

무선 센서 네트워크 환경에서 적응형 임계값 설정 방법

김인태 · 김두용[†]

[†]순천향대학교 전기전자공학과

An Adaptive Threshold Method in Wireless Sensor Network Environments

In Tae Kim and Doo Yong Kim[†]

[†]Dept. of Electrical and Electronic Eng., Soonchunhyang University

ABSTRACT

Wireless sensor networks are emerging as a solution for a wide range of data gathering applications. The most difficult challenge for the design of sensor nodes is the need for significant reductions in energy consumption. The threshold methods which filter redundant and similar data can be used to save energy. In this paper, we propose the adaptive threshold method to effectively manage the energy in wireless sensor nodes. In the adaptive threshold method, wireless sensor nodes can change the thresholds dynamically as the sensing environments vary. The simulation results show that the adaptive threshold method works very effectively even when we experience the significant volatility in the data. This scheme can be used in order to monitor the malfunction in the equipment of semiconductor manufacturing line.

Key Words : Wireless Sensor Network , Adaptive Threshold Method, Energy Saving.

1. 서 론

현재 무선 센서 네트워크는 주변의 데이터를 수집하여 필요한 곳에 데이터를 전송하는 응용분야에 광범위하게 사용되고 있다. 이러한 무선 센서 네트워크를 이용하는 가장 어려운 과제중의 하나는 노드를 구성하고 있는 센서가 사용하는 에너지 소비를 최소화하여 노드의 수명을 최대한 연장시키는 것이다.

전력소비에 민감한 무선 센서 노드를 만들기 위해 모든 시스템 레벨에서 필요한 에너지만을 소비하도록 요구한다. 최근에 이러한 특징을 갖는 설계요소로서 노드가 동작할 때 하드웨어와 소프트웨어의 협력이 강조되고 있다. 일반적으로 하드웨어 레벨에서 비정상적인 많은 에너지 소비는 낮은 duty cycle로 인해 발생한다. 따라서 노드의 동작에 따르는 적당한 에너지를 공급하여 에너지 소비를 최소화 할 수 있다[1].

지역적으로 널리 분포된 무선 센서 네트워크는 원거리에서 떨어져 있는 환경 등을 모니터링 하기 위해 강력

하고 기술적으로 안정적인 기반을 제공한다. 이러한 무선 센서 노드는 가능한 오랜 시간 동안 시스템 수명을 유지시켜주는 알고리즘과 프로토콜이 필요하다. 센서 노드의 프로세서에서 사용할 수 있는 동적 전압 조절 (dynamic voltage scaling) 방식은 전압 조절 알고리즘을 이용하여 에너지 절약을 가능하게 한다. 또한, 시스템 레벨에서 사용하는 전력 관리 방법이 지역적으로 분포된 무선 센서 네트워크에 사용될 수 있다. 전력에 민감한 센서 노드 들은 발생한 이벤트에 따라서 서로 다른 슬립 모드로 천이가 가능한 임베디드 운영 체계를 사용하여 전력 소비를 줄일 수 있다[2].

많은 수의 무선 센서 노드 들로 구성된 네트워크를 효율적으로 유지하고 관리하기 위해 노드 들 사이에서 발생하는 통신으로 인한 에너지의 소비를 줄이는 것이 무엇보다 중요하다. 무선 센서 노드의 에너지 소비를 최소화하기 위한 많은 연구내용을 살펴보면 기존의 IEEE 802.11b 에서 사용하는 에너지 소비와 성능 특징에 관한 모델들을 무선 센서 노드에 그대로 적용하는 것이 적합하지 않다고 알려지고 있다. 따라서 무선 센서 노드 들의 데이터 전송과 관련하여 에너지를 효율

[†]E-mail : dooykim@sch.ac.kr

적으로 사용하기 위해 프로토콜과 MAC 계층의 일부 기능이 응용분야에 따라서 수정되는 것이 필요하다.

