

# USN노드의 효율적 에너지획득에 관한 연구 및 설계

이형수, 권영민, 신준호  
전자부품연구원

hslee@keti.re.kr, youngminy@keti.re.kr, jhshin@keti.re.kr

## A Study on the Efficient Energy Harvesting for USN Node

Hyung Su Lee, Youngmin Kwon, Junho Shin  
Korea Electronics Technology Institute

### 요약

최근 RFID/USN 기술을 산업화 현장에 적용하기 위한 실용화 기술로 만들기 위해서는 기존 임베디드 시스템에 적용되고 있는 다양한 검증 기술 및 에너지 효율화 기술이 USN분야에서도 적용하기 시작하였다. 특히, USN 분야의 경우 에너지 효율성 문제가 가장 크게 작용하기 때문에 에너지 효율성을 평가하고 해결을 위한 솔루션 제공이 필수적이다. 본 논문에서는 이러한 효율성 검증에 필요한 첫 번째 단계로 USN 마이크로 에너지획득을 위해 에너지 획득 시스템을 제시하고자 한다. 특히, 파워 소스 제너레이션 기술에 대한 다양한 연구를 진행하고 이를 바탕으로 효율적인 에너지 획득 시스템 하드웨어를 설계하고, 설계된 에너지 획득 시스템을 이용하여 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 알고리즘을 구현하고 이를 MPPT Controller 형태로 구현한 뒤 최종적인 에너지 획득 시스템을 제시한다.

### 1. 서론

USN(Ubiquitous Sensor Network)응용은 기술의 특성상 다양한 영역에 적용되며 대부분의 경우 배터리를 기반으로 동작하기 때문에 에너지 효율성이 중요하다. 제조업 중심의 국내 IT업계의 특성상 USN 기술의 상업화를 위한 센서 하드웨어 제작 기술은 일정수준 향상 하여 저전력이 고려되기 시작하였다. 하지만 대규모 응용에 구축에 대한 노하우 부족으로 실제 산업에 적용하기 위한 저전력 기술이 미흡한 실정이다. 그리고 USN 노드는 배포되는 환경 및 노드를 구성하는 하드웨어 컴포넌트 그리고 동작되는 응용 및 시스템 소프트웨어에 따라 전력 소모의 변화가 크며, 또한 기술의 특성상 수  $\mu$ W 이하로 동작도 가능해야 하기 때문에 기존 임베디드 기기의 전력 측정 방법을 사용하면 노이즈등의 문제로 인하여 정확한 측정이 어려움이 따른다. 따라서 USN 노드의 이러한 태생적인 전원 구조가 신뢰성 있는 시스템을 구현하는데 가장 큰 문제점이 되고 있으므로 USN의 에너지문제를 고도화 시킬 수 있는 방법으로 에너지획득 시스템의 적용이 필요하다. 특히, 마이크로 에너지획득 기술은 소형, 저전력

임베디드 디바이스를 위한 고효율 에너지변환 기술을 의미하며, 이것은 기존의 에너지획득 구조와는 차별되는 USN과 같은 시스템을 위한 기술로 다양한 에너지원을 모두 고려할 수 있는 개방적 구조로 설계되어야 할 필요가 있다[1]. USN에 에너지 획득 시스템을 적용하기 위해서는 기반 연구로 에너지원에 대한 분석이 필수적이며 특히, 조도에 따른 태양 전지의 특성과 진동 에너지원과 진동 에너지 획득 소자에 따른 특성들이 연구되어지고 있다. 솔라패널은 소자의 비선형적 특성으로 인해 최대전력점(Maximum Power Point)이 존재하며, 이에 따라 솔라패널의 최대 효율을 끌어내기 위해서는 최대전력점 추종 알고리즘이 필요하며 일정 전압 제어기법(CV), 단락전류 기법(SC), 개방전압 기법(OV), 섭동 후 관찰 기법(P&O) 등 다양한 방법에 대한 연구들이 진행 중이며, 진동 에너지는 진동 에너지원에 따라 50Hz, 60Hz, 100~120Hz 등 다양한 주파수의 진동이 발생한다. 대표적인 진동에너지 획득 장치는 전기기계식과 피에조 방식이 있으며 기계적인 진동에 있어서는 전기기계식 진동 에너지 획득 장치가 더 유리하다. 무선통신 기반의 USN은 필연적으로

