

모바일 센서 네트워크 라우팅 알고리즘 간의 전력 소비량 비교를 위한 센서 노드 전력 모델

김민제* · 김창준* · 장경식*

*한국기술교육대학교

Power Model of Sensor Node for Relative Comparison of Power Consumption in Mobile Sensor Network

Min-Je Kim* · Chang-Joon Kim* · Kyung-Sik Jang*

*Korea University of Technology and Education

E-mail : opopkmj@kut.ac.kr, chjkim@dima.ac.kr, ksjang@kut.ac.kr

요 약

센서 네트워크에서 소비전력 측정은 실제 필드에서 실측을 통해 수행하기 어렵기 때문에 시뮬레이션을 통하여, 소비전력을 예측하고, 노드들의 교체시기를 결정하게 된다. 시뮬레이션 툴은 센서 네트워크의 여러 요소들을 시뮬레이션 하는데 이 요소들은 전력 소비량, 패킷 전송 트래픽, 네트워크 구성 형태 등이 있다. 본 논문에서는 센서 네트워크의 시뮬레이션 요소 중 큰 비중을 차지하는 전력 소모를 시뮬레이션하기 위한 센서 노드의 전력 모델을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 전력 모델은 시뮬레이션 시 연산을 최소화하기 위하여 센서 노드의 기능별 전력 소모 특성에 따라 기존에 실측된 데이터가 연산을 대체 할 수 있는 부분은 수식 계산을 생략한다. 이러한 경우 전력 소모 예측의 정확도는 떨어지지만 연산량이 감소하여 빠른 시뮬레이션이 가능하다. 제안하는 모델은 정밀한 시뮬레이션보다는 빠른 시뮬레이션 속도를 이용하여 두 개 이상의 센서 네트워크 알고리즘 간의 전력 소모 차를 분석하는데 적합한 모델이다.

ABSTRACT

Power consumption measurement in sensor network is difficult to proceed by survey in real field. Thus, through simulation, the power consumption is estimated and replacement time of nodes are decided. A simulation tool simulates various facts such as power consumption, packet transmission traffic, network topology and etc. In this paper, it suggests sensor node power model to simulate power consumption which has large importance among simulation facts in sensor network. This model omits calculating expressions that the data originally surveyed can substitute with, according to power consumption property of each functions in sensor node in order to minimize calculations in simulation. In this case accuracy of power consumption estimation will be reduced, but can simulate it faster due to reduced calculation. Suggested model is fitted to analyze power consumption difference between two or more sensor network algorithms with rapid simulation speed rather than accurate simulation.

키워드

전력 모델링, 센서 네트워크, 센서 노드, 시뮬레이터

1. 서 론

모바일 센서 네트워크(Mobile Sensor Network)는 이동 가능한 여러 개의 센서 노드(Sensor

Node)들이 서로 협력하여 수집한 데이터를 네트워크를 통해 베이스 스테이션(Base Station)으로 전달하는 시스템이다[1]. 일반적으로 센서 네트워크는 실제로 필드에 노드들을 배치하여 실험을

진행하기 어렵다. 이러한 이유로 보통 시뮬레이션 툴을 이용하여 센서 네트워크에 대한 실험을 진행하게 되는데 시뮬레이션 툴은 센서 네트워크를 실제와 가깝게 표현하기 위해서 여러 요소들을 시뮬레이션 한다. 이러한 요소들은 센서 노드의 전력 소비량, 패킷 전송 트래픽, 네트워크의 구성 형태 등이 있다.

센서 노드는 한번 필드에 배치되면 충전이 어렵기 때문에 전력을 효율적으로 사용하는 것이 매우 중요하다. 이러한 이유로 센서 네트워크의 연구 분야에서 효율적인 전력 사용이 큰 비중을 차지하게 되었다. 이에 시뮬레이션 툴에서 전력 사용량을 예측하는 과정이 중요하게 자리매김하게 되었는데 전력 소모를 예측하기 위해서는 전력 모델(Power Model)을 필요로 하게 된다.

