
ZigBee Sensor Network에서의 효율적인 Network 구성 알고리즘

↓

Efficient Network Formation Algorithm in ZigBee Sensor Network

↓

서강국, Kangkuk Seo*, 박용제, Yongje Park**, 이호응, Hoeung Lee***
박현주, Hyunju Park****

↓

요약 본 논문은 ZigBee Sensor Network에서 네트워크를 구성할 때 이미 네트워크에 참여한 Coordinator와 Router가 네트워크의 상태에 따라 새로운 디바이스들이 네트워크에 참여하는 것을 제어하여 기존 네트워크에서 발생할 수 있는 단점들을 해결하기 위한 조인 절차를 제안하였다. 기존의 네트워크에서 새로운 디바이스가 네트워크에 참여를 위한 조인 절차를 수행할 때 이미 참여하고 있는 Coordinator와 Router의 beacon 정보를 바탕으로 수행된다. 그러나 beacon 정보에는 네트워크의 구성에 관련된 정보가 부족하여 특정 디바이스에 traffic이 집중되거나, 주소자원의 비효율적 사용으로 네트워크의 성능저하를 가져올 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서 제안한 알고리즘은 새로운 디바이스가 네트워크에 참여할 때 이미 네트워크에 참여하고 있는 Coordinator와 Router가 네트워크에서 자신의 위치와 능력에 따라 beacon의 전송시간을 조절하여 beacon을 송신하고, 디바이스는 가장 먼저 수신한 beacon 정보를 바탕으로 네트워크에 참여한다.

Abstract In this paper, we will presents the join procedure for efficient network performance in the ZigBee Sensor Network. In existing network, new devices join procedure is performed base on the participating in the already Coordinator and Router beacon information. However, beacon has insufficient information network. Thus, the concentration of traffic and inefficient use of resources, address the problem that occurs. To solve these problems, the Coordinator and router on the network, depending on their location and the ability to transfer a beacon. This algorithm is proposed in the paper, the transmission time by using the beacon, network configuration control of the network to improve performance.

핵심어: ZigBee, IEEE 802.15.4, Sensor network, beacon control

본 논문은 2007년 한밭대학교 BK21 사업에 의하여 연구되었음.

*서강국 : 한밭대학교 정보통신 전문 대학원 전파공학과 : kangkuk@kangkuk.com

**박용제 : 한밭대학교 정보통신 공학 전공 : pyh7031@nate.com

***이호응 : 한밭대학교 정보통신 전문 대학원 전파공학과 : hoeng@nate.com

****박현주 : 한밭대학교 전파공학 전공 교수 : phj@hanbat.ac.kr

1. 서론

최근의 무선통신기술의 발전과 전자기술의 발전으로 저가격, 저전력, 다기능 센서 노드로 구성된 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)에 대한 관심이 급격히 고조되고 있다. 무선 센서 네트워크는 기존의 유선으로 구축된 센서 네트워크를 무선 네트워크로 대체하는 기술로서, 각 센서 노드는 센서에 의한 sensing, sensing된 데이터의 처리, 멀티홉에 걸친 네트워킹 등의 기능을 가지고 있으며, 이는 기존의 전통적 의미의 센서에서 중요한 정보처리 능력의 향상을 의미한다. 센서 네트워크는 많은 수의 센서 노드들로 구성되어 있으며 이들 센서 노드들은 서로 협동하며 주어진 응용 분야에서 작업을 해야 한다. 주요 응용 분야로서는 건강, 군사, 홈 네트워크, 재난방지, 환경 모니터링들을 들 수 있다 [1].

센서 네트워크는 기본적으로 멀티 홉 기반의 무선 Ad-hoc 네트워크 기술을 필요로 한다. 하지만 기존에 Ad-hoc 네트워크와는 다른 다음의 특징을 가지고 있다. 첫째로 센서 노드의 수를 Ad-hoc 네트워크에서 가정하는 노드의 수와 비교하면 몇 십 배, 몇 백배에 이를 수 있다. 두 번째로는 센서 노드는 Ad-hoc 네트워크에서의 대표적인 노드인 노트북이나 PDA 등과 다르게 배터리를 교체할 수 없고 따라서 파워소모를 줄이는 것이 가장 중요한 문제점 중 하나이다. 세 번째로는 센서노드는 대체가 불가능 하므로 고장이 났을 경우에 대비하여야 한다. 이러한 요구사항을 만족하기 위해 제시되고 있는 것이 IEEE 802.15.4 기반의 센서네트워크이다.

