

센서네트워크 노드의 전력모델 개발

박재복⁰ 조현우^{*} 우덕균^{**} 임채덕^{**} 김형신^{*}

*충남대학교 컴퓨터공학과, **한국전자통신연구원

{*parkjaebok⁰, *jhwzero, *hyungshin}@cnu.ac.kr, {**dkwu, **cdlim}@etri.re.kr

Power Model Development for Sensor Network Nodes

Jaebok Park⁰, Hyunwoo Joe*, Dukkyun Wu**, Chaedeok Lim**, Hyungshin Kim*

*Dept. of Computer Engineering, Chungnam National University

**Electronics and Telecommunications Research Institute

요약

센서네트워크의 전력소모를 최소화, 최적화하기 위해서는 센서노드들을 실제 환경에 설치하기 이전에 시뮬레이터를 이용하여 센서네트워크의 전력상황을 정확히 추정해야 한다. 이러한 시뮬레이터를 위해서는 센서노드의 소모에너지를 정확히 분석할 수 있는 전력모델이 반드시 요구된다.

본 논문은 센서노드의 소비전력을 정확하게 측정할 수 있는 환경과 방법을 제시하며, 이 환경과 방법을 이용하여 센서노드의 소모전력을 명령어기반과 동작상태기반으로 정확히 측정 분석하고, 센서네트워크 시뮬레이터에 적용할 수 있는 전력모델 개발과정에 대해 소개한다. 전력모델링에 사용된 센서노드는 ATmega128L과 CC2420으로 구성된 Nano-24노드이다.

1. 서 론

센서네트워크는 근거리 무선통신 장치를 이용하고 배터리로 동작하며, 애드혹(Ad-Hoc)방식의 네트워크를 이용한다. 이 센서네트워크를 보다 다양한 사회 분야에서 유용하게 사용하기 위해서는 소모전력을 최소화해야 한다. 일반적으로 센서네트워크는 수백에서 수천만 개의 노드들을 이용하며, 설치 이후에는 배터리를 쉽게 교체할 수 없으므로 한 개의 배터리로 최소 몇 년 이상 동작될 수 있어야 한다. 즉 배터리 소모전력이 그 센서네트워크의 수명을 좌우한다고 할 수 있다. 따라서 센서네트워크의 수명을 극대화하기 위해서는 시스템의 전력소비량을 정확히 예측하는 것이 필요하다.

일반적으로 시스템의 전력소모를 예측하는 방법은 시뮬레이터기반[1]과 측정기반[2][3][4]으로 분류할 수 있다. 시뮬레이터기반방식은 소프트웨어를 이용하여 하드웨어적인 요소는 감추면서 시스템의 전력 소비를 추정하는 방식이다. 이와는 달리 측정기반방식은 멀티미터나 오실로스코프를 사용하여 센서노드의 소모전류를 측정하는 방식이며, 정확도가 시뮬레이터기반방식에 비해 매우 우수하다. 하지만 이 측정방식은 센서네트워크 같이 수백 수천으로 구성된 네트워크 전체의에너지를 추정하기가 어렵다는 문제가 있다. 따라서 센서네트워크에서는 시뮬레이터기반의 방식을 이용하는 것이 적절하다고 할 수 있다. 시뮬레이터기반의 전력소모예측을 위해서는 센서노드의 동작상태에 따른 정확한 전력모델이 요구된다.

본 연구에서는 센서네트워크의 정확한 소비전력추정을

위해 명령어기반과 동작상태기반의 측정방법을 이용하여 전력모델을 개발한다. 본 논문에서는 전력모델을 개발할 수 있는 측정환경과 방법에 대해 소개하고 이 측정환경과 방법을 이용하여 전력모델링 과정을 소개한다.

2. 전력모델링 개발환경

우리의 전력모델링 개발환경은 그림1(a)과 같이 호스트, PC, 전원공급기, 센서노드로 구성되어 있다. 그림1(b)에 있는 전력측정소프트웨어는 호스트PC에서 시리얼포트를 이용하여 전원공급기를 제어하고 측정데이터를 전송 받는다. 전원공급기는 Powerline을 이용하여 센서노드의 소모전력을 측정한다. 이 때 원하는 부분의 동작전류를 샘플링하기 위해서 센서노드의 부분적인 동작프로그램들을 작성한다. 전력모델링에서 사용된 전원공급기는 HP사의 66311B로 최대 샘플링 간격은 15.6us로 매우 빠르고 정밀하게 샘플링할 수 있다. 우리의 전력모델링 개발환경은 크게 2가지의 샘플링방식을 가지고 있다. 첫 번째 방식은 샘플링 간격과 샘플링 수를 고정하는 방식으로, 한번에 최소 15.6us 간격으로 최대4096개의 데이터를 얻을 수 있다. 두 번째 방식은 전원공급기에서 평균전류값을 계산하여 바로 전송하는 방식이다. 우리는 마이크로프로세서와 센서들의 특징을 따라 적합한 전력측정방식을 선택하여 전력모델을 만들었다.

