

IEEE 802.15.4 기반 저전력 멀티-홉 메쉬 센서 네트워크 프로토콜

고원식*, 강정훈*, 엄홍식*, 이민구*, 임호정*, 윤명현*, 장영민**

전자부품연구원* 국민대학교**

gardin.kang@keti.re.kr* yjang@kookmin.ac.kr**

IEEE 802.15.4 Low-power Multi-hop Mesh Sensor Network Protocol

Won Sik Ko* Jung Hoon Kang* Heung Sik Eom* Min Goo Lee* Ho Jung Lim* Myung Hyun Yoon*

Yeong Min Jang**

KETI* Kookmin university**

요 약

센서 네트워크는 유비쿼터스 컴퓨팅에서 핵심기술로 떠오르고 있다. 센서 노드는 제한된 에너지를 가지는 배터리로 동작하므로 센서 네트워크 프로토콜에서 전력 소모는 가장 중요한 설계 이슈이다. 본 논문에서는 수식이나 시뮬레이션 연구에서 벗어나 TinyOS의 Delta 어플리케이션을 이용하여 개발 환경을 구축하고 실제 소모되는 전력량과 패킷 수신 성공률을 측정하였다. IEEE 802.15.4 기반의 동기 저전력 센서 네트워크 프로토콜을 사용하였고 각각의 센서 노드는 약 200uA의 적은 전력을 사용하여 통신을 하였으며 90% 이상의 좋은 수신 성공률을 보여주었다.

1. 서 론

센서 네트워크는 유비쿼터스 컴퓨팅에서 핵심 기술로 떠오르고 있으며 많은 분야에서 응용되어 지고 있다. 특히 산업적으로 센서 네트워크는 군사, 경제, 생활, 환경 모니터링 및 보전, 제조, 자산 관리, 교통 자동화, 건강/의료관련 산업 등의 다양한 분야에서 관심을 받고 있으며 이는 여러 영역에서 상용화 영역으로 이전을 준비하고 있음을 의미한다. 센서 네트워킹 기술의 응용 분야가 광범위한 만큼 모든 응용을 만족시키도록 많은 연구가 필요하다. 따라서 센서 네트워크의 프로토콜을 설계할 시에는 다음과 같은 사항들을 고려하여야 한다. 센서 노드는 제한된 에너지를 가지는 배터리로 동작되며, 센서 네트워크 응용이 수개월에서 수년 동안 지속되어야 하므로, 초저전력 설계가 가장 중요하다. 센서 노드들의 가격을 낮추기 위해 무선 송수신기를 비롯한 네트워크 프로토콜 스택이 저가격으로 구현되어야 하며 일정한 지역에 배치되는 노드들의 밀도가 높기 때문에 범용성(scalability)을 고려하여 설계되어야 한다. 또한 배터리 방전이나 물리적인 손상, 그리고 외부 환경 요인에 의해 정상적인 작동을 못할 수 있는 경우가 있으므로, 이들을 고려한 고장 감내 기능들이 프로토콜에 구현이 되어 노드의 고장이 전체 네트워크 응용에 미치는 영향을 최소화 하여야 한다[1][2].

2. 관련연구동향

센서 네트워크의 프로토콜 기술은 응용의 특성상 저가격의 저전력 무선 통신 기술, 저전력 라우팅 기술, 그리고 이중 센서 네트워크 및 인

터넷과 같은 상위 네트워크와의 상호 운용성 등을 필요로 한다. 물리 계층은 간단하면서도 강력한 변조, 저전력 송신 및 수신 트랜시버 기술 등을 목표로 연구되고 있고, 다양한 환경에서 이동성을 가지고 동작하는 센서 노드의 특성 때문에 데이터 링크 계층 기능인 매체 액세스 기술(MAC)도 저전력 소모를 우선시하고, 충돌을 최소화하는 방안으로 연구되고 있다. 또한, 네트워크 계층은 최소 에너지 소모를 보장하는 라우팅 기법, 데이터 기반의 주소 기법을 활용한 데이터 기반 라우팅 기법, 그리고 센서 노드의 위치를 기반으로 하여 전력소모를 최소화 시켜주는 위치 기반 라우팅 기법 등이 많이 연구되고 있다[2].

