

자기유지 USN 센서노드용 고효율 전력관리 시스템 구현

박희정*, 임세미*, 정원재*, 김상규*, 김형석**, 박준석*
국민대학교

Design and Implementation on high Efficient Energy-Power Management System for Self-Sustaining USN Sensor Node

Hee-Jeong Park*, Se-Mi Lim*, Won-Jea Jung*, Sang-Kyu Kim*, Hyeong-Seok Kim**, Jun-Seok Park*
Korean University*, Chungang University**

Abstract - 다양한 환경에서 USN 시스템이 적용됨에 따라 해당 시스템의 효율적인 전력 운용 및 통신 방식이 중요해 지고 있다. 이에 본 논문에서는 태양전지를 사용하여 획득한 전력을 효율적으로 배터리에 충전시키기 위해 히스테리시스 스위치를 사용한 에너지 획득모듈, 센서노드의 효율적인 전력운동을 위해 아이디 기반의 웨이크업 모듈과 센싱정보를 전송후 자체적으로 전력을 차단하는 동적전력관리 모듈을 제안 및 구현을 통해 센서노드의 효율적인 전력 운용을 검증했다.

1. 서 론

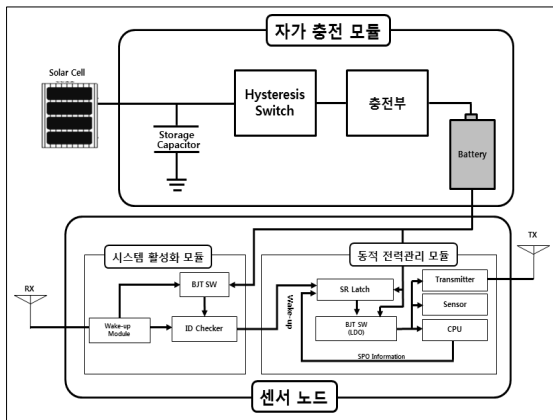
오늘날 무선 센서 네트워크 기술은 생산, 유통, 물류 등의 경제 활동 서비스, 의료, 요양 등의 복지 서비스, 그리고 환경 서비스 등 새로운 유틸리티 서비스를 창출하여 인간의 삶을 더욱 윤택하게 해주는 기술로 각광받고 있다.[1] 다양한 환경에서 응용되고 있는 무선 센서 네트워크 시스템에서 사용되는 센서 각각들은 배터리 관리 문제가 가장 큰 핵심이 되고 있다.[2] 수 백, 수천 개의 센서가 운용되는 센서 네트워크에서 사용되는 센서 각각의 배터리 잔량 유무를 정기적으로 확인하고 교체하는 것은 대단히 힘든 일이기 때문이다.[3] 또한 무선통신 시스템에서 변조를 하지 않고 송신하면, 원 신호는 에러 없이 전달 가능한 거리가 무척 짧을 뿐 아니라 에러율을 낮추기 위해 많은 전력이 소모된다. 이러한 이유에서 새로운 개념의 전력 공급 장치와 이 장치로 구동되는 센서, 그리고 이 센서간의 효율적인 운용 및 통신 방식이 요구된다.[4]

본 논문에서는 별도의 외부 입력 없이 환경에너지(광)를 획득하여 배터리에 효율적으로 전력을 충전하는 자가 충전 모듈과 시스템 활성화 모듈과 동적 전력관리 모듈을 통해 센서노드간의 통신 시에만 전력을 소비하는 USN 센서노드용 고효율의 에너지 전력관리 시스템을 구현하여 검증했다.

2. 본 론

2.1 고효율 전력관리 USN 센서노드 시스템

<그림 1>은 고효율 전력관리 USN 센서노드 시스템의 블록도이다. 각 세부 블록은 태양전지를 사용한 에너지 획득 장치와 획득된 에너지를 관리하고 배터리에 충전시키는 자가 충전 모듈, ID 기반의 시스템 활성화 모듈, 그리고 SR latch를 통해 SPO (Self-Power Off)기능을 적용시킨 동적 전력 관리 모듈로 이루어진다.