특히, 배터리를 사용하는 무선 센서 노드 시스템에 관한 관심이 증대함에 따라서 전통적으로 네트워크의 성능을 나타내는 처리율뿐 아니라 에너지 소비량이 매우 중요한 성능 요소가 되고 있다. 일반적으로 무선 센서 노드에서 수집하는 데이터 중에는 상당한 양이 센싱되는 기간에 따라서 유사한 데이터가 중복될 수 있는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 본 논문은 무선 센서 노드로 구성된 네트워크 환경하에서 노드 들 사이의 데이터 전송 시 유용한 데이터만을 전송할 수 있는 데이터 필터링 기법을 사용하여 에너지를 효율적으로 사용할 수 있는 알고리즘을 제안하며 제2장에서는 유비쿼터스 무선 센서 노드 들로 구성된 네트워크 환경에 대하여 다루고 제3장에서는 데이터 필터링 방법을 적용한 알고리즘을 제안하여 성능을 분석하고 제4장의 결론으로 이루어지고 있다.

2. 유비쿼터스 무선 센서 네트워크 플랫폼 및 시뮬레이션 모델

센서 노드는 마이크로 컨트롤러를 내장한 시스템으로 수집한 데이터를 처리하는 부분과 노드간 통신 등을 위한 운영체제를 필요로 한다. 센서 노드에 사용하는 운영체제는 자원이 제한적인 하드웨어 환경에서 수행되어야 하므로 크기가 작고 전력소모가 적어야 하며 센서 노드간에 저 전력 통신을 제공하면서 프로세스와 메모리를 효율적으로 관리하도록 설계되어야 한다. 하위 레벨에서 다수의 이벤트발생과 상위 레벨의 프로세스를 동시에 처리할 수 있는 기능도 요구된다. 또한, 센서 노드들은 한번 배치가 이루어지면 유지보수가 어려우며 운영 환경이 열악할 수 있으므로 이러한 것을 고려해 강인한 구조로 설계되는 것이 필요하다. 이러한 요구 조건을 만족시키는 센서 네트워크 노드의 운영체제로써 널리 쓰이고 있는 TinyOS 는 컴포넌트 기반, 이벤트 구동 방식의 센서 네트워크 운영 체제로써 제한된 자원을 가진 작은 크기의 센서 노드에서 효율적인 자원의 사용과 프로세싱의 동시성을 지원한다[3].

본 논문에서는 NesC로 구현된 TinyOS 운영체제의 응용 플랫폼으로 제공된 Surge 프로그램을 이용하여 유비쿼터스 무선 센서 네트워크환경하에서 에너지를 관리하는 threshold설정 방법을 논의한다. Surge 프로그램은 Multihop 으로 동작하는 대표적인 프로그램으로 각 노드에서 주기적으로 센서를 통해 측정된 데이터를 이웃 노드에 전달하여 최종적으로 베이스스테이션이

션이 센싱된 데이터를 수집하여 호스트 컴퓨터로 전송한다. 그리고 각 노드는 베이스스테이션으로부터 브로드캐스트 된 명령어를 받아 처리할 수 있다.

무선 센서 노드의 에너지 소비와 관련된 동작을 위해 TinyOS 에서 제공하는 이벤트 시뮬레이터인 Tossim[4]을 이용하여 제안된 알고리즘의 성능을 분석한다.

