

에너지 수확 기법에 기반 한 초저전력 센서 네트워크 시스템의 설계

김윤호, 성영락, 오하령, 박준석
국민대학교 전자공학과
e-mail:unonet@nate.com

Design of an Ultra-Low Power Sensor Network System based on Energy Harvesting Technique

Yun Ho Kim, Yeong Rak Seong, Ha Ryoung Oh, Jun Seok Park
School of Electrical Engineering, Kookmin University, Seoul, South Korea
136-702

요 약

센서네트워크 시스템에서 배터리 대신 에너지 수확기법을 이용할 경우 획득할 수 있는 에너지는 제한적이기 때문에 기존의 방식에는 한계가 따른다. 본 논문에서는 이를 극복하기 위한 방안을 제시하고 이를 이용한 에너지 수확 기법에 기반 한 초저전력 센서네트워크 시스템을 구현하여 그 성능을 평가해 보았다.

1. 서론

센서 네트워크(sensor network)는 물리공간의 상태인 빛, 소리, 온도, 움직임 같은 물리적 데이터를 센서노드에서 감지하고 측정하여 중앙의 싱크노드(base-station or sink)로 전달하는, 센서 노드들로 구성되는 네트워크이다 [1]. 센서 네트워크에서는 하나의 네트워크로 연결되어 있는 수많은 센서 노드들이 필드(Field)의 지리적, 환경적 변화를 감지하여 베이스 스테이션으로 그 정보를 전달한 후 센서 네트워크 서버를 통해 사용자에게 전달되는 방식으로 정보 수집이 이루어진다. 그리고 센서 네트워크를 통해서 사물이 인간과 같은 다른 사물을 인식하고 주변 환경을 감지하게 하여, 네트워크를 통해서 언제, 어느 곳에서든 정보를 확인하고 활용할 수 있게 한다. 이런 방식은 생산, 유통, 물류 같은 경제 활동, 의료 서비스, 복지 서비스, 환경 감시 시스템 등에 적용되어 인류의 삶을 더욱 윤택하게 만들어 주는 기술로 각광받고 있다.

일반적인 센서노드는 배터리를 이용해서 동작하게 되는데, 배터리의 수명은 제한적이기 때문에 배터리의 수명이 센서노드의 수명을 결정짓는 요인이었다. 그러나 최근에 각광받는 기술인 에너지 수확(Energy Harvesters)기법을 이용한 기술이 배터리를 대체하면서 센서 노드를 반영구적으로 사용하는 것이 가능하게 되었다.

에너지 수확 기법이란 사람이나 동물의 생체 에너지나 운동 에너지 등과 주변 환경에 산재해 있는 빛, 열, 진동 등과 같은 자연 에너지 등으로부터 다양한 시스템을 구동시킬 전력을 얻을 수 있는 신재생 에너지 기술로 외부의 에너지원이 존재하는 한 반영구적으로 에너지를 획득할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 현재의 에너지 수확 기법

으로 획득 가능한 에너지는 수 μW 에서 수 mW 로 한정적이기 때문에 센서노드의 동작에 제약이 있을 수밖에 없다. 일반적인 USN 시스템에서는 에너지가 데이터의 전송 시스템에 의해 빨리 소모되는 단점이 있기 때문이다 [2].

본 논문은 에너지 수확기법을 사용하는 센서네트워크 시스템에서 에너지 한계를 극복하기 위한 방안을 제시하고 이를 기반으로 한 초저전력 센서 네트워크 시스템의 구현 가능성을 평가해본다.

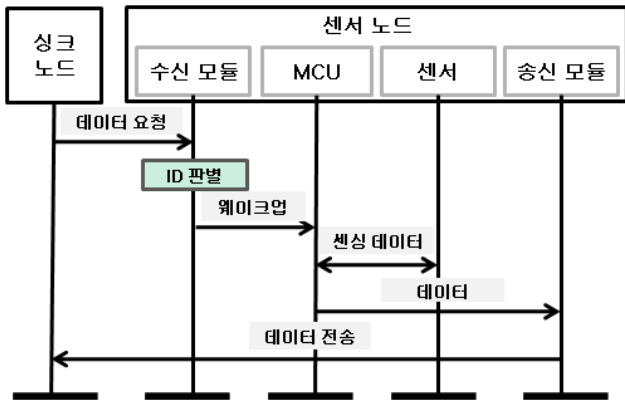
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 에너지 수확기법을 사용하는 일반적인 센서네트워크 시스템에 대해서 알아보고, 3장에서는 시스템의 요구사항을 알아본 뒤 4장에서 시스템의 요구사항을 충족시키기 위한 방안을 제시한다. 그리고 5장에서는 제안된 방안을 적용한 에너지 수확 센서 네트워크 시스템을 구현가능성을 평가해보고, 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