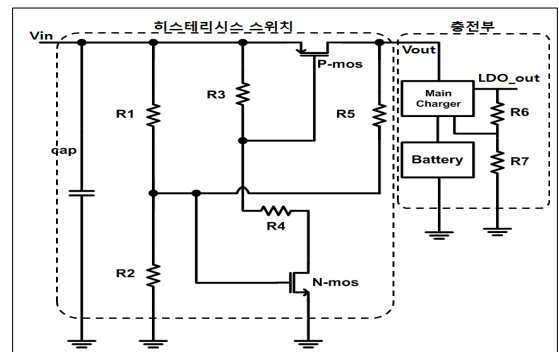


<그림 1> 자기유지 센서노드 시스템 블록도

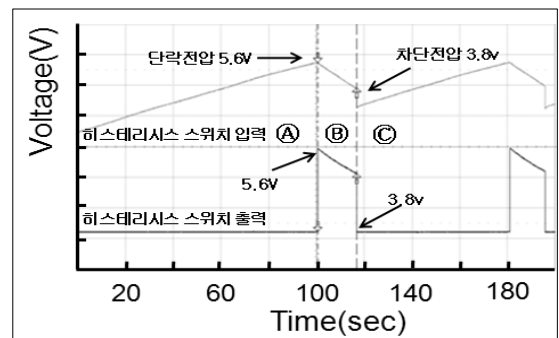
2.1.1 히스테리시스 스위치를 이용한 충전모듈

에너지 하베스팅을 통하여 획득된 에너지의 전력량은 매우 적기 때문에 배터리를 충전시키거나 센서노드 또한 시스템을 구동 시킬 전원으로 사용하기에는 어려움이 있다. 태양전지는 실외에서 100mW/cm²(직사광)로 타 에너지원에 비해 높은 에너지 획득을 자랑하지만 실제 시스템이 적용되는 실내 환경에서는 100uW/cm²로 에너지 획득 효율이 실외 환경보다 현저히 떨어지게 된다.[5]

본 논문에서는 이러한 어려움을 해결하기 위해 히스테리시스 스위치를 이용하여 저장 커패시터에 1차로 저장한 후 히스테리시스 스위치를 통해 배터리에 2차로 충전시키는 구조를 제안하였다. <그림 2>는 히스테리시스 스위치의 회로도이며, <그림 3>은 히스테리시스 스위치의 측정결과이다. 히스테리시스 스위치는 입력 임퍼던스가 크고 정궤환(Positive feedback)을 발생시킬 수 있는 새로운 구조로 구현하였으며, 태양전지를 통해 획득된 에너지를 저장 커패시터에 저장 후 일정 전압이 충전되면 충전부에 전달하여 배터리를 충전 시킬 수 있다. 또한 충전된 배터리의 전압이 일정 전압 이상이 되면 충전부에서 센서노드 시스템에 전원 전압을 공급 할 수 있는 기능도 포함되어 있다. MOSFET을 이용하여 설계한 히스테리시스 스위치의 단락 전압 임계값은 식 5.6V로 설계하였고, 차단 전압 임계값은 3.8V의 값을 갖도록 설계하였다. 이는 상용칩을 사용한 충전부의 입력조건(4.3V~8V)에 만족하고 배터리를 효율적으로 충전하기 위해 배터리 용량의 10%~20% 이상의 전력을 상황에 따라 주기적으로 충전할 수 있도록 5.6V~3.8V로 설계했다. 히스테리시스 스위치의 Turn on 전압과 Turn off 전압은 저항비로써 조절이 가능하다.



