

ZigBee기반의 PAN간 통신에서 최적 경로 선택 메커니즘

허지혁^o, 유진, 홍충선

경희대학교 컴퓨터공학과

jhheo@networking.khu.ac.kr, syuyoo@naver.com, cshong@khu.ac.kr

The Optimum Path Selection Mechanism for Inter-PAN Communication using ZigBee

Jihyuk Heo^o Jin Yu, Choong Seon Hong

Department of Computer Engineering, Kyung Hee University

요 약

현재 유비쿼터스 센서 네트워크 환경에 가장 적합한 기술로 ZigBee가 대두 되고 있다. 그러나 ZigBee 네트워크에서는 유비쿼터스 환경에서 중요시하는 이웃한 PAN과의 동기 동작이 고려되지 않아 문제점이 존재한다. 최근 연구에서는 gateway를 통해 PAN간 통신 방법이 제시되었으나 경로가 최적화되지 않는 문제점이 여전히 존재한다. 따라서 본 논문에서는 이를 해결하고자 PAN간 통신에서 다수 gateway의 경쟁을 통해 최적 경로를 선택하여 전력 소모를 최소화할 수 있는 메커니즘을 제안하였다.

1. 서 론

무선 센서 네트워크 기술은 유비쿼터스 환경과 맞물려 중요한 이슈 중의 하나가 되었다. 유비쿼터스 환경은 일반적으로 PC를 사용하는 컴퓨팅 환경과는 달리 임의적으로 배치된 다수의 센서 노드를 통해 상황을 감지하여 사용자의 어떠한 개입 없이도 사용자에게 서비스를 제공한다. 여기서 다수의 센서 노드는 임의적인 배치와 그로 인한 전원 공급의 문제로, 배터리를 사용하는 무선 환경에서 동작한다. 이러한 제약 조건을 생각할 때 저전력, 자동 네트워크 형성의 특징을 갖는 ZigBee[1]가 유비쿼터스 환경에 가장 적합한 통신 기술로 고려되고 있다.

그러나 ZigBee 기술은 이웃한 PAN(Personal Area Network)과 동기 동작을 고려하지 않고 설계되었다. PAN내 센서 노드는 고정된 위치를 갖기도 하지만 사람이나 자동차와 같이 움직이는 개체에 위치하여 이동하기도 한다. 수집된 데이터를 처리하기 위해 센서 노드에서 infrastructure 또는 이웃한 PAN에 패킷을 전송하는 과정이 불가결한 유비쿼터스 환경을 고려해 볼 때, 이웃한 PAN과 원활한 통신이 이루어지지 않는 것과 이동성을 지원하는 PAN과 이웃한 PAN사이에서 동기 동작을 지원하지 않는 것은 매우 큰 단점이 될 수

있다.

이런 단점을 해결하기 위한 PAN간 통신 방법으로 gateway를 이용한 통신 방법이 이전에 제시되었다. 이 방법에서 PAN간 통신을 위한 모든 정보가 Coordinator에 저장되어 PAN간 통신시 모든 패킷은 Coordinator를 거쳐 전송된다. 이로 인해 저전력을 고려해야 하는 유비쿼터스 네트워크에서 PAN간 통신을 위해 항상 Coordinator를 거쳐 데이터를 전송 방법은 에너지 효율성이 떨어지는 문제가 발생한다.

위와 같은 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 PAN간의 통신에서 최적 경로 선택 메커니즘을 제안한다. 이는 PAN간 통신을 위한 노드인 gateway들이 흡 수에 따라 경쟁하여 최적 경로를 선택하고, PAN간 통신시 전력 소비를 최소화하여 에너지 효율을 높이는 방법이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 ZigBee 네트워크의 구성 방법과 관련 연구에 대한 문제점을 기술한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 ZigBee 기반의 PAN간 통신에서 최적 경로 선택 메커니즘을 설명하고 4장에서 결론으로 마무리한다.