2. 에너지 수확 센서 네트워크 시스템

주변의 환경에너지나 태양, 바람과 같은 자연에너지 등을 수거하여 사용하는 에너지 수확 기법을 사용하는 기술은 “소비되거나 미활용되는 에너지를 수확(harvesting) 또는 폐이용(scavenge)하여 에너지를 재생산하는 것”으로서, 얻을 수 있는 전력 수준은 대략 $\mu\text{W} \sim \text{mW}$ 급 정도이다 [3]. 때문에 에너지 수확 기법을 사용하는 센서네트워크 시스템에서는 기존의 배터리를 사용하는 센서네트워크 시스템에 비해서 획득할 수 있는 에너지가 제한적일 수밖에 없고, 적은 전력으로 동작해야하는 한계점이 나타날 수밖에 없다. 본 논문에서는 이와 같은 제약을 가지고 있는 시스템을 에너지 수확 센서 네트워크 시스템이라 칭한다. 그리

고 싱크노드 보다는 센서노드에서의 에너지 제약에 따른 문제점을 해결하기 위한 방안에 대해 중점적으로 다루기로 한다. 싱크노드의 경우 일반적으로 유선으로 PC에 연결 되어 에너지를 공급받기 수월하지만, 센서노드의 경우는 싱크노드의 주변에 무작위로 살포되어 무선으로 통신해야 하기 때문에 자체적인 전원을 가지고 있어야 하기 때문이다.

일반적인 에너지 수확 센서네트워크 시스템은 싱크노드와 센서노드 사이에 통신하는 과정으로 나타낼 수 있다. 싱크노드는 센서노드로 데이터를 요청하고, 센서노드는 이 요청에 대한 응답으로 센서가 수집 한 데이터를 전송한다.



<그림 1> 에너지 수확 센서네트워크 시스템의 일반적인 시나리오

<그림1>은 싱크노드와 센서노드간의 통신과정을 나타낸 시나리오이다.

- ① 싱크 노드의 데이터 요청신호로 통신은 시작된다.
- ② 센서노드의 수신 모듈에서 싱크노드의 데이터 요청 신호를 수신한 뒤 자신에게 온 요청인지 판별하는 일을 수행한다.
- ③ 수신 모듈의 ID 판별이 끝나면 MCU로 웨이크업(wakeup)신호를 보낸다.
- ④ 웨이크업 신호를 받은 MCU는 센서로부터 센싱 데이터를 수집한다.
- ⑤ 송신 모듈을 통해서 데이터를 싱크 노드로 전달한다.

여기서 센서 노드를 구성하는 각 모듈은 동작 시 일정한 전력을 소모하게 되고 수신 모듈의 경우 싱크노드의 요청이 있을 때마다 전력을 소모하는 것이 불가피하다. 이는 센서 노드의 수신 모듈은 싱크 노드의 요청이 있을 때마다 자신에게 온 요청인지 ID를 판별해야 하기 때문이다. 게다가 싱크 노드 주변에 센서 노드의 수가 많으면 많을수록 싱크 노드의 데이터 요청 신호는 많아질 수밖에 없고, 이에 따른 수신 모듈의 전력소모는 늘어날 수밖에 없다.

3. 에너지 수확 센서 네트워크 시스템 요구사항

에너지 수확 센서네트워크 시스템의 센서 노드는 에너지

수확 기법을 이용해서 수확된 전력을 이용하여 동작할 수 있다. 이때 가장 문제가 되는 것이 에너지 수확 기법을 이용해서 획득 할 수 있는 전력이 적을뿐더러 센서 노드는 싱크 노드의 요청이 있을 때마다 소비해야하는 전력이 늘어날 수밖에 없는 구조라는 것이다. 뿐만 아니라 센서 노드의 MCU는 항상 웨이크업 신호를 기다리는 대기 모드를 유지해야하기 때문에 싱크 노드의 요청이 없더라도 계속해서 일정한 전력을 소비할 수밖에 없다.