본 연구에서 사용된 센서노드는 Nano-24[5]이며 8비트 마이크로컨트롤러인 Atmega128L과 2.4Ghz RF통신인 CC2420으로 구성된 노드이다. 이 노드는 센서보드 및 액츄에이터보드와 결합하여 동작하며, 노드의 동작전압은 3.3V로 레귤레이터를 사용하지 않고 건전지 전압을 직

*본 연구는 한국전자통신연구원의 정보통신연구개발사업 위탁연구과제(3010-2005-0087) 연구입니다.

접 공급함으로써 저전력을 실현한다.

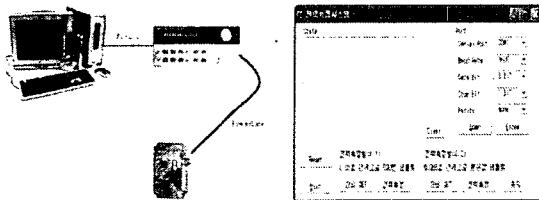


그림1(a)전력소모측정 환경, (b)전력측정소프트웨어

3. 마이크로컨트롤러 전력모델링

먼저 우리는 마이크로컨트롤러의 전력모델을 기본에너지 소모와 인터-인스트럭션 효과를 고려하여 개발한다. 첫 번째로 기본 에너지 소모란 각 명령어에 고정된 에너지 소모 값을 말한다. 우리는 ATmega128L이 가진 133개 모든 명령어의 소모전류를 측정하여 전력모델을 개발했다. 한 명령어의 소모전류를 구하는 방법은 그림2와 같이 동일한 명령어를 반복적으로 수행하여 측정한다.

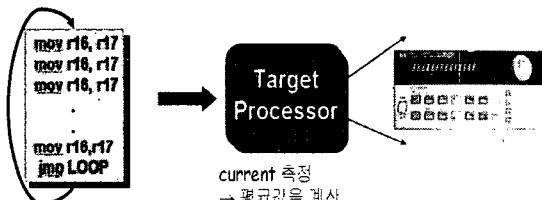


그림2 기본 에너지 소모 측정 방법

두 번째로 인터-인스트럭션 효과란 기본 에너지 소모와 달리 다수의 다른 명령어들로 이루어진 프로그램을 실행시켰을 때 기본 소모전류 보다 더 소모되는 것을 말한다. 이는 프로그램 실행 중 이전 명령어와 현재 명령어가 다를 때 발생된다.

인터-인스트럭션 효과 보정방법은 MCU에서 동일 내부 모듈을 사용하여 기본 에너지소모값이 비슷한 명령어들을 클래스로 둑어 각 클래스간 변화 값을 측정하여 보정하는 방법이 있다. 명령어의 전력모델을 위해 기본 에너지 소모 측정 시, 명령어들의 오퍼랜드를 모두 1인 경우와 0인 경우를 반복적으로 실행하여 최대 소모전류를 구한다. 반대로 항상 0인 경우를 반복하여 최소 소모전류를 구한다. 모든 명령어마다 최대값과 최소값을 구하고 이를 값의 평균을 전력모델에 사용한다. 추가적으로 각 클래스 별로 명령어들을 분류하여 모두 다른 클래스로 동작하는 경우와 모두 같은 클래스로 동작하는 경우를 조합하여 평균전류를 구하고, 전력소모 계산시 이 평균전류를 각 함수 단위로 보정하여 사용한다. 이러한 방법들을 이용하면 시뮬레이션 중에 명령어를 분석하지 않고 간단히 인터-인스트럭션 효과를 계산하여 시뮬레이터에 부하를 주지 않는다. 따라서 우리는 이러한 방법들을 이용하여

인터-인스트럭션 효과 문제를 해결한 전력모델을 개발했다.

