

# 효율적인 센서 노드 고장 진단 알고리즘

오원근\* · 이성근\*\*

An Effective Algorithm for Diagnosing Sensor Node Faults

Won-Geun Oh\* · Sung-Keun Lee\*\*

요 약

센서 네트워크에서 센서 노드는 고장이나 전력 손실 등과 같은 다양한 원인에 의해 오작동 및 부정확한 데이터 전송의 가능성을 가지고 있으며, 이러한 센서 노드의 오류는 전체 네트워크의 신뢰성 있는 서비스에 지장을 줄 수 있다. 본 논문에서는 센서 노드 자체의 동작 오류를 줄이는 방안으로 다중센서를 사용한 센서 노드의 고장 진단과 데이터 처리 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방법은 센서 노드에 다수의 센서를 사용하여 측정하고, 각 센서의 값을 비교하여 이상 유무를 판별하여 신뢰성 있는 데이터만을 전송하는 방식이다. 이 알고리즘은 센서의 수가 많아지는 단점이 있지만, 간단한 연산으로 센서 이상을 검출할 수 있는 방법이기 때문에 높은 신뢰도가 중요한 응용 분야에는 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

ABSTRACT

The possible erroneous output data of the sensor nodes can cause the performance limit or the degradation of the reliability in the whole wireless sensor networks(WSN). In this paper, we propose a new sensor node scheme with multiple sensors and a new fault diagnostic algorithm. The algorithm can increase the reliability of the whole WSNs by utilizing measurements of the multiple sensors on the node and by determining the validity of the data by comparing the value of each sensor. It can increase the cost and complexity of the node, but is suitable for the area where the high reliability is critical.

키워드

Sensor Fault Diagnosis, Wireless Sensor Networks, Multiple Sensors  
센서고장진단, 무선센서 네트워크, 다중 센서

## 1. 서 론

최근 사물인터넷(IoT: Internet of Things)과 관련하여 무선 센서 네트워크(WSN: Wireless Sensor Network)에 대한 관심 및 연구개발이 활발히 진행되고 있다[1-4]. 이러한 무선 센서 네트워크는 센서와 제어 데이터를 무선통신으로 송수신하는 센서 노드,

상호 접속하기 위한 센서 네트워크 프로토콜 및 센서 네트워크를 기존의 네트워크망에 접속하기 위한 센서 서버 등으로 구성된다.

이중에서 센서 노드는 센서 네트워크를 구축하는 기본 단위로써 하나 이상의 센서, 마이크로 컨트롤러, ROM/RAM, 그리고 근거리 무선 통신 모듈로 구성된다. 센서 노드는 대부분 사람이 접근하기 어려운 작업

\* 순천대학교 멀티미디어공학과(owg@sunchon.ac.kr)

\*\* 순천대학교 멀티미디어공학과(sklee@sunchon.ac.kr)

접수일자 : 2014. 11. 14

심사(수정)일자 : 2015. 01. 16

게재 확정일자 : 2015. 02. 09

환경에 설치 또는 살포되며, 내장된 알고리즘에 의해 자율적으로 측정된 데이터를 네트워크를 통해 서버로 전송한다. 이 경우 원격지에서 환경의 변화 및 상태를 효과적으로 관측하고 측정할 수 있으므로, 센서 네트워크는 환경 모니터링, 시설물 모니터링, 화재감시, 보안, 군사용등 다양한 용도로 도입되고 있다.

이와 같이 다양한 분야에 센서 네트워크 응용을 위해서는 무엇보다도 센서 노드에서 측정된 데이터의 신뢰성이 중요한 문제이다. 특히 센서 노드는 다양한 측정 환경에서 설치되기 때문에 다음과 같은 여러 요인으로 인해 오작동 및 부정확한 데이터 전송의 가능성을 가지고 있다.

- 센서의 고장 및 노화
- 충격으로 인한 노드의 파손
- 노드의 배터리 고갈
- 기타 보드상의 오류

따라서 전체 센서 네트워크의 신뢰성 확보를 위해서는 부정확한 데이터 전송을 검출하고, 해당되는 센서 노드의 이상을 감지할 수 있는 시스템 및 방법이 절실히 요구되고 있다.