결론적으로 에너지 수확 센서 네트워크 시스템이 수확된 에너지만으로 동작하기 위해서는 MCU가 대기모드로 있으면서 소비하는 전력과 싱크노드의 요청을 판별하는 과정에서 소비되는 전력을 최소화 하여야한다.

4. 에너지 수확 센서 네트워크 시스템의 한계를 극복하기 위한 방안

3장에서 살펴보았듯이 MCU가 대기 모드로 있으면서 소비하는 전력과 웨이크업 과정에서 소비되는 전력을 최소화 하는 것이 초저전력 에너지 수확 센서 네트워크 시스템을 구현할 수 있는 방법일 것이다. 이번 장에서는 이를 위한 세 가지 방안을 제시한다.

본 논문에서 구현할 에너지 수확기법을 사용하는 센서네트워크 시스템은 충분한 전원이 공급되는 싱크노드를 마스터(master)노드라 하고 에너지 수확 소자로부터 전력을 공급받는 센서 노드를 슬레이브(slave) 노드라 한다.

4.1. 마스터 노드의 요청 신호를 전원으로 사용

마스터 노드가 슬레이브 노드로 데이터를 요청을 하는 신호를 보내는데, 이 신호는 진폭 변조된 정현파(CW:Continuous Wave)신호와 선택한 슬레이브 노드의 ID 데이터를 포함하고 있다. 슬레이브 노드의 안테나는 요청 신호를 수신하게 되고 정현파 신호를 이용해서 전압 채배기에서 전압을 생성하게 된다 [4].

결과적으로 슬레이브 노드의 수신모듈은 마스터 노드에서 전달받은 신호에서 채배한 전압만으로 동작이 가능하다. 물론 에너지 수확 기법을 이용해서 충전된 전력은 소비되지 않고 충전되는 상태를 유지할 수 있다.

4.2. 웨이크업 모듈(Wakeup Module) 사용

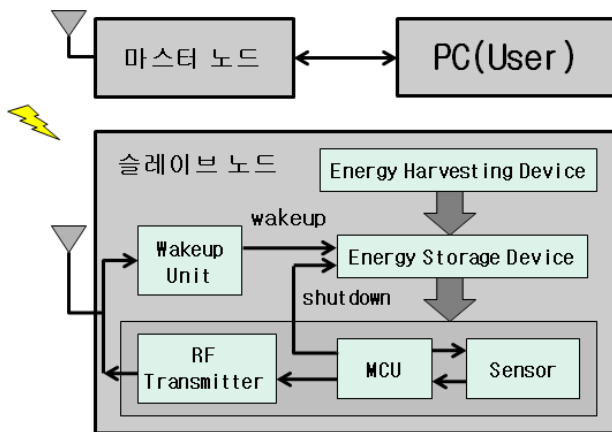
웨이크업 모듈은 센서노드를 저전력으로 동작시키기 위한 중요한 모듈이다. 하나의 마스터 노드가 신호를 보내고 다수의 슬레이브 노드가 이 신호를 동시에 받는 환경에서 에너지의 효율적인 사용과 송신 데이터의 충돌 방지를 위해 사용된다. 또한 웨이크업 신호에 선택할 센서의 ID정보가 포함되어 있기 때문에 싱크노드는 원하는 센서노드와 통신이 가능하다 [2]. 웨이크업 모듈에는 센서노드의 ID를 판별하기 위한 상태머신(State Machine)을 포함하고 있어 마스터 노드의 웨이크업 신호에 자신의 ID가 포함되어 있을 경우에만 슬레이브 노드를 동작 시키게 된다.

4.3. Self-Shutdown 기능 사용

Self-Shutdown 기능은 MCU가 동작을 마치면 스스로 전원을 차단해서 더 이상 충전된 전력의 손실이 없는 상태를 유지하는 기능이다. 앞서 사용된 웨이크업 모듈에서 마스터 노드의 웨이크업 신호를 판별하는 작업을 담당하기 때문에 MCU는 대기모드로 전력을 소비할 필요가 없다. MCU는 단지 전원이 인가되면 센싱 데이터의 수집이나 송신 모듈을 통한 데이터의 전달과 같은 정해진 작업만 수행하고, 모든 동작을 마친 뒤 스스로 전원을 차단하면 된다. 물론 MCU에 전원을 인가해주는 부분은 웨이크업 모듈과 MCU사이에 있는 스위치를 통해서 구현이 되고, 이 스위치는 MCU 뿐만 아니라 센서나 송신 모듈에도 전원을 공급해준다.

