

정전용량 센싱기반 식물생장관리용 자기유지 지원 수분 모니터링 센서노드 설계

송민환*, 이상신*, 원광호*

*전자부품연구원 임베디드S/W융합연구센터
e-mail: mhsong, sslee, khwon@keti.re.kr

Development of Capacitive Sensing Based Self-sustainable Water Monitoring Sensor Node for Plant Growth Management

Min-Hwan Song*, Sang-Shin Lee*, Kwang-Ho Won*

*Korea Electronics Technology Institute

요 약

최적의 식물 성장을 위해서는 적절한 수분의 유지가 필수적이며 넓은 지역, 다양한 종류, 고가의 식물의 경우일수록 적절한 수분의 관리를 위한 시스템의 도움이 필요하다. 이를 위해 저가의 센서노드 시스템이 적절한 해결책이 될 수 있으나 일반적인 배터리 기반의 센서노드 시스템을 적용시 배터리 용량 확인 및 교체 등의 유지보수 문제가 대두된다. 본 논문에서는 이러한 유지보수의 문제를 해결하고 식물재배에 도움을 줄 수 있는 자기유지 지원 방식의 정전용량 센싱기반의 수분 모니터링 센서노드를 설계하였다. UHF 기반의 무선 전력 전송의 자기유지 지원 시스템 및 PCB 패턴기반의 정전용량 센싱 수분센서와 초저전력 센서노드 시스템으로 구성된다. 센서노드는 한번 송신시 약 0.24 mJ을 소모하며 에너지획득모듈은 에너지 획득 주기마다 약 4 mJ의 에너지를 공급하도록 설계하여 센서동작을 위한 충분한 에너지 마진을 주도록 설계하였다.

1. 서론

무선 센서 네트워크 시스템은 가장 편리한 방법으로 가장 저렴하게 무선 통신 시스템 및 센싱 시스템을 구축할 수 있는 방법의 하나로서 인식되고 있다. 따라서 현재 무선센서네트워크 시스템은 사회의 다양한 분야에서 사용되고 있다. 일반적으로 무선 센서 네트워크 시스템은 배터리를 기반으로 동작하는 센서노드로 구성되며 무선센서네트워크 시스템에 사용된 배터리는 주기적인 유지보수가 요구된다. 또한 이렇게 발생된 폐배터리의 처리는 사회적 문제로 인식되고 있다. 따라서 시스템의 자기 유지성 (self-sustainability)을 보장 하기 위한 에너지 수확 (energy harvesting) 및 외부에서 무선으로 전원을 공급하는 연구가 많이 진행되고 있다[1-3]. 본 논문은 이러한 자기유지성에 기반한 저전력의 정전용량 센싱 기반 수분 센서노드 시스템을 설계하였다. 최적의 식물 성장을 위해서는 적절한 수분의 유지가 필수적이다. 넓은 지역에서의 작물 재배의 경우나 다양한 종류의 식물 재배, 고가의 식물 등의 경우 적절한 수분의 관리를 해줄 수 있는 시스템의 도움이 필요하며 이를 위해 센서노드 시스템이 적절한 해

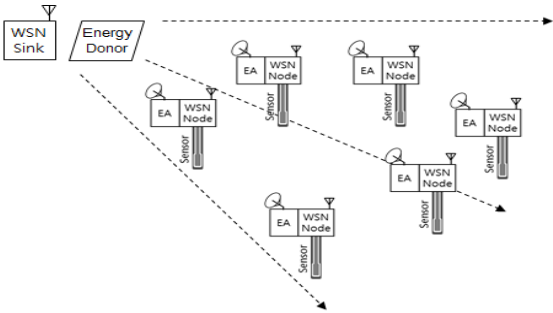
결책이 될 수 있다. 하지만 일반적인 배터리 기반의 센서노드 시스템을 적용하게 되면 센서노드의 배터리 용량을 확인하고 배터리의 구매와 교체작업이 빈번히 요구될 수 있다. 따라서 이러한 경우 무선 전력 전송 기반의 자기유지 지원 시스템을 통해 문제를 해결할 수 있다. 본 논문은 식물생장 관리를 위한 수분모니터링용 센서노드를 자기유지 지원 시스템 기반으로 설계하였다. 이 시스템은 ED(Energy Donor)가 UHF의 주파수로 전력을 전송하면 EA(Energy Acceptor)가 이 무선전력을 수신하여 전원을 공급하게 되며 이로부터 얻어지는 매우 저밀도의 에너지를 통해 통신모듈 및 센싱모듈이 동작하는 센서노드이다.

2. 본론

2-1. 자기유지지원 수분모니터링 센서노드 시스템 구성
자기유지 지원 수분 모니터링 센서노드 시스템의 구성은 아래의 그림과 같다. 하나의 에너지 공급을 위한 ED로부터 여러 센서노드들이 에너지를 공급받고 수분을 센싱한 후 싱크노드로 데이터를 송신한다. 에너지 공급을 위한 ED는 915 MHz의 UHF 대역 주파수를 사용하며 지향성 패치 안테나를 사용하여 에너지의 효율을 높이도록 설계하였다. ED는 싱크노드와 연동됨으로써 센서노드의 전원

※ 본 연구는 지식경제부의 산업원천기술개발사업 일환으로 수행되었습니다. (과제번호, 10033869). 연구비 지원에 감사드립니다.

