

공간적 자기상관성을 이용한 무선 센서 네트워크 에너지 균등화 기법[☆]

An Energy-Balancing Technique using Spatial Autocorrelation for Wireless Sensor Networks

정 효 남¹ 황 준^{1*}
Hyo-nam Jeong Jun Hwang

요 약

센서 기술, CMOS 기반의 반도체 장치, 네트워크 프로토콜 및 통신기술의 주요한 기술적 진보와 함께 무선 센서 네트워크의 활용 범위는 확대 및 다양화 되었으며, 여러 산업에 적용되어 유익하게 사용되고 있다. 특히 주변 환경의 현상을 모니터링하는 무선 센서 네트워크에서는 센서가 측정한 정보를 싱크로 전달하기 위해, 멀티 홉을 통한 전송 경로를 구성하거나 모바일 싱크기술을 사용하여 노드들과 통신하였다. 하지만 데이터 교환에 따른 높은 에너지 비용 및 노드들의 에너지 불균형, 데이터 전송 지연으로 인한 측정데이터 값과 실제 값 간의 시간차이 등은 추가적인 연구가 필요한 부분이다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 새로운 무선 센서 네트워크 모델을 제시한다. 빈번한 메시지 교환에 따른 통신비용을 줄이기 위해 무선 센서 네트워크를 구성하는 노드들의 지리적 상관성을 사용하여 주변 노드들의 상황을 예측하는 상황 예측 모델을 개발했다. 또한 시스템에 치명적일 수 있는 이상징후가 발생하면 이를 신속하게 모니터링 시스템에 경고하기 위해 이상징후 파악 모델을 개발했다. 모의실험결과에 따르면, 상황 예측 모델 적용한 경우가 그렇지 않은 경우보다 오차가 작았고, 이상징후 파악 모델을 사용하여 데이터 전송 지연 속도를 줄일 수 있었다. 본 연구는 지리적 위치를 식별할 수 있는 무선 센서 네트워크 모니터링시스템의 효율적인 통신기법으로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

☞ 주제어 : 무선 센서 네트워크, 모바일 싱크, 공간적 자기상관

ABSTRACT

With recent advances in sensor technology, CMOS-based semiconductor devices and networking protocol, the areas for application of wireless sensor networks greatly expanded and diversified. Such diversification of uses for wireless sensor networks creates a multitude of beneficial possibilities for several industries. In the application of wireless sensor networks for monitoring systems' data transmission process from the sensor node to the sink node, transmission through multi-hop paths have been used. Also mobile sink techniques have been applied. However, high energy costs, unbalanced energy consumption of nodes and time gaps between the measured data values and the actual value have created a need for advancement. Therefore, this thesis proposes a new model which alleviates these problems. To reduce the communication costs due to frequent data exchange, a State Prediction Model has been developed to predict the situation of the peripheral node using a geographic autocorrelation of sensor nodes constituting the wireless sensor networks. Also, a Risk Analysis Model has developed to quickly alert the monitoring system of any fatal abnormalities when they occur. Simulation results have shown, in the case of applying the State Prediction Model, errors were smaller than otherwise. When the Risk Analysis Model is applied, the data transfer latency was reduced. The results of this study are expected to be utilized in any efficient communication method for wireless sensor network monitoring systems where all nodes are able to identify their geographic location.

☞ keyword : wireless sensor networks, mobile sink, spatial autocorrelation

1. 서 론

무선 센서 네트워크의 활용범위는 센서 기술, CMOS 기반의 반도체 장치, 네트워크 프로토콜 및 통신기술의 주요한 기술적 진보를 수반하면서 확대 되었다. 무선 센서 네트워크는 10년 전 군사 목적으로 주로 활용되었으나 현재는 과학기술 및 산업까지 그 활용범위가 다양화 되고 있으며 그 적용사례에서 여러 효과가 검증되고 있다[1, 2]. 특히, 사람이 살기 어려운 특정 환경에서 자동화된 원격 정보 수집과 모니터링을 통해 침입탐지, 환경정보 모니터링, 안전정보수집, 재난관리 등 다양하게 응용

¹ Department of Information and Media, Seoul Women's University, Seoul, 01797, South Korea.

