \quad \text{Otherwise}$$

{ 수식 1 }  
 $A_n = A_{parent} + Cskip(d) * n$  [ 수식 2 ]

- Cm : 최대자식의 개수
- Lm : 네트워크 트리의 최대깊이
- Rm : 자식으로 가질 수 있는 최대 라우터 개수
- d : 현재 노드의 깊이
- Cskip(d) : 깊이 d 노드가 가질수 있는 주소의 부분 블록 크기

- n : 어떤 부모 노드를 통해 네트워크 참여 노드의 순서
- Aparent : 부모 노드의 주소
- An : n번째 자식의 주소

계층 구조 라우팅에서는 16 비트 주소가 논리적인 수식을 통해 부여되기 때문에 데이터 프레임의 목적지 16비트 주소를 통해 목적지가 자신의 주소 블록 내에 존재하는지를 알 수 있다. [수식 2]에서처럼 만약 목적지의 주소 A가 자신의 주소와 자신의 주소에 Cskip(d-1)값을 더한 것 보다 작다면 목적지는 자신의 자손들 중에 하나라는 의미이다. 노드는 이러한 계산을 자식들에게 적용시켜 자신의 자식들 중 목적지를 주소로 가진다고 계산된 노드에게 데이터 프레임을 포워딩함으로써 라우팅이 이루어지게 된다.

2.4 클러스터 기반 센서네트워크 라우팅 프로토콜 [3]

대표적인 클러스터 기반 센서네트워크 라우팅 프로토콜의 LEACH에서 각 라운드는 크게 클러스터가 구성되는 설정(setup) 단계와 여러 개의 TDMA 프레임으로 구성되는 지속 상태(steady-state) 단계로 이루어진다. 설정 단계의 시작에서 모든 노드는 자신이 현 라운드동안 클러스터 헤드라 될 수 있을지에 대해 이전 라운드들 동안 클러스터 헤드였는지의 여부와 이상적 클러스터 헤드 수에 기반을 두고 결정한다. 현 라운드동안, 클러스터 헤드가 되기로 결정한 경우, 이를 이웃 센서 노드들에 알린다. 이를 수신한 비 클러스터 헤드 노드들은 수신 강도 등의 파라미터를 기반으로 클러스터 헤드를 결정하며, 이를 클러스터 헤드로 전송하여 클러스터가 구성된다. 클러스터가 형성되면, 클러스터 헤드는 클러스터 멤버들의 데이터 전송 순서를 지시하는 TDMA 스케줄을 방송하고, 지속 상태 단계로 간다. 지속 상태 단계에서 각 클러스터 멤버 노드들은 자신의 전송 슬롯에서만 데이터를 전송하고 나머지 슬롯들에서는 sleep 모드로 가서 전력 소모를 줄인다. LEACH에서는 클러스터 내부에서는 TDMA를 사용하여 노드간 간섭을 피하고, 클러스터간의 간섭을 피하기 위하여 각 클러스터들이 서로 다른 확산 코드를 사용하는 방법을 채택한다. 그림 1은 클러스터 기반의 센서 네트워크의 예를 보여준다.

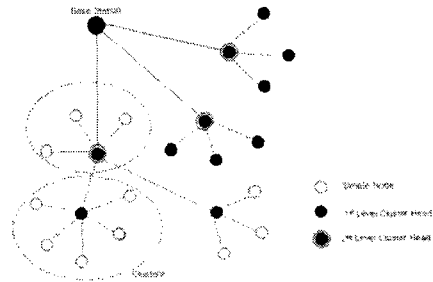


그림 1 계층적으로 구성된 센서 네트워크

3. 문제점과 해결방안

3.1 문제점

2.2에서 살펴본 ZigBee AODV 라우팅은 많은 센서 노드들이 라우팅 테이블, 경로 탐색 테이블 그리고 많은 경로 요청 명령 프레임들을 보냄으로써 최적의 길을 탐색하여 하나의 경로를 만든다. 하지만 이로 인해 수많은 센서 노드가 ZigBee 네트워크에서 많은 트래픽을 야기 시킬 수 있다. 또한 라우팅 테이블을 유지하는 데에도 많은 자원을 소모한다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 ZigBee의 계층 구조 라우팅은 라우팅 테이블과 경로 탐색 테이블을 사용하지 않고, 이웃 테이블에 인접한 노드와 자식 노드들의 정보를 저장하여 경로를 찾음으로써 네트워크의 트래픽과 오버헤드를 줄일 수 있는 라우팅 프로토콜도 표준으로 제시하고 있다. 하지만 이러한 계층 구조 라우팅은 라우팅 테이블과 같은 추가적인 자원을 소비하지 않으며 간단한 알고리즘으로 구성된다는 장점과 동시에 그림 2와 같이 1층 내에 있는 노드일지라도 소스노드가 목적

