
태양 에너지 기반 센서 네트워크를 위한 에너지 적응형 전송파워 조절과 그에 따른 네트워크 성능 분석

강민재 · 김재웅 · 양희정 · 노동건

송실대학교

Energy-aware Transmission Power Control for Solar Energy Harvesting Wireless
sensor system and Its Effects on Network-wide Performance

Minjae Kang · Jaeung Kim · Heejung Yang · Dong Kun Noh

Soongsil University

E-mail : {mjkgang, jaeung24k, didgml1, dnoh}@ssu.ac.kr

요 약

배터리 기반 센서 시스템과 달리 태양 에너지 기반 센서 시스템에서는 정확한 양은 알 수 없지만 적어도 주기적으로 에너지가 수집될 수 있으므로 에너지 사용의 최소화가 목표가 아니라 에너지 사용의 최적화가 목표가 된다. 본 연구에서는 네트워크 토폴로지 최적화를 목적으로 태양 에너지 수집형 센서 시스템에서 잔존 에너지양에 따른 3단계 전송 파워 조절 알고리즘을 제안한다. 아울러 이 기법이 전체 센서 네트워크의 성능에 어떤 영향을 미치는지 실험을 통하여 살펴보았는데, 대부분의 지표에서 전송 파워를 고정한 기법들 보다 우수한 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

ABSTRACT

In respect of consuming energy, the optimization is the main objective in the solar energy harvesting sensor system (while battery-based sensor system aims at the minimization), due to the periodicity of solar energy. Aimed at the optimization of the network topology, we suggest 3-level transmission power control algorithm of which level is determined by the amount of residual energy on the rechargeable battery. Additionally, we experiment the effects of our scheme on network-wide performance such as the latency and the duty-cycle, and verify that our scheme shows the best performance in most of the metrics, compared to the schemes with fixed transmission power.

키워드

전송 파워, 태양 에너지, 센서 시스템, 센서 네트워크, 에너지 적응

I. 서 론

배터리 기반 센서 시스템과 달리 태양 에너지 기반 센서 시스템에서는 주기적으로 에너지가 수집되는데, 수집되는 에너지는 태양이 떠 있는 시간에 이루어진다. 에너지 수집량은 일조량에 따라 달라지고, 수집되는 에너지양은 일반적으로 일조량의 세기, 각도에 영향을 받는다. 일조량이 강할수록, 태양전지판과의 각도가 직각일수록 수집 에너지양은 증가한다.

태양에너지 기반 센서 시스템에서는 주기적으로 에너지가 수집되기 때문에 에너지 관리 목표는 기존 배터리 기반 센서 시스템에서 사용하는 최소화가 아닌 최적화가 목표가 된다.

각 노드의 전송파워 조절은 전체 센서 시스템에 영향을 미치는데, 전송거리와 그에 따른 홉(hop) 수, 전송파워에 따른 충돌(Collision) 발생 등이 있다.

본 연구에서는 주기적인 에너지 수집량에 따른 3 단계 전송 파워 조절 알고리즘을 제안하고, 그에

다른 전체 센서 네트워크의 성능을 비교한다. 본 논문의 2장에서는 태양 에너지 기반 센서 시스템에서의 주기적인 에너지 수집량을 기술하고, 3장에서는 잔존 에너지양에 따른 3단계 전송 파워 조절 알고리즘을, 4장에서는 3단계 전송 파워 조절 알고리즘이 전체 센서 네트워크에 미치는 영향을, 5장에서는 결론을, 마지막으로 향후 연구 과제는 6장에서 기술한다.

II. 주기적인 에너지 수집

태양에너지의 수집은 주간에 이루어지고, 일조량의 세기와 태양전지판과의 각도에 영향을 받는다. 본 절에서는 일조량 측정을 위한 실험 환경과 실험 결과에 대해서 알아본다.