* Corresponding author (hjun@swu.ac.kr)

[Received 16 August 2016, Reviewed 6 September 2016, Accepted 28 November 2016]

☆ 이 논문은 2016학년도 서울여자대학교 교내학술연구비의 지원을 받았다.

☆ 본 논문은 2016년도 한국인터넷정보학회 춘계학술발표대회 우수 논문 추천에 따라 확장 및 수정된 논문임

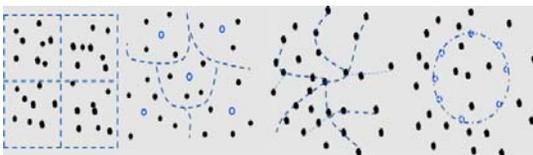
되고 있다[3, 4].

무선 센서 네트워크시스템 구축의 주요 목적은 유용한 정보를 수집하여 주변 환경의 현상을 모니터링 하는 것이다. 다양한 물리적, 화학적 성질을 측정하기 위해서는 그 특징에 맞는 여러가지 센서들을 사용하여 데이터를 수집해야 하는데, 각각의 센서들은 정보를 독립적으로 수집하지만 모든 센싱 정보를 종합적으로 모아 분석해야 할 필요성이 있다. 따라서 센서 노드들 간의 데이터 통신 기법에 대한 연구가 필수적으로 요구된다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크시스템의 전체적인 수명을 오랫동안 유지하면서 무선 센서 네트워크에 포함된 센서 노드들의 센싱정보를 지속적으로 모니터링하기 위해 기존 무선 센서 네트워크 알고리즘에서 간과되었던 공간적 자기상관성을 이용하여 이를 무선 센서 네트워크 에너지 소비 균등화 방식에 응용한 모델을 제시한다.

2. 관련 연구

센서노드의 에너지 자원을 효율적으로 사용하여 전체 네트워크 시스템의 수명을 연장시킬 수 있는 다양한 라우팅 기술들이 연구가 진행되었다. 그림 1과 같이 왼쪽부터 그리드 구조, 클러스터링 구조, 트리 구조, 링 구조에 기반한 다양한 라우팅 프로토콜의 네트워크 구조들이 제안되었으며 전체 네트워크의 에너지 소비를 일정하게 유지하기 위해 로드밸런싱 기술 및 모바일 싱크를 이용한 데이터 수집 기술이 함께 연구되었다[2, 3, 5]. 특히 전력 소모와 전송지연과 관한 연구는 무선센서네트워크에서 주요한 과제이다. 기존의 노드 에너지 균형을 위한 논문은 노드마다 상황을 고려하여 에너지를 균형있게 소비하도록 하여 전체 네트워크 수명을 늘리는 방법이 제시되어 왔다[1, 4].



(그림 1) 다양한 무선센서네트워크 구조

본 논문에서는 데이터의 효율적인 분석을 가능할 수 있는 그리드구조의 장점을 이용하여 이상징후를 빠르게 파악하여 전달하는 방법을 제안한다. 기존에는 특정 이벤트가 발생했을 때, 센서노드가 수집해둔 모든 센싱값

을 싱크로 전달하는 방식이었다면, 본 연구에서 제안하는 시스템은 이상징후가 발생한 경우는 알리고 안전 상태의 경우는 알리지 않는 시스템이다. 이는 시스템의 통신비용을 절감하여 시스템의 제반 기능을 향상시킬 수 있다.