전력 모델은 센서 노드가 동작을 함에 따라 소비되는 전력을 예측하기 위해서 전력이 소비되는 요소들을 분석하여 수식 등의 형태로 추상화 한 것을 의미한다.

전력 모델 분야에서도 여러 연구가 진행되었다 [2-3]. 이러한 연구들은 센서 노드를 동작별 혹은 명령어 별로 전력 소모를 측정하여 이를 전력 모델을 구성하는데 사용하였다. 보통 전력 모델은 수식으로 구성이 되고 앞서 언급한 측정 데이터는 이러한 수식의 계수로서 활용되게 된다. 수식으로 구성된 전력 모델은 수식이 복잡해지면 연산 속도가 늦어져 결과를 도출하는데 많은 시간을 소요하게 된다.

본 논문에서는 측정된 값이 수식을 대신할 수 있는 부분은 측정값으로 대체하여 연산량을 줄인 전력 모델을 제안한다. 이는 시뮬레이션 결과 도출 시간을 단축시키는 효과를 얻을 수 있다.

II. 제안 모델

제안하는 모델은 노드의 동작 상태 별로 각각 다른 전력 소비 특성을 가지고 있는 점을 이용하여 대기 상태(Waiting status), 휴지 상태(Idle Status), 데이터 처리 상태(Data Process Status), 데이터 센싱 상태(Data Sensing Status), 통신 상태(Communication Status), 이동 상태(Movement Status)등으로 나누어 모델링을 하였다.

2.1 제안 모델의 상태 천이

제안하는 모델의 각 상태에 대한 설명을 하기 전에 제안 모델의 상태 천이과정에 대하여 먼저 설명하고자 한다.

노드는 초기에 초기화(Initial)과정을 거친 후 대기 상태로 천이된 후 외부의 명령이나 이벤트 발생 시 다른 상태로 천이하게 된다. 다른 상태에서는 상태 종료 시 다른 상태로 천이를 하거나 대기 상태로 다시 천이를 하게 된다. 각각의 상태에서 다른 상태로의 천이는 각각의 상태 설명에서 자세히 하기로 한다.

그림 1은 노드의 상태 천이를 나타낸다.

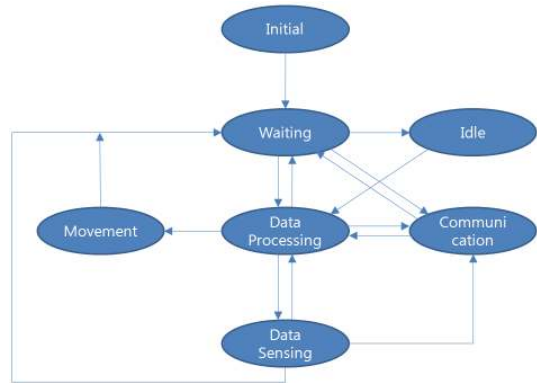


그림 1. 상태 천이도

2.2 대기 상태

대기 상태는 외부의 명령이나 이벤트 발생을 기다리면서 아무런 동작을 하지 않고 있는 상태에서 항상 일정한 전력이 소모되고 있는 전력 소비 특성을 가진다. 대기 상태에서는 상황에 따라 휴지 상태, 데이터 처리 상태, 통신 상태로 천이가 가능하다. 대기 상태의 전력 소비 모델은 다음과 같이 식 (1)의 형태로 나타 낼 수 있다.

$$\sum_{i=1}^{n_w} P_w(t_i) \quad (1)$$

여기에서 n_w 는 대기 상태로 천이된 횟수를 의미하고, t_i 는 i 번째로 대기 상태 천이 후 다른 상태로 천이되기까지의 시간을 의미한다.

$P_w(t_i)$ 는 측정된 단위 시간당 전력 소비량을 바탕으로 다음과 같이 식 (2)처럼 1차식의 형태로 모델링을 할 수 있다.

$$P_w(t_i) = \alpha_w t_i + \beta_w \quad (2)$$

여기에서 α_w 는 단위 시간 당 전력 소비량을 의미하며, β_w 는 보정 상수이다.

