

무선 센서네트워크에서 이동성을 지원하는 Tree기반의 Self-Routing 기법

김영덕⁰¹, 양연모², 강원석¹, 김진욱¹, 안진웅¹
 대구경북과학기술연구원¹, 금오공과대학교 전자공학과²
 ydkim@dgist.ac.kr, yangym@kumoh.ac.kr, {wskang, jwkim, robot}@dgist.ac.kr

A Tree based Self-Routing Scheme for Mobility Support in Wireless Sensor Networks

Young-Duk Kim⁰¹, Yeon-Mo Yang², Won-Seok Kang¹, Jin-Wook Kim¹, Won-Seok Kang¹
 Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology¹
 Dept. of Electronics Engineering Kumoh National Institute of Technology²

Abstract - 최근 유비쿼터스 기술이 급속도로 발전함에 따라 많은 application들이 다양한 환경에서 통신서비스를 요구하고 있다. 이를 지원하기 위하여 많은 무선 센서 네트워크 기술들이 제안되었지만, 제한된 대역폭과 높은 에러율로 인하여 이동성을 지원하기에는 부족하였다. 특히, 경로를 획득하기 위한 Route Request (RREQ)의 잦은 브로드캐스트 과정은 오히려 혼잡 및 에너지 소모를 야기시키며 네트워크 성능을 저하시키는 문제점이 있다. 본 논문에서는 언제, 어디서나 다양한 토폴로지 환경에서 자가 구성이 가능하며, 이동성을 지원하는 Tree기반의 Self-Routing 기법을 제안한다. 기존의 센서 네트워크내 멀티홉 라우팅 프로토콜과는 달리, 라우터 혹은 싱크노드의 비컨 프레임내 Association정보만을 이용하여 새로운 라우팅 테이블을 형성함으로써 컨트롤 패킷의 오버헤드를 크게 줄일 수 있다. 성능평가를 위하여 실제 모바일 로봇을 이용한 실험과 시뮬레이션을 동시에 하였으며, 기존의 기법보다 향상된 성능을 가짐을 보인다.

1. 서 론

최근 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network) [1] 와 모바일 로봇(Mobile Robot) 기술은 유비쿼터스 네트워크를 구현하기 위해 가장 주목받고 있는 기술들이다. 무선 센서 네트워크는 군사, 의료, 교육, 그리고 산업용 등 다양한 응용에서 사용될 수 있으며, 로봇 기술 역시, 관련 산업과 연계하여 수많은 어플리케이션에 적용될 수 있다. 그러나 무선 센서 네트워크 가장 큰 문제점들은 유선망에 비하여 제한된 대역폭과 무선 채널의 간섭에 의한 패킷의 충돌, 그리고 적은 배터리 용량 등이 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 [2], [3], [4]에서 BOP(Beacon Only Period) 및 LAA>Last Address Assignment) 등의 기법이 제안되었다. 그러나 이들은 무선 노드의 이동성과 관련한 경로 회복 방법을 제시하지 못하고 있다. 또한 실제 모바일 로봇에 적용한 실험이나 구현은 아직 없는 현실이다. 따라서, 본 논문에서는 완전한 이동성을 지원하는 로봇의 구현과 로봇과 통신하는 무선 센서 네트워크를 설계하고 구현한다. 특히 모바일 로봇의 핸드오버시 오버헤드와 지연을 줄이고자 트리 기반의 self-routing을 제시한다. 네트워크내 모든 센서 노드와 싱크노드는 NesC에 기반한 TinyOS [5] 시스템으로 구현되었으며, 로봇을 포함한 모든 센서노드들로부터 수집된 센싱 데이터를 모니터링하기 위한 서버도 구현하였다.

이어지는 논문의 순서는 다음과 같다. 먼저 2장에서는 구현을 위한 TinyOS의 구조를 살펴보고, MAC계층의 프로토콜인 IEEE 802.15.4와 향상된 버전인 비컨방식의 프로토콜을 복습한다. 3장에서는 이동성을 지원하기 위한 제안된 트리방식의 라우팅기법에 대한 상세한 설명을 다룬다. 4장에서 성능평가를 위한 실제 테스트베드환경과 시뮬레이션 결과를 살펴보고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

2.1 IEEE 802.15.4 및 비컨 기반의 MAC 프로토콜

IEEE 802.15.4 [6]는 무선 PAN (Personal Area Networks)에서 센서 노드들간에 무선 통신을 지원하기 위해 제안된 대표적인 MAC계층의 프로토콜이다. IEEE 802.15.4의 기본 모드에서는 주로 star형 네트워크 토폴로지를 구성하게 되며 전체 노드들 사이의 통신을 제어하기 위하여 네트워크의 중심에 coordinator가 존재하게 된다. 이 coordinator는 주기적인 비컨 프레임을 전송함으로써 신호를 제어하고, 노드들의 데이터 전송을 돕는다. 그러나 이러한 통신 방식은 하나의 홉에서만 지원을 할 수 있으며, 멀티홉 환경에서는 통신 방법을 정의하지 않는다. 만약, IEEE 802.15.4를 가공 없이 멀티홉에 그대로 적용할 경우에는 이웃 비컨 프레임간의 충돌과 라우팅 경로를 여러를 비롯한 여러 가지 성능 저하가 불가피하다.