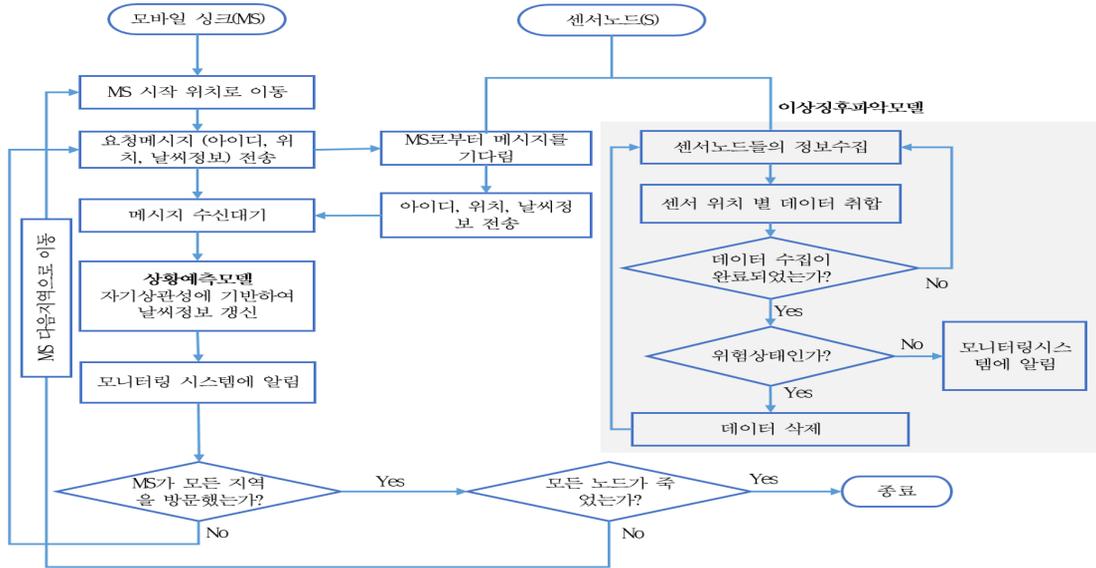
3. 제안 시스템 모델

본 논문에서 제안하는 무선 센서 네트워크는 관찰 지역(Monitoring Area)에 고정된 센서 노드가 균일하게 뿌려져있는 형태이다. 센서 노드의 지리정보 (위도, 경도)등을 기반으로 전체 대상지역을 작은 단위면적으로 분할하여 셀(Cell)을 구성한다. 모의실험지역은 총 36개의 셀이 존재하고, 셀 하나는 3개의 센서 노드로 구성된다. 따라서 총 108개의 센서 노드가 존재한다. 제안하는 에너지 균등화 모델은 모바일 싱크 방식과 고정싱크 방식을 결합하여 사용하는데 모바일 싱크는 총 4개가 존재하고 일정시간마다 Cell을 구성하는 센서 노드의 값을 번갈아가며 수집한다. 모바일 싱크 방식과 고정싱크 방식을 결합하여 사용할 경우, 간헐적으로 싱크 노드가 멈춰있기 때문에 패킷 손실이 적고 패킷전송의 지연도 적다. 또한 센서 노드가 싱크 노드의 이동경로를 제어 가능하여 데이터 전송성능을 최적화하고 손실되는 패킷이 없도록 디자인이 가능하다. 그림 2는 모바일 싱크와 센서 노드의 프로세스를 간략히 나타낸다.

3.1. 이상징후 파악 모델

본 논문에서는 데이터의 효율적인 분석을 위해 이상징후를 빠르게 파악하여 전달하는 방법을 제안한다. 기존에는 특정 이벤트가 발생했을 때, 센서 노드가 수집해둔 모든 센싱값을 싱크로 전달하는 방식이었다면, 본 연구에서 제안하는 시스템은 이상징후가 발생한 경우는 모니터링 시스템에 알리고 안전 상태의 경우는 알리지 않는다. 이는 시스템의 통신비용을 절감하여 시스템의 기능을 향상시킬 수 있다.

이상징후 파악을 위해서 안전영역과 위험 영역의 구분 기준을 정해야 한다. 이런 구분 기준은 시스템의 환경에 따라서 변경될 수 있지만 본 연구에서는 센서값의 변화 격차를 비교하여 센싱값이 갑작스럽게 변경된 경우를 이상상태로 파악한다. 이상징후 파악 모델의 모든 행위는 정해진 시간 간격마다 반복적으로 동작되는 데, 자세한 수행절차는 다음과 같다.



(그림 2) 제안 모델에서 모바일 싱크와 센서 노드의 플로우차트

1) 데이터 수집

각 센서 노드들은 일정시간 간격으로 측정한 센싱값을 이상징후 파악 모델로 전달하여 센서 노드 별로 측정값을 추적하는 단계이다. 여기서, 수집된 정보는 센싱 시간을 기준으로 그 변화 값을 각 센서 별로 저장한다.

a ₀₀	a ₀₁	a ₀₂	...	a _{0n}
a ₁₀	a ₁₁	a ₁₂	...	a _{1n}
a ₂₀	a ₂₁	a ₂₂
...	a _{n-1n}
a _{n0}	a _{n1}	...	a _{nn-1}	a _{nn}