2.3 휴지 상태

휴지 상태는 대기 상태로 일정 시간 이상 아무런 동작을 하지 않았을 경우 전력 소비량 감소를 위해 Idle 모드에 돌입한 상태를 뜻한다. 이 상태에서는 메인 프로세서를 포함하여 전력 감소가 가능한 모든 모듈이 전력 감소 모드에 돌입한다. 휴지 상태에서는 외부의 명령이나 이벤트가 발생 시 대기 상태로 천이하여 외부의 명령이나 이벤트를 처리 할 수 있도록 한다.

휴지 상태의 전력 소비 모델은 다음과 같이 식 (3)의 형태로 모델링 할 수 있다.

$$\sum_{i=1}^{n_I} P_I(t_i) \quad (3)$$

여기에서 n_I 는 휴지 상태로 천이된 횟수를 의미하고, t_i 는 i 번째로 휴지 상태로 천이 후 다른 상태로 천이되기 전까지의 시간을 의미한다.

휴지 상태의 전력 소비 특성 또한 대기 상태의 전력 소비 특성과 유사하여 $P_I(t_i)$ 는 다음의 식 (4)와 같이 1차식의 형태로 모델링 할 수 있다.

$$P_I(t_i) = \alpha_I t_i + \beta_I \quad (4)$$

여기에서 α_I 와 β_I 는 실측을 통하여 구할 수 있으며, α_I 는 단위 시간당 전력 소비량, β_I 는 보정 상수를 의미한다.

2.4 데이터 처리 상태

데이터 처리 상태는 관리용 데이터와 시스템 데이터를 처리하기 위한 상태로써 명령어 처리, 스케줄링, 패킷 처리 등의 작업을 수행한다. 데이터 처리 상태에서는 상황에 따라 센싱 상태, 통신 상태, 이동 상태, 대기 상태로 천이가 가능하다. 데이터 처리 상태의 전력 소비는 다음 식 (5)와 같이 모델링이 가능하다.

$$\sum_{i=1}^{n_{dp}} P_{dp}(t_i, o_i) \quad (5)$$

여기에서 n_{dp} 는 데이터 처리 상태로 천이된 총 횟수를 의미하고, t_i 는 데이터 처리 상태로의 i 번째 천이부터 다른 상태로의 천이 시까지의 시간을 의미하고, o_i 는 i 번째로 데이터 처리 상태 돌입 시의 작업 모드를 의미한다.

데이터 처리 상태의 작업들은 동일한 작업의 수행이 각각의 수행에서 소비 전력의 차이가 크지 않기 때문에 $P_{dp}(t_i, o_i)$ 는 통계치를 미리 구하고 이를 이용하여 식 (6)처럼 모델링이 가능하다.

$$P_{dp}(t_i, o_i) = \alpha_{o_i} \quad (6)$$

식 (6)의 α_{o_i} 는 작업 모드 o_i 의 1회당 소비 전력을 의미한다. α_{o_i} 의 값은 실측을 통해 평균값을 구하여 얻는다.

2.5 데이터 센싱 상태

데이터 센싱 상태는 데이터를 센서로부터 수집하고 이 데이터를 가공하기까지의 과정을 의미한다. 이 과정에서 데이터 압축(Data Compression), 데이터 집약(Data Aggregation), ADC등의 작업이 수행된다. 데이터 센싱 상태에서는 상황에 따라

데이터 처리 상태, 통신 상태, 대기 상태로 천이한다. 데이터 센싱 상태의 전력 소비는 다음의 식 (7)과 같이 모델링된다.

$$\sum_{i=1}^{n_{ds}} P_{ds}(t_i, o_i) \quad (7)$$

여기에서 n_{ds} 는 데이터 센싱 상태로 천이된 총 횟수, t_i 는 i 번째로 데이터 센싱 상태로 천이 후 다른 상태로의 천이 시까지의 소요 시간, o_i 는 i 번째로 데이터 센싱 상태 천이 시의 동작 모드를 의미한다.