2. 관련연구

2.1 ZigBee 네트워크의 구성

ZigBee는 parent-child 관계를 통해 Tree 구조로 네트워크를 구성하는데 Coordinator로부터 네트워크가

This research was supported by the MIC under the ITRC Project supervised by the IITA (IITA-2006-(C1090-0602-0002))

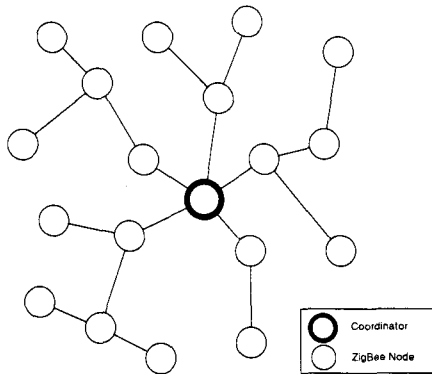


그림 1. 일반적인 ZigBee 네트워크의 구성

형성된다. Coordinator가 네트워크 시발점이므로 Tree 구조에서 가장 상위에 위치하는 최상위 parent 노드가 된다. 따라서 네트워크의 정 가운데에 위치하며 child 노드는 그 주위에 방사형으로 위치한다.

그림 1은 일반적인 ZigBee 네트워크의 구성 예이다. 정 중앙의 Coordinator를 중심으로 일반 ZigBee 노드가 parent-child 관계를 맺으며 방사형으로 배치되어 네트워크가 확장된다.

2.2 ZigBee PAN간 통신 방안

무선 센서 네트워크에서 PAN간 통신을 위한 방법에 관한 현재까지의 연구는 에너지 효율을 고려하지 않은 방법들이 제안되었다. 그 중 “ZigBee 개인 영역 네트워크(PAN)간 통신 방법[2]”에서는 gateway를 사용한 PAN간 통신 방법을 제안했다. 이 연구에서 large scale network는 collusion과 broadcast의 부담을 줄이기 위해 cluster별로 작은 PAN으로 재 구성한 후 gateway를 통해 하나의 PAN처럼 작은 PAN간 데이터 전송이 가능하도록 한 방법이다. Gateway는 주변 PAN의 정보를 검색하여 Coordinator에게 알려 준다. 전송할 데이터가 있는 노드는 주변 PAN의 정보를 가지고 있는 Coordinator로 패킷을 전송한 후, Coordinator가 적절한 gateway를 선택한 뒤 이 gateway를 통하여 목적지 PAN으로 전송한다. 목적지 PAN에서도 Coordinator가 gateway를 통해 패킷을 수신한 뒤 목적지 노드로 전송한다.

만약 두 PAN이 위와 같은 방식인 Coordinator-gateway-Coordinator의 전송을 통해 PAN간 통신이 이루어지려면 각 PAN의 중앙에 위치한 양 Coordinator가 그림 2(a)처럼 반드시 gateway의 통신 범위 안에 위치해야만 한다. 따라서 두 PAN의 위치가 거의 겹쳐져야만 통신이 가능하다. 또한 gateway는 PAN에 속해 있지 않기 때문에 PAN이 이동한 위치에 gateway가 없다면 이웃한 PAN과 통신이 불가능하다.