3. 에너지 관리 모델

3.1. 고정된 임계 값(Threshold Value) 사용 방법

에너지 관리 모델을 분석하기 위해 먼저 다음 Fig. 1에서 보는 바와 같이 Surge 응용 프로그램의 일부 내용을 수정한 프로그램 부분을 나타낸다[5]. 그림에서 보는 바와 같이 고정된 임계 값을 사용할 경우 에너지 소비가 어떻게 변하는지 분석하기 위해 Surge 응용 프로그램의 ADC.dataReady() 루틴을 수정하였다. ADC.dataReady()는 노드의 각 센서에서 데이터의 측정이 완료되면, 측정된 값을 파라미터로 전달받아 필요한 일을 수행하는 이벤트 함수이다. 즉, 현재 수집된 데이터와 이전에 수집된 데이터 값의 차이가 일정한 임계 값을 초과할 경우에 만 데이터를 RF를 이용하여 베이스스테이션으로 전송한다.

```

async event result_t ADC.dataReady(uint16_t data) {
//SurgeMsg *pReading;
//uint16_t Len;
atomic
{
if ((!gfSendBusy &&
(data-OLD_DATA) > THRESHOLD) ||
OLD_DATA == 0)
{
//data 와 OLD_DATA 의 차이가
THRESHOLD 값을 넘었을 때
RF 전송발생하며, OLD_DATA 값이
처음에는 0 이므로, 센서노드의
첫 동작시 RF 전송을 수행한다.
gfSendBusy = TRUE;
gSensorData = data;
post SendData(); //데이터를 RF 전송으로
보내는 함수 요청
}
}
return SUCCESS;
}

```

Fig. 1. Program using a fixed threshold.

다음의 그림들은 위의 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 통해 임계 값을 다양하게 변화시켰을 경우 한 노드에서 베이스스테이션으로 데이터를 전송시킨 횟수

를 나타내고 있다. □ 표시 그래프는 모니터링으로 수집된 데이터의 값이고, + 표시 그래프는 OLD_DATA 변수의 값으로서, RF 를 이용하여 무선으로 전송된 데이터를 나타낸다. ▲ 표시 그래프는 현재 수집된 데이터에서 이전에 전송된 데이터인 OLD_DATA의 값을 뺀 것으로, 최근에 RF 전송 시 수집되었던 값과 현재 수집된 값의 변화량을 나타낸다. X 표시 그래프는 사용된 임계 값을 나타낸다. 따라서 ▲ 표시 그래프 값이 X 표시 임계 값 보다 높았을 때, 수집된 데이터를 무선으로 전송을 하게 된다. 그리고 OLD_DATA 값이 계속 상승하는 것을 볼 수 있는데, 그래프에서 초기시각을 제외하고 10초, 50초, 130초, 178초에서 센서에 의해 수집된 데이터를 베이스스테이션으로 전송한다. 따라서, 수집된 데이터의 값이 증가하는 경우만 RF를 통해 데이터를 전송함을 알 수 있다.

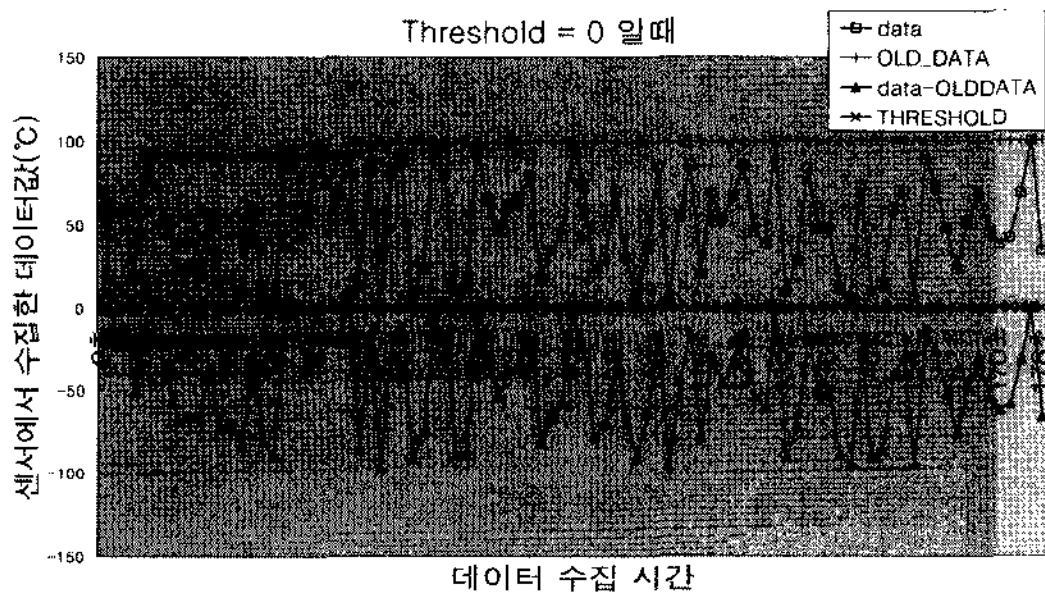


Fig. 2. The effect of fixed thresholds.