3. 연구 개발

3.1 네트워크 구성

연구에 사용된 멀티홉 메쉬 네트워크는 센서 노드에서 측정된 센싱 데이터를 자신의 Parent node에 전달함으로써 Base node가 센싱 된 데이터를 수집, UART를 통해 PC로 전송하는 동작을 한다.

각 노드는 자신의 parent node에 대한 정보를 얻기 위해 Minimum Cost Forwarding Algorithm을 사용한다. Minimum Cost Forwarding Algorithm은 센서가 자신 주변의 노드와의 각 link의 LQI정보가 포함되어 있는 메시지(Beacon Msg) 교환을 통해 가장 최적화된 link를 기반으로 parent node를 찾는 알고리즘이다. 데이터 센싱 부분은 Delta.nc 파일에 구현되어 있으며 DeltaM의 대략적인 동작은 그림 2와 같다.

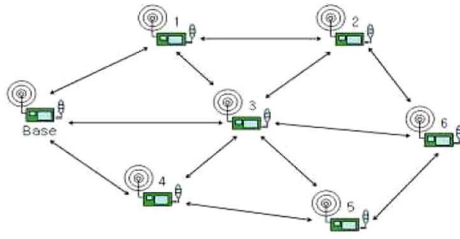


그림 1 Communication considering Minimum Cost

일정 시간을 주기로 timer가 완료되면 센싱 데이터를 수집하여 전송 함수(sendData)를 queue에 저장하게 된다. 노드가 power on되면 StdControl.Init() 함수가 실행되면서 initialize 함수가 실행된다. initialize 함수는 Delta application 구동에 필요한 변수를 초기화 한다. 그 후 start 함수가 호출되면서 RFpower와 randomtimer만큼의 timer를 ONE_SHOT으로 설정한다. 처음 Timer를 randomtimer의 기간동안 ONE_SHOT으로 설정하는 이유는 여러 개의 노드가 데이터 전송하는 시점을 다르게 하여 충돌을 피하고자 함이다. ONE_SHOT으로 설정된 timer가 완료가 되면 ONE_SHOT의 형태가 아닌 TIMER_REPEAT 형태로 timer를 설정하게 된다. TIMER_REPEAT로 설정된 timer가 완료 될 때마다 ADC.getData 함수를 실행한다.

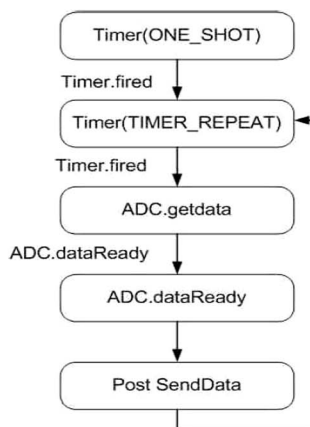


그림 2 DeltaM의 함수흐름도

ADC.getData 함수가 실행되어 ADC data가 생성 되었으면 ADC.dataReady event가 발생하여 데이터 전송 함수 SendData를 queue에 post하게 된다. Queue에 post된 SendData()는 스케줄러에 의해 순서대로 실행되게 된다. SendData()에서는 SurgeMsg 형태의 버퍼에 필드를 채우고 전송한다.