결과적으로 슬레이브 노드는 웨이크업 신호에 의해서 자신에게 요청이 올 때 까지 충전된 전력의 소비가 없는 상태를 유지할 수 있다.

5. 에너지 수확 센서 네트워크 시스템의 구현



<그림2>

에너지 수확 센서 네트워크 시스템 블록도

<그림2>는 4장에서 제안한 방안들을 구현한 에너지 수확 센서 네트워크 시스템을 구현한 블록도이다.

이 시스템은 크게 마스터 노드와 슬레이브 노드로 나눌 수 있고, 마스터 노드와 슬레이브 노드간의 무선 통신으로 데이터를 주고 받는다.

에너지 수확 장치(Energy Harvesting Device)를 통해서 수확된 에너지는 에너지 저장 장치(Energy Storage Device)에 충전된다. 에너지 저장 장치는 웨이크업 모듈(Wakeup Unit)에서 wakeup 신호가 올 경우 MCU, 센서(Sensor), 송신기(RF Transmitter)에 전원을 공급하고, shutdown 신호가 올 경우 전원을 차단한다.

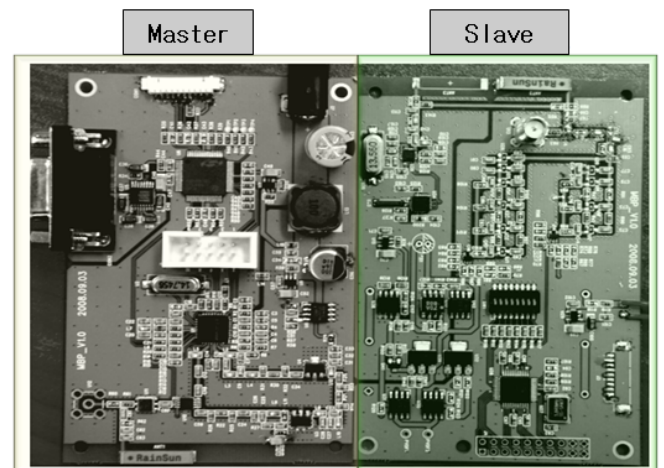
마스터 노드는 슬레이브 노드로 데이터를 요청하고 요청한 신호에 대한 응답을 받는다.

슬레이브 노드는 마스터 노드로부터 데이터 요청 신호

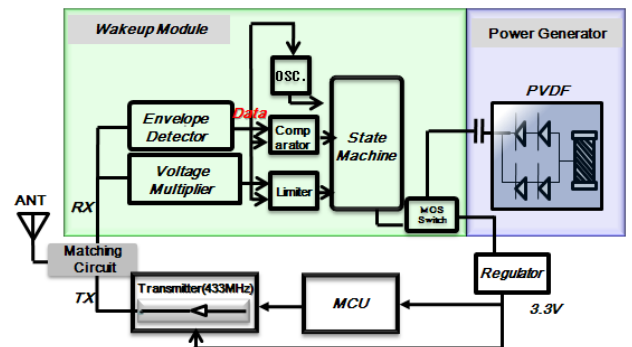
(ID+CW신호)를 받으면 웨이크업 모듈이 이 신호가 자신에게 온 신호인지 판별한다. 이 신호의 판별을 마치면 웨이크업 모듈은 자신에게 온 신호일 경우에만 wakeup 신호를 에너지 저장 장치로 보낸다.

전원을 공급받은 MCU는 센서로부터 센싱 데이터를 수집하고, 데이터를 송신기를 통해서 마스터 노드로 전송한다.

마스터 노드로의 데이터 전송을 마친 후 MCU는 에너지 저장 장치로 shutdown 신호를 보낸다. 이때 MCU, 센서, 송신기에는 전원 공급이 중단되고, 다시 에너지 저장 장치로부터 전원을 공급 받을 때 까지 수확된 에너지의 소비가 없는 전원이 차단된 상태를 유지하게 된다.