		W ₂		
		W ₂	W ₂	
W ₂	W ₁	K	W ₁	W ₂
		W ₂	W ₁	W ₂
		W ₂		

(그림 3) 관찰지역 K의 인접성 수치 표현 방법

2) 이상징후 판별

각각의 셀에 포함된 모든 센서 노드의 센싱값(S1, S2, S3, ..., Sn)이 센싱시간(T1, T2, T3, ..., n)을 기준으로 3개 구간 이상 측정되면, 센서 노드의 변화 값(V1, V2, V3, ..., Vn-1)을 구하여 위험 판별기준과 비교한다. 위험 판별기준보다 센서 노드의 변화 값 차이가 크면 이상징후 메시지를 보내고 그렇지 않으면 메시지를 보내지 않는다.

글로벌한 센싱값의 상태측정을 위하여 그림 3과 같이 관찰 대상지역을 $n \times n$ 이차원 행렬 $i = \{1, 2, \dots, n\}$, $j = \{1, 2, \dots, n\}$ 로 구성하고 특정지역의 센싱 값이 측정되면 다음과 같은 공식을 따른다.

특정 지역 a_{ij} 의 값이 측정되었을 때,

$$\alpha'_{ij} = a_{ij}; \tag{1}$$

$$\beta_{ij} = a_{ij} - \alpha'_{ij} / t_{ij} - t'_{ij} \tag{2}$$

α_{ij} 와 첫 번째로 이웃한 4개 지역의 값은 다음과 같다.

$$\alpha_{i-1j} = \alpha_{i-1j} + W_1\beta_{ij}$$

$$\alpha_{i+1j} = \alpha_{i+1j} + W_1\beta_{ij}$$

$$\alpha_{ij-1} = \alpha_{ij-1} + W_1\beta_{ij}$$

$$\alpha_{ij+1} = \alpha_{ij+1} + W_1\beta_{ij}$$

α_{ij} 와 두 번째로 이웃한 8개 지역의 값을 계산하는 방식은 앞서 적용한 방식과 같고 인접성 수치만 변경된다.

상황 예측 모델의 모든 행위는 모바일 싱크 노드의 데이터 수집 시간 간격마다 반복적으로 동작되는 데, 자세한 수행절차는 다음과 같다.

3.2. 상황 예측 모델

본 논문에서는 두 번째 이웃까지를 공간적 인접성을 갖는다고 가정하고 Rook방식으로 공간인접성행렬(spatial contiguity matrix)을 구성하여 전체적인 시스템의 상황을 예측하는데 이용한다. 예를 들어 K지역의 관측 값의 정보가 확실할 경우, K지역의 관측 값은 업데이트 되고, K 지역과 인접한 지역에도 K지역의 관측 값의 변화량에 영향을 받아 인접성 수치만큼 변화 된다.

1) 모바일 싱크의 데이터 수집

균일하게 분산된 N개의 노드가 특정 지역 MxM에 있다고 가정하고 그리드 기반 정사각형 모양으로 지역을 k 개로 나눈다. 이때, 셀 하나당 평균적으로 배치된 노드의 개수는 N/k이고, 하나의 셀에는 싱크 노드 1개와 센서 노드 (N/k) - 1 개로 구성된다. 모든 노드들이 싱크 노드가 될 수 있도록 평균적으로 N/k의 확률로 특정 시간마다 싱크 노드를 변경하며 에너지 소모를 균일하게 유지하도록 설계하고 데이터를 수집한다.

2) 상황예측 단계

데이터가 수집되면 수집된 데이터의 현재 값이 변경되고 현재 센서 노드의 위치를 기준으로 이웃한 센서 노드의 값이 인접성 수치만큼 증가한다. 인접성 수치 W는 현재 측정된 센서 노드의 값이 주변 노드의 측정값에 얼마나 고려할 것인가를 결정한다. W의 값은 0과 1사이의 실수 값으로 정의되며, 그 값이 0이라면 전혀 고려하지 않는 경우가 되고 점점 커질수록 현재 측정된 센서 노드의 변화량이 주변노드에 많은 영향을 주게 된다. W의 값은 센서 노드가 위치한 간격과도 상관성이 있다. 예를 들어 센서 노드 간의 간격이 멀수록 인접성 수치 W의 값은 낮아지게 되고, 반대로 센서 노드 간의 간격이 서로 가까울수록 W의 값은 높아진다. 따라서 적합한 W를 설정할 때에는 센서 노드간의 간격을 고려하여 그 값을 정하는 것이 바람직하며 모의실험 단계에서 W의 값을 변경해 가며 예측의 정확도를 높였다.