지 노드를 찾아가기 위해 비효율적으로 여러 노드를 거쳐 가는 최단 경로 문제가 발생하는 단점이 있다.

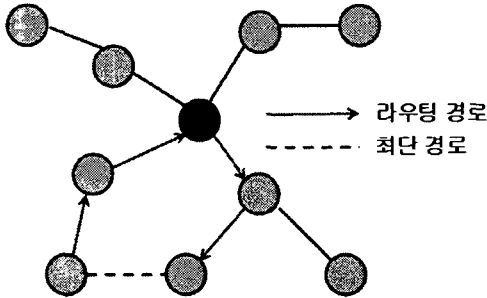


그림 2 계층적 라우팅의 최단 경로 문제

또한 클러스터 기반 센서네트워크 라우팅 프로토콜의 LEACH의 문제점으로는 LEACH가 원 흡일 경우 제한된 논문이므로 멀티홉에서의 적용이 쉽지 않다는 단점을 가지고 있다.

센서 네트워크에서는 일반적인 Adhoc 네트워크와는 다른 특징 때문에 일반적인 Adhoc네트워크와는 다른 라우팅 프로토콜을 필요로 한다. 첫째, 센서네트워크가 Adhoc네트워크와 다른 특징들은 다음과 같다. 첫째, 데이터 중심적 특성을 가지면서 특정 노드간 라우팅이 필요하지 않으므로, 유일한 식별자를 기반으로 한 라우팅 기법은 적합하지 않다. 둘째, 인접한 센서 노드들이 유사한 데이터를 가지므로, 각 센서 노드들이 데이터를 각각 전송하는 것보다, 전송 전에 데이터들을 모아서 전송하는 방법이 효과적이다. 셋째, 센서 노드들은 주로 방송(broadcast) 방식의 통신에 기반을 두지만, 대부분의 ad-hoc 네트워크는 점대점(point-to-point) 방식의 통신에 기반을 둔다. 이러한 특징 말고도 다른 여러 가지 특징을 가지고 있다.

3.2 해결 방안

센서네트워크에서의 라우팅 프로토콜은 데이터의 모음의 특징 때문에 클러스터 기반의 라우팅 프로토콜이 보다 효율적이다. 따라서 ZigBee Specification v1.0의 라우팅 프로토콜인 AODV와 계층적 라우팅 프로토콜 이외에 센서네트워크를 위한 클러스터 기반의 라우팅 프로토콜을 제안 하고자한다.

클러스터 기반의 라우팅 프로토콜의 장점은 데이터를 모아서 전송하기 때문에 어플리케이션에 따라서는 데이터의 크기를 줄일 수 있다. 또한 AODV와 같은 복잡한 라우팅 테이블을 필요로 하지 않고, 계층적 라우팅에 비하여 최단 경로문제를 어느 정도 회피 할 수 있다.

802.15.4/ZigBee에서 클러스터기반의 라우팅 프로토콜을 이용하기 위해서는 다음과 같은 규칙을 지켜야 한다. 첫째, 클러스터의 헤더는 라우터 역할을 수행해야 함으로 FDD만이 될 수 있다. 둘째, 클러스터헤더와 헤더가 2홉 이상일 경우 데이터를 라우팅 할 수 있는 노드가 존재해야 한다. 셋째, LEACH에서와 마찬가지로 클러스터를 구성하는 Setup구간과 데이터의 전송이 이루어지는 steady-state구간으로 나뉘어 져야 한다. 넷째, 위치를 기반으로 클러스터를 구성하기 위해 네트워크의 일부 노드들은 GPS를 가지고 있어야 한다. 다섯째, 클러스터내의 노드들은 각각이 모두 1홉으로 통신 가능해야 한다.

