

배터리기반 무선 센서시스템을 위한 테이블기반 잔여 에너지양 추정기법

김재웅*, 노동건**

Table-based Effective Estimation of Residual Energy for Battery-based Wireless Sensor System

Jae-Ung Kim *, Dong-Kun Noh **

요약

무선센서네트워크(WSNs)에서 센서시스템의 한정된 에너지를 극복하기 위한 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 이들은 대부분 에너지 적응형(Energy-aware) 기법들이 많은데, 이 기법들은 노드 자신 또는 이웃노드들의 에너지양을 활용하고 있다. 그러나 기존의 센서시스템에서는 전압과 소모전류만을 가지고 잔여에너지양을 예측하고 있는데, 실제 배터리의 잔여에너지양은 온도와 로드(Load)의 영향을 많이 받기 때문에 정확하지 못할 수 있다. 본 연구에서는 배터리의 전압과 함께 배터리의 온도와 부하 특성을 반영한 효율적인 잔여에너지양 추정기법을 제안한다. 제안한 기법은 실제 환경에서의 실험과 시뮬레이션을 통해 그 성능을 검증하였다.

▶ Keywords : 무선센서네트워크, 배터리기반 센서시스템, 알카라인 배터리, 잔여에너지양

Abstract

Up to date, numerous studies on wireless sensor networks have been performed to overcome the Energy-Constraint of the sensor system. Existing schemes for estimating the residual energy have considered only voltage of sensor system. However battery performance in the real is affected by temperature and load. In this paper we introduce more accurate scheme, for the use in wireless sensor node, based on the interpolation of lookup tables which allow for temperature and load characteristics, as well as battery voltage.

▶ Keywords : Wireless Sensor Network, Battery-based sensor system, Alkaline battery, Estimation scheme of residual energy

•제1저자 : 김재웅 •교신저자 : 노동건

•투고일 : 2014. 4. 22. 심사일 : 2014. 6. 9. 게재확정일 : 2014. 8. 16.

* 송실대학교 전자공학과(School of Electronic Engineering, Soongsil University)

** 송실대학교 정보통신전자공학부(School of Electronic Engineering, Soongsil University)

I. 서론

무선센서네트워크(WSN)의 가장 큰 특징 중 하나는 한정된 자원을 가지고 있다는 것이다. 그 중에서도 한정된 배터리 에너지는 센서네트워크의 수명을 결정하는 중요한 요소이다. 무선 센서 네트워크 분야의 다양한 논문[1-5]들이 이러한 센서시스템의 잔여에너지량을 의식한 시스템 구성 및 라우팅(Routing) 기법들을 연구해왔다. 예를 들어 잔여에너지량 정보는 듀티사이클조정이나 전송거리조정(Transmission range control) 등 시스템레벨 최적화에 사용될 수 있고 에너지 적응형 라우팅 기법 등의 네트워크레벨 최적화에도 사용될 수 있다. 하지만 에너지 적응형 동작을 위해 가장 중요한 정보인 잔여에너지량의 예측방법으로는 전압에 따른 선형추측법(Linear estimation)이나 배터리 제조사에서 제공하는 문서를 참조한 전압기반 예측(Voltage based estimation)이 주로 사용되고 있다. 이러한 기법들은 센서네트워크의 환경과 배터리의 특성을 반영하지 못했기 때문에 오차가 크다. 배터리의 방전에 따른 전압의 변화는 선형적이지 않을 뿐만 아니라 온도와 로드(Load)의 변화에 민감하기 때문에 오로지 전압에 기반을 둔 예측기법은 정확하지 않을 수밖에 없다. 배터리의 잔여에너지량을 정확하게 예측하는 것은 모든 에너지 적응형(Energy-aware) 연구의 기반이며, 기존의 에너지 적응형 라우팅 기법이나 시스템의 효율 및 신뢰도를 높이는 중요한 역할을 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 배터리의 전압과 함께 배터리의 온도와 로드(Load)에 따른 성능특성을 반영한 효율적인 잔여에너지량 추정기법을 제안하였다. 실험에는 AAA 알카라인 배터리를 2개 사용하는 UBee430[6]을 사용하였다. UBee430은 마이크로프로세서로 MSP430을 탑재하였고 RF 모듈로 CC2420을 탑재한 매우 일반적인 사양의 연구용 배터리기반 센서시스템이다. 또한 전압과 온도센서 이외에 매우 다양한 센서를 제공한다. 검증된 실험방법[7]을 토대로 UBee430에서의 배터리특성을 테이블로 작성하였다. 그리고 실제 환경에서 제안한 기법으로 추정한 값이 기존의 선형추측법 및 전압기반 예측기법에 비해 더 정확한 추정 값을 제공한다는 것을 실험을 통해 증명하였다. 그리고 네트워크 시뮬레이션을 통해 제안한 기법이 기존의 기법에 비해 전체 네트워크의 지속시간과 에너지 소모의 불균형 문제를 개선하는 것을 확인하였다. 제안한 기법을 소개하기에 앞서 2장에서는 잔여에너지량을 예측하기 위해 선행되어진 연구들을 소개하고자 한다. 3장에서는 기존의 선형추측법을 사용한 잔여에너지량 예측이 어떤 문제가 있는지 보인다. 4장과 5장에서

는 배터리의 잔여에너지량을 추정하기 위해 고려해야 하는 요인들을 소개한다. 그리고 6장에서 본 연구에서 제안하는 기법을 소개하고 7장과 8장에서 이를 실험과 시뮬레이션을 통해 검증하고자 한다.

