

IEEE 802.15.4와 ZigBee Protocol : ZIGBEE Network Layer이 사용하는 AODV

이원근
고려대학교 컴퓨터과학기술대학원
e-mail : wonkun@chol.com

IEEE 802.15.4 and ZigBee Protocol : ZIGBEE Network Layer Using Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing

Won-Geun Lee
Dept. of Computer Science and Technology Korea Univ.

요 약

무선 네트워크의 전송 방식은 유선 네트워크와 다르며, 따라서 유선 네트워크를 기반으로 설계된 인터넷 프로토콜(TCP/IP)은 무선네트워크 환경에서 불안정 하게 작동한다.본 논문에서는 기존의 유선 인터넷에 맞춰진 전송 프로토콜인 UDP 와 TCP 를 802.15.4 MAC 기반의 ZigBee Protocol 환경에서 사용되는 특성과 AODV 및 확장 프로토콜인 AOMDV 를 통해 인터넷에 결합된 네트워크 인터페이스를 가진 노드들의 특성과 관리의 중요함을 확인한다

1. 서론

유비쿼터스 네트워크라 함은 사람과 주변의 모든 기기가 하나의 네트워크로 연결되어 정보를 주고 받는 가상공간과 실제 공간의 융합을 말한다.이런 상황에 적합한 네트워크는 "Always Connected" 와 "Broadband" 그리고 "Every Device in One Network" 의 세가지 요소를 충족해야만 한다. 유비쿼터스 환경을 지원하는 핵심기술 중에서 RFID의 경우, Passive시스템이므로 RFID TAG를 부착한 상품이 리더기에 가까이 다가가 리더기의 전자파로부터 에너지를 유기할 때까지 동작하지 않는 단점을 극복해야 하고 따라서 Active TAG에 대한 관심을 높아가고 있다.

IEEE 802.15.4 LR WPAN(Low Rate Wireless Personal Area Network)기술은 이런 능동적인 기능을 수행하도록 제안되었다.

IEEE 802.15.4 LR WPAN기술은 낮은 전송속도(20, 40, 250Kbps)와 간단한 구조,저렴한 가격,편한 연결성 그리고 매우 긴 배터리 수명을 제공하며, 10m이내의 작은 범위 내에서 무선 연결을 요구하는 분야에 적합한 표준으로 개발되었다. 적용분야는 무선센서를 응용하는 홈 오토메이션이나 응급상황 감지 시스템,보안시스템 등 이다. 특히 상품에 RFID TAG를 부착하여 카트에 담겨진 상품을 자동으로 결제하는 [무선쇼핑카드]부분은 본인이 근무중인 신용카드회사에서 주요한 적용분야로 관심을 가지고 있다.

낮은 전력을 소모하는 IEEE 802.15.4 PHY 및 MAC 계층 위에 ZigBee Protocol Stack을 올려 전력 소모면에서 배터리 가 수 개월에서 수 년 동안 지속될 수 있는 장점을 가지고 있으므로 개인 무선 통신환경하의 저속 무선 Data 통신을 위한 가장 경제적인 솔루션이라고 할 수 있다.

또한 ZigBee를 구현하는 비용이 저렴하기 때문에 네트워크에 더 많은 노드들을 설치할 수 있으며, 구현 측면에서 ZigBeeProtocol은 IEEE 802.15.1에서 표준화한 Bluetooth나 IEEE802.15.3 HR WPAN, 또는 IEEE 802.11x표준에서 제정된 무선 LANProtocol보다 훨씬 간단하게 구성할 수 있다.

본 논문은 유비쿼터스 센서 네트워크로서 많은 관심을 얻고 있는 IEEE 802.15.4기술과 그 위의 상의 계층에서 구현되는ZigBee Protocol,그리고 ZigBee Alliance활동과 Protocol Stack에 대해 소개하였다. 특히 ZigBee Network Layer이 사용하는 AODV알고리즘에 대해 설명 하고 유선 인터넷 전송프로토콜인 UDP와 TCP을 무선 인터넷에서 사용하면서 일어나는 Expanding Ring Search 알고리즘의 문제점과 개선사항을 제안하고 끝으로 결론을 맺는다.