배터리로 동작하게 됨으로써 에너지 제약에 따른 문제점이 제기 되고 있으며, 이와 같은 에너지 문제를 극복하기 위해 저 전력 프로세서와 통신 칩, 다양한 저 전력 소프트웨어들이 개발되고 있지만 근본적인 한계를 가지는 것이 사실이다. 본 논문에서는 이러한 에너지 문제를 극복하기 위해 센서 네트워크 측면에서의 최상의 MPPT(Maximum Power Point Tracking)지원하는 에너지 획득 시스템 아키텍처에 대한 제안을 하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 에너지 획득 시스템 Architecture

USN을 위한 에너지 획득 시스템은 마이크로 에너지 획득 기술, 에너지 관리 기술, 그리고 에너지 저장 기술을 사용하여 효율적으로 환경에너지를 전기에너지로 변환하는 시스템을 의미한다. 기본적으로 본 시스템 구조는 에너지 공급과 저장구조를 적절하게 모니터링하여 최적의 환경조건 대비 최상의 효율을 이룰 수 있는 에너지 관리가 핵심이다. 에너지 관리는 다양한 에너지를 모두 고려할 수 있는 개방적 구조로 설계 되어야 하며 특히, 최상의 MPPT를 위한 최적화 알고리즘을 지원 할 수 있어야 한다[2]. 본 논문을 위한 설계된 블록<그림1>과 같이 S/W 에너지 관리를 위한 에너지 하베스트 S/W부분과 마이크로 에너지획득, H/W 에너지 관리, 에너지저장을 위한 에너지 하베스트 H/W 부분으로 구분된다.

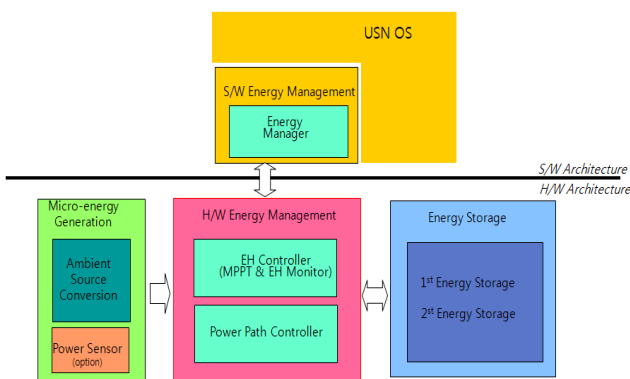


그림 1. 에너지 하베스트 구조

USN을 위한 일반적인 에너지 획득 시스템구조는 효율적인 에너지 획득부분과 저장하기 위한 기술이 사용된다. 본 논문에서 제시하는 에너지 획득 시스템 구조는 <그림2>와 같이 솔라/진동 에너지를 고려

하였으며 크게 솔라/진동 MPPT(Maximum Power Point Tracking)을 이용한 효율적 에너지 획득 부분과 Li-Polymer와 EDLC로 구성된 에너지 버퍼구조를 이용하여 효율적 에너지 저장을 기대할 수 있다.

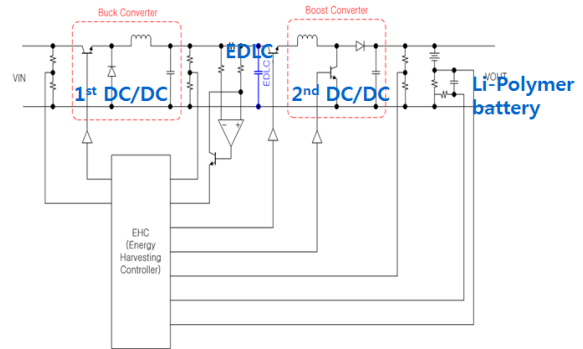


그림 2. 솔라/진동 에너지 획득 시스템 구조

<그림3>은 솔라/진동 에너지를 전기 에너지로 변환하기 위해 제시된 에너지 하베스트 구조 기반 에너지 획득 프로토타입이다. 본 에너지 획득 장치는 MSP430 F2012 저전력 Micro controller를 통해 MPPT를 수행하며 슈퍼캐패시터(4.2V, 20mF)를 사용하는 것을 주요 특징으로 한다.

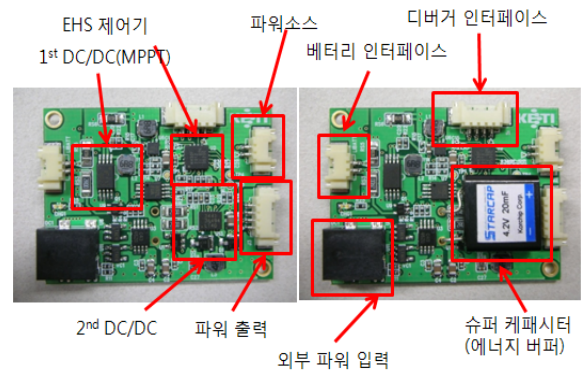


그림 3. 에너지 하베스트 시스템의 프로토타입

### 2.2 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 알고리즘

일반적으로 태양전지는 비선형적 I-V 특성으로 인해 최대 전력점(MAXimum Power Point)이 존재한다. 따라서 태양전지를 최적의 효율로 동작시키기