II. 관련 연구

이 장에서는 제안하고자 하는 잔여에너지량 추정 기법을 소개하기에 앞서 배터리기반 센서시스템의 생존시간을 예측하기 위해 선행되었던 연구들을 소개하고자 한다.

[8]에서는 배터리기반 센서시스템의 생존시간을 시뮬레이션 할 수 있는 툴을 제안했다. 이 연구에서는 Mica2 센서시스템에서 각각의 하드웨어 컴포넌트별 소모전류를 분석하였다. 그리고 어플리케이션 및 OS 코드를 기반으로 AEON이라는 새로운 전력소모 예측모델을 개발했다. 또한 AEON을 사용하여 센서시스템과 전체 네트워크의 생존시간을 예측하고자 했다. [9]에서는 배터리기반 센서시스템을 위한 소프트웨어기반의 온라인 에너지 추정기법을 제안했다. 무선센서시스템의 특성상 불필요한 에너지 소모를 줄이기 위해 수시로 하드웨어 컴포넌트를 켜고 끄게 된다. [9]은 이러한 특성에 따라 각각의 하드웨어 컴포넌트의 상태가 변경될 때마다 타임스탬프를 찍도록 하여 시스템의 에너지사용량을 계산했다. 또한 컴포넌트에서 소모되는 에너지를 순수하게 소프트웨어만을 사용하여 계산하기 때문에 기존의 하드웨어기반의 온라인 에너지 추정 기법[10]에 비해 하드웨어 추가에 따른 비용과 추가적인 에너지소모를 줄였다고 주장한다. [11]은 배터리기반 센서시스템의 에너지모델을 만드는데 있어서 배터리의 전압의 변화가 가장 중요한 요소라고 주장하고 있다. 이 연구에서는 대중적인 배터리기반 무선 센서시스템인 TelosB[12]를

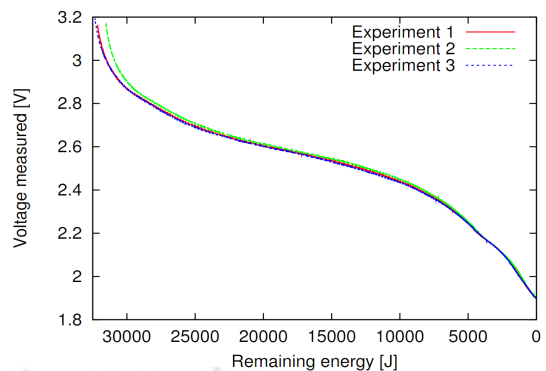


그림 1. Mica2: 배터리전압에 따른 잔여에너지량
Fig. 1. Battery discharging characteristic of the MICA2 mote

사용하여 실제 실험을 통해 에너지 모델을 제안했다. 제안된 모델은 배터리 전압의 방전특성을 고려하였고 다음과 같다.

$$t_{\max} = \frac{E_{\text{offered}}}{I_{\text{average}}} = \frac{E_{\text{offered}}}{\sum_{x=1}^N DC_x \times I_{x_average}}$$

배터리수명 t_{\max} 는 잔여에너지양 E_{offered} 을 현재 센서시스템의 평균 전류소모량 I_{average} 로 나누어 구할 수 있다. 단, x 는 현재 센서시스템에서 사용하는 컴포넌트를 의미하고 DC_x 는 해당 컴포넌트가 차지하는 시간비율을 의미한다. [13]에서는 센서시스템의 목표서비스시간을 만족시키기 위한 새로운 시스템을 제안했다. 제안한 시스템은 배터리의 잔여에너지양과 앞으로 사용할 에너지양을 예측 하고 남아있는 자원을 스케줄링하여 목표한 서비스시간을 만족시키도록 했다. 이 연구에서는 또한 센서시스템의 서비스별 소모에너지양을 쉽게 계산하기 위해 에너지레벨을 정의했다. 에너지레벨은 센서시스템의 하드웨어 컴포넌트에서 소모하는 전류량을 단계별로 나누어 정의한 것이다. 응용프로그램 마다 사용하는 하드웨어와 그 사용량이 다르기 때문에 하드웨어 컴포넌트마다 각기 다른 에너지레벨을 적용한다. 그리고 모든 컴포넌트의 에너지사용량을 합하면 해당 응용프로그램이 단위 시간당 소모하는 에너지양을 예측할 수 있다. 아울러 센서시스템의 잔여에너지양을 얻기 위해 배터리 모델을 정의했다. 배터리의 전압에 따른 잔여에너지양이 비선형적이라는 것을 밝히고 mica2 센서시스템을 사용한 세 번의 실험결과를 배터리모델로 사용했다. 그림 1은 [13]에서 제안한 배터리모델을 그래프로 표현한 것이다. [11],[13]에서 제안된 모델은 실험적으