2. ZIGBEE Protocol

2.1 ZigBee Alliance 개요

ZigBee는 Bluetooth와 비교해볼 때 보다 싼 가격과 낮은 Data전송률, 그리고 이를 활용한 저 전력소모의 특징을 지니고 있으며 성형은 물론 Mesh 등과 같은 다수의

Topology를 갖는 네트워크에도 적용이 가능하다.

ZigBee Protocol Stack은 IEEE 802.15.4 PHY 계층과 MAC계층위에 ZigBee Alliance가 정의하는 Network Layer과 응용 지원부 계층, 그리고 응용 Frame워크와 ZDO(ZigBee Device Object) 및 이들 사이의 인터페이스를 정의하는 Application Layer으로 구성된다.

Network Layer에서는Routing, 보안, 네트워크를 관리하며, 응용지원부 계층(Application Support Sublayer)에서는 Binding을 위한 테이블을 유지하는 기능을 갖는다.

여기서 Binding이란 ZigBee Coordinator가 각각의 Device들이 어떻게 연결되어 있는지 인식함으로써 Coordinator의 모니터링과 제어 기능을 향상시키는 역할을 하는 것을 의미한다.

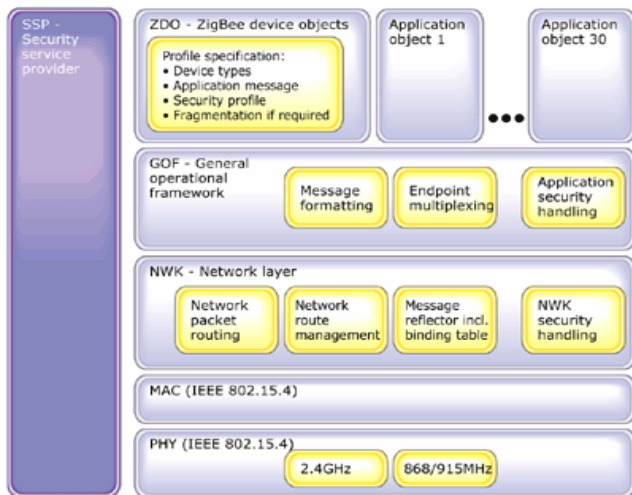
ZigBee Coordinator와 라우터는 Device가 네트워크에 들어오고 나가는 것을 기록 하고 논리적 주소를 분산하여 할당하며 이웃 하는 Device의 리스트를 유지 관리한다.

2.2 ZigBee Protocol

ZigBee의 각 계층에는 Data 전송서비스를 제공하는 Data Entity와 기타 모든 서비스들을 제공하는 Management Entity로 있어 SAP(Service Access Point)를 통해 상위 계층에 특정서비스를 제공하게 된다.

ZigBee Network Layer은 새로운 네트워크 형성, Device 발견, 네트워크에 join, 전송 Frame에 대한 보안적용 및 해제, Frame을 보내고자 하는 노드로의 Routing 등을 담당한다. 또한, Device간의 Routing 경로를 찾고 이웃 Device를 관리하는기능을 수행한다.

ZigBee Application Layer은 APS Sublayer, ZDO(Zigbee Device Object), 제작사가 정의하는 Application Object들로 구성된다.



