

Power-Free 무선센싱에 대한 실험적 연구

최유락*, 이재철*, 이남호*

*한국원자력연구원

e-mail:yrchoi@kaeri.re.kr

A Experimental Study on Power-Free Wireless Sensing

You-Rak Choi*, Jae-Cheol Lee*, Nam-Ho Lee*

*Korea Atomic Energy Research Institute

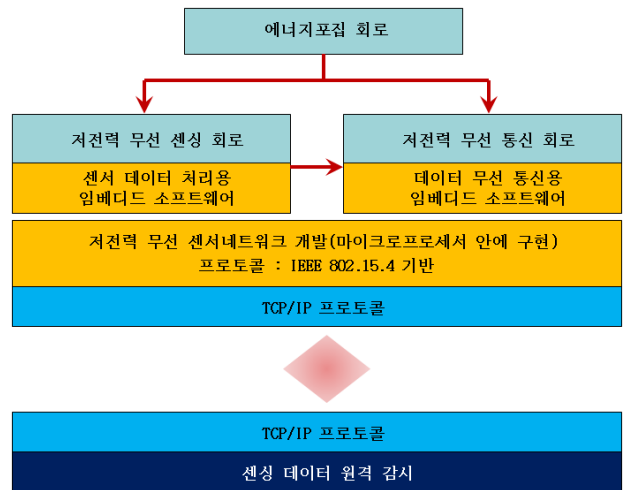
요 약

유비쿼터스 환경에서의 무선 센서 네트워크에는 수많은 소형 센서 노드들이 넓은 지역에 분포하는 관계로 센서노드들에 대한 지속적인 전력공급이 가장 큰 문제 중 하나로 인식되고 있다. 본 논문에서는 무선센싱에 있어 전력자체수급 방식에 의한 상시 초저전력 센싱과 무선통신을 커버할 수 있는 연구결과에 대하여 기술한다.

1. 서론

근래 무선 통신 기술의 발전, 저전력 회로 설계와 연산 장치의 소형화 등으로 인해 무선 센서 네트워크(Wireless sensor networks)는 새로운 연구 분야로 떠오르고 있다. 무선 센서 노드들은 넓은 지역에 설치되어 군사 지역에서의 탐색 작업뿐만 아니라 공장 내에서의 기기 관리, 공정 관리 등 산업적인 목적과 가정 내에서의 홈 오토메이션에 이르기까지 넓은 영역에 적용되어 그 목적에 따라 다양한 역할을 수행할 수 있다. 유비쿼터스 환경에서의 무선 센서 망은 스마트 센서와 무선 네트워킹 기술의 발전으로 많은 산업적 수요를 창출하고 있으며 그 연구 분야 역시 다양해지고 있다. 센서 네트워크는 넓은 필드에 수십-수천 개의 소형 센서노드가 설치되므로 각 센서 노드는 배터리 기반으로 동작해야 하며, 이러한 배터리는 충전 혹은 교환이 불가능하다. 그러므로 센서 노드의 에너지 고갈은 센서 노드의 기능 정지로 이어지며, 다수의 센서 노드의 에너지 고갈은 전체 센서 네트워크의 동작에 치명적인 영향을 줄 수 있다. 이러한 유비쿼터스 환경에서의 무선 센서 네트워크는 다수의 소형 센서 노드들이 넓은 지역에 분포하여 스스로 네트워크를 형성하고 이를 유지하므로 노드들의 배터리를 교체하거나 충전하는 것은 거의 불가능하다. 가장 명확한 해결방안인 전력자체수급 방식을 적용하더라도 수집되는 전력이 센싱과 무선통신에 소요되는 전력을 감당하지 못하는 문제가 빈번하게 발생하고 있다.

본 논문에서는 그림 1과 같은 구조를 갖는 전력자체수급 기반 온도·조도·침입탐지에 있어 상시 초저전력 센싱과 무선통신을 커버할 수 있는 연구결과를 실험적 고찰 측면에서 기술한다.