로 구한 전류의 평균값을 사용하여 센서시스템의 생존시간을 계산한다. 하지만 같은 응용프로그램을 수행하더라도 실제 배터리는 온도의 변화에 따라 소모전류량도 달라지기 때문에 온도를 고려하지 않고 미리 계산된 전류량으로는 정확한 생존시간을 계산할 수 없다. 본 연구에서는 센서시스템의 생존시간을 계산하기 위해 가장 중요한 잔여에너지양을 효율적으로 예측하는 방법을 제안한다.

III. 선형추측법을 이용한 잔여에너지양 예측

기존의 선형추측법은 배터리전압이 감소할수록 남아있는 에너지양도 선형적으로 감소한다는 가정 하에 잔여에너지양을 예측하는 방법이다. 센서시스템에서 최대허용가능전압과 최소요구전압에서의 잔여에너지양을 각각 100%와 0%로 본다. 그림 2는 기존의 선형추측법과 실제실험결과를 비교하여 나타낸 그래프이다. 전압의 최대허용량은 AAA 알카라인 배터리 2개를 직렬로 연결했을 때의 전압이고 최소요구량은 센서시스템이 전압부족으로 올바른 센싱(Sensing)값을 판독할 수 없는 시점의 전압이다. 온도는 12°C의 일정한 온도 환경을 유지했다. 로드는 센서시스템의 RF 모듈을 켜놓고 대기하여 약 20~30mA를 실험 기간 동안 일정하게 유지했다. 실험결과에서 선형 추측법의 오차는 1.8V시점에서 최대 100%가 넘었다. 알카라인 배터리의 전압변화[14]는 비선형적이기 때문에 선형추측법을 사용하여 잔여에너지양을 예측하는 것은 정확도가 낮고 정확한 양을 추정할 수도 없다. 이러한 선형추측법은 전압의 변화가 선형적인 리튬이온배터리[15]에서 사용하는 것이 바람직하다.

IV. 가변온도 환경에서의 잔여에너지양 변화 분석

배터리는 금속이온과 전해질의 화학반응에서 얻어진 전위차로 전류를 흘린다. 이러한 화학반응은 온도의 영향을 많이 받기 때문에 배터리는 비록 전압이 같을 지라도 노출되는 온도에 따라 사용가능한 에너지양이 달라진다. 이장에서는 온도가 배터리의 잔여에너지양에 미치는 영향을 실험적으로 분석하였다. 실험은 일정한 온도가 유지되는 환경에서 배터리의 잔여에너지양과 전압의 관계를 관찰하였다. 그림 3은 본 연구의 실험환경을 찍은 사진이다. AAA 알카라인 배터리를 2개

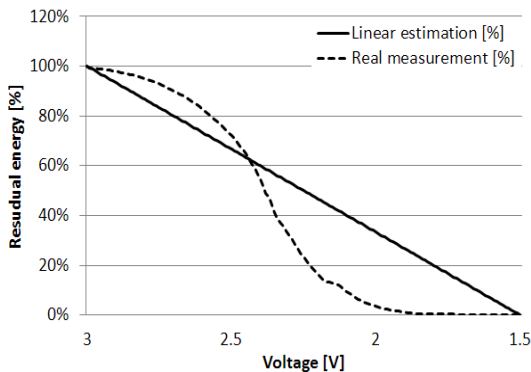


그림 2. 선형추측법을 사용하여 예측한 잔여에너지양 비교
Fig. 2. Estimation of residual energy from battery voltage and measured curve