2.1 실험 환경

표 1. 실험 환경

멀티 미터	제조사	Agilent
	모델명	34411A
센서	제조사	TI
	모델명	eZ430-RF2500-SEH
	MCU	msp430
	RF	CC2500
실험 환경	날짜	2013.9 ~ 2013.10
	일조시간	6.37h
	운량	50.5%

표 1.과 같이 본 연구에서 센서는 eZ430-RF2500-SEH를 사용하였고, 에너지양 측정을 위한 멀티미터는 Agilent 34411A를 사용하였다. 측정을 위해 eZ430-RF2500-SEH의 에너지 전송 핀 부분을 멀티미터 Agilent로 측정하였다.

2.2 실험 결과

측정은 매 1초 간격으로 전류를 측정하고, 데이터가 로깅(Logging)된다. 그림1.은 2일간 시간별 수집 에너지양이다. 그림1.에서 볼 수 있듯이 수집은 일출부터 증가하기 시작하여 일몰까지 수집되고, 27일의 에너지 수집량은 약 8.417mAh이고, 28일은 약 8.868mAh, 평균은 약 8.86mAh이다.

III. 잔존 에너지양에 따른 3단계 전송 파워 조절 알고리즘

수집된 에너지는 재충전 가능한 배터리에 저장되고, 다음날 사용이 된다. 즉 현재 사용되는 에

너지는 전날 수집된 에너지이다. 본 절에서는 잔존 에너지양에 관해 기술하고, 3단계 전송 파워 조절 알고리즘을 제안한다.

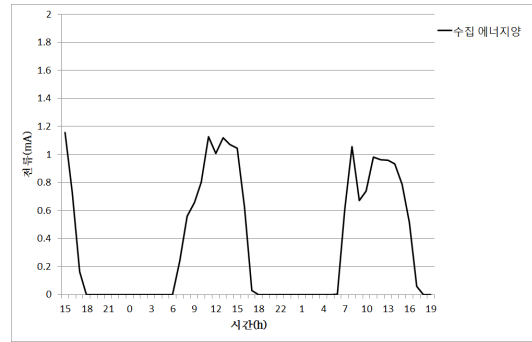


그림 1. 2일간 시간별 수집 에너지

3.1 잔존 에너지양

잔존 에너지양은 날씨에 따라, 계절에 따라 에너지의 수집량이 달라지는데, 흐린 날은 약 5mAh, 일반적인 날은 약 8mAh, 맑은 날은 약 10mAh 수집된다. 그림1.에서는 일반적인 날의 에너지 수집량을 알 수 있다.

3.2 3단계 전송 파워 조절 알고리즘

각 노드의 전송파워 조절은 전체 센서 네트워크에 여러 가지 영향을 미치는데, 첫째 전송 파워에 따라 전송거리가 결정되고, 전송거리에 따라 목적지까지의 흡수가 결정되어 진다. 둘째 전송 파워에 따라 MAC 단에서 충돌에 영향을 미친다. 일반적으로 전송파워의 세기를 강하게 하는 것이 전체 네트워크 성능 측면에서 유리하지만, 잔존 에너지양에 따른 전송파워 조절에 실패하면 심할 경우 원하는 시간만큼 노드는 역할을 하지 못하고 멈출 것이다. 그런 이유로 잔존 에너지양을 고려해 전송 파워를 조절해야 한다.

데이터의 전송은 RF 모듈을 통해서 하고, RF 모듈의 전송 파워는 -12dBm부터 1dBm까지 조절이 가능하다. 전송 파워에 따른 전류의 소비는 표2.에서 볼 수 있다.

표 2. 전송 파워별 전류 소비

전송 파워(dBm)	-12	-6	0	1
전류 소비(mA)	11.1	15	21.2	21.5

전송 파워 조절의 목표는 잔존 에너지양이 부족하여 노드의 역할을 하지 못하는 상황과 주기적으로 수집되는 잔존 에너지를 다 사용하지 못하고 버리는 상황을 고려해 최적화해야 한다.