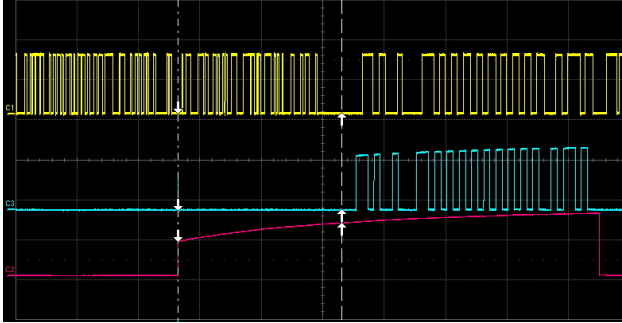
<그림3> 구현된 시스템 보드 사진



<그림4> 슬레이브 보드의 시스템 블록도

<그림3>과 <그림4>는 실제 구현된 보드와 슬레이브 보드의 시스템 블록도이다. 이 시스템의 슬레이브 노드는 진동에너지를 이용하여 시스템에 필요한 에너지를 공급받는도록 구현되었고, 전압 채배기의 입력 파워를 달리하면서 측정하였는데, 측정 결과 6dBm(거리 : 0.93m)에서는 4.5V, 2dBm(거리 : 1.46m)에서는 2.97V 가 나오는 것을 확인하였다. 웨이크업 모듈의 상태기계(State Machine)에서 ID 체크를 위해 필요한 전압이 최소한 전압 채배기에서 1.5V 이상 승압이 되어야 가능한데 측정결과 1~1.5m 내에서는 무리없이 슬레이브 노드가 동작함을 확인하였다 [4]. 즉,

마스터 노드에서 웨이크업 신호가 들어오면 슬레이브 노드에서 웨이크업 신호에서 얻은 전력만으로 외부의 전력 공급 없이 웨이크업 신호의 ID 체크가 가능함을 검증하였다.



<그림 5> 테스트 결과 측정 파형

- * 마스터 노드와 슬레이브 노드 사이 통신거리 : 3m
- * 노란색 : 마스터 노드가 수신한 온도 데이터 파형
- * 파란색 : 슬레이브 노드가 센싱한 온도 데이터
- * 빨간색 : 슬레이브 노드의 전원 On 파형

<그림 5>는 마스터 노드에서 슬레이브 노드로 웨이크업 신호를 보낸 후, 슬레이브 노드가 센싱된 데이터를 마스터 노드로 정상적으로 보내는지 확인하기 위해 측정한 파형이다. 슬레이브 노드에 전원이 인가 된 후로 센싱된 데이터를 올바르게 송신하는 것이 확인 되었다.

6. 결론

본 논문에서는 센서네트워크 시스템에서 배터리 대신 에너지 수확 기술을 이용할 경우 발생할 수 있는 문제점을 제기하고 이를 극복하기 위한 방안을 제시했다. 그리고 에너지 수확 센서네트워크 시스템을 구현하여 성능을 평가하고 제안된 방안에 대해 검증해 보았다. 끝으로 제안된 에너지 수확 센서네트워크 시스템의 경우 MCU는 전원이 인가되면 무조건 동작하는 구조로 되어있다. 때문에 적정 전압레벨에 못 미쳐 송신기가 송신할 전력이 부족한 경우 통신은 못하고 전력만 소모하는 경우가 발생하게 된다. 만약 MCU가 에너지 저장 장치에 충전된 전압의 레벨을 인지할 수 있다면 모든 동작이 완료될 수 있는 전압 레벨에서만 동작하도록 구현할 수 있기 때문에 기존 시스템보다 효율적으로 수확된 에너지 관리가 가능하다. 그러므로 이에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음[2008-F-050-01, 자기유지 WBAN/USN용 Scavenging 기술개발]

참고문헌

- [1] 유준재, 윤명현, 이민구, 강정훈, “센서 네트워크 및 애플리케이션 기술 동향” 대한전자공학회, 전자공학회지 제32권 제7호, 2005. 7, pp. 18 ~ 31
- [2] Stefan von der Mark, Georg Boeck, “Ultra low power wakeup detector for sensor networks,” Digital Object Identifier 10.1109/IMOC.2007.4404394, Oct.29 2007-Nov. 1 2007 Page(s):865 - 868
- [3] Joseph A. Paradiso and Thad Starner, “Energy Scavenging for Mobile and Wireless Electronics,” Pervasive Computing, Jan.-Mar. 2005, pp.18-27.
- [4] 황지훈 외, “WBAN/USN을 위한 자기유지 센서노드 시스템 구현”, 한국 RFID/USN 협회, 제4회 RFID/USN 연구논문공모전, 2008. 10