[그림 1. ZigBee Stack Architecture]

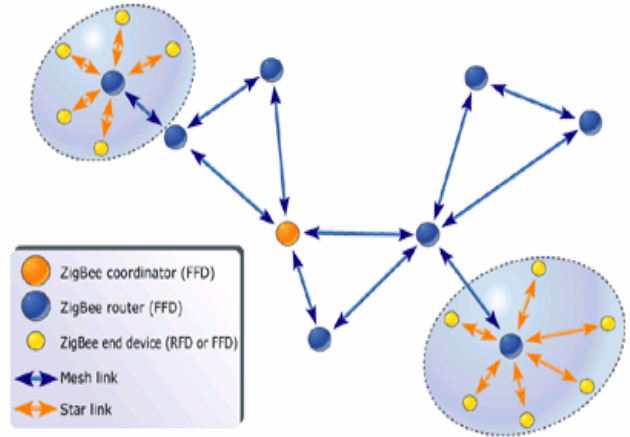
2.3 ZigBee Network Layer

ZigBee 네트워크는 Star, Mesh 그리고 Cluster Tree 3개의 네트워킹 Topology를 지원한다. 각 Topology는 초기화, 노드 관리, 노드 정보 저장 기능을 제공하기 위해 Coordinator라는 full-function device(FFD)가 하나 이상 있어야 한다. 나머지 노드들은 비용과 전력 소모를 최소화하기 위해 배터리로 동작하는 간단한 Reduced-Function Device (RFD)로 구성된다.

Star Topology는 가장 일반적인 네트워크 형태로 전력 효율이 가장 좋다. ZigBee Coordinator라는 단일 Device가 중심 제어가 되어 네트워크 내에 있는 모든 Device를

제어하고 다른 종단 Device는 직접 ZigBee Coordinator와 통신하도록 한다.

Mesh 또는 Peer-to-Peer Topology에서는 네트워크가 ZigBee 라우터(ZR)를 이용하여 확장될 수 있으며, 네트워크상에서 여러 경로를 제공함으로써 높은 Reliability 와 Scalability을 제공한다.



[그림 2. ZigBee Network Model]

Routing 알고리즘은 Suboptimal Routing을 제거하기 위해 Request-Response Protocol을 이용하고, 최대 네트워크 크기는 264 노드까지 도달할 수 있다.

Cluster-Tree Topology는 Peer-to-Peer 네트워크의 특별한 형태이다. 대부분의 Device들이 FFD이고, Cluster-Tree 네트워크의 종단에 RFD(leave node)가 연결되어진다. 모든 FFD가 Coordinator로 동작할 수 있으나, 단 하나만 ZigBee Coordinator가 되어 다른 Device들과 Coordinator들에게 동조화 서비스를 제공한다. ZigBee Coordinator는 클러스터를 형성하고 클러스터 헤더(CLH)를 지정하여 Beacon Frame을 이웃 Device에게 Broadcasting 한다. Beacon Frame을 받은 Device들은 CLH에 네트워크에 join을 요청하고, ZigBee Coordinator가 이 새로운 Device를 이웃 목록에 자식(child) Device로 추가하고, 새로 join된 Device는 CLH를 이웃목록에 있는 부모(parent)로 추가하는 방법으로 네트워크를 형성하게 된다.

ZigBee Network Layer에서는 다음의 두 가지 Routing 방법이 있으며, 네트워크 내의 Device 특성 및 네트워크의 비용 간을 고려하여 적절히 적용하여 사용하게 된다.

(1) Hierarchical Routing

Hierarchical Routing 은 ZigBee Routing 알고리즘의 기본 Routing 알고리즘이다.

Hierarchical Routing 은 계층적으로 네트워크 주소를 배정하게 되고 이러한 주소체계를 이용하여 Routing을 하는 메커니즘을 가지고 있다. Device가 Frame을 받으면 주소만 비교하여 Frame의 목적지가 계층에서 자신의 자손이던지 상위 계층인지 판단을 할 수 있게 된다.

즉, Tree 아래로 경로를 결정하건 혹은 Tree 위로 경로를 결정하건 항상 판단이 가능하게 된다.

(2) Table-Driven Routing

Hierarchical Routing 에서는 최적의 경로가 아닌 Suboptimal Routing이 가능하다.