데이터 압축과 데이터 집약의 경우는 수행 과정에서 작업 단위를 동일하게 하면 작업 수행 시 작업별 전력 소모량의 차이가 크지 않으므로 통계치를 미리 구하고 이를 이용하여 식 (8)처럼 모델링이 가능하다.

$$P_{ds}(t_i, o_i) = \alpha_{o_i} \quad (8)$$

식 (6)의 α_{o_i} 는 작업 모드 o_i 의 1회당 소비 전력을 의미한다. α_{o_i} 의 값은 실측을 통해 평균값을 구하여 얻는다.

ADC의 경우 센서에 따라 전력 소비 특성이 각기 다르므로 본 모델에서는 이 부분에 대한 제안을 하지 않는다.

2.6 통신 상태

통신 상태는 RF통신 모듈 등을 이용하여 다른 센서 노드와의 정보 교환을 수행하는 상태이다. 통신 상태에서는 상황에 따라 데이터 처리 상태와 대기 상태로 천이한다. 통신 상태는 다음과 같이 식 (9)처럼 모델링 가능하다.

$$\sum_{i=1}^{n_c} P_c(t_i, l_i, d_i, f_i, \dots) \quad (9)$$

여기에서 n_c 는 통신 모드로 천이한 총 횟수, t_i 는 i 번째로 통신 상태 천이 후부터 다른 상태로 천이 시까지의 소요 시간, l_i 는 패킷 길이, d 는 통신 가능 거리, f 는 주파수를 의미한다.

통신은 빈번하게 일어나는 작업의 하나로서 통신 시 소비되는 전력이 앞에서 언급되었던 다른 작업들에 비해 큰 편이다. 그리고 $P_c(t_i, l_i, d_i, f_i, \dots)$ 은 주파수, 통신 가능 거리, 패킷 길이 등의 여러 요소들에 의해 결정되기 때문에 1차식 수준의 간단한 수식으로의 모델링이 어려우며 작업 수행이 빈번하므로 전력 소비 비중이 커 오차가 커서는 안 된다. 하지만 위의 사항을 고려하여 수식을 복잡하게 만들게 되면 연산량이 많아져 결과 도출까지 많은 시간이 소요된다.

이러한 특징들을 고려하여 본 논문에서는 Lookup Table을 이용하여 $P_c(t_i, l_i, d_i, f_i, \dots)$ 의 계산을 간단히 만드는 방법을 제안한다. 앞에서 언급되었던 주파수, 통신 가능 거리, 패킷 길이 등의 요소가 모두 연속적이라면 Lookup Table을 만드는 것이 불가능하지만 실제 센서 노드에서 사용하는 통신 주파수는 몇 가지로 한정 되어 있고, 통신 가능거리 또한 단계별로 나누어 적용할 수 있고, 패킷 길이는 정수로 표현 가능하며 적용 시에는 프로토콜에 의해 한 번에 전송되는 패킷 길이가 정해지기 때문에 위의 요소들을 포함한 여러 요소를 이산적으로 고려할 수 있다. 이를 적용하면 Lookup Table을 만드는 것은 불가능한 것이 아니며 Lookup Table을 이용하면 연산이 간략해 지면서 동시에 정확도 또한 별로 떨어지지 않는 장점이 있다.

2.7 이동 상태

이동 상태는 센서 노드가 다른 곳으로 위치를 이동하는 과정을 의미한다. 이동 상태에서는 대기 상태로만 천이한다. 이동 상태는 다음과 같이 식 (10)의 형태로 모델링이 가능하다.

$$\sum_{i=1}^{n_m} P_m(t_i, m, v_i, \dots) \quad (10)$$

여기에서 n_m 은 이동 상태로 총 천이 횟수, t_i 는 i 번째로 이동 상태로 천이 후 다른 상태로 천이 시까지의 소요 시간, m 는 센서 노드의 무게, v_i 는 이동 속도를 의미한다.