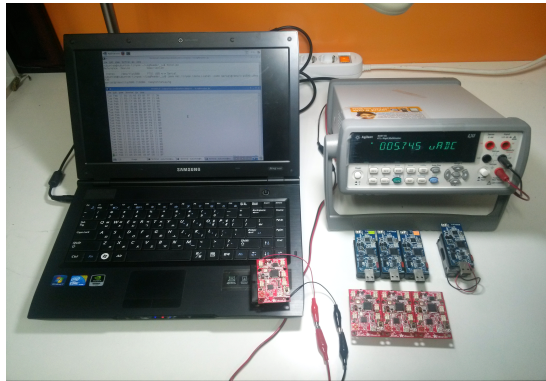


그림 3. 본 연구에서 사용된 실험환경
Fig. 3. Experiment environment

사용하는 UBee430 센서시스템을 사용하였고 RF모듈을 켜 놓은 상태에서 20~30mA의 로드를 유지하였다. 일정한 온도를 유지하기 위해 냉장고 및 차체 제작한 항온상자를 사용하였다. 전압은 UBee430에 탑재된 ADC 전압센서에서 제공하는 값을 로깅(Logging)하였고 전류는 Agilent 6.5digit 디지털 멀티미터를 사용하여 측정 및 로깅하였다. 로깅환경은 TinyOS가 설치된 리눅스 환경에서 자체 제작한 소프트웨어를 사용하여 전압과 전류값을 실시간으로 로깅하였다. 그림 4는 0~38℃까지 약 12℃ 간격의 온도에서 전압에 따른 잔여에너지량의 변화를 나타낸 그래프이다. 각각의 그래프는 온도에 따라 알카라인 배터리의 사용가능한 잔여에너지량이 다르다는 것과 배터리의 잔여에너지량이 전압의 변화에 선형적이지 않다는 것을 보여주고 있다. 특히 38℃ 환경에서 총 1.38Ah의 에너지를 사용할 수 있는 반면에 0℃ 환경에서는 총 0.72Ah를 사용할 수 있는데 이는 온도에 따라 최대 1.9배 까지 에너지의 차이가 날 수 있음을 보여주고 있다. 실험 결과와 같이 배터리기반 센서시스템의 잔여에너지량 예측에 있어서 온도는 전압과 함께 고려되어야 할 매우 중요한 변수 중 하나이다. 이런 온도와 전압에 따른 배터리의 특성을 데이터베이스화하여 잔여에너지량 예측에 활용하여야 한다. 다음 장에서는 배터리의 잔여에너지량에 영향을 미치는 두 번째 요소인 로드에 대해 알아보았다.

V. 가변로드 환경에서의 잔여에너지량 변화 분석

앞서 4장에서는 온도정보를 무시하고 예측한 잔여에너지량이 실제 배터리의 잔여에너지량과 큰 차이가 있음을 실험을

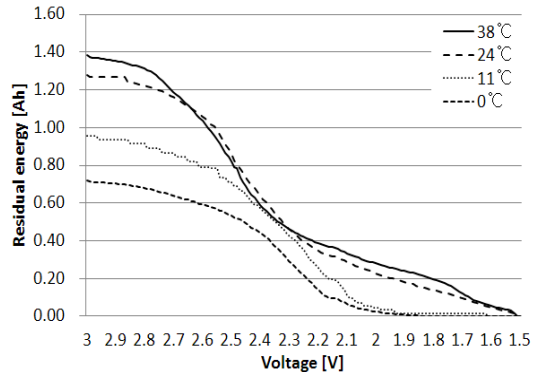


그림 4. 각기 다른 온도에서의 전압과 잔여에너지량 관계
Fig. 4. Change in residual energy with battery voltage at different temperature

통해 알아보았다. 이장에서는 배터리기반 센서시스템의 로드와 알카라인 배터리의 잔여에너지량의 관계를 분석한다. 그림 5는 동일한 AA 알카라인 배터리를 각각 약 25mA, 약 100mA, 약 250mA의 일정한 로드에서 사용했을 때 전압과 잔여에너지량의 변화를 시뮬레이션 한 결과(7)이다. 전압의 최대 허용량과 최소요구량은 각각 3V와 1.6V로 설정하였다. 그림 5에 따르면 각각의 로드에서 사용가능한 에너지량은 2.916Ah, 2.45Ah, 1.9Ah이다. 사용가능한 에너지량은 로드의 크기에 따라 많게는 약 1Ah의 차이를 보이고 있다. 배터리기반 센서시스템의 로드가 커질수록 잔여에너지량은 더욱 빠르게 줄어든다. 결론적으로 잔여에너지량이 같아도 로드가 커지면 사용가능한 에너지량은 줄어들게 된다. 이러한 알카라인 배터리의 특성을 반영하여 [7]에서는 배터리기반 센서시스템에서 온도와 로드정보를 사용하여 온오프라인 잔여에너지량 예측기법을 제안했다. 하지만 여러 번의 실험을 통해 센서시스템의 로드는 RF모듈을 사용하지 않을 때는 약 1~5mA의 로드를 갖고 RF모듈을 사용하여도 최대 30mA의 로드를 넘지 않는 것을 실험적으로 확인하였다.

VI. 효율적인 잔여에너지량 추정기법

앞서 알아본바와 같이 온도와 로드는 모두 배터리기반 센서시스템에서 잔여에너지량을 추정하기 위해 고려해야할 중요한 변수이다. [7]에서 제안한 온·오프라인정보를 활용한 잔여에너지량 예측기법은 총 7개의 온도 데이터베이스를 사용하였고 외부의 전류센서를 사용하여 평균온도와 함께 평균로드 정보를 계산해야했다. 본 연구에서는 [7]을 토대로 추가적인 실험을 통해 중심이 되는 4개 온도의 데이터베이스를 만들