즉, Hierarchical Routing은 Device가 메모리를 요구하지 않는다는 장점이 있지만 대신 더 많은 통신을 요구하게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 Routing 테이블을

가지는 방법을 이용하게 되었다. Table-Driven Routing 은 RREQ와 RREP 메시지를 이용하여 Routing 경로를 발견하고 노드들은 발견된 경로에 대한 Routing 테이블을 유지하게 된다. Routing 테이블의 할당을 조절함으로써 Device 자체 비용뿐만 아니라 Routing 경로설정을 위한 통신 및 유지 비용을 조정할 수 있다.

3. ZIGBEE Network Layer이 사용하는 AODV알고리즘

3.1 개요

Reactive Routing Protocol인 AODV(Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing)는 Ad-hoc 네트워크에서의 On-Demand Routing Protocol이다. Ad-hoc 네트워크 내의 모든 노드들은 Data전달이 있는 Routing 경로 정보만을 Routing 테이블에 유지 및 관리하게 된다. AODV Routing Protocol은 기본적으로 Tabled-Driven 알고리즘 중 하나인 DSDV와 On-Demand알고리즘의 DSR의 장점을 취합하고 문제점을 해결한 Protocol로서 Data 전달이 필요한 소스 노드는 요구 기반 방식으로 목적지 노드까지의 최단경로를 Routing 경로 탐색과정을 통해 찾아낸다.

AODV가 경로 탐색 및 유지관리를 위해 사용하는 메시지 타입에는 RREQ(RouteRequest), RREP(RouteReply), RERR(RouteError) RREPACK(Route Reply Acknowledgement)의 4가지 타입이 있는데 RREQ는 소스 노드가 목적지 노드를 찾기 위해 사용하는 메시지타입이며 RREQ를 발생시키는 노드는 Data 전달을 처음에 요구한 소스 노드와 경로에 문제가 생겼을 때 경로 복구를 위해 경로 복구 작업을 시작하는 중간 노드가 될 수 있게끔 되며 이들 노드들은 RREQ 메시지를 Ad-hoc 네트워크 내에 Flooding하게 된다. Flooding이란 Routing 정보를 인접한 라우터에 모두 전송함으로써 인하여 무선 네트워크에서 Data 전송이 혼수 상태가 일어남을 의미한다.

RREQ를 수신한 노드는 자신이 목적지 노드이거나 또는 목적지까지의 Routing 경로를 알고 있다면 RREP메시지를 사용하여 응답하게 된다. RREP메시지는 RREQ를 처음에 송신한 노드(RREQ소스 노드)에게 Unicast 방식으로 전달된다. RREQ를 받은 노드가 자신이 목적지 노드도 아니고 목적지 노드까지의 경로를 알고 있지 않다면, RREQ 소스 노드까지의 역 경로를 Routing 테이블에 저장한 후, 받은 RREQ메시지를 이웃 노드에게 전달하게 된다. RREP-ACK는 RREQ소스 노드가 RREP를 수신한 후 이에 대한 응답을 위해 사용하는 메시지타입이다. RERR은 목적지 노드까지 가는 경로가 단절되었을 때, 경로 단절을 소스노드에게 통보하기 위해 사용된다. RERR을 받은 소스노드는 목적지 노드까지의 새로운 경로를 생성하기 위해 새로운 경로 탐색과정을 시작하게 된다.

3.2 개선된 AODV알고리즘

AODV알고리즘의 최적화를 위해 여러 방안들이 제안되었다. 노드들이 많은 밀집지역의 네트워크에서 경로 발견 시도가 많아지게 되면 노드들의 처리능력과 대역폭에 의해 통신망의 전체적인 성능이 저하될 수 있다. 이러한 충돌을 줄이기 위해, Expanding Ring Search 알고리즘을 사용하여 RREQ의 전송을 제한할 수 있다.