일반적인 센서 네트워크에서는 센서 노드의 이동이 그리 많지 않지만 모바일 센서 네트워크의 경우는 센서 노드의 이동이 빈번하게 발생한다. 그리고 센서 노드의 위치를 이동시키기 위해서는 많은 전력 소비를 요하게 되므로 모바일 센서 네트워크에서는 이동 상태에서 소비하는 전력이 전체 전력 소비에서 큰 비율을 차지한다.

일반적으로 센서 노드를 이동시키기 위해 소비되는 전력량을 구하기 위해서는 센서 노드의 무게, 이동 속력, 이동 방향, 지형의 경사, 지형의 마찰 계수 등 많은 요소들을 고려해야 한다. 하지만 이러한 모든 요소들을 고려하여 모델링을 할 경우 연산 과정이 복잡해지면서 결과를 도출하기 까지 많은 시간을 소요하게 된다. 이에 본 논문에서 $P_m(t_i, m, v_i, \dots)$ 은 경사에 따라 달라지는 전력 소비 비율, 마찰 계수 등에 따른 에너지 손실 등의 정보를 시뮬레이터에서 읽어올 지형 정보에 미리 구해두고 연산 시 이 정보들을 불러와 연산량을 최소화 한다. 이 경우 결과 도출까지의 소요 시간이 짧아지는 장점이 있다.

2.8 총 전력 소비량 추정

제안하는 모델에서 총 전력 소비량은 각 상태

의 소비량 합을 구하여 얻을 수 있다. 이를 수식으로 표현하면 식 (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = \sum_{i=1}^{n_w} P_w(t_i) + \sum_{i=1}^{n_l} P_l(t_i) + \sum_{i=1}^{n_{dp}} P_{dp}(t_i, o_i) + \sum_{i=1}^{n_{ds}} P_{ds}(t_i, o_i) + \sum_{i=1}^{n_c} P_c(t_i, l_i, d_i, f_i, \dots) + \sum_{i=1}^{n_m} P_m(t_i, m, v_i, \dots) \quad (11)$$

III. 결론

본 논문에서는 모바일 센서 네트워크에서 센서 노드의 소비 전력을 예측하기 위한 전력 모델을 제안하였다. 제안하는 모델에서는 수식 연산을 가능한 1차식 혹은 상수 형태로 대체하였고, 수식을 간략화 하기 어려운 부분에서는 고려할 요소에 제약 조건을 두어 Lookup Table을 만들어 이용하거나 외부에서 미리 연산된 결과를 읽어오는 방식으로 수식을 대체하여 가능한 연산을 최소화 하여 결과 도출까지 소요 시간을 줄이는 것에 중점을 두었다. 제안하는 방식은 시뮬레이션 시 도출된 결과의 정확도에 대한 신뢰성은 떨어질 수 있으나 빠른 결과 도출이 가능하다점이 장점으로 작용한다. 제안하는 모델은 특정 센서 네트워크의 전력 소비량을 정확히 예측하기 보다는 두 개 이상의 센서 네트워크 알고리즘의 에너지 효율을 빠르게 비교하는데 더 적합하다.

향후 연구를 통해 제안하는 모델을 실제 센서 노드와 비교하여 정확도를 분석하고 정확도를 향상 시키는 작업을 진행하여야 한다. 그리고 기존의 전력 모델들과 비교하여 정확도와 속도 측면에서의 차이를 비교하여 본 모델의 효율성을 검증하여야 한다.

참고문헌

- [1] 정성영, 이동욱, 김재훈, "센서 네트워크를 위한 그리드 기반의 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜", 정보과학회논문지 : 컴퓨팅의 실제 및 레터, 제 14권 제 2호, pp.216-220, 2008. 4.
- [2] 박재복, 조현우, 우덕균, 임채덕, 김형신, "센서네트워크 노드의 전력 모델 개발", 한국컴퓨터종합학술대회 논문집, Vol. 33, No. 1(A), pp.169-171, 2006.
- [3] Rachit Agarwal, Rafael V. Martinez-Catala, Sean Harte, Cedric Segard, Drendan O'Flynn, "Modeling Power in Multi-Functionality Sensor Network Applications", The Second International on Sensor Technologies And Applications, pp.507-512, 2008.