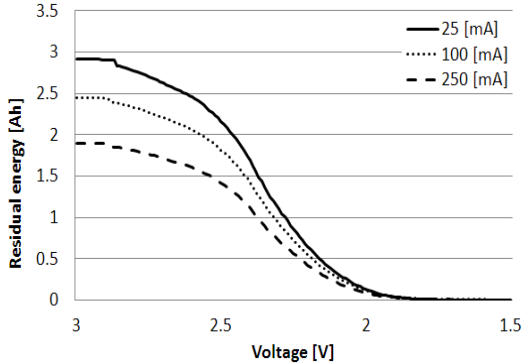


그림 5. 각기 다른 로드에서의 전압과 잔여에너지양 관계
Fig. 5. How residual energy corresponds to battery voltage at different loads

었다. 새로운 데이터베이스는 용량이 1.6배 감소되었으 정밀도가 향상되었으며, 제안하는 기법은 평균로드를 계산할 필요가 없으므로 별도의 전류센서가 요구되지 않는다. 앞서 5장에서 언급한바와 같이 센서시스템의 로드는 1~30mA 사이를 넘지 않는다. 이정도의 로드변화에서는 로드에서 의한 가용에너지양 변화가 크지 않다. 다만 로드의 크기에 따라 에너지를 소비하는 속도의 차이가 있을 뿐이다. 하지만 일반적인 센서시스템에 내장된 RF 안테나가 아닌 0dBm 이상의 고출력 RF안테나를 내장한 센서시스템이 개발된다면 잔여에너지양을 예측할 때 평균로드를 반영해야 한다. 제안하는 방법은 전압과 온도에 따라 변하는 알카라인 배터리의 잔여에너지양 데이터베이스를 센서시스템에 내장하는 것이다. 잔여에너지양 정보가 필요할 때 센서시스템은 단지 온도와 배터리의 전압을 센서를 통해 읽고 내장된 데이터베이스에서 그 값과 근접한 잔여에너지양을 찾으면(Lookup) 된다. 센서시스템의 특성상 데이터베이스의 크기가 너무 크면 안 되므로 모든 온도에서의 에너지정보가 아니라 센서를 배치한 환경에 따라 적합한 대표 온도들의 정보만 데이터베이스화한다.

잔여에너지양은 기존의 연구들[10][11]에서 예측하려 했던 사용가능시간을 계산하는데 필요한 정보이다. 잔여에너지양 E_n 은 [11],[13]에서 구한 각 컴포넌트별 소모 전류량 I_n 과 듀티사이클 T_n 으로 나누어 사용가능시간 t_n 을 예측할 수 있다. 그 수식은 아래와 같다.

$$Usable\ Time(t_n) = \frac{Residual\ Energy(E_n)}{load(I_n) \times duty\ cycle(T_n)}$$

또한 잔여에너지양을 기반으로 네트워크 레벨이나 센서시

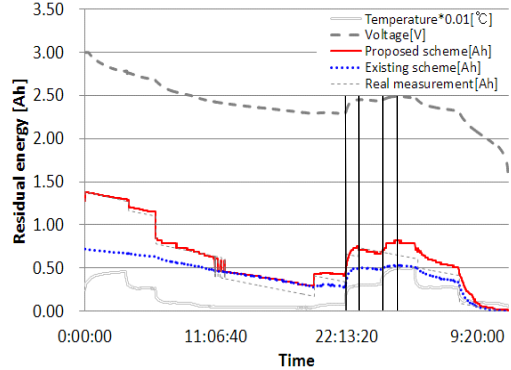


그림 6. 온도가 변하는 실제환경에서의 실험결과
Fig. 6. Actual experimental result at varying temperature

스템 자체적인 에너지인식 스케줄링(Energy-aware Scheduling)이 가능해진다. 다만 컴포넌트별 로드의 크기는 온도환경에 따라 달라지기 때문에 각각의 온도별로 재측정하는 수고가 요구된다. 이렇듯 생존시간을 예측하기 위해서는 잔여에너지양과 함께 센서시스템의 로드정보가 필요하다.[7]

제안한 기법은 간단하지만 온도에 민감한 알카라인 배터리의 특성과 센서시스템의 작은 로드를 반영하여 실측값과 거의 흡사하다는 것을 실험적으로 증명하였다. 잔여에너지양을 정확하게 추정한다면 기존의 연구[11][13]에서 에너지인식 스케줄링 및 생존시간예측에 있어서 정확도를 높일 수 있고 에너지 적응형 라우팅의 성능을 극대화 할 수 있다.

VII. 실험적 검증

표 1 측정환경
Table 1. Measurement environment

DMM	Agilent 34411A 6.5 digit	
Sensor System	UBee430 (Huins)	
Battery	Energyzyer Alkaline AAA	
OS	TinyOS	
Application	Sensing	2 decode/sec
	RF	1 frame/sec
	Duty cycle	1.0
Average load	25.5 mA	
Temperature variation	5 ~48 °C	

이장에서는 6장에서 제안한 추정기법을 실제 환경에서 실험적으로 검증한 결과를 소개하고자 한다. 측정환경은 표1과 같다. 사막과 같이 낮과 밤의 기온차가 심한 극한의 환경을 가정하고 5°C에서 48°C 까지 주기적으로 온도가 변하는 환경에서 실험을 진행하였다. 센서시스템의 생존시간 내내 전압과

