

태양 에너지 기반 무선 센서 네트워크 시뮬레이터 구현

이준민*, 강민재*, 노동건*

*송실대학교 전자공학과

e-mail:{jmyi,mjkang,dnoh}@ssu.ac.kr

Implementation of Wireless Sensor Network Simulator Based on Solar Energy

Jun Min Yi*, Min Jae Kang*, Dong Kun Noh*

*Dept of Electronic Engineering, Soongsil University

요 약

무선 센서 네트워크에서 센서 노드의 제한된 에너지 문제 해결을 위해 많은 연구들이 진행되었다. 근본적인 문제 해결을 위해 최근 에너지 수집형 센서 노드들이 개발되고, 에너지 수집을 고려한 많은 연구들이 진행되고 있다. 하지만 에너지 수집형 무선 센서 네트워크를 위한 시뮬레이터와 관련된 연구는 아직 미비한 수준이다. 본 논문에서는 환경 에너지 중 하나인 태양 에너지와 에너지 저장 장치의 특성을 고려하여 에너지 수집(Harvesting) 모듈(수집, 소비 모델)을 구현하고, 아울러 태양 에너지 기반 WSN(Wireless Sensor Network)을 위한 MAC과 Routing 기법들이 추가된 사용자 친화형 GUI 기반 시뮬레이터를 제안한다.

1. 서론

무선 센서 네트워크는 다양한 분야에서 사용되며, 이와 관련된 응용 산업과 새로운 기법들의 연구는 활발히 진행되고 있다. 기존 무선 센서 네트워크에서 제한된 에너지 문제를 해결하기 위해 많은 연구가 진행되었는데, 최근에는 근본적인 에너지 문제 해결, 친환경(Green) 에너지, 높은 QoS(Quality of Service) 보장, 유지 보수 비용 절감, 그리고 영구적 사용 등의 이유로 에너지 수집형 센서 노드들의 개발이 이루어지고 있다[1]. 에너지 수집형 무선 센서 네트워크에서 새로운 기법들의 성능 분석을 위한 실제적인 실험을 진행할 경우, 비용, 시간, 디버깅, 트레이싱, 외부의 간섭 등의 여러 어려움이 존재한다. 따라서 실제 노드 배치 전에 시뮬레이션을 통한 성능 검증은 먼저 해야 한다. 하지만 에너지 수집형 센서 네트워크를 위한 시뮬레이터의 연구는 매우 미비한 수준이다. 또한, 기존 배터리 기반 무선 센서 네트워크 시뮬레이터는 다음과 같은 한계점으로 인해 에너지 수집형 센서 네트워크에서의 사용은 부적합하다. 첫째, 공개되지 않은 소스코드, 구현된 프로그램 언어의 제약, 상업화 프로그램 등의 이유로 다양한 Routing, Topology, Mobility 등의 확장성(Extendability)이 부족하다. 둘째, 에너지 소비 모델만 존재하고 에너지 수집 모델은 전혀 고려하고 있지 않다. 셋째, 기존 무선 센서 네트워크는 일반 배터리를 저장장치로 사용하지만, 에너지 수집형 무선 센서 네트워크는 재충전(Rechargeable) 배터리를 에너지 저장장치로 사용한다. 일

반적인 배터리에 비해, 재충전 배터리들은 각각 다른 저장 용량, 에너지 전환 효율, 자기방전, 그리고 충·방전 횟수 등의 특성이 있음에도, 기존 배터리 기반 WSN 시뮬레이터들은 이를 전혀 반영하고 있지 않다. 마지막으로 사용자들이 사용하기 어려운 커맨드라인 방식으로 된 시뮬레이터들이 많다[2].

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 에너지 수집 자원으로 사용하는 여러 자원 중 다른 에너지에 비해 어느 정도 정확한 예측이 가능하며, 주변에서 쉽게 접할 수 있고, 센서 노드의 소비 에너지만큼 충분한 에너지를 제공할 수 있는 태양 에너지 기반 에너지 수집형 무선 센서 네트워크 시뮬레이터를 제안하고 구현하였다.

본 시뮬레이터의 특징은 아래와 같다.