4. 통신모듈 전력모델링

통신모듈인 CC2420은 2.4Ghz의 지그비를 지원하는 RF칩이다. 이 칩의 기본적인 동작은 RX, TX, Idle, power down mode들을 가지고 있다. 송신모드는 8개의 통신레벨을 가지고 있으며, 각 통신레벨들은 소모되는 전류가 다르다. 통신모듈의 소모전류를 측정하기 위해 두 개의 센서노드를 이용하며, 한 개의 노드는 송신용으로, 다른 한 개의 노드는 수신용으로 설정하여 소모전류를 측정한다.

그림3의(a)는 송신기의 소모전류를 분석한 그래프로써 0.2초 동안 측정한 결과로 0.1초 간격의 통신주기를 가진 그림이다. 통신영역인 ⑥를 확대해 보면 그림3의(b)와 같으며, ④영역은 데이터전송을 위해 통신상태를 확인할 수 있도록 수신모드를 갖는다. ⑥영역은 실질적인 센서데이터를 전송하는 영역이고 ①영역은 acknowledgement를 위해 수신모드를 갖는다. 마지막으로 ⑨영역은 통신모드변경 및 CC2420의 메모리 쓰기 및 지우기를 부분이다. 이 그래프를 이용하여 TX영역과 RX영역의 평균소모전류를 구하고 마이크로프로세서의 소모전류를 빼면 통신에 의해 소모되는 전류를 얻을 수 있다.

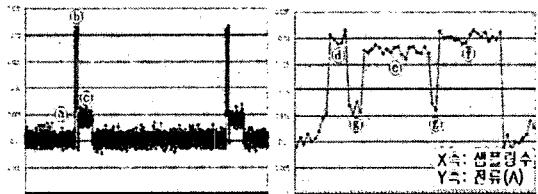


그림3 (a)송신기 소모전류, (b)상세 송신기 소모전류

CC2420의 송신모드는 8개의 출력세기를 제공하며 출력세기 변경방법은 CC2420의 TXCTRL 레지스터를 이용하여 바꿀 수 있다. 우리는 이 레지스터를 변경하여 출력세기에 따른 소모전류를 측정하고 CC2420의 송신세기에 따른 전력모델을 개발했다.

추가적으로 CC2420은 저전력을 위해 DOWN, IDLE모드를 제공한다. 이 모드들을 측정하기 위해 우리는 먼저 프로그램으로 CC2420을 OFF시킨 후 소모전류를 측정했다. 측정 결과 노드에서 소모되는 전류값은 10.473mA이며, 이 전류값은 마이크로컨트롤러의 명령어에 의해 소모되는 전류값과 기타부품들 의해 소모되는 전류값이었다. 이 전류값은 마이크로컨트롤러의 명령어 전력모델에 의해 계산된다. 다음으로 CC2420의 POWER DOWN모드를 ON시켜 측정한 결과 10.491mA가 소모했다. 따라서 POWER DOWN모드는 OFF상태보다 10.491mA - 10.473mA = 0.018mA가 더 소모했다. 마찬가지로 IDLE모드는 OFF상태보다 10.932mA - 10.473mA = 0.499mA가 더 소모했다. 우리는 이와 같은 분석과정을 통하여 통신모듈의 전력모델을 개발했다.

5. 주변센서 전력모델링

Nano-24의 센서보드는 센서노드와 결합하여 외부환경을 감지한다. 이 센서보드는 조도, 온도, 습도, 가스센서를 가지고 있다. 각 센서는 마이크로컨트롤러의 ADC Port와 연결되어 센서들을 감지한다. 우리는 이를 각 센서에 대해서 전력모델을 개발했다.

여러 센서들 중 조도센서(A9060)의 전력모델링을 살펴보면, 조도센서는 조도값을 읽어 들이는 방법으로는 A/D 컨버터 프로그래밍기법을 이용하여 조도값에 따라 소모되는 전류가 달라진다.

우리는 조도센서의 소모전류를 측정하기 위해 센서보드를 장착한 후 조도센서를 OFF시킨 상태와 ON시킨 후 조도값 1(lux) 상태의 전류값을 구했다. 분석결과 그 차는 $30.12\mu\text{A}$ 이며, 이 값은 조도센서를 ON 시킬 경우 소모되는 전류이다.