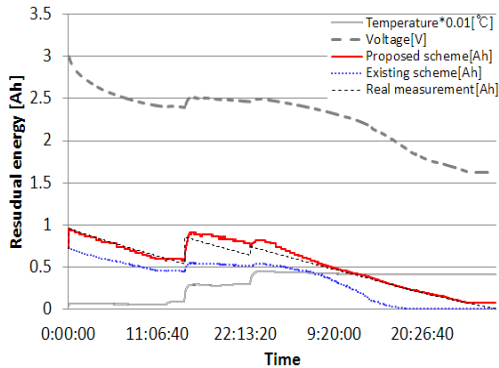


그림 7. 전압이 상승하는 구간에서의 재 실험
Fig. 7. Re-experiment result at the point of voltage rise

온도, 소모전류를 실시간으로 로깅하였다. 그림 6은 실험결과를 보여주고 있다. 온도가 변하는 환경에서 선형추측법으로 잔여에너지량을 예측하는 것은 오차범위를 넘어섰기 때문에 생략했다. 그 외에 제안한 잔여에너지량 추정기법과 기존의 전압기반 예측기법[13]을 실제 측정값과 비교하여 나타냈다. 전압기반 예측기법은 온도를 고려하지 않고 전압만을 고려한 데이터베이스를 사용하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 전압기반 추측기법은 처음부터 실측값과 큰 오차를 보이고 있다. 반면 제안한 추정기법은 온도가 급격히 높아지고 서서히 낮아지기 까지 실측값과 거의 유사한 추정 값을 보여주고 있다. 비록 낮은 온도가 지속되는 12시에서 20시 사이에는 전압기반의 예측 값과 같이 실측값보다 조금 높은 값을 제공하였지만 온도가 다시 높아지고 낮아지는 시점에서는 기존의 추측법보다 더 정확한 추정 값을 제공하고 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 6은 잔여에너지량 정보와 함께 시간에 따른 온도변화와 센서시스템의 전압을 나타내고 있다. 온도는 실제 온도를 100으로 나누어 표시하였다. 한 가지 흥미로운 점은 온도가 약 8°C에서 48°C까지 상승하는 22시~5시 구간에서 배터리의 전압도 함께 상승하였다. 이처럼 온도가 상승하면 배터리의 전압도 상승한다. 하지만 8°C에서 30°C까지 약 22°C의 온도가 상승하는 첫 번째 구간에서 전압이 0.16V 상승한 것에 비해 30°C에서 48°C까지 약 18°C 상승하는 구간에서는 약 0.05V 밖에 상승하지 않았다. 이것은 곧 온도가 상승함에 따라 전압이 상승하는 것이 선형적이지 않다는 것을 보여준다. 전압이 상승하는 구간에서 제안한 추정기법과 전압기반 예측기법의 정확도를 비교하기 위해 5°C에서 45°C로 온도가 상승하는 환경에서 재 실험을 진행했다. 그림 7은 해당 실험의 결과를 보여준다. 그림 6과 동일하게 제안한 추정기법과 전압기반 예측기법을 실측값과 함께 비교하여 나타내었다. 또한 센

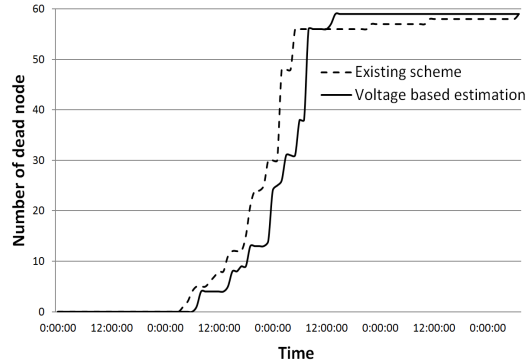


그림 8. 시간 경과에 따른 죽은 노드 수
Fig. 8. The number of dead node over time

서시스템의 전압과 온도를 함께 나타내었다. 온도는 100으로 나누어 나타내었다. 처음 0시에서 12시까지 제안한 추정기법은 실측값과 동일한 추정결과를 내었고 온도가 급격히 상승한 구간인 12시에서 다음날 9시 사이에는 실측값에 비해 조금 높은 추정 값을 제공했지만 9시 이후에는 실측값에 거의 근접했다. 그러나 전압기반 예측기법이 제공한 예측 값은 모든 구간에서 실측값보다 약 0.22Ah가 낮았다. 그리고 둘째 날 18시 시점에는 센서시스템이 여전히 동작함에도 불구하고 잔여 에너지량을 0으로 나타내고 있다.

결론적으로 제안한 기법은 약 3.1 Kbyte의 데이터베이스만으로도 정확하게 잔여에너지량을 추정할 수 있었다. 그리고 온도가 변하는 실제 환경에서 기존의 전압기반 잔여에너지량 예측기법은 경우에 따라 큰 오차를 내기 때문에 실제 환경에서 적용하기에는 무리가 있다는 것을 실험을 통해 확인하였다.