센서의 오류를 검출하기 위한 기존의 연구에서는 검출의 정확도를 높이기 위해 신경망, 퍼지, 칼만 필터 등의 복잡한 기법을 이용하고 있다[5-6]. 하지만 이러한 기법들은 저성능의 마이크로프로세서가 장착된 센서 노드에서는 사용하기 적합하지 않은 단점이 있다. 또한 센서 네트워크에서는 서버 레벨에서 전체 센서 데이터를 처리하여 이상 노드를 검출하는 방법 등이 주로 사용되고 있다[7-9]. 그러나 이와 같은 방법은 노드에서 이상 데이터가 출력된 이후의 처리이며, 서버의 부하를 증가시키는 요인이 될 수 있다.

본 논문에서는 복잡성을 줄이면서도 노드 자체의 신뢰성을 높이는 방안으로 다중센서를 사용한 센서 노드의 고장 진단 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방법은 다수의 센서를 사용하여 동일한 대상을 측정한다. 다음, 각 센서의 값을 비교하여 이상 유무를 판별하여 신뢰성 있는 데이터만을 전송하는 방식이다. 이 알고리즘은 센서의 수가 많아지는 단점이 있지만, 간단한 연산으로 센서 이상을 검출할 수 있는 방법이기 때문에 높은 신뢰도가 중요한 응용 분야에는 유용하게 사

용될 수 있을 것이다.

본 논문의 구성은 2장에서는 제안한 센서 노드의 구조와 동작 알고리즘에 대해서 설명하고, 3장에서는 시뮬레이터를 이용한 모의실험 결과를 제시한 다음, 4장에서 결론을 맺는다.

## II. 다중 센서 노드 구조와 알고리즘

### 2.1 센서 노드의 구조

본 논문에서 제안하는 센서 노드의 구조는 그림 1과 같다. 일반적인 센서 노드와는 달리 센서부는 동일한 물리량을 측정하는데 하나의 센서를 사용하지 않고 다수의 센서를 사용하는 구조를 가지고 있다. 이 경우 하나의 센서에 이상이 생기는 경우에도 정상적인 다른 센서의 결과를 이용하여 신뢰성 있는 데이터의 전송이 가능하다.

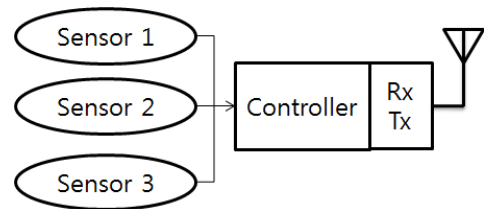


그림 1. 다중 센서 노드 구조  
Fig. 1 The structure of multi-sensor node

### 2.2 센서 이상 진단 및 처리 알고리즘

다중 센서 노드에서 센서의 이상 유무 판별은 각 센서의 값을 비교하여 특정 센서의 값이 다른 센서의 값과 크게 차이가 나는지를 계산하는 방식을 사용한다. 즉, 각 센서의 측정값의 차이가 미리 정한 오차 범위 내에 있는 경우에는 이들의 평균값을 최종 측정값으로 전송한다. 만약 센서의 측정값들의 차이가 오차 범위를 초과하는 센서가 있으면 이를 감지하여 센서 이상 신호와 함께 나머지 정상 센서의 평균값을 서버로 전송한다.

예를 들어, 온도 측정의 경우 이를 측정하기 위한 센서가 ‘온도센서 1’, ‘온도센서 2’, ‘온도센서 3’과 같이 3개의 센서가 존재한다고 할 때, ‘온도센서 1’은 20℃, ‘온도센서 2’는 21℃, ‘온도센서 3’은 26℃과 같이 측정되었다고 가정하자. 이 경우 ‘온도센서 3’은

‘온도센서 1’과는 6℃, ‘온도센서 2’와는 5℃의 차이가 나지만, ‘온도센서 1’과 2는 1℃의 차이를 보인다. 따라서 ‘온도센서 3’이 이상 작동을 하는 것으로 판단하고, 센서 이상 신호를 전송한다. 상세한 알고리즘은 그림 2와 같다.

**센서 이상 진단 및 처리 알고리즘**

① 잡음에 의한 영향을 줄이기 위해서 식 (1)과 같이 센서 출력의 지수 가중합을 계산한다.

$$p_i(k) = \sum_{n=0}^{N_h-1} e^{-\alpha n} s_i(k-n), \quad i = 1, \dots, N_S \quad (1)$$

여기에서  $p_i(k)$ 는 시간  $k$ 에서  $i$ 번째 센서의 지수 가중합,  $N_h$ 는 센서 과거값 저장 버퍼의 수,  $\alpha$ 는 지수 감쇄량을 조절하기 위한 파라미터,  $s_i(k)$ 는 시간  $k$ 에서의 센서의 출력, 그리고  $N_S$ 는 센서의 개수를 의미한다.