Fig. 2 와 3으로부터 RF를 통한 무선 전송횟수는 임계 값이 0일 때 보다 512 일 경우에 베이스스테이션으로 무선을 통한 전송 횟수가 감소함을 알 수 있다. Fig. 4는 임계 값에 따른 데이터의 전송횟수의 관계를 나타내는 그래프이며 명백히 임계 값을 높게 설정할수록 보내는 횟수가 점차 감소한다는 것을 알 수 있다.

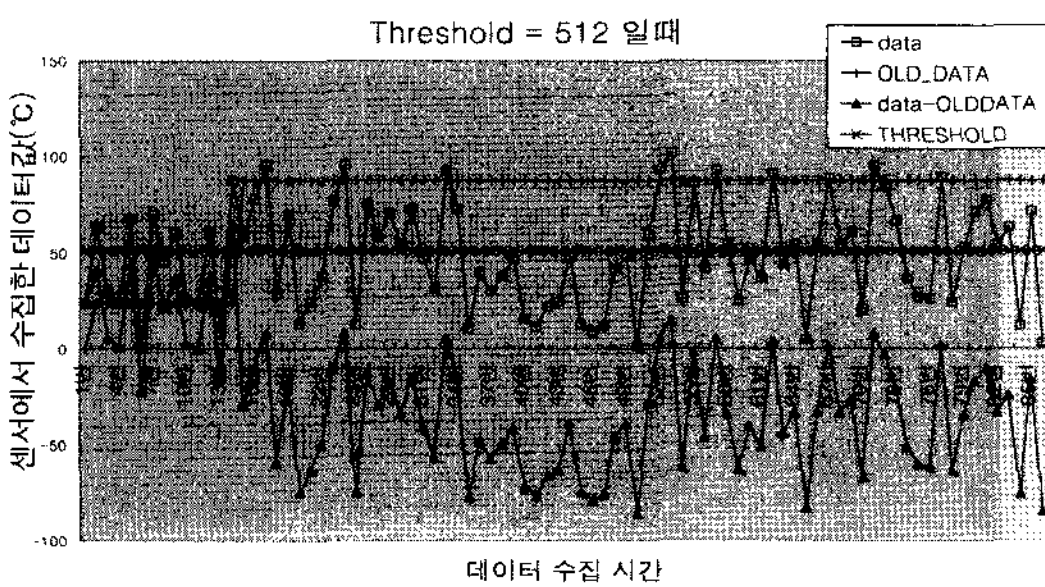


Fig. 3. The effect of fixed thresholds.