위해서는 최대 전력 점(MPPT-Maximum Power Point Tracking)과 같은 방법이 필요하다. 제안된 에너지 하베스트 시스템은 Constant Voltage Control과 부가적으로 Constant Current Control을 사용함으로써 MCU를 사용하는 P&O와 IncCnd 방법과 같은 복잡한 에너지 획득시스템보다 시스템의 복잡도를 현저히 줄이고, Constant Voltage Control 또는 Constant Current Control 중 한 가지만 사용하는 시스템보다는 에너지 효율을 높일 수 있는 방식이다.

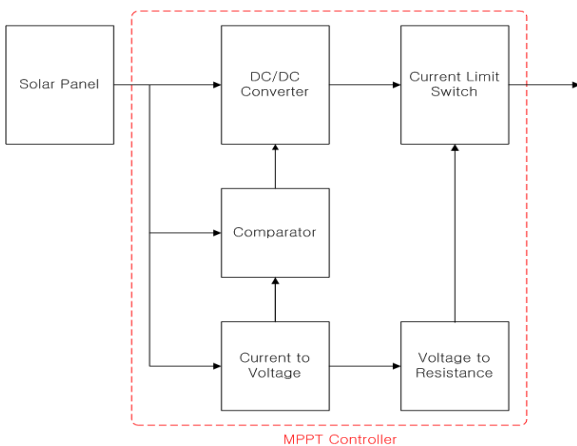


그림 4. 최대전력 점 컨트롤러 Top Block Diagram

본 논문에서 제안하는 최대전력 점 컨트롤러의 구조는 <그림4>와 같이 DC/DC Boost Converter, Current to Voltage Converter, Comparator, Current to Voltage Converter, Current Switch 그리고 Voltage to Resistance로 구성되어 있다.

DC/DC Boost Converter는 솔라 패널의 출력과 부하를 분리함으로써 Solar Panel의 동작 전압을 최대 전력점에 가깝게 제어한다. Comparator는 Current to Voltage Converter의 값과 솔라 패널의 전압 값을 비교하여 DC/DC Boost Converter를 제어한다. Current Limit Switch는 Current를 기준으로 Solar Panel의 최대전력 점을 찾는 것은 정확하지 않으므로 이를 보완하기 위해 솔라 패널의 최대 출력 전류를 가변적으로 제한함으로써 DC/DC Boost Converter의 효율을 높여주는 역할을 수행한다. Current to Voltage Converter와 Voltage to Resistance는 각각 Comparator와 Current Limit Switch를 제어하기 위한 소자이다.

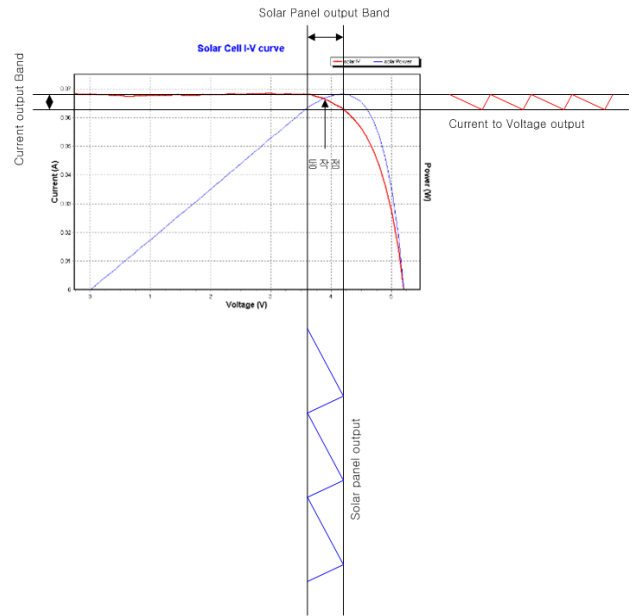


그림 5. 에너지 획득 시스템 MPPT Controller 동작점

<그림 5>는 <그림4>에서 구현한 MPPT 제어장치의 출력 파형이다. 솔라 패널은 비선형적 I-V 커브로 인해 최대 전력점 부분에서 전류값과 전압값의 반비례하는 특성을 갖게 된다. 이러한 특성을 이용하여 솔라 패널을 동작점을 제어함으로써 최대 전력점에 가까운 출력을 얻을 수 있다.