3.1. 에너지 소비 모델

본 논문에서는 표 1과 같은 에너지 소비 모델을 적용하여 에너지 소모량을 측정하였다.

(표 1) Mica2의 에너지 소모

Operation	Time (s)	I (mA)
Initialize radio	350E-6	trinity 6 Crinit
Turn on Radio	1.5E-3	tron 1 Cron
Switch to Rx/Tx	250E-6	trx/tx 15 Crx/tx
Time to sample radio	350E-6	tsr 15 Csr
Evaluate radio Sample	100E-6	tev 6 Cev
Receive 1 byte	416E-6	trxb 15 Crxb
Transmit 1byte	416E-6	ttxb 20 Ctxb
Sample sensors	1.1	tdata 20 Cdata

표1은 UC Berkeley에서 개발한 저전력 소형 센서 노드인 Mica2 센서 노드의 에너지 소비를 시스템 구성요소의 운영 단계를 계속 추적하여 에너지 소모를 측정하고 이를 바탕으로 에너지 소모 모델(Energy Consumption Model)을 만든 것이다[9].1비트 송수신을 할 경우, 에너지 측정방법은 아래와 같다.

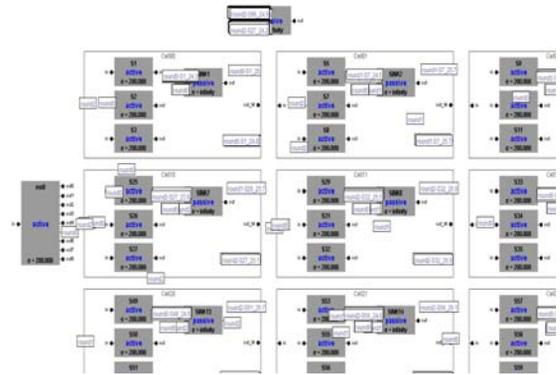
$$Energy = Current * Voltage * Time. \quad (3)$$

단위는 Energy는 Amperes, Voltage는 volts, Time은 Seconds이다.

예를들어, 데이터 송수신 에너지 측정방법은 아래와 같다.

$$Energy Tx = 20 * 10^{-3} A * 3 Volts * 416 * 10^{-6} sec / 8bits = 3.12 \mu J/bit.$$

$$Energy Rx = 15 * 10^{-3} A * 3 Volts * 416 * 10^{-6} sec / 8bits = 2.34 \mu J/bit.$$



(그림 4) 구현된 모의실험 환경

4. 모의실험

구현된 모의실험 환경은 아래 그림 4와 같다. 구현 언어는 Java이며 각 센서 별 실험 데이터는 본 연구의 대상 데이터는 SK planet에서 제공하는 Weather Planet API에서 제공하는 실제 날씨 데이터를 사용했다[10]. 모의실험 환경의 기본 가정은 다음과 같다.

- 1) 각 센서 노드는 자신의 지리정보(위도, 경도)를 기반으로 구분가능하다.
- 2) 싱크 노드와 센서 노드에 고장은 자동으로 수리된다.
- 3) 네트워크 상태는 동종시스템을 사용한다.
- 4) 각 센서 노드들은 동일한 에너지를 가지고 있고 한 번에 동일한 데이터양을 주고받는다.

- 5) 각 센서 노드들은 일정 시간간격으로 데이터를 측정하고 데이터를 여러번 중복으로 측정하지 않는다.
- 6) 메시지 혹은 데이터 전송 시 물리적, 논리적 손실과 오류는 존재하지 않는다.
- 7) 모바일 싱크 노드의 이동경로는 미리 지정되어 있다.
- 8) 모바일 싱크 노드는 동일한 확률로 모든 센서 노드를 방문한다.
- 9) 통신망의 지연시간은 전송 단위가 패킷단위이며 한 패킷의 크기를 4Byte라고 가정하였고 한 패킷당 50msec의 지연시간을 두었다.
- 10) 상태정보 요청메시지가 응답메시지보다 약간 적은 것이나, 여기서는 둘 다 1byte로 고정하였다.