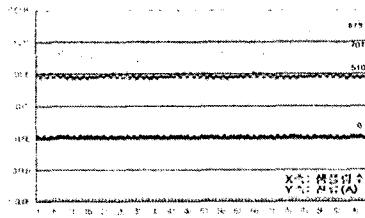


그림4 조도센서 분석 그래프

그림4는 조도값에 따라 소모되는 전류를 한 그래프에 나타낸 것이다. 이 그래프를 분석해 보면 조도값에 따라 전류값이 일정하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 우리는 이 값을 분석하여 조도값에 따라 소모전류를 구할 수 있는 전력모델을 만들었다.

$$0.03012\text{mA}(\text{센서ON}) + (\text{조도값} * 0.001847648)\text{mA} \quad (1)$$

(1)식에서 0.001847648은 조도값 1(lux)당 소모되는 전류이다. 일반적으로 시뮬레이터는 조도값을 측정할 수 없으므로, 조도값을 전력모델에 대입하여 소모전류를 예측하게 된다.

6. 액츄에이터 전력모델링

Nano-24의 액츄에이터는 AC Relay와 DC Relay로 구성되어 있다. 우리는 각 Relay의 소모전류를 측정하기 위해 0.05초 간격으로 ON, OFF를 반복시켜 그림5와 같은 소모전류 그래프를 얻었다.

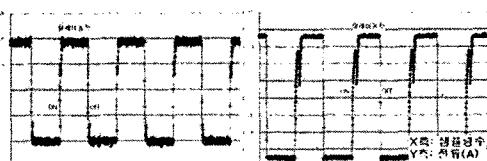


그림5 (a)DC Relay, (b)AC Relay 소모전류 분석 그래프

Relay동작은 크게 OFF->ON상태, ON상태, ON->OFF상태로 나눌 수 있다. ON상태의 소모전류는 ON과 OFF상태를 비교하여 쉽게 구할 수 있다. 하지만 ON상태의 소모전류만을 가지고 Relay의 소모전류를 정확히 추정하기에는 부족하다. 왜냐하면 릴레이OFF->ON상태와 ON->OFF상태가 바로 변경되지 않기 때문이다. 그림5(a)의 그래프를 분석해 보면 OFF->ON변경기간은 0.004초이며 평균소모전류는 27.519mA 였다. 또한 ON->OFF변경기간은 0.0022초이며 평균소모전류는 9.467mA 였다. 따라서 우리는 DC Relay의 OFF->ON과 ON상태 전력모델을 식(8)과 같이 개발했으며 DC Relay의 ON->OFF상태 전력모델은 식(9)과 같이 개발했다. 이 (8)식과 (9)식을 이용하면 DC Relay의 소모전류를 보다 정밀하게 추정할 수 있다. 마찬가지로 AC Relay의 OFF->ON과 ON상태 전력모델은 식(9)과 같이 개발했다. AC Relay는 DC Relay와 다르게 ON->OFF상태 변경기간이 필요하지 않았다.

$$(27.519\text{mA} * 0.004\text{초}) + (38.93243\text{mA} * (\text{동작시간}-0.004\text{초})) \quad (8)$$

$$(9.467\text{mA} * 0.0022\text{초}) \quad (9)$$

$$(104.65\text{mA} * 0.0128\text{초}) + (142.375983\text{mA} * (\text{동작시간}-0.0128\text{초})) \quad (10)$$

7. 결론

우리는 센서노드의 소모전력을 정확히 측정할 수 있는 환경과 방법을 소개했다. 이 환경과 방법을 이용하여 마이크로컨트롤러인 ATmega128L를 명령어 단위로 소모전류를 분석하고, 인터-인스트럭션효과를 고려하여 전력모델을 개발했다.

통신모듈의 전력모델을 위하여 2개 노드를 사용해 간단한 네트워크를 구성하고 송수신시 소모되는 전류를 분석했다. 송신세기에 따라 소모되는 전류를 측정하여 통신모듈의 전력모델을 만들었다. 각 센서 및 액츄에이터들을 동작시킬 수 있는 프로그램들을 작성하여 원하는 동작만 정확히 측정하고 분석하여 전력모델을 개발했다. 향후 연구로는 전력추정 시뮬레이터를 위해 빠르고 정확하게 전력모델을 생성할 수 있는 도구를 개발하는 것이다.

- [1] V. Shnayder et al, "Simulating the power consumption of large-scale sensor network applications", SenSys04, pp.188-200, 2004
- [2] J. Flinn et al, "PowerScope : A Tool for profiling the energy usage of mobile applications", In Proc. of the second IEEE Workshop on Mobile Computer Systems and Applications, pp.2-10, 1999
- [3] Woonki Baek et al, "A Tool for energy and performance profiler for embedded application", ISOCC 2004
- [4] D. Shin et al, "Energy-monitoring tool for low power embedded programs", IEEE Design and Test of Computers, 19(4), 2002
- [5] Octacomm Corp. <http://www.octacomm.net>