그림 2.의 알고리즘에 따르면 수집되는 에너지양이 적은 흐린 날(5mAh)에는 -12dBm을 사용하고, 일반적인 날(8mAh)에는 -6dBm, 맑은 날(11mAh)에는 1dBm을 사용한다.

```

if Remaining Energy is upper 11 then
    TX power is 1dBm
if Remaining Energy is upper 8 then
    TX power is -6dBm
if Remaining Energy is lower 5 then
    TX power is -12dBm
    
```

그림 2. 전송파워 조절 알고리즘

IV. 3단계 전송 파워 조절 알고리즘이 전체 센서 네트워크에 미치는 영향

3단계 전송 파워 조절 알고리즘이 전체 센서 네트워크에서 미치는 영향을 알아보기 위해 미적용 센서 시스템과 비교해 보았다. 본 절에서는 시간별 전류와 각 노드의 생존 시간, 버려지는 에너지 양에 관해서 기술한다.

4.1 에너지 사용량

전송 파워에 따라 에너지 소비량이 다른데, 시간별 에너지 사용량은 그림 3.과 같다.

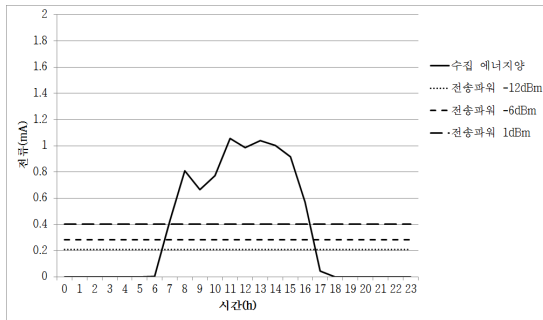


그림 3. 시간별 에너지

일반적인 센서 시스템의 경우 전송 파워를 -6dBm을 사용하고, 본 연구에서 제안하는 알고리즘은 상황에 따라 전송 파워를 -12dBm, -6dBm, 1dBm 변경해 사용한다.

4.2 생존시간

노드는 수집된 에너지를 초과하는 에너지를 사용했을 경우 멈추게 된다. 멈추게 되는 시간이 길어질 경우 노드의 역할을 제대로 수행하지 못하게 되어 수집된 데이터의 무결성에 문제가 생기게 된다.

그림 4. 도표의 왼쪽 두 막대는 하루 동안 노드가 생존해 있는 시간을 나타낸 막대다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 적용했을 경우 24시간 동안 노드가 생존해 있고, 미적용의 경우는 17시간 생존한 것을 확인할 수 있다. 즉 미적용의 경우 7시간 동안 사용자가 원하는 역할을 노드가 수행하지 못한 것이고, 제안하는 알고리즘을 사용

했을 경우가 그렇지 않은 경우보다 사용자가 원하는 역할을 더 잘 수행한다.

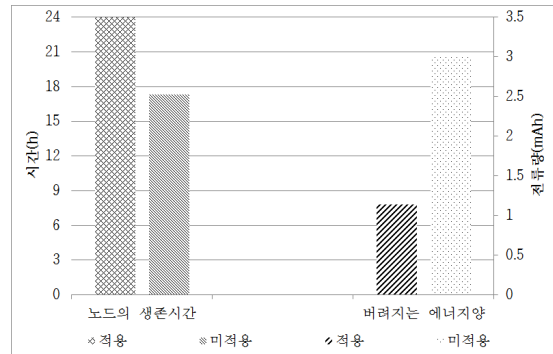


그림 4. 제안한 알고리즘 적용과 미적용의 성능 비교

4.3 버려지는 에너지양

태양 에너지 기반 센서 네트워크에서는 하루 간격으로 에너지가 수집되므로 당일 사용하지 못한 에너지는 버려지게 된다. 이런 이유로 버려지는 에너지가 없게 수집되는 에너지를 다 사용하는 것이 중요하다.