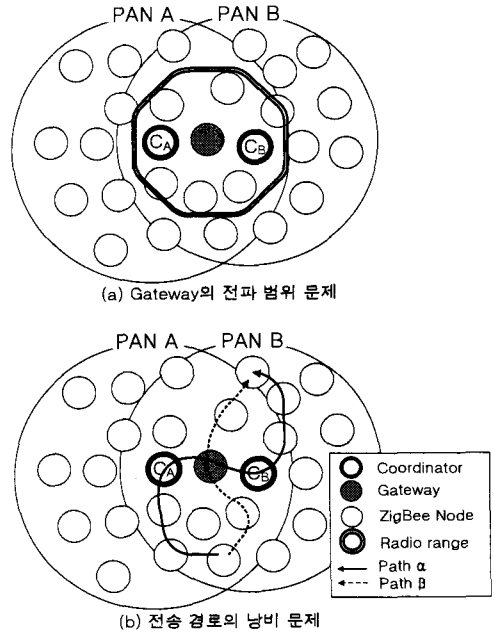


그림 2. PAN간 통신에서 통신 가능 거리 문제와 전송 경로의 낭비 문제

더욱이 그림 2(b)의 경로 α 와 같이 양 PAN의 두 Coordinator를 반드시 거쳐야만 통신이 이루어지므로 전송 경로가 길어지고 이로 인해 전력 소비도 커지는 큰 문제가 발생한다.

이와 같은 연구를 살펴보면 gateway는 두 가지 역할을 동시에 수행해야 함을 알 수 있다. 하나는 특정 PAN에 속하여 다른 ZigBee router 노드와 마찬가지로 일반적인 라우팅 역할을 수행해야 한다. 다른 하나는 PAN간 통신을 위해 Coordinator의 개입없이 최적 경로를 찾는 gateway로서의 역할도 수행해야 한다. 따라서 본 논문에서는 PAN간 통신에서 Gateway를 사용해 최적 경로를 찾아 전력 소비를 최소화 하는 방법을 제안한다.

3. 제안하는 Inter-PAN간 통신 방안

3.1 Network model

각 PAN은 collusion 등으로 인한 혼잡을 피하기 위해 최대한 서로 다른 주파수와 channel을 사용하므로 다른 PAN에 속한 노드간에는 서로 전송하는 패킷을 대체로 수신할 수 없다.[3] 따라서 PAN간 통신을 위한 중간자로 gateway를 사용한다. Gateway는 이웃한 PAN이 자신이 속한 PAN과 다른 주파수나 channel을 사용하더라도 이웃한 PAN에 속한 gateway의 beacon 패킷 수신과 서로 통신이 가능하다고 가정한다.

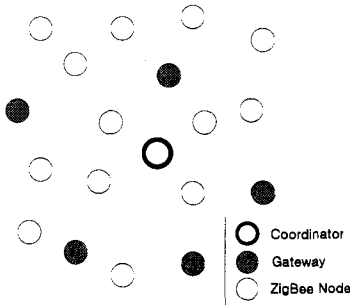


그림 3. Gateway를 포함하여 PAN간 통신을 지원하는 ZigBee 네트워크

Gateway가 속한 PAN은 PAN 자체가 이동한 후 다른 PAN과의 동기 동작을 지원하고 이 gateway는 PAN에 속한 다른 ZigBee 노드와 마찬가지로 PAN내에 임의적으로 배치되며, PAN내의 모든 노드는 한번 배치된 위치를 비교적 정적으로 유지한다고 가정한다.

그림 3는 gateway가 추가되어 inter-PAN 통신이 가능한 ZigBee 네트워크의 예이다.

3.2 Gateway의 동작

제안하는 PAN간 통신 방법에서 gateway는 AS(autonomous system)의 gateway router처럼 동작한다.[4] AS의 gateway router는 내부 네트워크의 routing을 위해 일반 router와 마찬가지로 동작하지만, 외부 네트워크와 패킷을 송수신하는 과정에서 내부 네트워크에서의 동작과 차이를 보인다. Gateway router는 외부 네트워크와 통신을 하는 출입구의 역할을 하여 외부 네트워크로 송수신되는 패킷은 반드시 default gateway를 거쳐 전달된다. 또한 외부 네트워크의 gateway router까지의 routing을 책임진다. 제안하는 PAN간 통신 방법의 gateway는 AS의 gateway router처럼 PAN내 통신을 위한 routing과 PAN간 통신을 위한 routing으로 동작한다.