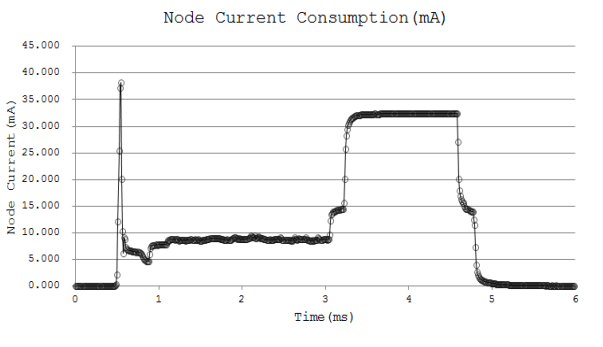
상태에 따라 출력을 제어함으로써 불필요한 에너지의 소모를 막도록 설계하였다. 싱크노드는 자체의 알람용 UI를 가지거나 인터넷 연결을 통한 원격 알람이 가능하도록 설계한다.



(그림 1) 자기유지지원 센서노드 시스템 구성

2-2. 무선 센서 노드 설계

자기유지 지원 시스템에 사용되는 무선 센서 노드는 최대한으로 에너지 소모를 줄일 수 있는 구조로 시스템과 프로토콜이 구현되어야 한다. 또한 이를 기반으로 소요되는 센서노드의 에너지를 추정하여 시스템의 에너지 저장 소자의 용량을 결정하여야 한다. 일반적으로 에너지 저장용량이 클수록 비교적 큰 전류를 오랜 시간동안 공급해 줄 수 있지만 시스템이 한번 기동되기까지 오랜 시간이 걸리는 단점이 있다. 아래의 그림은 센서노드에 많이 사용되는 TI사의 CC2530 칩의 송신시 전류소모 패턴 그래프로서 센서노드의 에너지 소모를 파악하고 에너지 공급 방안을 마련하는데 활용 된다. 그림은 MCU가 wake-up한 후 약 2 ms동안의 프로세싱과 2 ms동안의 RF 송신으로 이루어지며 약 16 바이트의 데이터를 전송하는 경우의 그래프이다. 소모되는 전류는 4.5 ms동안 평균 16.2 mA로서 이 경우 0.24 mJ의 에너지로 환산된다. 따라서 에너지 저장용량은 이보다 큰 에너지를 공급할 수 있도록 정해야 한다.



(그림 2) 센서노드 전류 소모

2-3. EA(Energy Acceptor)

에너지 수신을 위한 EA모듈은 RF신호를 DC전력으로 바꾸어주는 RF to DC 컨버터 블록, 에너지를 저장하는 저

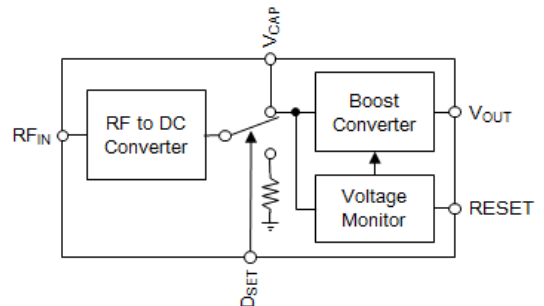
장부, 낮은 전압의 저장에너지를 시스템이 사용할 수 있도록 전압증폭을 해주는 Boost Converter블록, 저장된 에너지 레벨을 모니터링하고 일정 수준을 상회하면 시스템에 전원을 공급하기 위해 Boost Converter를 ON시키고 일정 수준 미만이면 저장된 에너지를 보호하기위해 Boost Converter를 OFF 시키는 히스테리시스 특성을 갖는 Voltage Monitor 블록으로 구성된다. 본 시스템에서의 히스테리시스는 턴온 전압이 1.2V, 턴오프 전압이 0.8V이다. 아래의 그림은 EA블록의 구조를 나타내며 저밀도의 에너지원을 저장하고 사용하기 위해서 슈퍼커패시터를 활용한다. 슈퍼커패시터는 다른 2차전지에 비해 에너지의 저장속도가 빠르고 높은 충방전 회수를 지원한다. 본 시스템에서는 10 mF의 슈퍼커패시터를 채용하였다. EA블록의 히스테리시스 전압인 1.2V와 0.8V이므로 한번 EA블록이 시스템을 턴온 시켰을 때 시스템이 사용 가능한 전력은 아래와 같다.

$$E = \frac{1}{2} C (V_{ON}^2 - V_{OFF}^2)$$

$$= \frac{1}{2} \times 10mF \times (1.2^2 - 0.8^2)$$

$$= 4 [mJ]$$

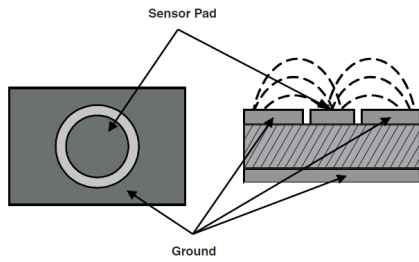
따라서 (그림 2)에서와 같이 무선 센서노드의 송신시 소모 전력은 0.24 mJ에 비해 충분한 용량을 가지고 있으며 Boost Converter의 손실을 고려하여도 약 10회 정도 송신할 수 있는 용량이다.