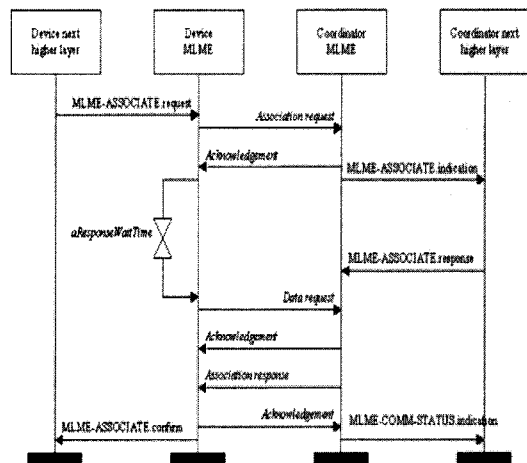
이러한 IEEE 802.15.4의 문제점을 해결하고자 [2] [3] [4] 등이 BOP, LAA를 제안하였지만 모바일 로봇과의 이동성 지원이 불가능하며, TinyOS와 같은 안정된 운영체제 지원도 어렵다는 단점이 있다. 더욱이 모바일 노드의 이동성뿐만 아니라, 경로 실패에 따른 경로 복구 과정에 대한 오버헤드가 크기 때문에 끊임없는 데이터 통신을 요구하는 응용 서비스에는 적합하지 않다는 문제점이 있다.

3. 제안된 기법

3.1 Association Process

일반적으로 하나의 단말 노드가 PAN 통신에 참여하기 위해서는 association 과정을 거치는 것이 필수적이다. 이를 위해서 본 논문에서는 3 가지 계층구조를 갖는 노드의 타입들을 정의하였다. 각각은 WC (Wireless Coordinator), WR (Wireless Router), 그리고 WED (Wireless End Device)가 그들이다. 먼저 WC는 논리적으로 네트워크의 중앙에 위치하면서 게이트웨이 및 싱크 노드의 역할을 하며, 주기적으로 비컨 프레임을 전송함으로써 이웃 노드들과 동기화를 이룬다. 또한 각 노드들로부터 데이터를 전송받아 서버로 포워딩하는 역할을 수행한다.

네트워크내에서 각 노드들이 비컨의 동기를 이루기 위해서는 WC와 WR이 주기적으로 자신의 동기 신호를 비컨에 실어서 전송해야 한다. 먼저, 네트워크를 최초로 구성할 때, WR이 주변의 어떠한 비컨도 듣지 않을 경우, 자신이 WC가 된다. 그 후, 이 WC는 비컨의 주기, ID, 그리고 이웃 노드들의 비컨 정보를 자신의 비컨 프레임에 담아서 전송을 시작한다. 만약, 다른 WR 혹은 WED 노드들이 네트워크에 참여하고자 SCAN_request() 메시지를 통하여 채널을 스캔하면, association 과정이 시작된다. 이 경우, WR은 또 다른 WR과 association을 맺을 수 있으며, 자신의 BOP 길이에 내어놓는 어떠한 slot을 할당해야 하는지를 이웃노드 혹은 부모의 BTSL (Beacon Transmission Time Slot Length) 정보를 통하여 알게 된다. 채널의 사용은 11번에서 26번 사이 중에서 LQI (Link Quality Identification) 값이 가장 좋은 것을 선택하도록 한다. 그림1은 Tree형태의 계층 구조를 형성하기 위한 Association 과정을 도시한 것이다.



<그림 1> Association 과정

3.2 Tree 기반의 Self-Routing기법

기존의 Ad hoc 네트워크에서의 대표적인 라우팅 프로토콜인 AODV [7] 혹은 DSR [8]은 경로를 찾기 위한 컨트롤 패킷으로써 RREQ를 브로드캐스트하며, RREP를 수신한다. 비록 예측할 수 없는 ad hoc 토폴로지 환경에서 이러한 Flooding 기법은 최적의 경로를 찾는 데 효율적인 방법이지만, 무선 센서 네트워크와 같은 자원이 제한적이고, 대역폭과 배터리 용량이 매우 적은 환경에서는 성능을 크게 떨어뜨린다. 더욱이 duty cycle이 증가하여 트래픽양이 증가할수록 이러한 오버헤드는 성능에 큰 악영향을 미치며, 전체 네트워크의 통신을 단절시키는 결과를 초래할 수도 있다. 따라서 우리는 이러한 경로설정 오버헤드를 줄이기 위하여, MAC 계층에서 부모와 자식사

이의 association 정보를 이용하여 상위 계층의 컨트롤 패킷의 도움 없이 빠르게 self-routing 기법을 제안한다.