<그림 2> 히스테리시스 스위치를 이용한 충전모듈 회로도



<그림 3> 히스테리시스 스위치 동작 특성

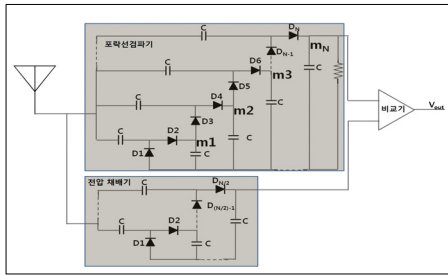
2.1.2 시스템 활성화 모듈

<그림 3>은 시스템 활성화 모듈의 블록도이다. 시스템 활성화 모듈은 전압 체배기와 포락선 검파기, 그리고 ID Checker로 구성되어 있다. 전압 체배기는 무선 RF신호를 받아 일정 전압으로 체배하여 ID Checker를 동작시킬 수 있는 전력을 공급하는 BJT 스위치를 On 시키고, 복조기에서는 입력 신호를 복조하여 ID Checker에 전달함으로써 ID Checker가 웨이크업 신호를 발생시키는 역할을 한다. ID Checker는 복조된 신호에서 디지털 값을 추출해 내어 부여된 ID와의 일치 여부를 판단하는 기능을 갖는다. 사용된 ID Checker는 CPLD와 SR latch, Schmitt Trigger를 집적하여 구현한 칩을 사용했다. 포락선 검파기의 출력은 원 신호를 복조하기 위한 비교기의 입력신호로, 전압 체배기의 출력은 비교기에서 디지털 파형으로 바꾸기 위한 기준전압으로 사용된다. 포락선 검파기와 전압 체배기는 같은 구조로 사용하지만, 전압 체배기의 단 수를 포락선 검파기의 단 수 보다 1/2로 사용함으로써 전압 체배기에 체배되는 전압의 최고치를 포락선 검파기에 체배되는 전압의 반으로 낮추었다. 일반적인 비교기 회로는 고정 기준전압을 사용하기 때문에 입력 전압의 크기가 바뀔 때마다 기준전압의 크기를 바꿔야만 제대로 된 듀티 사이클을 만족시킬 수 있지만 본 논문에서 설계한 복조회로는 입력파워의 크기가 달라져도 기준전압을 바꿀 필요가 없다. 입력 파워는 프리스(Friis) 공식에 의해 송신기와 수신기의 거리에 따라 변하게 된다.[6]

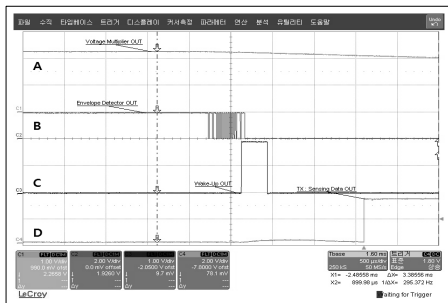
$$P_{rec} = P_{PA} G_{TX} G_{tag} \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 = P_{EIRP} G_{tag} \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \quad (1)$$

P_{rec} : 수신전력 P_{PA} : 송신전력 G_{TX} : 송신 안테나 이득 G_{tag} : 수신 안테나 이득
 λ : 파장 d : 송수신 안테나 이격 거리 P_{EIRP} : PPA X GTX

A는 전압 체배기로부터 출력된 전압으로 BJT를 동작시키기에 충분한 전압인 800mV의 값을 출력하는 것을 확인할 수 있다. B는 포락선 검파기의 출력으로 수신된 연속신호 구간 끝에 있는 ID신호가 복조된 것을 알 수 있다. C는 복조된 ID에 따라 센서노드에 부여된 ID와 동일한 경우 웨이크업 신호가 발생하는 것을 확인할 수 있다

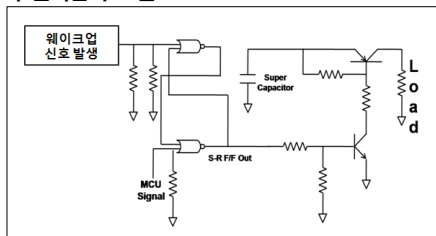


<그림 4> 시스템 활성화 모듈 회로도



<그림 5> 시스템 활성화 모듈 측정결과

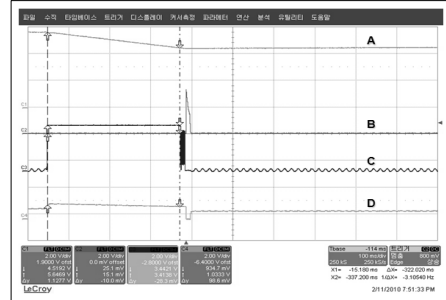
2.1.3 동적 전력관리 모듈



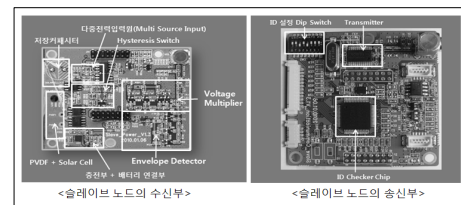
<그림 6> SPO 모델링 등가회로

<그림 6>은 본 SPO(Self-Power Off) 모델링 등가회로도이다. SPO기능을 적용시킨 동적 전력 관리 모듈은 제한된 전력의 효율적 관리를 통해 센서 노드를 장시간 동작 할 수 있도록 설계했다. 웨이크업 신호가 발생하면 SR latch의 S입력으로 high 신호가 인가되고 Q출력에서 high 신호가 발생하여 BJT 스위치가 On 상태가 된다. 이 때 BJT의 컬렉터에 연결된 전압이 에미터로 흐르게 된다. BJT 스위치를 통해 센서와 송신기, 마이크로컨트롤러에 전원 전압이 인가되면 센서는 동작한다. 이 때, 센서의 용도에 따라 온도, 습