IEEE 802.15.4 표준은 Low-Rate WPAN(Wireless Personal Area Network) 환경에서 디바이스들의 PHY 계층과 MAC 계층을 정의하고 있다. 이 표준 기술을 기반으로 산업화를 위한 응용 서비스 개발은 ZigBee Alliance 에서의 표준화 작업을 통해 진행되고 있으며 네트워크, 보안 등의 기술적 요구사항 및 동작 순서 등을 정의하고 있다. ZigBee 네트워크에서 디바이스는 Full Function Device(FFD)와 Reduced Function Device(RFD)로 분류되며 FFD는 ZigBee 네트워크에서 Coordinator와 Router로서 동작할 수 있으며, 일부기능만을 지원하는 RFD는 End-device 로서 동작을 한다. 새롭게 네트워크에 조인하는 디바이스는 Coordinator나 Router에 조인을 시도 할 수 있다. 조인절차는 ZigBee Alliance 표준에 포함되어 있으나 다수의 FFD가 좁은 지역에 존재할 경우 네트워크를 구성할 때 특정 FFD에 조인 요청이 집중되거나 네트워크 주소자원의 비효율적인 할당 등의 문제점을 발생 시킬 수 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 ZigBee

Non-beacon enabled PAN에서의 효율적인 네트워크 구성 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 네트워크에서 Coordinator나 Router의 위치와 능력에 따라서 beacon의 송신시간을 조절하여 네트워크에 조인하는 디바이스가 적절한 Coordinator나 Router에 조인할 수 있도록 하였다.

본 논문은 다음과 같은 구성을 가진다. 2장에서는 ZigBee 네트워크에서의 조인 절차에 대해서 알아보고, 3장에서는 본 논문에서 제안하고자 하는 ZigBee Non-beacon enable PAN에서 효율적인 네트워크 구성을 위한 알고리즘 대하여 알아보고, 4장에서는 본 논문이 제안하고 있는 알고리즘의 구현 및 성능 평가를 수행한 후에 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련연구

본 절에서는 ZigBee 네트워크 구성을 위하여 ZigBee의 PHY, MAC 표준인 IEEE 802.15.4의 특징과 두 개 디바이스간의 Association 절차, ZigBee 네트워크에 조인하기 위한 조인절차에 대하여 살펴본다.

2.1 IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4는 ZigBee의 PHY와 MAC을 정의한 표준이다. IEEE 802.15.4는 대표적인 LR-WPAN으로 저 전력, 저속의 성능을 가지고 있다.

IEEE 802.15.4를 구성하는 디바이스는 성능에 따라 두 가지의 유형을 갖는다. Full Function Device(FFD)와 Reduce Function Device(RFD)로 FFD는 PAN의 전체 동작을 관리하는 디바이스로서 동작하며 IEEE 802.15.4에서 정의한 모든 기능을 수행한다. RFD는 단말 노드로서 동작하면서 IEEE 802.15.4에서 정의한 일부 기능만을 수행한다.

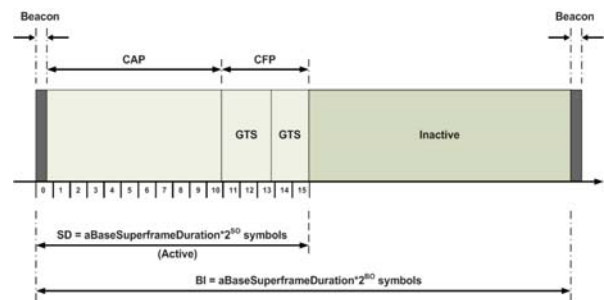


그림 1. Superframe 구조

IEEE 802.15.4는 Superframe 이라는 구조의 구현을 가능하게 한다. Superframe은 PAN의 Coordinator에 의해 관리되며, Beacon Enabled PAN에서 Coordinator는 PAN에 참여하고 있는 디바이스와 동기화를 위해 주기적으로 beacon

을 전송한다. beacon에는 Coordinator의 정보와 Superframe의 정보를 담아 전송하고 다른 디바이스는 beacon의 정보를 바탕으로 PAN에 참여할 수 있다.