ZigBee에서는 AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector) routing protocol을 사용한다.[1] 따라서 RREQ(Route Request)와 RREP(Route Reply) 메시지를 이용해 동적으로 목적지까지의 경로를 형성한다.[5][6][7] 어떤 근원지 노드가 타 PAN의 목적지 노드로 데이터를 전송하려 한다고 가정할 때 근원지 노드는 경로를 찾기 위해 RREQ 메시지를 broadcast하여 route discovery 과정을 시도한다. Route discovery 과정에서 gateway는 타 PAN에 속한 목적지 노드를 대신해 RREP 메시지로 응답해야 한다. 물론 gateway는 주기적으로 또는 RREQ를 수신했을 때, 주변에 타 PAN에 속한 gateway가 존재하는지 여부를 DiscoveryNbrGateway(Discovery Neighbor Gateway)

primitive를 통해 검색하고 이를 Neighbor Table에 저장하여 routing에 이용한다. 또한 DiscoveryNbrGateway를 수신한 gateway는 목적지 노드까지의 경로를 미리 확보한다.

표 1. Discovery Neighbor Gateway의 prototype

```
status_t DiscoveryNbrGateway
(
    destination PAN ID,
    destination Node's address
)
```

표 1은 Discovery Neighbor Gateway primitive의 prototype 정의이다. 목적지 PAN의 PAN ID 인자를 이용해 목적지 PAN을 인지하고, 목적지 노드의 주소 인자를 이용하여 gateway에서 목적지 노드까지의 경로를 미리 확보할 수 있다.

DiscoveryNbrGateway primitive를 통해 외부 gateway로부터 외부 PAN의 정보인 PAN ID와 외부 gateway의 short address, extended address가 담긴 beacon을 수신해 Neighbor Table에 저장한다. 그림 4에서 보여주듯 gateway P는 gateway Q를 통해 PAN B의 PAN ID와 gateway Q의 short address, extended address를 Neighbor Table에 저장한다. 만약 주변에 다른 PAN이 존재한다면 마찬가지로 부근의 gateway는 각 PAN의 정보를 저장한다. 그리고 gateway Q는 primitive로 수신한 목적지 노드의 주소를 이용하여 gateway Q에서 목적지 노드 D까지의 경로를 미리 확보한다.

3.3 Inter-PAN간 최적 경로 탐색

그림 4는 PAN간 통신을 위한 gateway의 경로 탐색 과정을 나타낸다. 근원지 노드 S가 목적지 노드 D까지 데이터 전송을 하려고 한다면 PAN A 내부에서 경로 S-

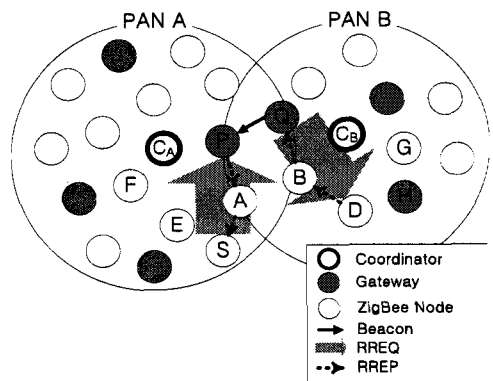


그림 4. Gateway의 route discovery 동작

A-P를 형성한다. 이와 동시에 gateway P와 gateway Q의 DiscoveryNbrGateway 동작으로 인해 PAN B 내부에서 경로 Q-B-D를 형성한다.

그림 6에서 이를 자세히 설명하면 먼저 근원지 노드 S가 RREQ 메시지를 네트워크 전체에 broadcast하고 이에 대해 적절한 gateway들은 '3.2 Gateway의 동작'에 따라 RREP로 응답을 하게 된다. 근원지 노드는 하나 또는 다수의 gateway로부터의 RREP 중 최소의 홑 수를 갖는 경로를 선택함으로써 우선 근원지 PAN내에서 근원지 노드 S와 gateway P 사이의 경로를 형성한다. 또한 RREP로 응답함과 동시에 PAN B 내부에서 AODV routing protocol을 통해 gateway Q와 목적지 노드 D 사이의 경로를 형성한다.