어떤 한 노드가 네트워크에 참여하고자 할 때, 해당 노드는 WC로부터 LAA 혹은 유사한 주소 할당 알고리즘에 의하여 동적으로 자신의 주소를 할당받을 수 있다. 그 후, association 과정을 마치면, 부모 노드는 자식 노드의 주소를 획득하게 되며, 자식 노드 역시 부모 노드의 주소를 비컨 프레임 을 통하여 인지하게 된다. 이러한 계층적인 관계의 주소 목록은 표 1과 같이 간소화된 라우팅 테이블 형태로 노드에 저장되어 진다.

저장된 테이블을 기반으로 노드가 상위 계층에서 패킷을 전달 받으면, 해당 노드는 추가적인 RREQ의 flooding 과정을 수행하지 않고, 즉시 부모 노드로 전송할 수 있다. 결과적으로 소스 노드와 릴레이 노드는 빠른 데이터 전송을 보장할 수 있으며, 오버헤드를 크게 줄이게 된다. 또한 각 노드들은 기존의 전체 토폴로지에 대한 라우팅 정보를 저장할 필요가 없으므로 메모리 자원을 절약할 수 있으며, 간략화된 테이블 정보를 이용하여 자신만의 self-routing을 이룰 수 있다.

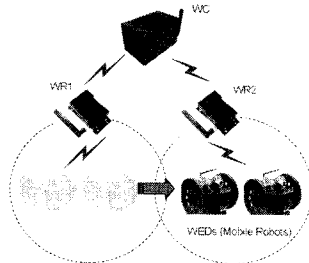
〈표 1〉 간소화된 라우팅 테이블

Parent address		Child address	
Short address (16 bit)	Long address (64 bit)	Short address (16 bit)	Long address (64 bit)
7	0x00000000 00000007	8	0x00000000 00000008

4. 성능 평가

4.1 핸드오버 성능 평가

핸드오버 실험을 위하여 그림3과 같이 시나리오를 구성하고 2대의 로봇을 이용하여 성능을 측정하였다. 표 2는 각각의 반복된 핸드오버 실험에 대한 성능측정 결과를 나타낸다. 실험 결과에서 알 수 있듯이, 핸드오버 지연은 대체로 2.5초 이내에 이루어졌으며, 이는 무선 센서네트워크에서 원활한 데이터 통신을 지원함을 의미한다.



〈그림 3〉 실험 시나리오

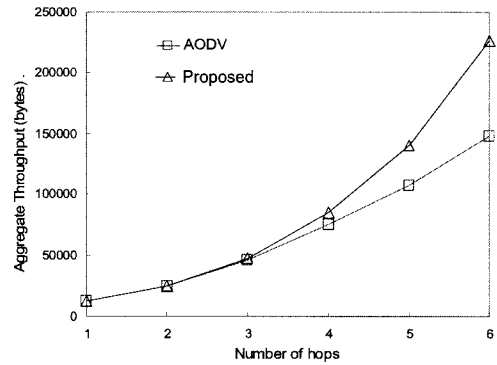
〈표 2〉 핸드오버 성능

Trials	핸드오버 시작시간 (min:sec.ms)	핸드오버 종료시간 (min:sec.ms)	핸드오버 지연시간 (ms)
1	10:48:083	10:50:174	2,091
2	10:48:092	10:50:275	2,183
3	12:36:048	12:38:168	2,120
4	12:36:125	12:38:253	2,128
5	15:23:116	15:25:518	2,402
6	15:23:426	15:25:688	2,262