IEEE 802.15.4 topology는 Star topology와 Peer-to-Peer topology를 지원한다. Star topology는 PAN 구축과 관리가 용이하다. PAN을 관리하는 PAN Coordinator라는 FFD를 통해 PAN을 구성하는 다른 FFD나 RFD의 데이터 전송이 관리되는 topology이다. Peer-To-Peer topology는 PAN에 속한 모든 노드가 연결되어 데이터를 송수신하는 topology이다.

그러므로 Peer-To-Peer topology를 구축하는 Device는 주로 FFD로 구성이 되어 IEEE 802.15.4에서 정의한 데이터 송수신 절차를 사용하며, RFD는 자신이 Associate된 FFD를 통해 데이터 송수신을 수행한다. 그림 2는 IEEE 802.15.4에서 지원하는 topology이다.

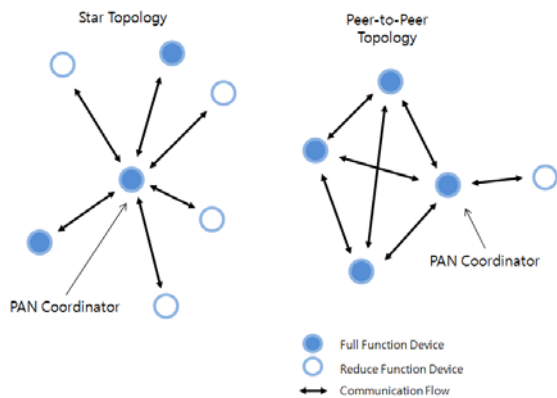


그림 2. IEEE 802.15.4 topology

2.2 ZigBee NWK layer

ZigBee 네트워크는 데이터 프레임을 전송하거나 수신하는 등 다른 계층 간의 상호 통신을 위한 인터페이스를 정의하고, 프레임 핸들링, 경로탐색 및 유지보수, 네트워크 관리 및 주소 할당 등의 기능을 수행한다.

ZigBee 네트워크에서는 디바이스를 기능적인 측면에서 세분화 하여 Coordinator, Router, End-device로 구분하고 있다. 하나의 ZigBee 네트워크 내에는 하나의 ZigBee Coordinator가 반드시 필요하다. Coordinator의 동작은 FFD만이 수행할 수 있으며, 네트워크의 정보를 초기화 하거나 다른 장치를 관리하는, 네트워크의 중심 역할을 수행한다. Router는 Coordinator와 마찬가지로 FFD만이 Router로 동작을 수행할 수 있으며, 네트워크 내에서 멀티 홉 라우팅을 위한 router로서의 역할을 수행한다. End-device의 동작은 RFD로 수행할 수 있으며, 하나의 Coordinator나 Router와

네트워크를 형성하고 통신을 할 수 있다. ZigBee 네트워크에서 새로운 디바이스는 Coordinator나 이미 네트워크에 조인되어 있는 Router와 조인절차를 통해서 네트워크 참여할 수 있다.