그림 4. 도표의 오른쪽 두 막대는 24시간 동안 생존해 있는 노드의 하루 동안 버려지는 에너지 양을 나타낸 그래프이다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 적용했을 경우 1.13mAh, 미적용의 경우 3.02mAh의 버려지는 에너지를 확인할 수 있고, 본 연구에서 제안하는 알고리즘이 그렇지 않은 경우보다 에너지 최적화 측면에서 유리하다는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

태양 에너지 기반 센서 네트워크는 배터리 기반 센서 네트워크와 다르게 사용 에너지의 최소화가 아닌 최적화가 목표가 된다. 본 연구에서는 이러한 특성을 고려한 3단계 전송 파워 조절 알고리즘을 제안했다. 실제 하루 동안 수집되는 에너지 양을 측정하고, 알고리즘을 적용한 센서 시스템과 그렇지 않은 센서 시스템을 비교해 알고리즘을 적용한 경우가 그렇지 않은 경우보다 우수한 성능을 나타내는 것을 확인했다.

VI. 향후 연구 과제

향후 연구과제로써 첫째, 본 논문에서는 성능적인 비교를 노드의 생존 시간만으로 비교하였는데, 향후 네트워크 종단 간 지연시간 등과 같은 성능 비교를 통해 전송 파워 세기에 대한 추가적인 성능 검증이 필요하다.

둘째, 전송파워 조절 알고리즘은 네트워크 트래픽(Traffic)을 고려할 필요가 있다. 종단 간 지연 시간은 전송 지연, 프로세싱 지연, 전파 지연(Propagation Delay), 대기 지연(Queuing Delay) 등에 영향을 받기 때문에 트래픽이 많을 경우는 오히려 전송 세기가 작은 경우가 종단 간 지연시간이 더 적고, 트래픽이 적을 경우 전송 세기를 크게 하는 것이 종단 간 지연시간을 줄이는 방법이다.

셋째, 본 논문에서는 전송 파워만을 조절해 노드의 소비 에너지를 조절하였는데, 향후 노드의 듀티 사이클(Duty Cycle)을 조절해 노드의 소비 에너지를 조절할 필요가 있다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부 기술혁신사업(산업융합원천기술개발사업)으로 지원된 연구임. (No. 10039239)

참고문헌

- [1] Christopher M. Vigorito, Deepak Ganesan, and Andrew G. Barto, "Adaptive Control of Duty Cycling in Energy-Harvesting Wireless Sensor Networks", in Proc., in Sensing, Communication, and Networking (SECON), 2007, pp 21-30.
- [2] Vikas Kawadia, P. R. Kumar, "Principles and Protocols for Power Control in Wireless Ad Hoc Networks", in IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, Vol. 23 No. 1 pp. 76-88.
- [3] Sujesha Sudevalayam, Purushottam Kulkarni, "Energy Harvesting Sensor Nodes: Survey and Implications", in IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2011, Vol. 13 No. 3 pp. 443-461.
- [4] Texas Instruments, eZ430- RF2500-SEH Solar Energy Harvesting Development Tool User's Guide (Publication No. slau273d), (2009, January), Retrieved from <http://www.ti.com/lit/ug/slau273d/slau273d.pdf>
- [5] Texas Instruments, eZ430- RF2500 Development Tool User's Guide (Publication No. slau227e), (2007, September), Retrieved from <http://www.ti.com/lit/ug/slau227e/slau227e.pdf>
- [6] Texas Instruments, Low-Cost Low-Power 2.4 GHz RF Transceiver, (Publication No. CC2500), (2009, May), Retrieved from <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2500.pdf>
- [7] Agilent Technologies, Agilent 34410A and 34411A Multimeters Data Sheet, (Publication No. 5989-3738EN), (2013, April), Retrieved from <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-3738EN.pdf>
- [8] 기상청(korea meteorological administration), 태양에너지 최적 활용을 위한 기상자원 분석 보고서, (Publication No. 11-1360000-000425-01), (2008, December), Retrieved from http://www.kma.go.kr/download_01/climate_energy.pdf