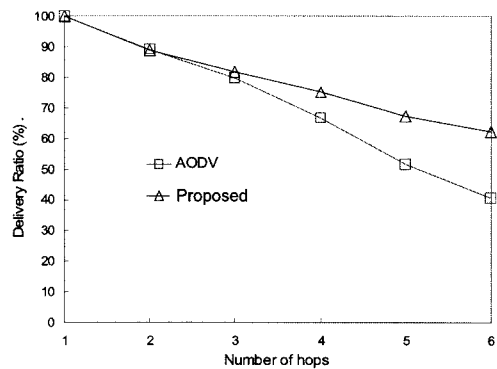
4.2 시뮬레이션 결과

제안된 프로토콜의 성능을 평가하기 위하여 추가적으로 TinyOS상의 TOSSIM 시뮬레이터 [9]를 사용하였다. 비교된 알고리즘은 기존의 AODV 프로토콜과 본 논문에서 제안된 기법을 사용하였으며, 각 소스 노드로부터의 홉 거리에 따른 Throughput과 Delivery Ratio 성능을 비교 분석하였다. Duty cycle은 50%를 유지하였으며, 총 시뮬레이션 시간은 1,000초로 설정하였다. 그림 2는 시뮬레이션 시간 동안에 얻어진 총 Throughput을 측정한 결과이다. 그래프의 결과와 같이 홉 거리가 증가할수록 제안된 알고리즘이 더 우수한 성능을 가짐을 알 수 있다. 이는, 제안된 기법에서의 중간 노드는 AODV와 달리 RREQ 및 RREP의 flooding 비용을 크게 줄일 수 있기 때문이다. 따라서 무선 채널을 획득하여 데이터를 전송하는 기회도 그만큼 늘어지게 되고 성능이 향상의 결과를 얻을 수 있다. 그림 3은 마찬가지로 홉 거리에 대하여 Delivery Ratio를 측정한 결과이다. 이때의 Delivery Ratios는 전체 전송한 패킷에서 성공적으로 목적 노드에 도달한 패킷의 비율을 나타낸다. 그림 3의 결과에서도 홉 거리가 증가할수록 제안된 기법이 기존의 AODV보다 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 일반적으로 AODV는 최적의 경로를 설정하기 위하여 RREQ를 브로드캐스트 해야 하는데, 트래픽양과 홉 거리가 증가할수록 이러한 컨트롤 패킷이 비컨 프레임 혹은 데이터 패킷과의 충돌이 잦아지게 된다. 따라서 충돌 횟수와 비례하여 Delivery Ratio도 떨어지게 되며, 전체적인 네트워크 성능이 정하됨을 알

수 있다. 반면에 제안된 기법은 이러한 문제점을 회피할 수 있으므로 복잡한 토폴로지 환경에서 더욱 우수한 성능을 보이게 된다.



〈그림 2〉 Average Throughput



〈그림 3〉 Packet Delivery Ratio

5. 결론

본 논문에서는 TinyOS를 기반으로 하며 비컨 기반의 무선 센서 네트워크를 지원하는 Tree 토폴로지 기반의 self-routing 알고리즘을 제안하였다. 기존의 기법들과는 달리, 이동성을 지원하고 완전한 핸드오버를 수행하는 방안으로써, 부모 노드와 자식 노드사이의 Association 정보를 기반으로 간소화된 라우팅을 한다. 따라서 컨트롤 패킷의 오버헤드를 크게 줄일 수 있으며, 보다 빠른 데이터 전송을 이룰 수 있다. 성능 평가를 통하여, 제안된 기법이 핸드오버 과정을 안전하게 수행함을 보였으며, 시뮬레이션을 통하여 기존의 AODV 알고리즘보다 Throughput 및 Delivery Ratio 측면에서 우수한 성능을 보임을 증명하였다. 이는 향후 센서네트워크상에서 실시간 통신을 요구하는 각종 응용에도 적합하며, 복잡한 토폴로지환경에서도 원활한 통신을 지원할 수 있다.

6. Acknowledgement

본 논문은 교육과학기술부 및 대구경북과학기술연구원 기관고유사업의 지원으로 수행되었음

〈참고 문헌〉

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su., Y. Sankarasubramanian and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey", Computer Networks Vol.38, March 2002
- [2] Ho-In Jeon and Y.S. Kim, "BOP and beacon scheduling for MEU devices", ICACT 2007, Feb. 2007
- [3] Ho-In Jeon and Y.S. Kim, "Efficient, Real-Time Short Address Allocations for USN Devices using LAA Algorithm", ICACT 2007, Feb. 2007.
- [4] ISO/IEC JTC1/SC25, "WiBEEEM for Wireless Home Network Services - part 1, 2, 3", ISO standard, March, 2008
- [5] D. Gay, P. Levis, and D. Culler, "Software Design Patterns for TinyOS", LCTES, June. 2005
- [6] Draft IEEE Std. 802.15.4, Part 15.4, "Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)", September 2006.
- [7] RFC 3561, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing Protocol"
- [8] RFC 4728, "The Dynamic Source Routing Protocol (DSR)"
- [9] Philip Levis, Nelson Lee, Matt Welsh, and David Culler, "TOSSIM: Accurate and Scalable Simulation of Entire TinyOS Applications", sensys'03, 2003