즉, IP헤더에 TTL을 이용하여 출발지 노드로부터 가까운 지역부터 점차로 넓은 지역으로 확대해가면서 RREQ를 전송하는 것이다. 이러한 Expanding Ring Search 알고리즘은 AODV에서 더욱 중요한 역할을 담당하고 있다. AODV를 분석해보면 AODV가 발생하는 패킷의 종류는 대부분 RREQ 패킷이다. 이것은 DSR과 달리 Source Routing을 사용하지 않음으로써 많은 RREQ를 발생한다. AODV가

발생시키는 RREQ의 개수가 DSR이 발생시키는 모든 Routing 패킷보다 많으므로 AODV에서는 Expanding Ring Search 알고리즘을 이용하여 불필요한 RREQ를 발생시키지 않는다면 성능향상에 많은 영향을 줄 수 있을 것이다.

그러나, Expanding Ring Search 알고리즘은 문제점이 있다. 작동중인 경로에서 링크가 깨지게 되면 전송중인 노드는 소스 노드에 루트 에러(RERR)메시지를 보낸다. 소스노드가 RERR을 받을 때까지, 경로가 깨졌다는 것을 모르기 때문에 Data 패킷을 계속 보낸다.

만약 UDP로 전송중이었다면 Data 패킷은 재전송되지 않고, 상실될 것이다. 잃어버린 Data 패킷은 경로의 길이가 길수록 증가한다. 이렇게 잃어버린 패킷의 수를 줄이기 위해 RERR을 발생시키는 대신 Local Repair을 하는 동안, 중간 노드는 목적지에 RREQ를 보냄으로써 링크를 연결하는 시도를 한다. TCP와 같이 양방향 통신에 유용한 방법으로는 목적지까지의 경로발견 대신 중간노드가 소스에서 목적지 노드에 Gratuitous RREP를 보내는 방법이 있다. 만약 단방향성 링크가 존재한다면 경로 발견은 에러를 발생한다.

RREP는 Unicast의 반대방향을 갈 수 없다. 노드가 다른 노드로부터 온 것일지라도 중복된 RREQ는 버리게 되기 때문에 다른 경로들을 무시한다.

따라서 RREP에 "Acknowledgement Required" 비트를 정해서 정해진 간격에 RREQ와 RREP에 누적시킨다. 새로운 경로가 자주 필요한 경우에 유용한 방법이 된다.

향상된 Broadcast기술은 전체적인 성능을 향상시킨다.

Ad-hoc 네트워크에서는 Broadcast가 다른 모든 노드들에게 도달할 수 있도록 노드들의 서브 집합을 구성한다. 권한있는 집합에 있는 노드들에 의해서만 중계하도록 제한함으로써 더 적은 Broadcast를 할 수 있게 한다. 링크 실패에 대한 견고함을 증가시키기 위해, 목적지마다 다음 홉을 저장할 수 있게 하여 현재 사용된 다음 홉에 대한 링크가 깨진다고 해도, 교체 경로는 이미 Routing 테이블을 통해 준비되게 한다.

AODV는 다중경로를 지원하기 위한 AODV의 확장 Protocol이다. 이것은 소스와 목적지 사이의 Link-Disjoint경로를 발견한다. RREQ는 소스 노드의 이웃 노드를 표시하여 기록한다. 각각의 Multicast 그룹은 그룹의 Sequence 번호를 초기화하고 유지하기 위한 그룹리더가 있다. 이 Sequence 번호는 Multicast Tree의 Routing 루프를 막아주고 Routing 정보를 새롭게 하는데 목적이 있다. Multicast AODV는 Unicast AODV와 같은 RREQ와 RREP발견 주기를 사용하고 Multicast Tree에 속한 노드만이 그룹에 속하려고 하는 노드에 RREP를 응답할 수 있다. MACT(Multicast Activation)은 소스 노드가 선택한 길을 통해서 보내어 진다.

다중 인터페이스는 AODV Protocol에서 잘 작동한다. 다중 인터페이스는 다른 전송매체를 지원할 수 있다.