PAN간 통신을 위해 이전에 제시된 방법 [2]는 각 PAN의 Coordinator를 반드시 지나야 하므로 S-E-F-C_A-P(또는 Q)-C_B-G-H-D의 경로를 사용하지만 제안한 방법은 그림 5에서 보여주듯 최적 경로인 S-A-P-Q-B-D를 사용하므로 낭비되는 경로를 줄일 수 있다.

이로써 inter-PAN간 통신의 최적 경로 형성이 이루어져 데이터 전송이 가능하며 최적 경로로 인해 전력 소비 또한 최소화할 수 있다.

그림 6는 그림 5의 네트워크에서 근원지 노드 S와 목적지 노드 D사이의 데이터 전송을 위한 최적 경로 형성 방법을 나타낸다.

1. PAN A에 속한 근원지 노드 S가 PAN B에 속한 목적지 노드 D에 대한 경로 요청 메시지 즉,

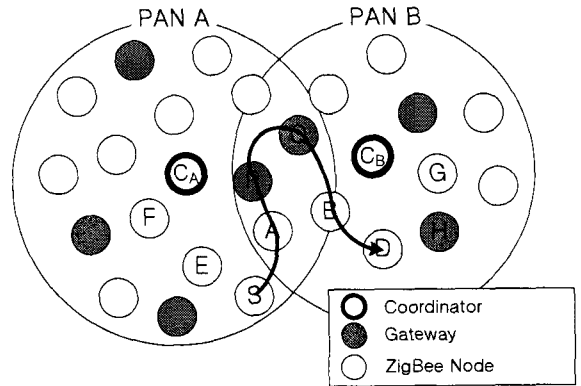


그림 5. Gateway를 이용해 Coordinator를 거치지 않고 형성된 최적 라우팅 경로

2. PAN A에 속한 gateway는 목적지 PAN이 자신이 속한 PAN과 다른 RREQ 메시지에 반응하여, 또는 주기적으로 DiscoveryNbrGateway primitive로 이웃한 PAN을 탐색한다.
3. DiscoveryNbrGateway 메시지를 수신한 gateway Q는 자신이 속한 PAN과 목적지 PAN이 일치하므로, DiscoveryNbrGateway 메시지에 대한 응답으로 탐색을 시도한