이와 같이 고정된 임계 값을 사용하는 경우의 문제점은 임계 값이 고정되어있으므로 주위 환경의 변화에

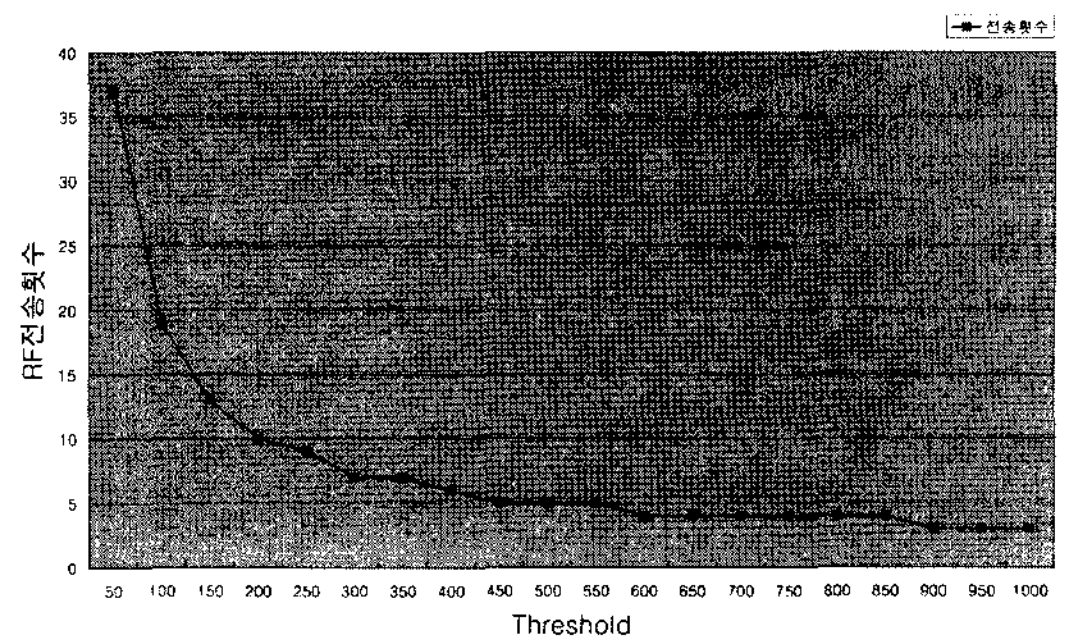


Fig. 4. The Number of data transmissions.

능동적으로 대처하기가 매우 어렵다. 예를 들면, 임계 값이 높게 설정되어 있을 때는 상대적으로 적은 수의 데이터 전송이 발생하여 RF 전송으로 발생하는 에너지 소비를 줄일 수 있다. 임계 값에 따라서 데이터의 전송 횟수가 결정됨으로 주변 상황이 변해 새로이 임계 값을 설정해야 하는 경우 이에 신속히 대응하기가 어려워 우리가 필요로 하는 데이터를 전송 받지 못할 수도 있다. 또한, 수집된 데이터가 증가하는 상황에는 이를 기지국에 전송하여 알릴 수는 있지만 반대로 데이터가 감소하는 상황을 기지국에 알릴 방법이 없다.

3.2. 적응형 임계 값 설정 방법

본 논문에서는 고정 임계 값을 사용할 경우의 문제점을 개선하기 위해 임계 값의 적응성을 고려하여 다음과 같은 방법을 제안한다.

앞에서 언급한 바와 같이 고정된 임계 값을 사용하는 방법의 문제점은 첫 번째로 임계 값이 고정되어 있어서 유동적이지 못한 단점이 있다. 왜냐하면 주위 환경의 변화가 얼마든지 갑작스럽게 발생할 수 있는데 임계 값을 고정해 사용한다면 주변 환경의 변화에 능동적으로 대처하여 기지국에 제때에 알릴 수가 없다. 단순히 센서 노드에서 수집되는 데이터를 임계 값을 기준으로 하여 기지국에 보내게 되므로 주변 환경의 변화에 대처 할 수 없게 된다.

따라서, 본 논문에서는 이러한 임계 값을 결정하기 위해 수집된 데이터에 근거하여, 능동적으로 주위 환경의 변화에 맞추어 적응성을 갖는 방법을 제안한다.

아래의 그림 5를 살펴보면 데이터 값들이 랜덤하게 발생되어 있다는 것을 알 수 있으며 임계 값을 결정하기 위해 수집된 데이터들을 버퍼에 저장시키고 일정수의 데이터가 버퍼에 저장되면 평균을 구하여 임계 값을 결정하는 방법을 제안한다. 시뮬레이션을 통해 논문에서 사용하는 환경하에서는 버퍼크기가 32개 정도일 경우에 데이터의 평균값에 가장 가까운 값을 제공하는

것을 알 수 있음으로 본 논문에서는 32개의 버퍼 크기를 사용한다.