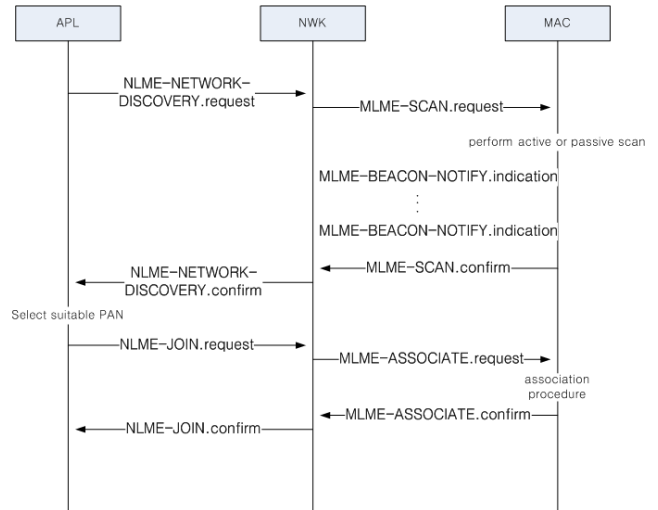


그림 3. child 디바이스의 조인절차

그림 3은 ZigBee 네트워크에서 새로이 네트워크에 참여하려는 디바이스의 조인 절차를 나타낸 것이다. 디바이스의 Application layer (APL)는 주변의 Coordinator나 Router의 존재를 파악하기 위하여 NWK layer에 Discovery primitive를 사용한다. NWK layer는 Scan primitive를 사용하여 MAC layer에 주변의 FFD의 존재를 파악하도록 하고 그 결과를 APL에 알려준다. 이미 네트워크에 참여하고 있는 주변의 Coordinator나 Router의 존재를 파악한 APL은 자신이 참여할 네트워크를 선택하고 네트워크에 참여하기 위하여 NWK layer에 Join primitive를 사용한다. Join primitive를 받은 NWK layer는 Association 절차를 수행하고 그 결과를 APL에 알려줌으로서 조인 절차가 완료된다.

2.3 ZigBee 네트워크 구성

ZigBee 네트워크를 구성은 Coordinator로부터 시작한다. Coordinator가 네트워크를 시작하면 Router나 End-device가 Coordinator에 조인을 시도하여 조인절차를 수행하여 네트워크를 구성하게 된다. 새롭게 네트워크에 참여하는 디바이스는 이미 네트워크에 참여하고 있는 Coordinator나 Router의 beacon 정보를 바탕으로 조인절차를 수행하여 네트워크에 참여하게 된다.

그러나 현재의 네트워크에서의 Coordinator와 Router의 beacon정보에는 PAN과 beacon을 송신하는 디바이스의 정보만을 담고 있으며 현재 네트워크에 대한 정보를 담고 있지

않아 새로이 네트워크에 참여하려는 디바이스가 현재 네트워크의 상태를 파악할 수 없다. 따라서 네트워크를 구성할 시 다수의 디바이스가 Coordinator나 특정 Router의 beacon을 바탕으로 네트워크 조인을 시도할 경우 특정 디바이스의 traffic이 증가되는 문제를 발생시키고, 네트워크 전체의 성능을 저하시키는 문제를 발생시킨다. 그리고 특정 디바이스에 조인이 집중될 경우 주소자원의 비효율적인 배분으로 네트워크에 많은 디바이스를 구성하지 못하는 문제점과, Routing시 많은 오버헤드를 발생시키는 문제가 발생할 수 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 본 논문에서는 ZigBee 네트워크에서의 효율적인 네트워크 구성을 위한 알고리즘을 제안한다.

3. 효율적인 네트워크 구성 알고리즘

3.1 기존 네트워크에서의 문제점

네트워크에 조인하려는 디바이스는 이미 네트워크에 참여한 Coordinator나 Router의 정보를 얻기 위하여 beacon request 프레임 송신하고 이를 수신한 Coordinator나 Router는 beacon을 송신한다. 디바이스는 수신한 beacon의 정보를 바탕으로 association 절차를 수행할 Coordinator나 Router를 선택한 후 네트워크에 참여하기 위한 association 절차를 수행한다. 그러나 디바이스가 수신한 beacon의 정보에는 네트워크에 대한 정보가 부족하여 다음의 문제점을 발생시킬 수 있다.

3.1.1 특정 디바이스로의 집중

기존 네트워크 구성에서의 첫 번째 문제는 특정 Coordinator나 Router에 다수의 디바이스가 집중되는 것이다. 다수의 디바이스가 Coordinator나 특정 Router의 beacon에 대해서 조인 요청을 시도 할 경우 요청을 받는 Coordinator나 특정 Router의 시스템 부하가 증가한다.