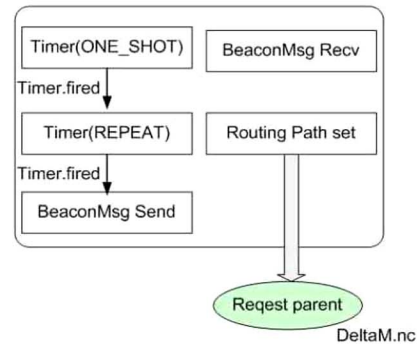


그림 3 MultiHopLQI 블록도

MultiHopLQI.nc 파일은 AM_BEACONMSG 관련 메시지 송·수신을 담당하며, Minimum cost forwarding algorithm은 이 파일에 구현되어 있으면 route path를 설정하고 네트워크를 구성하는 부분이다. 그림 3은 MultiHopLQI 블록도를 나타낸다.

3.2 저전력 USN 프로토콜

그림 4는 비동기 저전력 USN 프로토콜로서 주기적인 Sampling으로 비전송 구간에서의 전력 소모를 최소화하였다. 주기적인 센서 데이터를 외부 메모리 저장하고 요청 시에 전송하는데 100uA 이하의 전력이 소모된다.

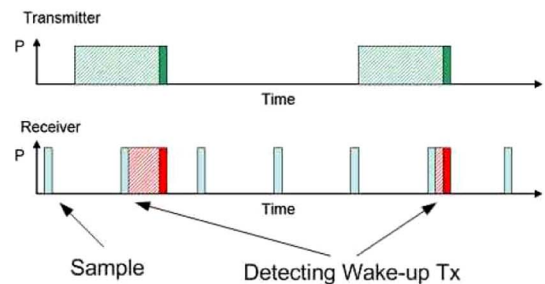


그림 4 비동기 저전력 USN 프로토콜

그림 5는 동기 저전력 USN 프로토콜로서 멀티 홉 네트워크에서 Time Sync를 유지하여, Active/Sleep 스케줄링을 한다. 32kHz로 동작하는 자신의 타이머를 이용하여 타임스탬프를 얻고 자신의 타임 정보를 브로드캐스팅한다. 타임 정보를 담고 있는 Sync 메시지를 받은 노드들은 자신의 타임 정보와 수신된 타임 정보를 비교하여 업데이트 한다.

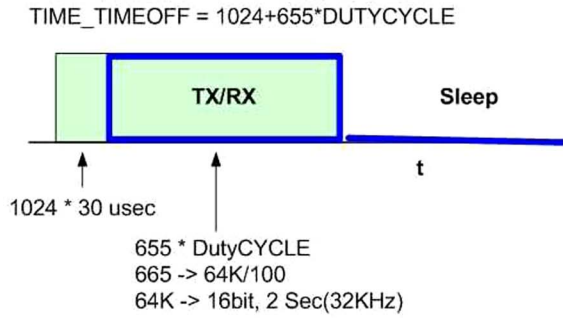


그림 5 동기 저전력 USN 프로토콜

이 프로토콜은 상시 모니터링 시스템에 적합하고 5% Duty Cycling으로 매 5분마다 150uA로 전송하였을 경우 약 660일 동안 지속 되었다. 본 논문에서는 동기 저전력 USN 프로토콜을 사용하였다.

4. Testbed 결과

TinyOS의 Delta 어플리케이션을 이용하여 테스트하였으며 분석은 sf2 프로그램을 수정하여 실험하였다. 테스트베드 환경은 아래의 표 1과 같이 구축하였다.

표 1 Testbed environment

Application	TinyOS Delta
Sensor Node	Telosb Kmote
Number of Nodes	26
Data Message	300 sec
Routing Message	13 sec ~ 300 sec
Sync Message	2 sec
Period	2 sec
Duty Cycle	5%
Test Time	2 H~12 H
Power	0x03 ~ 0x1F

- Delta Message : 센싱 데이터 전송 메시지
- Routing Message : Minimum Cost를 계산하여 라우팅 패스를 결정하기 위한 메시지
- Sync Message : 타임 동기화를 위한 메시지(자신의 시간 정보를 브로드캐스팅)
- Period : 2초 간격으로 Active / Sleep을 반복하도록 설정
- Duty Cycle : 2초중에 5%인 0.1초만 동작하도록 설정