- 클래스 기반의 프로그램으로 확장 가능한 구조.
- 태양의 일사량과 패널 크기 및 종류별 특성을 반영.
- 저장 장치의 특성을 반영한 SEH(Solar Energy Harvesting) 모듈의 추가(에너지 수집 및 소비 모델).
- 수집된 태양 에너지를 효율적으로 사용하는 SEH-Routing 프로토콜과 SEH-MAC 프로토콜 추가.
- 커맨드라인의 어려운 사용 방식이 아닌 사용자 친화형 GUI 사용 방식.
- 네트워크 레벨의 분석과 노드 레벨의 분석 가능.

2. 관련연구

본 절에서는 기존 배터리 기반 무선 센서 네트워크 시

물레이터들의 장단점 대해 간단하게 기술한다.

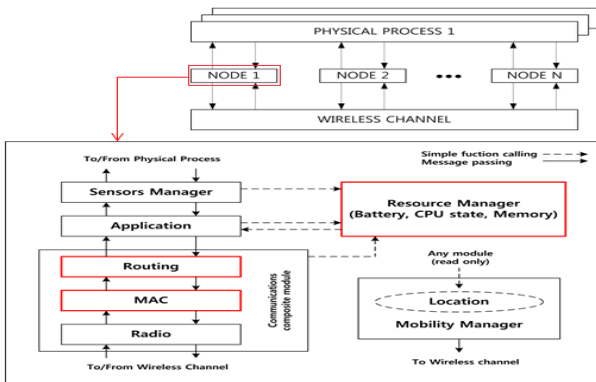
기존 배터리 기반 무선 센서 네트워크의 시물레이터는 NS-2, TOSSIM, Avrora, Prowler, SENS 등 많은 시물레이터가 존재 한다. NS-2의 경우 C++로 구현되었으며, 새로운 프로토콜의 추가가 쉽고, 많은 프로토콜 및 GUI 환경을 제공하나, 802.11과 단일 홉의 TDMA 프로토콜만 제공하는 단점을 가지고 있다. TOSSIM은 nesC로 구현되었고, 시물레이션 결과의 높은 정확도를 가지고 있지만, 컴파일 단계에서 코드의 인터럽트 특성을 반영하지 못한다. Avrora는 Java로 구현되었고, 노드를 10,000개까지 지원하며 대규모 네트워크의 시간에 따른 특성의 유효성 검사를 할 수 있다. 하지만 Colck Drift를 지원하지 않고, 이동성(Mobility)이 지원되지 않으며 TOSSIM 보다 50%가 느리다. Prowler은 Matlab/Java로 구현되었으며, 정확한 주파수 모델이 제공되나, TinyOS의 기본 MAC 프로토콜 하나만을 제공한다. 이외에도 많은 장단점을 가지고 있는 시물레이터들은 많으나, 공개된 에너지 수집 모델을 가지고 있는 시물레이터는 거의 없다[3].

3. 제안 시물레이터

본 논문에서 제안하는 시물레이터는 기존 배터리 기반의 무선 센서 네트워크 시물레이터인 Castalia[4]를 개량하여 구현하였다. 클래스 기반으로 구현되어 확장 가능한 구조이고 일사량 및 패널 특성, 에너지 저장 장치 특성을 반영한 SEH(Solar Energy Harvesting) 모듈을 포함하고 있다. 또한, 수집 에너지양과 우선순위를 기반으로 운영되는 PISA Routing 프로토콜[5]과 노드 간의 거리 정보와 수집 에너지양의 정보를 이용하여 운영되는 ODMAC(On-Demand MAC) MAC 프로토콜[6], 사용자 친화형 GUI 환경을 제공한다.

3.1 전체 구조

본 논문에서 제안하는 시물레이터는 Sensors Manager, Resource Manger, Mobility Manager, Communications composite module, 그리고 Application 부분으로 구성되어 있다. 그 중 배터리와 CPU, 메모리의 자원을 관리하는 Resource Manager를 확장해 에너지 수집, 소비 모델을



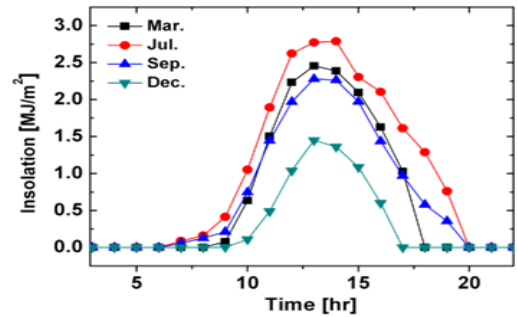
(그림 1) 시물레이터 전체 구조

추가하였고, Communications composite module의 Routing과 MAC 모듈을 확장해 새로운 Routing과 MAC을 추가하였다. 각각의 모듈은 간단한 함수 호출과 메시지 전달로 통신한다. 시물레이터의 전체 구조는 (그림 1)과 같다.