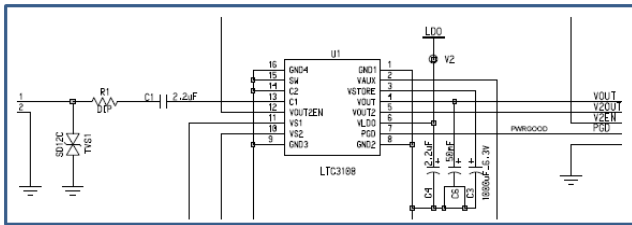
(그림 1) 전력자체수급형 무선센싱 모듈 구조

2. 무선 통신

일반적인 무선 프로토콜로는 802.11a/b/g와 UWB, Bluetooth, ZigBee 등이 있다. 센서 네트워크 표준은 Ad-hoc 망을 기반으로 센서 네트워크를 구축하는 표준이 주를 이루고 있는데 여기에는 Bluetooth, IEEE 802.15.4, ZigBee 등이 존재한다. 이들 세 프로토콜은 Wireless Personal Area Network에 관한 표준으로 IEEE 802.15.4는 저전력의 저속 무선 네트워크 프로토콜이며, ZigBee는 IEEE 802.15.4를 다양한 상위 응용에 적용하기 위한 표준이다. 본 연구에서는 IEEE 802.15.4 표준을 기준으로 무선 통신을 구현하였는데, 무선 통신 모듈의 사양은 다음과 같다.

무선 네트워크	2.4Ghz 대의 IEEE 802.15.4 기반
통신 속도	600kbps
송신 시 소비전류	10mA 전후
휴면 시 소비전류	6uA 전후
아날로그 회로부 소비전류	1uA 전후
무선 모듈 송수신 거리	20m
센싱값 무선 전송 주기	13초 내외
이상신호 시 인터럽트에 의한 무선송신	제공

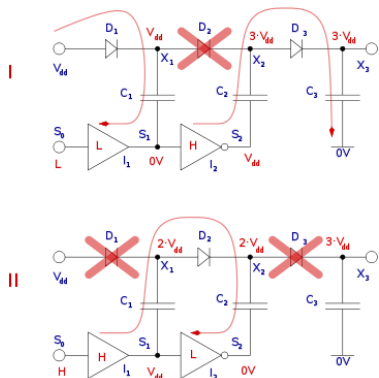
이러한 사양에 따라 개발한 HW의 일부 회로도도 그림 1에 표현되어 있다.



(그림 2) 초저전력 무선 송신 회로 일부

3. 전력자체수급

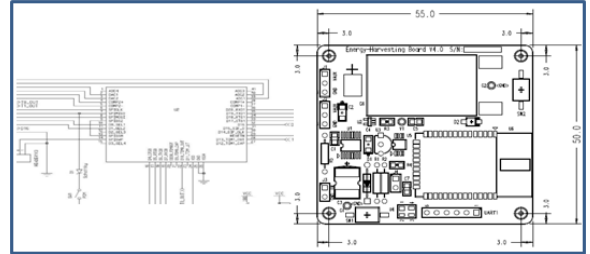
전력자체수급에 사용되는 에너지원은 현재 상용화되고 있는 태양력, 풍력 등을 제외하고는 1V 이하 수십 uA 이하의 미약한 전력을 얻는 것이 대부분이다. 이러한 전원을 유용하게 활용하기 위해서는 차지 펌핑 회로(charge pumping circuit)가 필요하다.



(그림 3) 일반적인 차지 펌핑 회로

그림2에서와 같이 상태 I에서 C1은 Vdd 로 충전된다. 충전이 완료된 후 회로는 II 상태로 변하게 되어 X1 지점의 전위는 2Vdd(Vdd + Vdd)가 되고 D2를 통하여 C2에 충전된다. 다시 I의 상태가 되면 X2의 전위는 3Vdd (Vdd+2Vdd)가 되어 C3를 충전하게 된다. 즉 초기의 Vdd

전위를 가지고 3Vdd를 만들 수 있다. 이와 같은 반복으로 필요한 전압을 얻게 된다. 그러나 실제의 회로에서는 커패시터 C1, C2, C3 등에서는 누설 전류(leakage current)가 발생한다. 또한 다이오드 D1, D2, D3 등은 최소한의 Turn On 전압이 필요하고 이에 해당되는 전압 강하(~0.6V)가 생기게 되어 실제 적용에 어려움이 있으므로 이를 해결해야한다. 이러한 문제를 해결하여 개발된 회로와 아트워크 그림은 다음과 같다.