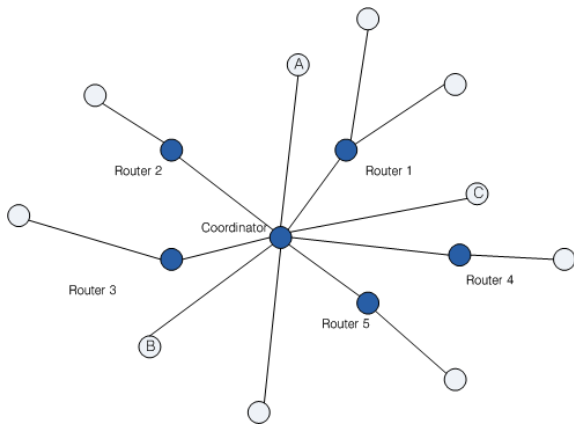


그림 4. 특정 디바이스에 집중

3.2.2 네트워크의 불균형

두 번째 문제는 tree 구조의 topology에서 네트워크 구조에 unbalance가 발생하는 문제점이다. 여러대의 Router가 존재할 경우 Router가 Router에 조인을 하는 경우가 발생한다. 이 경우 routing시 오버헤드가 증가하며, 주소자원을 사용함에 있어 효율성이 떨어지게 된다.

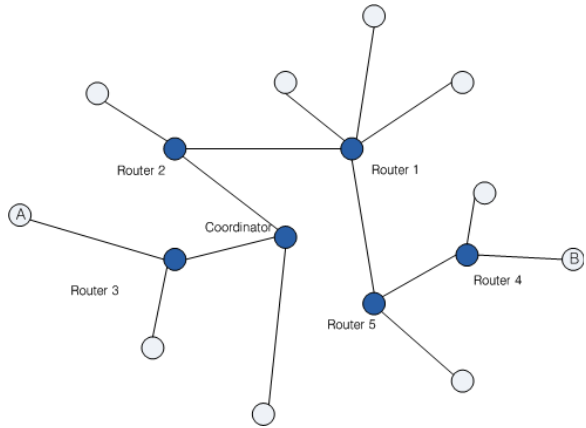


그림 5. 네트워크 불균형

3.2 Beacon 전송 방법 제안

기존의 ZigBee 네트워크에서 네트워크 구성시 발생하는 문제점을 해결하기 위하여 새로운 beacon 전송방법을 제안한다.

새로운 beacon 전송방법은 beacon의 전송시간을 조절하는 방법으로 기존의 IEEE 802.15.4의 beacon 프레임을 수정하지 않고 beacon에 현재 네트워크상태의 정보를 담을 수 있다. 네트워크에 조인을 시도하는 디바이스로부터 'beacon request' 프레임을 수신한 Coordinator나 Router는 네트워크에서의 자신의 위치와 능력, 조인 요청한 디바이스로부터의 거리에 따라 beacon의 송신주기를 결정하는 절차를 수행한 후 beacon을 전송하도록 한다.

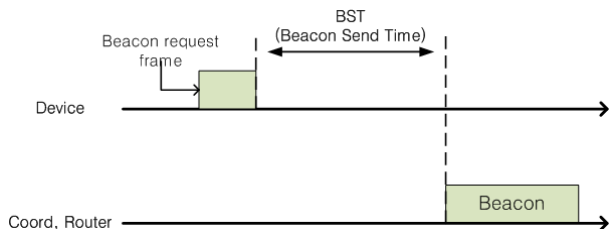


그림 6. BST (Beacon Send Time)

그림 6은 BST를 나타낸 것이며 beacon request를 수신한 후 beacon을 전송할 때 까지 걸리는 시간을 BST(Beacon Send Time)라 한다. 네트워크에서의 자신의 위치와 능력이 새로운 디바이스가 네트워크에 참여하기 좋은 조건일 경우 BST를 짧게 하고 그렇지 않은 경우는 BST를 길게 한다. 조

인을 시도한 디바이스는 Coordinator나 Router로부터 전송 받은 beacon 중 가장 먼저 수신된 beacon을 바탕으로 조인 절차를 수행하도록 함으로서 네트워크를 효율적으로 구성할 수 있다.