VIII. 네트워크 성능평가

표 2 시뮬레이션환경
Table 2. Simulation environment

Simulator	NSBS (C++)	
Network size	80*40	
Number of node/sink	59 / 1	
Battery model	Energyzer Alkaline AAA	
Routing protocol	Energy-aware routing Location based routing	
Application	Sensing	60 decode/sec
	RF	1000 frame/sec
	Duty cycle	1.0
Average load	26.0 mA	
Temperature variation	-5 ~45 °C	

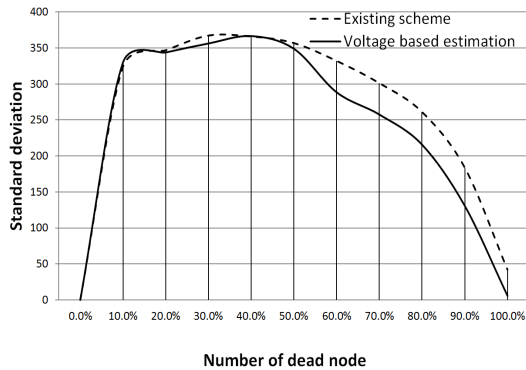


그림 9. 잔여에너지양의 표준편차
Fig. 9. The standard deviation of residual energy

이장에서는 6장에서 제안한 추정기법이 기존의 전압기반 예측기법에 비해 어느 정도의 성능향상이 있는지 네트워크 시뮬레이션 결과를 소개하고자 한다. 시뮬레이션 환경은 표2와 같다. 시뮬레이터는 C++로 구현하였고 각 노드별 잔여에너지량을 계산할 때 제안한 기법과 함께 전압기반 예측기법을 사용할 수 있다. 동일한 시뮬레이션 조건에서 두 기법을 테스트하였다.

가로 80m 세로 40m의 배치영역에 1개의 싱크노드(Sink node)를 포함한 총 60개의 노드를 배치했다. 라우팅 프로토콜은 Energy-aware location based routing을 적용했다. 각 노드들은 위치정보를 기반으로 자신보다 싱크노드에 근접한 노드를 이웃노드로 선택하되, 잔여에너지량이 많은 노드에 우선권을 주도록 하였다. 배터리모델[14]과 노드의 에너지소모 모델[6][12]은 최대한 실제 환경과 유사하게 구현하였다. 그림 8과 그림 9는 각각 시간 경과에 따라 죽은 노드의 수와 죽은 노드가 10% 증가할 때마다 전체 노드의 잔여에너지양 표준편차를 구했다. 시뮬레이션 결과에는 기존의 전압기반 예측기법과 제안한 기법을 비교하였다. 그림 8과 그림 9에서 알 수 있듯이 제안한 기법은 온도의 변화를 반영하여 잔여에너지량을 정확하게 추정하기 때문에 에너지 적응형 라우팅 프로토콜의 성능을 극대화 할 수 있었다. 그림 8에서 50개 이상의 노드가 죽은 이후에는 네트워크가 실질적으로 동작하지 않기 때문에 제안한 기법은 기존의 기법으로 잔여에너지량을 계산했을 때 보다 최대 6시간 이상 네트워크를 지속할 수 있었다. 또한 센서네트워크 특성상 싱크노드에 트래픽이 몰리기 때문에 싱크 주변 노드의 에너지 소모가 크고 시간이 지날수록 네트워크 전체의 에너지소모가 불균등해진다.[16] 하지만 그림 9를 통해 50%의 노드가 죽었을 때부터 제안한 기법을 사용하였을 때 표준편차가 더욱 줄어드는 것을 확인할 수 있

다. 그림 8과 그림 9를 통해 제안한 기법으로 잔여에너지량을 정확하게 추정할 때 에너지 적응형 라우팅의 성능을 극대화 할 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

IX. 결론

배터리기반 센서시스템에서 잔여에너지량을 추정하기 위해서는 알카라인 배터리의 특성과 센서시스템의 특성을 반영해야한다. 본 연구에서는 알카라인 배터리의 온도와 로드특성을 실험을 통해 소개하였고 평균 온도와 전압으로 잔여에너지양 데이터베이스를 조회하여 정확하게 잔여에너지량을 추정하는 기법을 제안하였다. 그리고 센서시스템의 생존시간을 계산하기 위해 기존에 사용했던 선형추측법과 전압기반 잔여에너지양 예측기법의 문제점을 확인하고 실험적으로 제안한 기법의 성능을 검증하였다. 또한 네트워크 시뮬레이션을 통해 제안한 기법이 기존의 기법에 비해 전체 네트워크의 지속시간과 에너지 소모의 불균형 문제를 개선하는 것을 확인하였다.