위와 같은 규칙을 지키면서 제안하는 라우팅 방법의 동작은 다음과 같다. 네트워크의 시작은 ZigBee 네트워크와 마찬가지로 코디네이터의 Beacon메시지로부터 시작한다. Beacon메시지를 듣게 되는 노드들은 클러스터의 구성을 시작한다. 클러스터의 구성은 LEACH-C와 마찬가지로 위치를 기반으로 구성되게 되며 구성된 클러스터에는 클러스터 주소를 배정받게 된다. 클러스터에 속한 노드의 주소는 클러스터의 주소 + 클러스터에서 유일한 주소로 할당되게 된다. 클러스터간의 라우팅은 AODV방식과 같은

On-Demand 방식으로 이루어지게 되며 클러스터 내에서는 LEACH와 같은 방식으로 데이터의 전송이 이루어지게 된다.

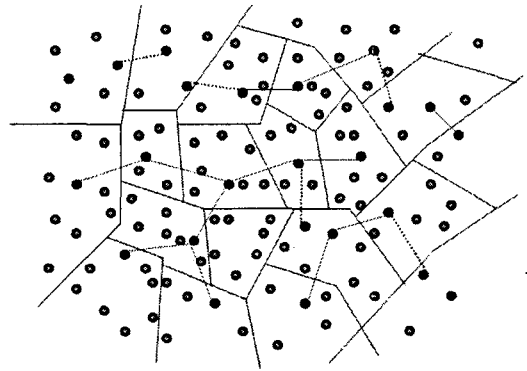


그림 3 제안된 네트워크 구성

그림 3은 제안된 네트워크의 구성을 보여주고 있다. 파란색으로 표시된 노드는 클러스터와 클러스터를 연결지어 주는 라우터의 역할을 수행하며 도착된 데이터는 다시 클러스터의 헤더로 보내져 라우팅 과정을 계속 수행하게 된다. 빨간색 노드들은 클러스터의 헤더 역할을 수행하게 된다. 클러스터간의 라우팅 AODV방식으로 클러스터간을 이어주는 라우터와 클러스터의 헤더노드만으로 이루어지며, 해당 클러스터로 보내어진 데이터는 노드의 주소와 일치하는 곳으로 보내어진다. 이렇게 함으로서 복잡한 AODV의 라우팅 테이블을 획기적으로 줄일 수 있으며 라우팅 과정에서는 클러스터의 주소만으로 라우팅을 하기 때문에 연산 또한 간단해지게 된다. 이렇게 함으로서 센서네트워크에서 제안되어진 AODV와 계층적 라우팅 보다 효율적인 네트워크를 구성 할 수 있다.

4. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 ZigBee Specification v1.0에서 표준으로 제정된 두 가지 라우팅 프로토콜 이외에 센서네트워크를 위한 클러스터 기반의 라우팅 프로토콜을 ZigBee 네트워크에서 사용하는 것을 제안 하였다. 하지만 여전히 라우팅 테이블의 유지, 클러스터 구성의 오버헤드, 그리고 최적경로 선정의 문제가 남아 있으므로, 보다 효율적으로 사용할 수 있는 방안을 마련하기 위해 많은 연구가 진행되어야 한다.

또한, 향후 시뮬레이션을 통해 센서네트워크에서는 ZigBee Specification v1.0 에서 제안된 AODV나 계층구조 라우팅 프로토콜보다 클러스터 기반의 라우팅 프로토콜이 보다 효율적임을 증명하고, 증명된 결과를 토대로 ZigBee Specification의 다음 버전에서는 센서네트워크를 위해 클러스터 기반의 라우팅 프로토콜의 표준을 제안 할 수 있도록 노력해야 한다.

5. 참고문헌

[1] IEEE Computer Society, "IEEE Std. 802.15.4-2003", 2003, 10  
 [2] "ZigBee v1.0 Specification", ZigBee Alliance.  
 [3] Wendi B. Heinzelman et al., "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," IEEE Trans. on Wireless Communications, Vol.1, No.4, Oct. 2002, pp.660-670.  
 [4] 배정숙, 김성희, 무선 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜, IITA IT정보단, 2004년 4월.  
 [5] 한국전산원, RFID 및 USN 에 IPv6 적용방안 및 활용 분야에 관한 연구, 보고서, 2005.11