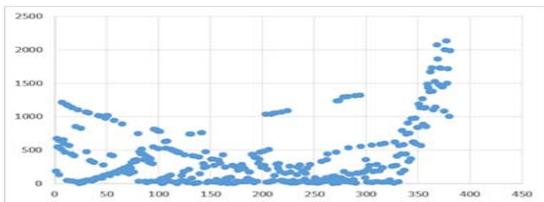
5. 모의실험 결과

5.1. 지연속도 분석

이상징후를 파악하는데 소요되는 시간을 측정하는 작업은 시스템의 성능을 분석하는데 중요한 일이다. 본 모의실험에서는 이상징후 데이터가 생성되는 시간과 모니터링 시스템에 알려지는 데까지 걸리는 총 시스템 체류 시간을 지연속도라고 정의했다. 지연속도 **Latency (T)**를 측정하기 위해 아래와 같은 식을 이용하였다.

$$Latency (T) = T1 - T2 \quad (4)$$

지연속도는 이상징후가 발생한 시각T1과 이상징후가 파악되어 모니터링 시스템에 메시지가 도착한 시각인 T2의 차이이다. 그림 4는 제안 알고리즘을 적용했을 때 이상징후 파악에 걸리는 지연속도를 나타낸다.

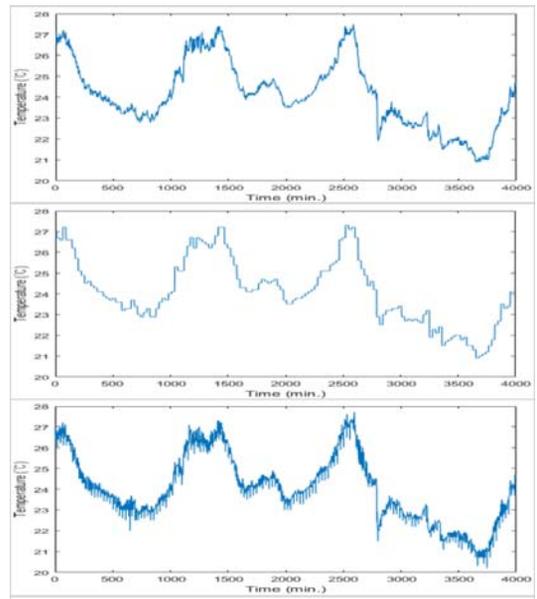


(그림 4) 시스템 평균 응답시간

5.2. 상황 예측 모델의 성능 분석

예측알고리즘의 정확도는 전체 센서 노드의 측정값의 정확도와 관련이 있기 때문에 시스템의 성능을 분석하는데 중요한 역할을 한다. 제안하는 무선 센서 네트워

크 모니터링 시스템은 센서 노드에서 측정된 값 모두를 모니터링 시스템에 전달하지 않고, 이상징후가 발견되었을 경우에만 보고하는 방식이다. 따라서 모바일 싱크에 의해 주기적으로 측정된 값에 의존하여 전체 센서 노드들의 값을 예측한다. 그림 7의 첫 번째 그림은 실제 센서 노드의 변화 값을 나타내고 그림 7의 두 번째 그림은 예측 모델을 사용하지 않고, 모바일 싱크가 관찰 지역을 특정 주기마다 이동하며 측정된 온도 값이다. 본 논문에서 제안한 모바일 싱크는 그 속도가 일정하여 그래프에서 보이는 것과 같이 같은 온도가 일정시간 유지된다. 그림 5의 세 번째 그림은 모바일 싱크기술과 예측 알고리즘을 함께 적용하여 측정된 결과로 모바일 싱크기술과 공간적 자기상관을 이용하여 이웃한 센서의 값이 측정될 때마다 주변 센서의 값에도 이웃한 센서의 변화량이 영향을 주어 실제 측정값과 더 유사한 결과를 얻을 수 있다. 본 그래프에서 사용한 자기상관 가중치는 $W_1=0.45$, $W_2=0.03$, 으로 두 번째 이웃까지의 인접성을 고려하였다.