3.2 에너지 수집(Harvesting) 모듈

에너지 수집 모듈은 수집된 에너지를 계산하는 에너지 수집 모델과 사용한 에너지를 계산하는 에너지 소비 모델, 남은 에너지를 계산하는 잔존에너지 모델로 나뉜다.

에너지 수집 모델은 각 월에 따른 시간별 일사량 데이터로 맑은 날을 기준으로 $5.9 \times 5.7 \text{ cm}^2$ 의 Thin 필름 패널에 NiMH의 재충전 배터리를 사용한 실험 결과 값(그림2)을 기준으로 수집될 에너지를 계산한다. 수식은 (1)과 같다.



(그림 2) 3, 7, 9, 12월 시간별 일사량 (맑은 날, $5.9 \times 5.7 \text{ cm}^2$, Thin, NiMH)

$$H_{t_1}^{t_2} = \int_{t_1}^{t_2} P_{size}^{ratio} \times P_{efficiency}^{ratio} \times B_{efficiency}^{ratio} \times D_t dt \quad (1)$$

$H_{t_1}^{t_2}$ 는 t_1 과 t_2 사이에 수집되는 에너지이다. 항목별로 (2)는 DB에서 사용된 패널 크기(P_{size}^{base})에 비례한 입력된 패널의 크기(P_{size}^{input})이고, (3)은 DB 구축에 사용된 패널의 에너지 전환 효율($P_{efficiency}^{base}$)에 비례한 입력된 패널의 에너지 전환 효율($P_{efficiency}^{input}$)에 대한 부분이며, (4)는 구축에 사용된 배터리의 에너지 전환 효율($B_{efficiency}^{base}$)에 비례한 입력된 배터리의 에너지 전환 효율($B_{efficiency}^{input}$)에 대한 부분이다.

$$P_{size}^{ratio} = \frac{P_{size}^{input}}{P_{size}^{base}} \quad (2)$$

$$P_{efficiency}^{ratio} = \frac{P_{efficiency}^{input}}{P_{efficiency}^{base}} \subseteq \{P_{single}, P_{poly}, P_{thin}, P_{compounds}\} \quad (3)$$

$$B_{efficiency}^{ratio} = \frac{B_{efficiency}^{input}}{B_{efficiency}^{base}} \subseteq \{B_{SLA}, B_{BiCv}, B_{NiMH}, B_{Lion}, B_{Lipolymer}\} \quad (4)$$

에너지 소비 모델은 송수신, 시스템, 배터리에서 사용된 에너지를 계산한다. 수식은 (5)와 같다.

$$C_{t1}^{t2} = (C_{RX} + C_{TX} + C_{system} + C_{battery}^{t1}) \times (t_2 - t_1) \quad (5)$$

C_{t1}^{t2} 는 $t1$ 과 $t2$ 사이에 소모되는 에너지이다. 항목별로 (6)은 초당 수신되는 비트 수 k_1 에 비트당 소모되는 에너지 β 를 곱해 수신에 사용된 소모 에너지를 구한다. (7)은 초당 전송하는 비트 수 k_2 에 비트당 소모되는 에너지 α_1 와 증폭기의 에너지 $\alpha_2 d^p$ 를 곱해 송신에 사용된 소모 에너지를 구한다. 시스템과 배터리는 각 (8)과 (9)이다.

$$C_{RX} = k_1 \times \beta \quad (6)$$

$$C_{TX} = k_2 \times (\alpha_1 + \alpha_2 d^p) \quad (7)$$

$$C_{system} = PW \times DC \quad (8)$$

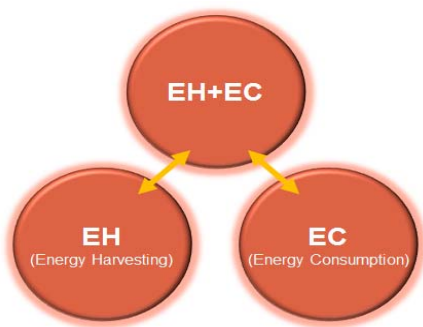
(단, PW=데이터 송·수신을 제외한 소비전력, DC=Duty Cycle)

$$C_{battery}^t = E_{residual}^t \times S_{discharge} \quad (9)$$

(단, $E_{residual}^t$ = t시간의 에너지 잔량, $S_{discharge}$ =배터리의 초당 감소하는 자기방전 속도)