서론에서 언급한바와 같이 생산비용과 적은전류를 오래 소모해야하는 센서시스템의 특성을 고려할 때 무선센서네트워크에서 배터리기반 센서시스템의 사용은 불가피하다. 본 연구는 기존의 에너지 적응형 최적화연구에 사용되는 잔여에너지량을 효율적으로 추정하는 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 알카라인 배터리의 특성을 고려하였고 내장된 테이블을 사용하여 정확한 추정이 가능하다. 제안한 기법에 사용되는 테이블은 4개의 온도를 고려하였고 크기는 약 3.1Kbyte이다. 대중적인 배터리기반 센서시스템인 Telos와 UBee430은 1MByte의 플래시메모리를 제공하고 Mica2의 경우 128KByte의 프로그램 플래시메모리(Program Flash Memory)를 제공한다. 그러므로 제안한 추정기법에 사용되는 테이블은 시중에 나와 있는 센서시스템에서 큰 문제없이 적용이 가능할 것으로 보인다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2011 -0012996)

참고문헌

- [1] Pantazis N.A., Nikolidakis S.A., Vergados D.D., "Energy-Efficient Routing Protocols in Wireless Sensor Networks: A Survey", Communications Surveys & Tutorials, IEEE, Vol. 15, Issue. 2, pages 551-591, 2013
- [2] Yulin Li, Shouyi Yin : Leibo Liu : Shaojun Wei, "Battery-Aware MAC Analytical Modeling for Extending Lifetime of Low Duty-Cycled Wireless Sensor Network", Networking, Architecture and Storage (NAS) 2013 IEEE Eighth International Conference on, pages 297-301, 2013
- [3] Thomas Menzel, Adam Wolisz, "Overpotential-Based Battery End-of-Life Indication in WSN Nodes", Sensor Systems and Software ,Vol. 122, pp 34-46, 2013
- [4] Xinwei Wang, Nils Heidmann, Rong Shen, Steffen Paul, Rainer Laur, "Early Self-diagnosis of Critical Battery Status based on Sensing Quality in WSN", Procedia Engineering, Vol. 25, pages 807-810, 2011
- [5] Jang Yoon-Sik, Park Nam-Kyu, Oh Chung-Sik, Choi Seung-Kwon, Lee Chang-Jo, Cho Yong-Hwan, "Improved MP-DD Routing Algorithm Considering Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks", Journal of the Korea Society of Computer and Information, v.14, no.7, 97-103, July 2009
- [6] "UBee430 Programing Guide", Huins. Copyright 2011
- [7] Dong Kun Noh, Jaeung Kim, "Voltage-based Estimation of Residual Battery Energy in Wireless Sensor System", Sensors 2013 IEEE, pages 1-4, 2013
- [8] Olaf Landsiedel, Klaus Wehrle, Stefan Grotz, "Accurate Prediction of Power Consumption in Sensor Networks", Second IEEE Workshop on Embedded Networked, Embedded Networked Sensors, pp. 37-44, May 2005.
- [9] Adam Dunkels, Fredrik-Osterlind, Nicolas Tsiftes, Zhitao He, "Software-based On-line Energy Estimation for Sensor Nodes", Embedded Networked Sensors -EmNets, pp. 28-32, 2007
- [10] X. Jiang, P. Dutta, D. Culler, I.Stoica, "Micropower meter for energy monitoring of wireless sensor networks at scale", IPSN '07 Proceedings of the 6th international conference on Information processing in sensor networks, pages 186-195, 2007
- [11] Fotis Kerasiotis, Aggeliki Prayati, Christos Antonopoulos, Christos Koulamas, George Papadopoulos, "Battery Lifetime Prediction Model for a WSN Platform", Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM) 2010 Fourth International Conference on, pages 525-530, 2010
- [12] "TelosB mote platform", Crossbow Technology. Copyright 2009
- [13] Andreas Lachenmann, Pedro Jose Marron, Daniel Minder, Kurt Rothermel, "Meeting Lifetime Goals with Energy Levels", Conference On Embedded Networked Sensor Systems-SenSys, pp. 131-144, 2007
- [14] Energizer Battery Manufacturing Inc, "Alkaline Handbook", Alk2.0, Page1-14, 2008
- [15] Panasonic, "Lithium Ion Batteries: Individual Data Sheet", Jan, 2007
- [16] Kook Joong Jin, Park Young Choong, Park Byoung Ha, Hong Ji Man, "An Adaptive Clustering Protocol Based on Position of Base-Station for Sensor Networks", Journal of the Korea Society of Computer and Information, v.16, no.12, 247-255, December, 2011

저 자 소 개



김 재 응
2013: 숭실대학교
정보통신전자공학부 공학사.
현 재: 숭실대학교
전자공학과 석사과정
관심분야: Ubiquitous Sensor
Energy Efficiency
Email : jaeung24k@ssu.ac.kr



노 동 건
2000: 서울대학교
컴퓨터공학과 공학사
2002: 서울대학교
전기컴퓨터공학부 공학석사
2007: 서울대학교
전기컴퓨터공학부 공학박사
현 재: 숭실대학교
정보통신전자공학부 조교수
관심분야: Embedded System,
Mobile Computing,
Ubiquitous Sensor
Network
Email : dnoh@ssu.ac.kr