<그림 6>은 <그림 5>의 전압과 전류 특성을 이용하여 DC/DC Boost Converter 제어신호를 생성하는 그래프이다. 솔라패널의 출력 전압값이 전류값보다 커질 경우 DC/DC Shot Down 신호를 출력한다. 전류를 전압으로 변환하기 위해 Current to Voltage 컨버터가 사용되었으며 변환된 전류값과 전압값은 Comparator를 통해 비교된다.

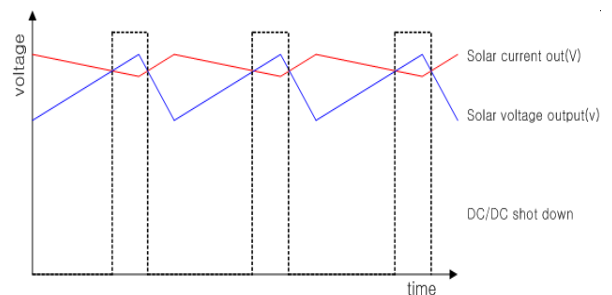


그림 6. DC/DC 컨버터 제어 신호

<그림7>은 DC/DC 컨버터를 제어하기 위한 흐름도이다. 제안된 MPPT 제어 알고리즘은 비교적 간단한 회로와 알고리즘을 통해 효과적으로 에너지를 획득할 수 있다.

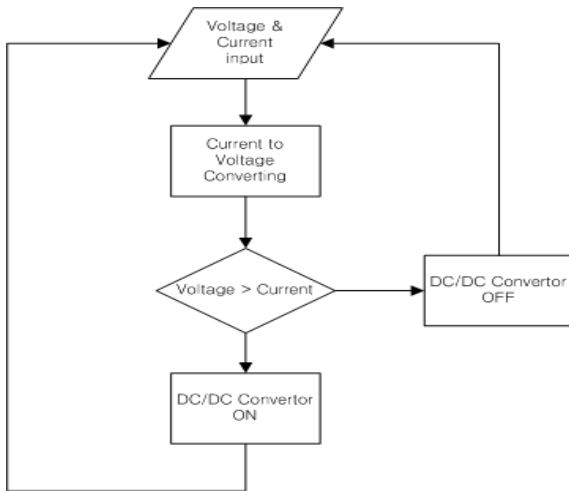


그림 7. DC/DC 컨버터 제어 흐름도

### 3. 결론

본 논문에서 파워 소스 제너레이션기술에 대한 다양한 연구를 진행하고 이를 바탕으로 효율적인 에너지 획득 시스템 하드웨어를 설계 하였다. 설계된 에너지 획득 시스템을 이용하여 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 알고리즘을 개발하고 이를 MPPT Controller 형태로 구현한 뒤 최종적인 에너지 획득 시스템을 제시하였다. 본 논문에서 제시된 USN 마이크로 에너지획득기술은 u-City 기간 인프라 사업, 유비쿼터스 텔레매틱스 사업, 유비쿼터스 디지털 가전 사업등 대규모 응용에 실제 적용하기 위한 기술로 활용하려 한다. 본 논문을 통해 제시된 에너지 획득 시스템 통해 다양한 USN 응용 및 하드웨어 플랫폼을 최적화된 형태로 개발 할 수 있으며 기업들의 맞춤형 RFID/USN 응용 서비스 개발을 용이하게 하여 개발비 및 유지보수 비용을 절감시킴으로써 국내 RFID/USN산업의 조기 확산 및 서비스 창출 효과 기대 할 수 있다.

### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(06국토정보C01)에 의해 수행되었습니다.

### 참고 문헌

- [1] Chulsung Park; Chou, P.H, 'Autonomous Energy Harvesting Platform for Multi-Supply Wireless Sensor Nodes', 'Sensor and Ad Hoc Communications and Networks 2006', 2006 3rd Annual IEEE Communications Society on Volume 1, Page(s):168 - 177, Sept. 2006
- [2] Vijay Raghunathan; Kansal, A.; Hsu, J.; Friedman, J.; Mani Srivastava, 'Design considerations for solar energy harvesting wireless embedded systems', 'Information Processing in Sensor Networks 2005', Fourth International Symposium on 15 April 2005 Page(s):457 - 462 Digital Object Identifier 10.1109/IPSN.2005.
- [3] IEEE Computer Society, "Part 15.4: Wireless Medium access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specification for Low-Rate Wire Personal Area Networks(WPANs),"IEEE 802.15.4 Specification, 2006
- [4] G. Motenegro, N Kushalnagar, J. Hui, D. Culler, "Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks." REF 4944, 207