일반적으로 Ad-hoc호스트 경로는 인터넷 계층의 경로 테이블에 들어갈 수 없다. 인터넷에 결합된 네트워크 인터페이스를 가진 노드들은 Ad-hoc 네트워크에서 인터넷 게이트웨이의 역할을 할 수가 있다. 각 인터넷 게이트웨이 노드들은 특성구성과 관리가 필요하다.

4. 결론

본 논문에서는 유비쿼터스 센서 네트워크로서 많은 관심을 얻고 있는 IEEE 802.15.4 PHY 계층과 MAC 계층에서의 동작에 대해 소개하였으며, ZigBee의 활동과 Protocol Stack에 대해 소개하였다. 특히 유비쿼터스 센서 네트워크에 사용되기 위해 필요한 Mesh 네트워크의 Routing 방식은 중요한 역할을 차지하게 될 것이므로 ZigBee

Network Layer이 사용하는 AODV알고리즘에 대해 소개하였다. 위에서 살펴본 바와 같이 무선 Ad-Hoc 환경에서 인터넷 전송 프로토콜을 설계하는 데에는 무선 노드간의 경쟁을 고려한 네트워크 용량을 고려하여 전송률을 조절하여야 하며, 현재 제시된 프로토콜들은 이에 대한 해답을 명확히 제시하고 있지 못하고 있음이 밝혀 졌으므로 향후 좀더 많은 연구가 이루어져야 할것이다.

참고문헌

- [1]전호인, 신용섭, “유비쿼터스 네트워킹 시대를 위한 차세대 네트워크 기반 기술 및 무선 홈 네트워킹 기술,” 한국통신학회지, 제 20 권, 제 5 호, pp. 156 - 173, 2003 년 5 월
- [2]김유정, “USN 서비스 현황 및 전망,” 정보과학회 2004 봄 학술발표회 워크샵 - IT 와 차세대 성장동력, pp. 297 - 319, 2004 년 4 월 23 일 - 24 일.
- [3]Home networking with Zigbee By Mikhail Galeev, Embedded Systems Programming, 2004.4.20
- [4]ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works by Patrick Kinney, Kinney Consulting LLC 2003.10.2
- [5]ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works by Patrick Kinney, Kinney Consulting LLC
- [6]Zigbee: "Wireless Control That Simply Works" by William C., ZMD America, Inc.
- [7]Network Layer Technical Overview, ZigBee Alliance
- [8][TTA 저널] ZigBee 표준기동향 by 원광호, 김재호, 유준재, 전자부품연구원 유비쿼터스컴퓨팅 연구센터 2004.8.
- [9]IEEE 802.15.4-2003 IEEE Standard for Information Technology-Part 15.4: Wireless Medium Access Control and Physical Layer Specification for Low Rate Wireless Personal Area Networks, 2003.
- [10]박성수, 한석봉, “무선 PAN 기술 동향,” 한국통신학회지, 제 19 권 5 호, 2002 년, pp.45-53.
- [11]IEEE 802.15 Working Group for WPAN Web site, <http://grouper.ieee.org/groups/802/15/index.html>.
- [12]Roke Manor Research, “Short Range Wireless,” <http://www.roke.co.uk/>.
- [13]D. G. Leeper, “A Long-Term View of Short-Range Wireless,” IEEE Computer Magazine, Vol.34, No.6, June 2001, pp.39-44.
- [14]P. Johansson et al., “Bluetooth: An Enabler for Personal Area Networking,” IEEE Network Magazine, No.5, Sep./Oct. 2001, pp.28-37.
- [15]Ed Callaway et al., “Home networking with IEEE 802.15.4: A Developing Standard for Low-Rate Wireless Personal Area Networks,” IEEE Communications Magazine, Vol.40, No.8, Aug. 2002, pp.70-77.
- [16]ITU-T Recommendation Z.100: Specification & Description Language.