그림 5를 보면 데이터 값의 변화가 불규칙하게 일어나고 있으며 특히 우리가 고정된 임계 값을 사용하여 에너지를 관리한다면 데이터가 갑자기 증가하여 임계 값을 초과 할 경우에는 이를 기지국에 전송하여 알릴 수는 있지만 반대로 데이터가 갑자기 감소한 경우에는 이와 같은 데이터를 기지국으로 전송할 수 없다.

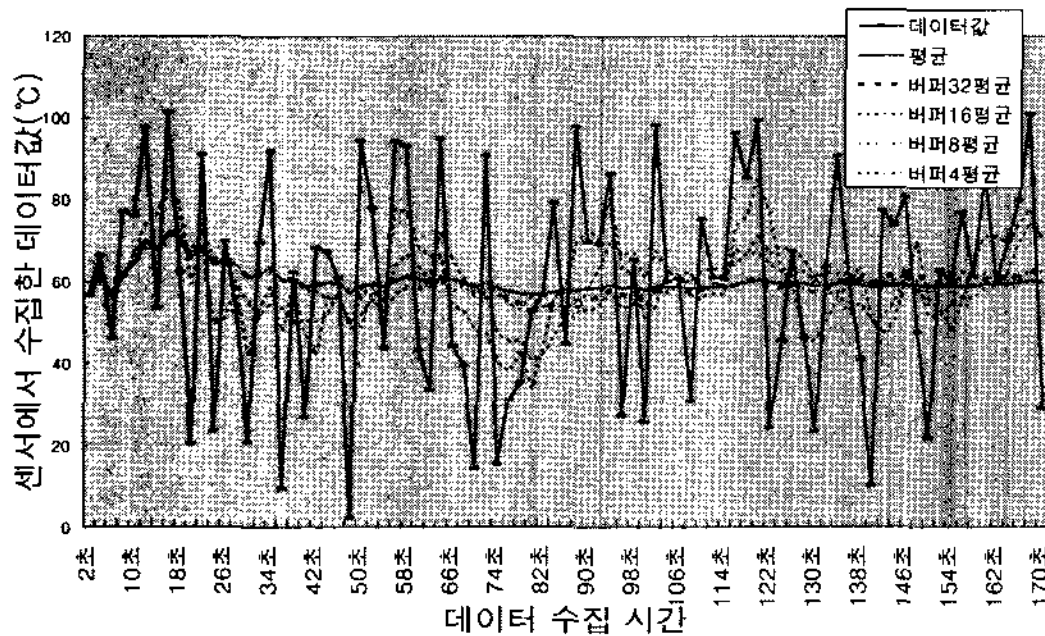


Fig. 5. The effect of buffer sizes.

센서에서 데이터를 수집하는 중에 데이터 값이 증가하거나 감소하게 되는데, 데이터 값이 증가할 때와 감소할 때, 주위 환경의 특정한 요인이 각각 작용된다고 가정하면, 이러한 수집된 데이터값이 증가할 때의 변화율과 감소할 때의 변화율을 독립적으로 임계 값으로 설정하는 것이 필요하다. 따라서, 본 논문에서 제안하는 적응형 에너지 관리기법은 수집된 데이터 값이 증가할 때의 변화율과 감소할 때의 변화율을 각각 두 개의 32개 크기의 버퍼를 사용하여 저장한다.

그리고 각 버퍼 내 값들의 평균값을 구하여 이 값을 수집된 데이터들의 평균값과 함께 임계 값을 결정짓는데 사용한다.