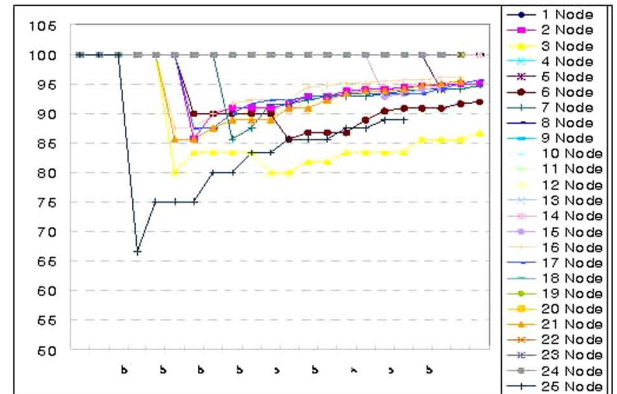


그림 6 Date packet per 300 sec, Route packet per 100 sec (test time : 60 min) Low Power, SP

Telosb 용 Kmote 26개에 Delta 어플리케이션을 올리고 데이터 메시지는 5분마다 그리고 라우팅 메시지를 변경하며 테스트하였고 송신 파워를 달리하여 실험하였다. 그림 6은 라우팅 메시지를 100초마다 보내고 1 시간동안 lowpower sensornet protocol을 측정하였다. 모든 노드의 패킷 수신 성공률이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

그림 7은 라우팅 메시지를 200초마다 보내고 1 시간동안 lowpower sensornet protocol을 측정하였다. 그리고 그림 8은 데이터 메시지와 라우팅 메시지의 충돌을 최소화하기 위해 라우팅 메시지를 233초마다 보내고 12시간동안 lowpower sensornet protocol을 측정하였다.

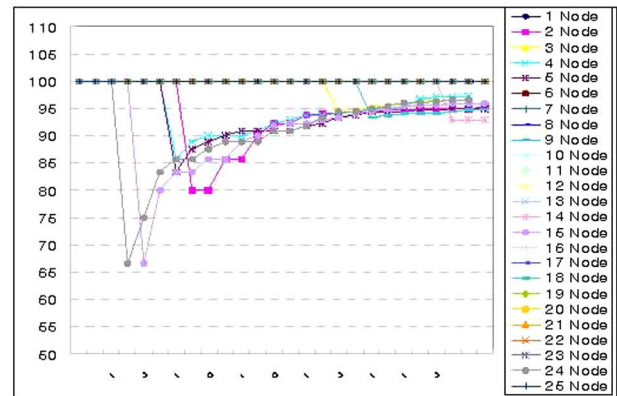


그림 7 Date packet per 300 sec, Route packet per 200 sec (test time : 60 min) Low Power, SP

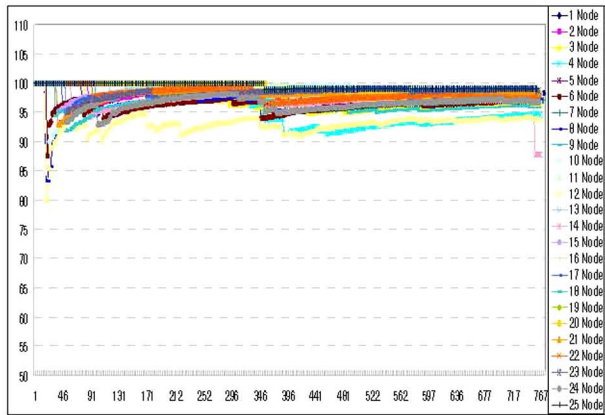


그림 8 Date packet per 300 sec, Route packet per 233 sec (test time : 12 hours) Low Power, SP

그림 9와 그림 10은 라우팅 메시지를 13초부터 300초까지 2배씩 증가하면서 송신을 하였고 송신 세기를 각각 3과 31로 다르게 하여 테스트하였다. 그림에서 보듯이 송신 세기가 작은 경우에 패킷 수신 성공률이 확연히 떨어지는 것을 확인하였는데 송신 세기와 배터리 수명의 tradeoff를 잘 고려하여 네트워크 프로토콜을 설계하여야겠다.