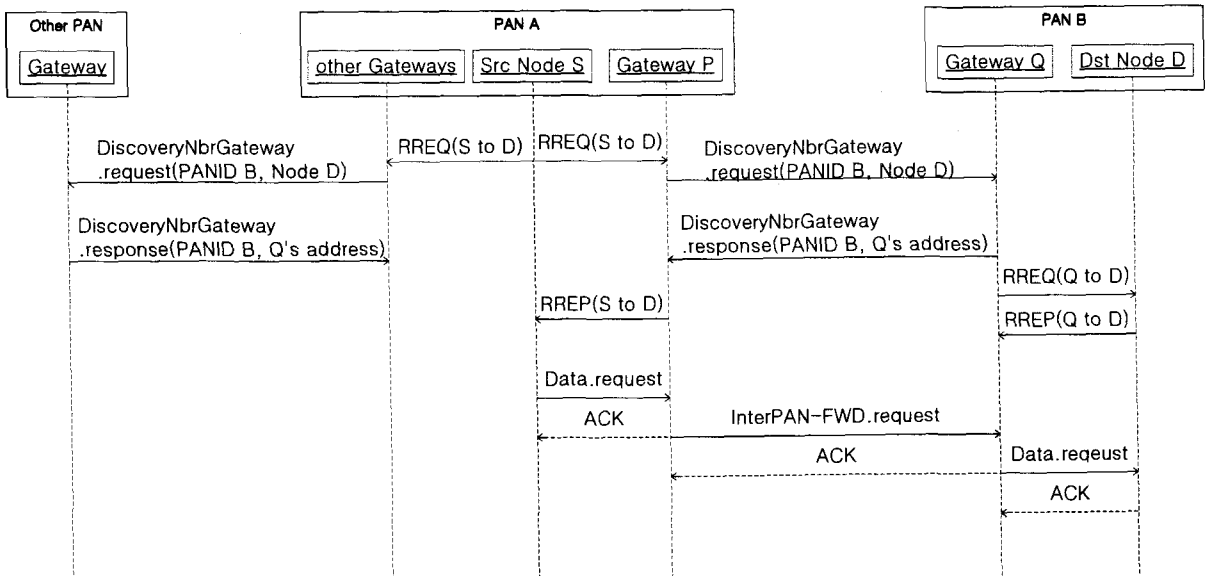


그림 6. PAN간 통신의 흐름도

gateway P에게 beacon을 전송한다. 이와 동시에 목적지 노드 D에 대한 RREQ 메시지를 PAN B내에 broadcast하여 경로를 찾는다.

4. Beacon을 수신한 gateway P는 근원지 노드 S로 RREP 메시지를 송신하여 목적지 PAN이 존재함을 알린다.
5. 근원지 노드 S는 수신한 하나 또는 그 이상의 RREP 메시지를 통해 가장 적은 홉을 갖는 gateway P를 선택하여 데이터 전송을 시도한다.
6. 이로써 gateway P와 Q를 통해 근원지 노드 S와 목적지 노드 D 사이의 패킷 전송 경로가 형성되어 데이터 전송이 가능하다.

4. 성능평가

제안한 메커니즘의 성능을 평가를 위하여 Fedora Core 3기반에서 NS-2를 사용해 종단 지연 시간과 센서 노드의 잔여 전력량을 [2]와 비교하여 측정하였다. 시뮬레이션을 위해 IEEE 802.15.4 Medium Access Control Protocol을 Data Link Layer로 사용하고, AODV routing protocol을 수정하여 사용하였다. 각 100X100 제곱 미터의 공간에 30개의 노드를 임의로 배치한 2개의 PAN으로 네트워크를 구성하였고 1,000 비트의 패킷 사이즈를 갖는 CBR 트래픽을 사용하였다. 각 노드는 초기 전력량으로 2J을 갖는다.

그림 7은 두 PAN의 Coordinator간 직선 거리를 늘려가며 종단 지연을 측정한 그래프이다. 제안한 최적 경로 선택 메커니즘은 [2]에서 제안한 경로선택 방법보다 Coordinator를 거치지 않고 패킷을 전송하기 때문에 전송 경로의 홉 수가 적어 종단간 패킷 전송

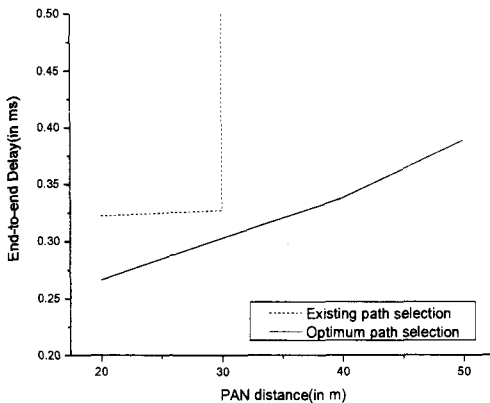


그림 7. 종단간 지연 측정 그래프

지연 시간이 적게 걸린다. [2]의 방법에서는 PAN간 거리와 상관없이 패킷이 Coordinator로 전송되므로 일정한 지연 시간을 보이나 두 Coordinator의 거리가 30을 넘는 순간 양 Coordinator가 그 중간에 위치한 gateway의 전파 범위를 벗어나 통신이 불가능함을 보인다.