도, 조도의 환경 정보를 송신기를 통해 전달하게 되고 송신기는 싱크노드에 센싱정보를 송신한다. 마이크로컨트롤러는 디지털포트를 통해 high 신호(Self Power Off)를 발생시킨다. 마이크로컨트롤러로부터 발생 된 high 신호는 SR latch의 R 입력으로 전달되고 high를 유지하던 SR latch의 Q 신호는 low로 바뀌게 된다. Q 신호가 high에서 low로 바뀌므로 인해 BJT 스위치는 차단 되어 센서와 송신기, 마이크로컨트롤러에 전달하던 구동 전압이 차단됨으로 불필요한 전력 소모를 방지한다. <그림 7>은동적 전력 관리 모듈에서 웨이크업 신호의 수신과 환경 감지 정보를 싱크노드로 송신 후 SPO 신호가 발생하는 상태를 측정한 파형이다. A는 센서인터페이스에 공급되었던 파형이 SPO 신호 발생 후 차단 된 상태이고, B는 SPO 신호를 관측한 것이다. C는 싱크노드에 전송 된 환경 감지 파형이고 D는 SPO 신호가 발생한 후 BJT 스위치의 베이스 단자의 측정결과이다.



<그림 7>동적 전력관리 모듈 측정결과



<그림 8> 고효율 전력관리 센서노드 시스템이 적용된 센서노드

3. 결 론

본 논문은 USN 센서노드용 고효율 전력관리 시스템을 제안하였다. 본 시스템은 현재 배터리로부터 전원 전압을 사용하는 많은 센서노드에 적용하여 배터리의 잔여량을 점검하거나 교체하지 않아도 되는 편리성을 갖고 있다. 시스템 활성화 모듈은 8 bit로 구성된 ID를 부여 할 시 최대 128개의 다수 센서노드와 단일 싱크노드의 통신이 가능하고, 웨이크업 가능 거리는 평균 7m로서 USN 시스템에도 적용할 수 있으며, 한정된 공간의 환경 정보가 주기적으로 필요한 장소에도 적용될 수 있다. 동적 전력 관리 모듈은 단일 센서를 사용하지 않고 다양한 종류의 센서를 사용할 수 있는 센서인터페이스를 지원하며, 기존 센서노드 시스템에서 다소 대기소모 전류를 많이 소비하는 부분인 센서, 송신기, 마이크로컨트롤러에 SPO 기능을 적용시켜 불필요한 대기 소모 전류를 줄일 수 있다. 본 논문에서 제안한 시스템이 USN 응용 분야에 다양하게 적용됨으로서 현재 많은 센서노드 시스템에서 가지고 있는 전원 공급에 대한 문제와 효율적인 에너지 관리 분야 등 다양한 분야에 응용 및 활용될 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 산업원천기술개발사업 일환으로 수행되었습니다(과제번호 10033845). 연구 지원에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] A. Ghosh, S. Devadas, K. Keutzer and J. White, "Estimation of Average Switching Activity in Combinational and Sequential Circuits," ACM/IEE Design Automation Conf., pp. 253-259, 1992.
- [2] B.A. Warneke, et al., Smart Dust, "Communicating with a Cubic-Millimeter Computer," Computer Magazine, Jan 2001
- [3] E.M. Yeatman "Advances in Power Sources For Wireless Sensor Nodes," Proc. International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor, 2004. [Online] Available at: <http://www.doc.ic.ac.uk/vip/bsn/textunderscore2004/program/papers/Eric%20Yeatman.pdf>
- [4] M. Shell. (2002) IEEETran homepage on CTAN. [Online]. Available: <http://www.ctan.org/tex-archive/macros/latex/contrib/supported/IEEETran>
- [5] 우병곤, "MEMS 기술을 이용한 에너지 하베스팅 기술", 전자통신동향분석, 제 23권 제6호, 2008.
- [6] John S.Seybold, "Introduction to RF Propagation", Wiley, inter-science, white paper series edition 1, 2005.