② 만약 센서  $i$ 의 출력값이 다른 모든 센서  $j$ 에 대해서 다음 식 (2)를 만족하면 센서  $i$ 에 오류가 있는 것으로 판정한다.

$$|p_i(k) - p_j(k)| > Th, \quad j = 1, \dots, N_S, \quad i \neq j \quad (2)$$

여기에서  $Th$ 는 사용자가 설정하는 문턱값(threshold)이다. 이 경우 센서 노드는 센서  $i$ 를 제외한 나머지 센서의 출력을 평균한 값을 전송한다.

③ 만약 다수의 센서에서 오류가 발견되는 경우는 센서 노드 자체가 손상 또는 오동작하는 것으로 간주하고 서버에 Fault 신호를 전송하여 노드를 폐기한다.

그림 2. 제안된 알고리즘  
Fig. 2 The proposed algorithm

이와 같은 다중 센서 구조는 하나의 센서가 잘못된 확률에 비해서 여러 개의 센서가 모두 고장날 확률이 더 낮을 것으로 예측할 수 있다. 따라서 하나의 센서만을 사용하는 기존의 센서 노드에 비해 오류 있는 측정 데이터 전송에 대한 가능성을 상당히 낮추고, 보다 신뢰성 있는 센서 노드의 구축이 가능할 것이다.

### III. 시뮬레이션

#### 3.1 시뮬레이터 구성

제안된 방법의 유용성 검증과 알고리즘에서 사용자 설정 파라미터( $N_h, \alpha, Th$ )에 대한 적절한 값을 알아내기 위하여 다수의 온도 센서를 사용한 센서 노드의 시뮬레이터를 구축하고 실험을 수행하였다.

사용된 온도 센서는 -40℃에서 120℃ 범위의 온도를  $\pm 0.5℃$  오차로 측정할 수 있는 MiCo SnP사의 HT-01DV를 이용하였다[10]. 이 센서는 온도와 습도를 동시에 측정할 수 있는 반도체 온도 센서이며, 본 실험에서는 온도 측정만 이용하여 알고리즘을 검증하였다. 시뮬레이터는 4개의 온도 센서를 일렬로 배치하고, 각 센서의 출력을 National Instrument사의 NI-6008 DAQ로 A/D변환하여 컴퓨터로 전송하도록 구성하였다. 그림 3에 사용한 센서와 시뮬레이터의 사진을 나타내었다.

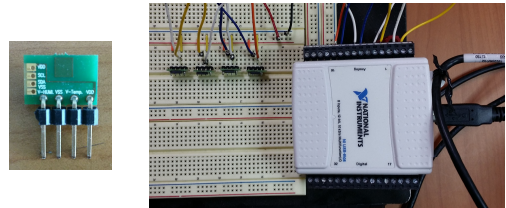


그림 3. 온도 센서와 시뮬레이터  
Fig. 3 The temperature sensor and the simulator

이와 같은 시뮬레이터에서 읽어들인 센서의 출력값을 처리하기 위하여 Labview를 이용하여 시뮬레이터 프로그램을 제작하였다. 이 프로그램은 NI-6008에서 읽은 4개 센서 데이터의 그래프 출력 기능, 이상 센서

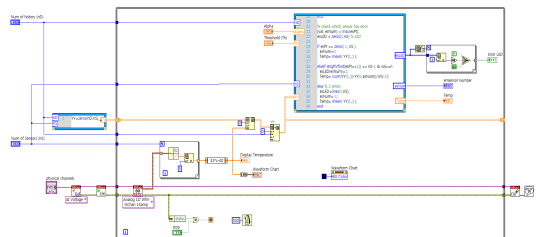


그림 4. 시뮬레이터 블록 다이어그램  
Fig. 4 Block diagram of the simulator

표시 기능, 현재 온도 출력 기능, 그리고 제안된 알고리즘에서 사용자 파라미터인  $N_h, \alpha, Th$ 를 변화 시키면서 센서 이상을 정확하게 감지하는지 테스트 할 수 있는 기능 등으로 구성되어 있다. 프로그램의 Labview 블록 다이어그램과 사용자 인터페이스를 그림 4와 그림 5에 나타내었다.