3.2.1 네트워크 Depth를 활용한 BST 조절

네트워크에 참여하려는 디바이스로부터 beacon request 프레임을 수신한 Coordinator나 Router는 현재 자신이 속한 네트워크에서 자신과 PAN Coordinator와의 거리라 할 수 있는 네트워크 depth를 계산한다. 네트워크 depth의 크기가 작을수록 BST를 짧게 하고 네트워크 depth의 크기가 클수록 BST를 길게 조절한다. 네트워크에 조인하려는 다수의 디바이스들은 depth의 값이 작은 Coordinator나 Router에 조인할수록 tree 네트워크의 깊이가 줄어들어 주소 자원의 효율적 사용과 routing 오버헤드를 줄일 수 있다.

3.2.2 주소자원을 활용한 BST 조절

beacon request 프레임을 수신한 Coordinator나 Router는 자신이 할당할 수 있는 네트워크 주소자원의 사용 정도에 따라서 BST를 조절한다. 이는 특정 Coordinator나 Router에 대한 traffic의 증가를 억제하기 위한 해결 방법으로 다수의 Coordinator나 Router에게 traffic을 분산시키는 결과를 가져올 수 있다.

Coordinator나 Router는 할당할 수 있는 네트워크 주소 자원의 여유가 클수록 BST를 짧게 조절 하며 네트워크 주소 자원의 여유가 작을수록 BST가 길게 조절한다.

3.2.3 LQI 값에 따른 beacon 전송

beacon request 프레임을 수신한 Coordinator나 Router는 수신 받은 beacon request 프레임의 LQI 값을 바탕으로 BST를 조절한다. beacon request 프레임의 LQI 값은 PHY 계층에서 지원하며 수신세기에 따라 값이 달라진다. 수신 세기가 클수록 LQI 값이 커지며, 일반적으로 가까운 곳일수록 프레임의 세기가 세다.

디바이스가 전송한 beacon request 프레임을 수신한 Coordinator나 Router는 beacon request 프레임의 LQI 값이 작을 경우 beacon request 프레임을 송신한 디바이스와 자신과의 거리를 먼 거리라고 가정하고 BST를 길게 한다. 반대로 LQI의 값이 클 경우 Coordinator나 Router와 beacon request 프레임을 송신한 디바이스와의 거리를 가까운 거리라고 가정하고 BST를 짧게 하여 가까운 곳에 있는 Coordinator나 Router에 조인 할 수 있도록 한다.

4. 성능평가

성능평가는 기존의 조인 절차를 사용하여 네트워크 구성하고, 제안한 알고리즘을 적용한 조인 절차를 사용한 네트워

크를 구성하여 그 구성 상태를 분석하고 비교하였다.

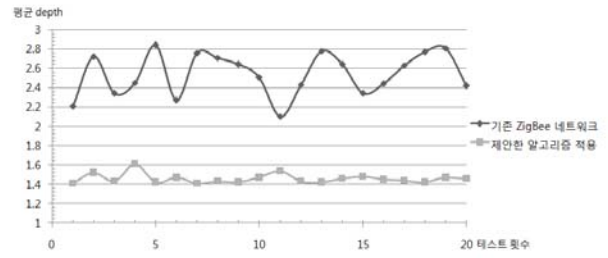


그림 7. 기존 ZigBee 네트워크와 제안한 알고리즘의 평균 depth 비교

그림 7은 기존의 ZigBee 네트워크와 제안한 알고리즘을 적용한 네트워크의 구성상태를 분석하여 평균 depth를 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에서 알 수 있듯이 제안한 알고리즘을 적용한 네트워크의 평균 depth가 기존의 ZigBee 네트워크보다 낮은 것을 알 수 있다. 이는 네트워크 전체 깊이가 낮은 것을 나타내며, 깊이가 깊을 때 발생하는 routing시 오버헤드 등의 문제를 해결한다.