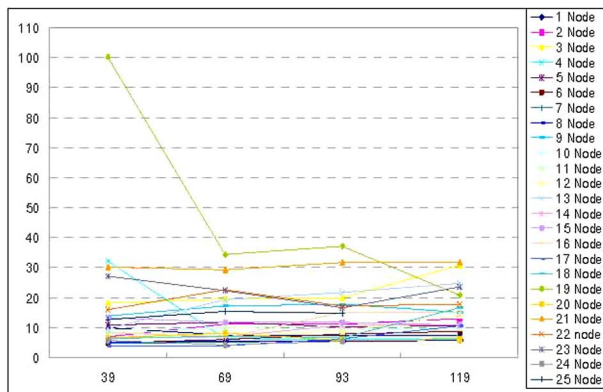


그림 9 Date packet per 300sec, Route packet per 13~300sec (test time : 2 Hours) Power : 0x03, Low-power , SP

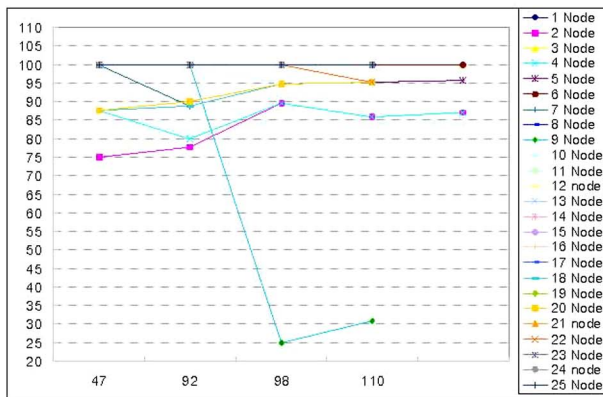


그림 10 Date packet per 300sec, Route packet per 13~300sec (test time : 2 Hours) Power : 0x1F, Low-power , SP

5. 결론

현재의 디지털 컨버전스, 디지털 홈으로의 발전 추세 및 새로운 IT 성장 동력원으로서 센서 네트워크 산업의 성공적인 구축이 중요하게 나타나고 있다. 센서 네트워킹 기술의 응용 분야가 광범위한 만큼 모든 응용을 만족시키도록 많은 연구가 필요하다. 특히 센서 노드는 제한된 에너지를 가지는 배터리로 동작하므로 센서 네트워크 프로토콜에서 전력 소모는 가장 중요한 설계 이슈이다. 본 논문에서는 수식이나 시뮬레이션 연구에서 벗어나 TinyOS의 Delta 어플리케이션을 이용하여 개발 환경을 구축하고 실제 소모되는 전력량과 패킷 수신 성공률을 측정하였다. IEEE 802.15.4 기반의 동기 저전력 센서 네트워크 프로토콜을 사용하였고 각각의 센서 노드는 약 200uA의 적은 전력을 사용하여 통신을 하였으며 90% 이상의 좋은 수신 성공률을 보여주었다.

앞으로 센서 네트워크에서 발생할 수 있는 다양한 환경에 대해 적용해 보고, 초반에 패킷 수신 성공률을 높일 수 있는 방법에 대하여 계속 연구할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] 전재성, 이병호 "Sensor Network에서 환경변화에 따른 저전력 알고리즘 연구," KARUS CONTEST, 2005
- [2] 김대영 외 4명 "센서 네트워크 저전력 네트워크 프로토콜 기술," 인터넷정보학회지 제5권 제4호 pp87-98
- [3] System Software Techniques for Low-Power Operation in WSN, Prabal K.Dutta, ICCAD, 2005
- [4] Smart Sensors to Network the World, David E.Culler, Scientific American, 2004.
- [5] <http://tinysos.net>