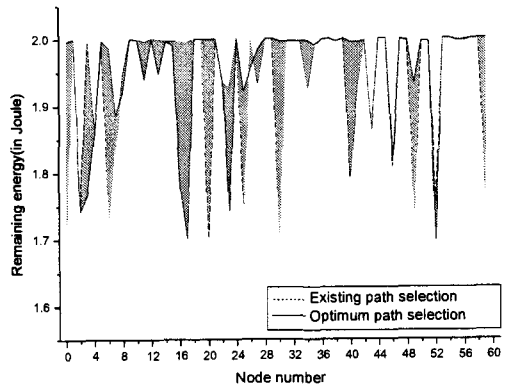


그림 8. 각 노드별 잔여 전력량

그림 8은 각 노드별 잔여 전력량 차이를 보여준다. 제안한 메커니즘에서 8개 노드(근원지 노드, 목적지 노드, 패킷 전송에 참가한 6개 노드)와 비교 대상인 [2]에서 9개 노드(근원지 노드, 목적지 노드, 패킷 전송에 참가한 7개 노드,)를 각 노드 별로 전력 소모량을 비교하면 큰 차이가 없다. 또한 PAN간 통신을 위해 동작하는 노드 각각의 전력 소모량을 비교하면 제안한 메커니즘에서 동작하는 2개 노드인 gateway의 전력 소모량이 [2]에서 동작하는 3개 노드인 두 Coordinator와 gateway의 전력 소모량보다는 많으나 0.05J 이하의 미세한 차이를 보이며 동작에 참가한 노드 수의 차이가 존재한다.

따라서 전체적으로 패킷 전송에 참가한 노드 수의 차이로 PAN에 존재하는 모든 노드들의 총 전력 소모량에서 제안한 메커니즘이 매우 효율적임을 알 수 있다. 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 제안한 메커니즘을 사용하는 경우 PAN간 통신에서 시간적 측면, 전력 소모 측면에서 더 효율적이다.

5. 결론

본 논문에서는 최적 경로 선택하는 PAN간 통신 방법을 제안 하였다. 기존의 연구에서는 PAN간 통신 과정에서 gateway가 단지 Coordinator에서 Coordinator로 패킷을 전달하는 역할만을 담당하고 Coordinator가 PAN간 통신의 나들목인 gateway 선택하여 경로를 형성한다. 이 과정에서 경로가 낭비될 여지가 있다. 저전력을 중요시하는 sensor network에서

경로가 낭비된다는 것은 불필요한 노드의 전송이 존재한다는 것으로 전력 또한 낭비된다. 따라서 본 논문에서는 gateway가 특정 PAN에 항상 존재하며, PAN이 이동한 후 이웃한 PAN과 동기 동작을 지원하고, PAN 내부에 존재하는 다수의 gateway들이 PAN간 통신을 원하는 노드에게 홉 수를 최소한으로 줄일 수 있는 통신 경로 정보를 제공함으로써 전력 소비를 최소화하여 에너지 효율을 높일 수 있는 최적 경로 선택 메커니즘을 제안하였다.

향후 과제로는 홉 카운트만이 아닌 routing metric의 정의와 근원지 PAN와 목적지 PAN 사이에 중간지 PAN이 존재할 때 gateway의 routing 메커니즘을 정의하고 구현을 통한 검증이 필요하다.

참고문헌

- [1] ZigBee Specifications, "ZigBee Document 053474r15", ZigBee Alliance, Feb 2007
- [2] 이청희, "ZigBee 개인 영역 네트워크(PAN)간 통신 방법", 대한민국특허청, 특허 제 10-0587013-0000호, May 2006
- [3] IEEE 802.15.4, "Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY)", IEEE Computer Society, pages 23-29, 2006
- [4] J. Hawkinson, "Guidelines for creation, selection, and registration of an Autonomous System (AS)", RFC 1930, March 1996
- [5] C. Perkins, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing", RFC 3561, July 2003
- [6] Gabriel, M. Nandu, K., "AODV for IEEE 802.15.4 Networks", Draft-montenegro-lowpanaodv-00, Jul 2005
- [7] K. Kim, "6LoWPAN Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing (LOAD)", draft-daniel-6lowpan-load-adhoc-routing-02, March 2006