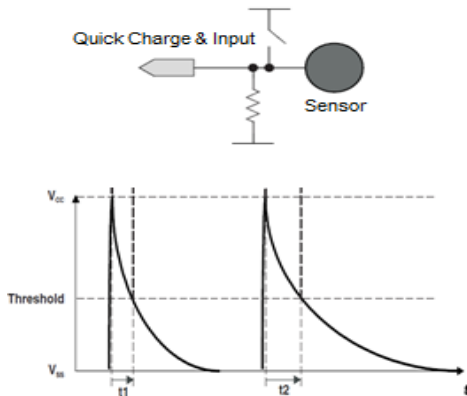
(그림 3) Energy Acceptor 구조^[5]

2-4. 수분 센서 설계

식물 성장을 위한 수분 센서를 위해서 수분 센서는 토양 속에 위치 한다. 토양속에서의 수분 상태를 확인하기 위하여 PCB 패턴 기반의 정전용량 센서 구조를 활용한다. 정전용량 센서는 근래들어 전자제품의 터치센서 입력용도로 많이 활용되고 있다. PCB 패턴 기반의 용량 센서의 구조는 아래의 그림과 같이 센서패드와 Ground를 배치함으로써 발생하는 용량성분을 측정함으로써 가능하다. 사람의 손이 접근함으로써 인해 발생하는 용량의 변화를 감지하는 방식으로서 본 논문에서의 수분센서는 수분의 증감을 통해 변화하는 용량의 변화를 감지하여 측정하게 된다.

(그림 4) 정전용량 센서 동작 구조^[4]

MCU를 통해 센서의 용량을 체크하는 방법은 아래의 그림과 같다. PCB 패턴으로 구성된 센서의 용량을 측정하기 위해 센서에 연결된 port를 output-high를 통해 빠른 충전(quick charge)을 수행하고 다시 port를 input으로 전환하여 충전된 전압이 방전되는 시간을 측정한다. 센서단에서의 전압의 변화는 (그림 5)의 하단의 그림과 같다. 빠른 충전을 통해 센서의 전압은 VCC까지 급격히 상승하며 port가 입력으로 전환되면 센서에 연결된 저항에 의해 천천히 방전한다. 센서의 전압이 충전된 시간부터 그림의 threshold로 표시된 전압까지 강하하여 port가 input-low로 인식될 때 까지의 시간을 측정하여 센서의 용량을 판단한다. 용량이 클수록 input-low까지 걸리는 시간이 증가하게 되며 이 시간을 측정함으로써 상대적인 습도의 변화를 감지한다.

(그림 5) 정전용량 센싱 방법^[4]

따라서 수분 센서의 센싱 결과는 정확한 습도수치로 나타나는 것이 아닌 상대적인 용량값으로 수집되며 식물의 재배를 위한 토양의 건조상태를 파악한다.

3. 결론

무선 전력 전송 자기 유지 지원 시스템은 배터리 기반 시스템에서 발생하는 빈번한 배터리 용량 확인 작업과 배터리의 구매와 교체에 소요되는 유지보수 노력을 없앨 수 있으며 폐배터리가 유발시키는 환경문제로부터 자유롭다. 하지만 무선을 통해 전송되는 에너지의 밀도는 매우 낮은 수준이어서 시스템의 설계시 세밀한 고려가 요구된다. 본

논문에서는 최적의 식물 성장 관리를 도울 수 있는 저전력의 수분 센서와 이를 활용한 무선 전력 전송 기반 자기 유지 지원 수분 센서 노드 시스템을 설계하였다. 본 논문에서 설계한 자기유지 지원 센서노드는 한 번 송신 시 약 0.24 mJ의 에너지를 소모하며 이를 위해 에너지 수신을 위한 EA는 4 mJ의 에너지를 시스템에 공급할 수 있도록 에너지 저장장치와 히스테리시스 전압이 설정되었고 수분을 측정하기 위한 센서로는 PCB기반의 정전용량 센싱 기법이 사용되었다.

참고문헌

- [1] A. Kansal, J. Hsu, S. Zahedi, and M. B. Srivastava, "Power management in energy harvesting sensor networks," *ACM Transactions on Embedded Computing Systems*, 2006.
- [2] A. Kansal and M. Srivastava, "An environmental energy harvesting framework for sensor networks," in *ACM Joint International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems (SIGMETRICS)*, 2003.
- [3] X. Jiang, J. Polastre, and D. Culler, "Perpetual environmentally powered sensor networks." in *IEEE Information Processing in Sensor Networks*, 2005, pp. 463-468.
- [4] Texas Instruments, Application Report: MSP430 Capacitive Single-Touch Sensor Design Guide, www.ti.com
- [5] Powercast, Product Datasheet: P2110 - 915 MHz RF Powerharvester(TM) Receiver, www.powercastco.com