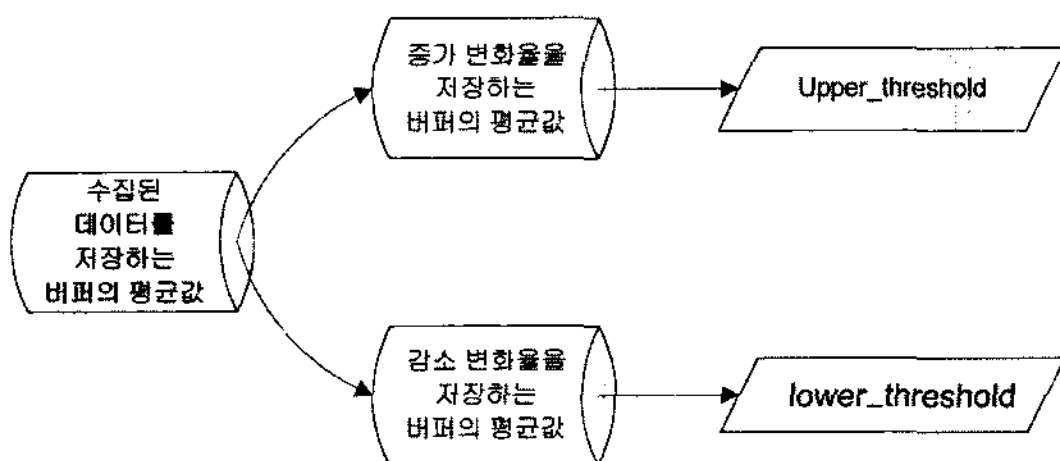


Fig. 6. The determination of thresholds.

따라서 임계 값은 데이터의 평균값과 데이터가 증가할 때의 평균 변화율을 합하여 upper_threshold 값으로 나타내며 반면에 데이터의 평균값과 데이터가 감소할 때의 평균 변화율을 합하여 lower_threshold 값을 사용

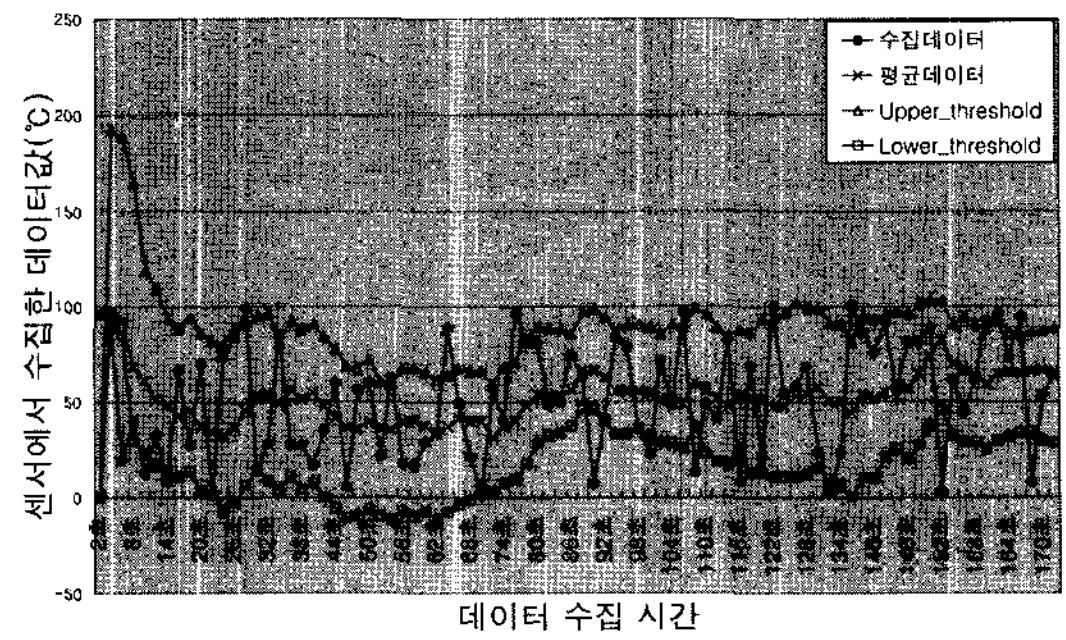


Fig. 7. The effect of adaptive thresholds.

한다.