잔존 에너지 모델은 전술한 에너지 수집 모델과 에너지 소비 모델을 운영하는데 중요한 요소로, 남은 에너지가 초기 에너지와 같다면 소비 모델만 동작하고 남은 에너지가 0이 되면 수집 모델만 동작한다. 그 이외의 상황에서는 수집과 소비모델이 동시에 동작한다. 이 동작 흐름은 (그림 3)과 같으며 남은 에너지를 구하는 수식은 (10)과 같다. E_{init}^t 는 초기 배터리의 남아 있는 에너지를 의미한다.

$$E_{residual}^t = E_{(init)} + H_0^t + C_0^t \quad (10)$$

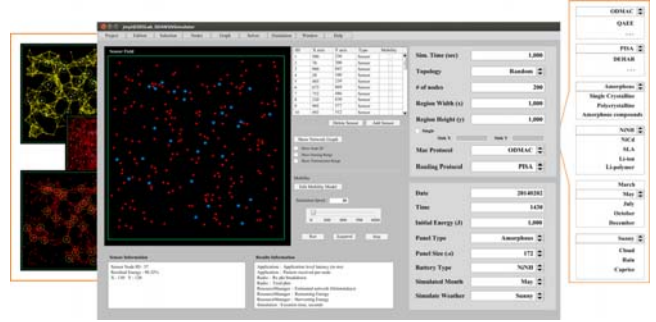


(그림 3) 잔존 에너지에 따른 모듈 변화

3.3 GUI

사용자의 편리한 시뮬레이션을 위해 GUI를 환경을 제공한다. GUI의 구조는 (그림 4)에서 볼 수 있다. 각각의 파라미터 항목을 통해 노드의 수, Routing 프로토콜, MAC 프로토콜, 패널의 종류, 저장장치의 종류, 날씨 등 환경설정을 간단하게 할 수 있고, 노드의 배치 및 송수신 거리를 확인할 수 있다. 또한, 상단의 메뉴를 통해 각 항목

의 세부사항을 설정할 수 있다.



(그림 4) 시뮬레이터 GUI 구조

4. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서 제안한 에너지 수집형 WSN을 위한 시뮬레이터는 패널의 크기 및 특성, 저장장치, 날씨에 따른 특성들을 선택할 수 있으며, 이러한 에너지 수집 요소를 고려한 Routing, MAC 프로토콜을 제공하고 있다. 이를 통해 더욱 정확한 실험을 수행할 수 있다. 또한, 사용자 친화형 GUI를 통해 쉽게 시뮬레이션을 할 수 있으며, 이러한 특성은 제안된 시뮬레이터가 에너지 수집형 무선 센서 네트워크의 특성 및 성능 향상을 위한 연구 도구로써 활용 가능하게 한다.

향후 연구과제로는 GUI 환경의 최적화가 필요하고, 추가적으로 에너지 수집 정보를 활용한 다양한 Routing과 MAC 프로토콜들의 구현이 필요하다.

참고문헌

[1] Sujesha Sudevalayam and Purushottam Kulkarni, "Energy Harvesting Sensor Nodes: Survey and Implications" IEEE Communications Surveys and Tutorials Vol. 13 No. 3 Pg. 443-461, 2011

[2] Marko Korkalainen, Mikko Sallinen, Niilo Karkkainen, Pirkka Tukeyva, "Survey of Simulators for Wireless Sensor Networks", ICNS, 2009

[3] Harsh Sundani, Haoyue Li, Vijay Devabhaktuni, Mansoor Alam, Prabir Bhattacharya, "Wireless Sensor Network Simulators A Survey and Comparisons", International Journal Of Computer Networks (IJCN), Volume (2) : Issue (5), 249-265, 2010

[4] <http://castalia.research.nicta.com.au/index.php/en/>

[5] Donggeon NOH, Donggeun LEE, and Heonshik SHIN, "QoS-Aware Geographic Routing for Solar-Powered Wireless Sensor Networks", IEICE Transactions Vol. 90-B No. 12 Pg. 3373-3382, 2007

[6] Xenofon Fafoutis, Nicola Dragoni, "ODMAC: An On-Demand MAC Protocol for Energy Harvesting - Wireless Sensor Networks", PE-WASUN, 2011