(그림 4) 전력자체수급회로 일부 및 아트워크

4. 전력 소비량

온도·조도·침입탐지를 위해서는 우선 각각의 기능에 적합한 센서가 필요하며, 이 센서들을 구동하기 위한 회로가 필요하다. 본 연구에서 사용된 센서들의 스펙을 기준으로 소모되는 사용전력은 다음과 같다.

침입감지(IR센서)	1uA
온도센서	2uA
조도센서	1uA
센서네트워크 대기	2.6uA
송신용 충전지 누설 전류	5uA
기타 감시회로	2uA
합 계	13.6uA

16h/day로 센서사 작동할 경우 57,600s(16시간) x 13.6uA = 0.783C(Coulomb)의 전력이 소모된다. 실내용 솔라셀(실내용 Amorphous SolarCell (96mm x 56 mm))을 이용하여 전력을 수집한다고 가정해본다. 사무실의 경우 8시간 근무에 300Lux가 최소 권장치임을 감안할 때 200Lux에서 포집 가능한 전기는 4.9V 94uA이고, 충전장치 자체 소비전류와 충전지 누설전류는 각각 6uA/s와 1uA/s이므로 1초당 충전량은 87uA이다. 즉 하루 8시간동안 28,800s(8시간) x 87uA = 2.505C로 계산되는데, 충전 전하량의 35%까지 사용가능하므로 2.505C x 0.34 = 0.852C의 전기를 포집할 수 있다.

무선통신에 필요한 전기량은 다음과 같다.

1회 전송시 사용 전 기량	10mA x 10ms = 100uC
16 시간 동안 최대 전송 가능수	(0.852C - 0.783C)/100uC = 690회
16 시간 동안 1회 전송 가능 주기	83초

이는 최초의 충전량이 0인 경우이며, 그 다음날은 소비하고 남은 4.158C(2.505(첫날 충전량) - 0.852(첫날 소비량) + 2.505(다음날 충전량))만큼 증가한다. 즉 비상 이벤트가 없이 정상적인 데이터 전송만 이루어지면 200Lux 기준으

로 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

날짜	총전 전하량 (C)	사용가능 전하량(C, 34%)	전송 간격 (초)	전송 횟수 (회)
1	2.505	0.852	83	690
2	4.158	1.414	9	6310
3	5.249	1.784	5.8	10010
4	5.970	2.030	4.6	12470

5. 결론

전력자체수급 방법을 이용할 경우 다음과 같은 다양한 에너지원을 사용할 수 있다.

에너지원	성능(에너지밀도)	특징
태양광	100 mW/cm ² (직사광) 100 μW/cm ² (사무실)	poly-Si 태양전지 효율 17%, 단결정 Si 태양전지 20%
열전소자	60 μW/cm ²	ΔT=5℃에서 Thermo Life의 출력
진동발전소자	4 μW/cm ³ (인간동작) 800 μW/cm ³ (기계동작)	1 cm ³ 크기의 발전소자에 대한 예측치
환경 air flow	1 mW/cm ²	30 liters/min의 미소 기계 터빈에 의한 실측치
누름단추	50 μJ/N	MIT Media Lab의 3VDC
발압력	잠재적으로 7 W가 얻어짐(1 Hz의 보행에 70 kg에 1 cm 왜곡)	유전성 탄성 힘에서 800mW, 압전 액추에이터에서 250-700 mW

그러나 중요한 것은 저전력 소자를 이용한 회로 구성과 센서 채택, 그리고 가장 큰 전력을 소모하는 무선통신의 주기 설정인데 실제 구현을 할 때에는 다양한 문제점들이 나타난다. 에너지를 크게 포집할 수 있는 장치를 채택할수록 이러한 문제는 쉽게 해결할 수 있지만, 근본적으로는 하드웨어 설계 자체에 그 해법이 있다하겠다.

참고문헌

- [1] [1] Wireless Sensor and Actor Networks · IFIP WG 6.8 First International Conference on Wireless Sensor and Actor Networks, WSAAN'07, Albacete, Spain, September 24-26, 2007
- [2] Wireless and Mobile Networking · IFIP Joint Conference on Mobile Wireless Communications Networks (MWCN'2008) and Personal Wireless Communications (PWC'2008), Toulouse, France, September 30 - October 2, 2008