위의 그래프에서 △선은 시뮬레이션을 통해 수집된 데이터들의 평균값과 데이터의 증가 변화량의 평균을 더한 값의 그래프로 upper_threshold 값을 나타내며, □선은 수집된 데이터들의 평균값과 데이터의 감소 변화량의 평균을 더한 값의 lower_threshold 그래프이다. 따라서 △그래프와 □그래프로 이루어진 밴드의 바깥에 위치한 데이터들은 평균 변화율을 넘어 증가하거나 감소하는 데이터이므로 주위 환경이 갑자기 변화한 것으로 판단하여 데이터를 RF를 이용하여 무선으로 전송하게 된다.

그리고 두 개의 임계 값이 수집되는 데이터들에 근거하여 유동적으로 변화 하는 것을 볼 수 있으므로 주위 환경에 적응하여 데이터의 전송 횟수를 결정하여 무선 센서 노드의 에너지를 효율적으로 사용할 수 있다.

4. 결론 및 향후 과제

무선 센서 노드로 구성된 네트워크 환경은 한 노드가 센서를 통해 수집된 데이터를 RF를 이용하여 무선으로 전송하는 응용분야에 널리 사용되고 있다. 센서를 통해 수집된 데이터를 전송할 경우에 중복되거나 유사한 데이터를 필터링을 통하여 전송을 하지 않고 필요한 데이터만을 전송하므로 배터리 사용량을 줄일 수 있다.

본 논문에서는 NesC로 구현된 TinyOS 운영체제의 응용 플랫폼으로 제공된 Surge 프로그램을 이용하여 에너지를 관리하는 방법을 제안한다. 먼저, 데이터를 필터링하기 위해 고정된 임계 값을 사용하는 경우의 문제점은 임계 값이 고정되어있으므로 주위 환경의 변화에 능동적으로 대처하기가 매우 어렵고 임계 값에 따라서 데이터의 전송 횟수가 결정됨으로 인해 주변 상황이 변해 새로이 임계 값을 설정해야 하는 경우 각

노드에 수정된 프로그램을 다시 설치해야 하는 등, 신속히 대응하기가 어려워 우리가 필요로 하는 데이터를 전송 받지 못할 수 있다. 이러한 단점을 개선하기 위해 수집된 데이터에 근거하여, 능동적으로 주위 환경의 변화에 맞추어 임계 값을 변경할 수 있는 적응성을 갖는 방법을 제안한다. 적응형 방법에서는 `upper_threshold` 값과 `lower_threshold` 값을 수집된 데이터의 증가 변화량과 감소 변화량을 이용하여 결정할 수 있으므로 `upper_threshold` 값과 `lower_threshold` 값으로 이루어진 고정된 밴드를 형성하는 것이 아니라 수시로 주위 환경의 변화에 따라 밴드 값이 가변적으로 움직일 수 있는 장점이 있다.

따라서, 적응형 성질을 갖는 임계 값 방법을 통해 에너지를 효율적으로 사용할 수 있는 방법은 일반적인 데이터 원격 모니터링 시스템에 적용 가능 하리라 판단되며 특히 반도체 장비 등에서 발생할 수 있는 오동

작에 대한 것을 미리 감시하는데 사용할 수 있으며 또한, 유비쿼터스 환경에서 헬스 케어 분야에 응용하여 필요한 데이터를 모니터링 하는데도 사용할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Anna Hac, *Wireless Sensor Network Design*, John Wiley & Sons, Ltd. 2003.
2. C. S. R. Murthy and B. S. Manoj, *Ad Hoc Wireless Networks: Architectures and Protocols*, Prentice Hall 2004.
3. 남상엽, *유비쿼터스 센서 네트워크 응용*, 하이버스(주), 성학당, 2007
4. <http://www.tinyos.net/>, TinyOS Tutorial, Lesson 5: Simulating TinyOS Applications in TOSSIM.
5. Raja Jurdak, *Introduction to ubiquitous sensor network design*, HRDI, 2007.