(그림 5) 측정 데이터 값의 비교

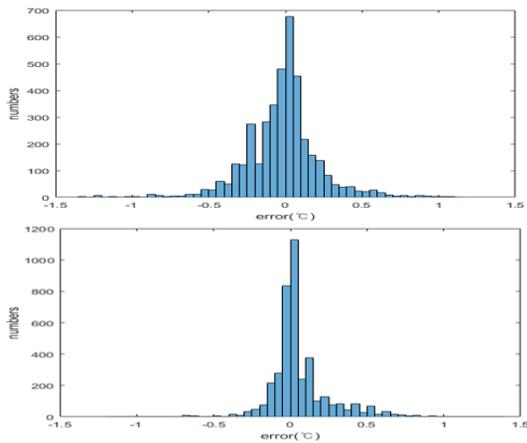
(상)실제 데이터, (중)상황 예측 모델 비적용, (하) 상황 예측 모델 적용

상황 예측 모델을 적용한 경우와 그렇지 않은 경우의 오차를 그래프로 나타내면 그림 6과 같다. 상황 예측 모델을 적용한 경우는 상황 예측 모델을 적용하지 않은 경우보다 전체적으로 오류의 크기가 작고, 오류가 없는 경우 (error =0)가 1.7배 정도로 예측모델을 적용하지 않은

경우보다 그 정확도가 높음을 알 수 있다. 정량적인 평가를 위해 표2에서 오차의 합, 평균오차를 구하였다.

(표 2) 상황 예측 모델 평가결과

상황 예측 모델 적용 유무	비적용	적용
오차의 합	643.7006	439.8009
평균오차	0.161167	0.110115



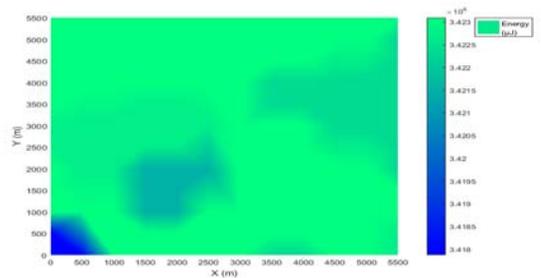
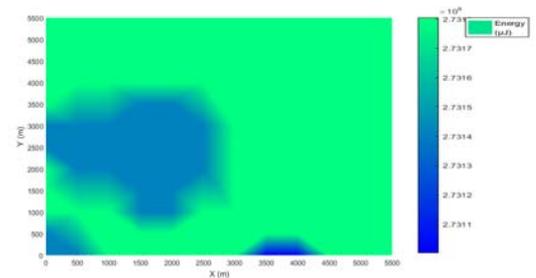
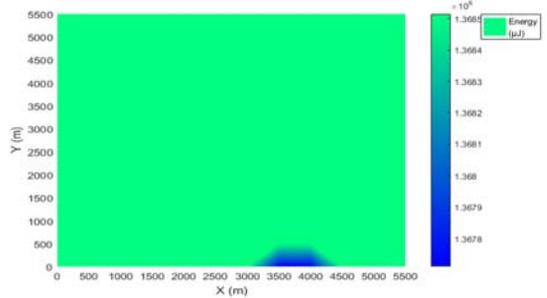
(그림 6) 오차 히스토그램
상황 예측 모델 비 적용(상), 적용(하)

5.3. 에너지 소비 모델의 성능 분석

4260분 동안 총 1725512byte의 메시지가 교환되었고 전체 에너지 소모량은 약 369647726 μ J이다. 센서노드 별 에너지 소비 균등도(그림 7)에서는 여러 위치에 흩어진 센서 노드의 위치를 기준으로 각 센서 노드의 에너지 소비를 색으로 구분지어 나타내었다. 진한색으로 나타나는 부분이 에너지 소비가 상대적으로 적은 부분인데 시간이 지남에 따라 에너지 소모가 많았던 노드의 위치가 변하는 것을 알 수 있다. 최고 에너지 소비량과 최저 에너지 소비량은 표 3의 시간 변화에 따른 에너지 소비량을 보면 확인 할 수 있으며, 최고 에너지소비량과 최저 에너지 소비량의 차이는 크지 않다.