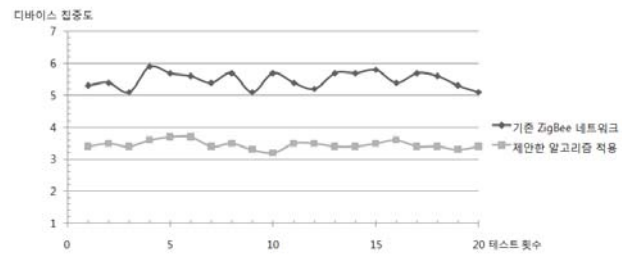


그림 8. 기존 ZigBee 네트워크와 제안한 알고리즘의 디바이스 집중도 비교

그림 8는 기존의 ZigBee 네트워크와 제안한 알고리즘을 적용한 네트워크에 Coordinator와 Router에 조인된 디바이스의 숫자를 분석하여 Coordinator나 Router에 집중된 부분을 분석하여 그래프로 나타낸 것이다. 그래프를 통하여 기존의 ZigBee 네트워크와 제안한 알고리즘을 적용한 네트워크를 비교하였을 때 기존의 ZigBee 네트워크에서 발생하는 특정 Coordinator나 Router에 집중되는 문제점을 제안한 알고리즘을 적용하였을 때 향상된 것을 알 수 있다.

5. 결론

센서네트워크의 설계에 있어서 에너지 효율성 및 배터리를 고려했을 때 IEEE 802.15.4 기반의 센서네트워크가 각광받고 있다. 이러한 표준 기술을 기반으로 산업화를 위한 응용서비스 개발은 ZigBee Alliance에서 표준화 작업을 통해 진행되고 있다. ZigBee 센서네트워크에서 디바이스가 새롭게 조인을 시도할 때 디바이스는 이미 네트워크에 참여하고

있는 Coordinator나 Router의 beacon정보를 바탕으로 조인 절차를 수행한다. 그러나 Coordinator나 Router의 beacon에는 네트워크의 정보가 담겨있지 않아 특정 디바이스에 조인이 집중되거나 주소자원을 효율적으로 사용하지 못하는 문제가 발생하고 routing시 불필요한 오버헤드를 발생시켜 배터리의 사용을 증가시킬 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 ZigBee Sensor Network에서의 효율적인 Network 구성 알고리즘을 제안하였다.

성능평가 결과 제안한 알고리즘을 적용한 네트워크의 경우 특정 디바이스에 조인이 집중되는 문제나 주소자원의 비효율적인 네트워크 구성이 줄어드는 성능을 보였다. 제안한 알고리즘은 Coordinator나 특정 Router에 치중되는 부하를 줄임으로서 네트워크 traffic을 분산시켜주고, tree구조 네트워크에서 depth의 크기를 작게 해주어 routing시 발생하는 오버헤드를 줄여준다.

무선 센서네트워크에서는 에너지 효율성과 배터리 수명이 중요하다. ZigBee에서 네트워크를 구성할 때도 에너지 효율성과 배터리 수명을 고려하여야 한다. ZigBee 네트워크를

구성할 때 기존의 알고리즘보다 제안한 알고리즘이 에너지 효율성과 배터리 수명에 효과적인 것을 성능평가를 통해서 확인해 보았다.

참고문헌

- [1] 김대영, 도윤미, 박노성, 이상수, 팜민룡, 뒤뷔백, 파티오즈투르크, "센서네트워크 기술", 정보처리학회지 제 10권, 제 4호, pp. 85-96, 2003년 7월
- [2] 전호인, "IEEE 802.15.4 WPAN 기술", 전자공학회지 제 32권 제4 호 pp. 87~104, 2005년4월
- [3] IEEE 802.15.4-2003 IEEE Standard for Information Technology-Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specification for Low Rate Wireless Personal AreaNetworks (LR-WPANs), 2003
- [4] Zigbee Alliance, 'Zigbee Specification', Zigbee, pp.1-378, 2004 December.