(표 3) 시간 변화에 따른 에너지 소비량

시간 (분)	852분 경과 (상)	2556분 경과 (중)	4260분 경과 (하)
에너지 소비량(μ J)			
최고	6.836×10^5	2.0533×10^6	3.423×10^6
최저	6.828×10^5	2.0525×10^6	3.418×10^6



(그림 7) 센서 노드 별 에너지 소비 균등도
852분 경과(상), 2556분 경과(중), 4260분 경과(하)

6. 결론

본 연구에서는 기존 무선 센서 네트워크 알고리즘에서 간과되었던 WSN의 공간적 데이터를 분석하여, 데이터 지연속도를 줄이고 에너지를 균등하게 소비할 수 있는 이상징후 파악 모델, 상황 예측 모델을 제안하였고, 에너지 소비 모델을 사용하여 시간변화에 따른 전력 소비의 변화치를 측정하였다.

넓은 지역에 분포되어 있는 센서 노드의 센싱 값에 이상징후를 파악하기 위해 이상징후 파악 모델을 구현하여 이상 징후 발생시간과 이상 징후 발견 시간사이의 지연시간이 짧음을 증명하였다. 또한 전체적인 모니터링 정보를 파악하기 위해 지리적 상관성이론을 적용하여 상황 예측 모델을 만들었다. 상황 예측 모델에 의해 추론된

센서 노드의 상태정보는 제안모델을 사용하지 않았을 때 보다 더 정확히 상태를 추론하였으며, 각 노드들의 전체적인 모니터링 정보는 지리적 상관성 이론에 의해 관리되어 실제의 상태정보를 추론함으로써 많은 통신비용 없이도 상태 예측이 가능함을 보였다. 마지막으로 에너지 소비 모델을 기반으로 에너지 소비를 측정하여 에너지 소비가 균등하게 유지됨을 보였다.

참 고 문 헌 (Reference)

- [1] IDTechEx, "Wireless Sensor Networks (WSN) 2014-2024: Forecasts Technologies", http://www.researchandmarkets.com/research/xbssc/wireless_sensor, 2015.
- [2] Silicon Laboratories, Inc., "The Evolution of Wireless Sensor Networks", 2013.
- [3] Goldman Sachs Global Investment Research, "The Internet of Things: Making sense of the next mega-trend", pp. 2-4, 2014.
- [4] The Wireless Sensor Networks project team in the IEC Market Strategy Board, "Internet of Things: Wireless Sensor Networks", <http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-internetofthings-LR-en.pdf>, 2014.
- [5] Can Tunca, Sinan Isik, M. Yunus Donmez, and Cem Ersoy, "Distributed Mobile Sink Routing for Wireless Sensor Networks: A Survey", *IEEE communications surveys & tutorials*, Vol.16, No.2, p881, 2014
- [6] Priya Vyas and Manoj Chouhan, "Survey on Clustering Techniques in Wireless Sensor Network", *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, Vol.5, 2014
- [7] Ghofrane FERSI, Wassef LOUATI, Maher BEN JEMAA, "Energy-aware Virtual Ring Routing in Wireless Sensor Networks", *Network Protocols and Algorithms*, Vol.2, No.4, 2010, ISSN 1943-3581
- [8] Kantardzic, Mehmed, "Datamining: concepts, models, methods, and algorithms", IEEE press, 2nd ed., 2011, p357-358.
- [9] J. Polastre, J. Hill, D. Culler, "Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks", *SenSys'04*, Baltimore, Maryland, USA, 2004. <http://dx.doi.org/10.1145/1031495.1031508>
- [10] <https://developers.skplanetx.com/apidoc/kor/weather/history/#doc1182>

◎ 저 자 소 개 ◎



정 호 남 (Hyo-nam Jeong)

2013년 서울여자대학교 멀티미디어학과 공학사

2014년 서울여자대학교 정보미디어학과 이학석사

관심분야: Data Mining, Internet of Things, embedded system, mobile computing system, etc.

E-mail: hyonamjeong@gmail.com



황 준 (Jun Hwang)

1985년 중앙대학교 컴퓨터공학과 공학사

1987년 중앙대학교 컴퓨터공학과 공학석사

1991년 중앙대학교 컴퓨터공학과 공학박사

1992년 ~ 현재 서울여자대학교 정보미디어대학 소프트웨어융합학과 교수

관심분야: Convergency Computing, Digital Broadcasting, etc.

E-mail: hjun@swu.ac.kr