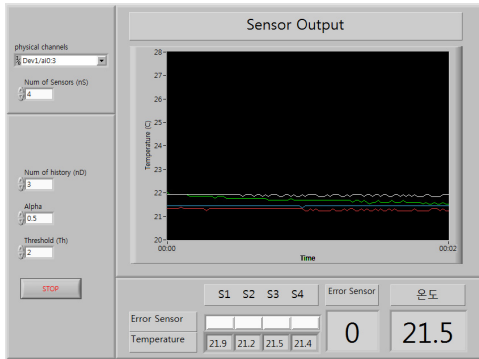


그림 5. 시뮬레이터 사용자 인터페이스  
Fig. 5 User interface for the simulator

외한 나머지 센서의 산술 평균값인 21.9°C가 전송된다. 여기에서 알 수 있듯이 만약 센서 노드에 S2와 같이 오동작하는 하나의 센서만 사용하였다면, 오류가 있는 데이터가 서버로 전송되어 신뢰성의 문제가 발생할 수 있다. 그러나 제안된 방법에서는 오동작하는 센서가 있는 경우에도 나머지 정상적인 센서의 정보를 이용해 정확한 값을 전송할 수 있다.

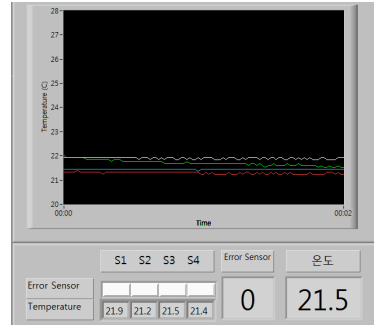


그림 6. 정상 동작  
Fig. 6 Operation of no sensor fault

### 3.2 시뮬레이션 결과

시뮬레이터를 이용해서 4개의 온도 센서 중 일부가 오동작하는 경우에 대해서 제안된 알고리즘의 동작을 확인하였다. 그림 6은 사용자 파라미터를 히스토리 데이터의 수  $N_h = 3$ , 감쇄량  $\alpha = 0.5$ , 그리고 문턱값  $Th = 2$ 로 설정한 상태에서 센서의 이상이 없을 때의 결과 화면이다. 여기에서 문턱값은 온도 센서 HT-01DV의 오차가  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  임을 고려하여 설정한 값이다. 그림 6에서와 같이 센서 1(S1)~센서 4(S4)의 출력은 각각  $21.9^\circ\text{C}$ ,  $21.2^\circ\text{C}$ ,  $21.5^\circ\text{C}$ ,  $21.4^\circ\text{C}$ 로 약간의 편차를 보이고 있다. 그러나 각 센서의 차이가 설정된 문턱값인 2 이하이기 때문에 정상 동작으로 판정하고

4개 센서의 평균값인  $21.5^\circ\text{C}$ 를 서버로 전송한다. 이와 같이 다중 센서를 사용하는 경우 센서 오류가 없더라도 다수 센서의 평균값을 측정값으로 출력하기 때문에 개별 센서의 오차를 완화시키는 효과가 있음을 알 수 있다.

그림 7은 동일한 사용자 파라미터를 설정한 상태에서 센서 2(S2)가 오작동하는 경우를 나타낸 것이다. 이 경우 2번 센서에 이상이 있음이 LED와 숫자로 화면에 나타나고, 센서 노드의 최종 출력값은 S2를 제

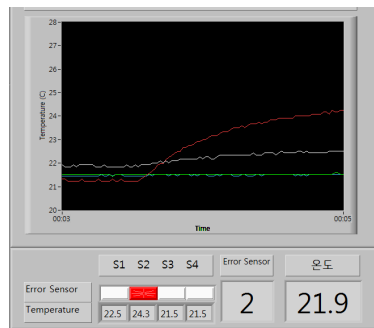


그림 7. 센서 1개 고장 시의 동작  
Fig. 7 Fault operation of one sensor

그림 8은 2개 이상의 센서가 오동작하는 경우이다. 이 때는 어떤 센서가 정상인지 판별이 불가능하기 때문에 정확한 온도를 측정할 수 없다. 이와 같이 다수의 센서에서 오류가 발견되는 경우는 센서 노드 자체가 심하게 손상되어 오동작하는 것으로 간주하고 서버에 전체 센서의 평균 온도와 함께 센서 노드의 고장 신호를 전송한다.

이상에서와 같이 다중 센서 구조는 보다 높은 신뢰도를 갖는 센서 노드를 구성하여 전체 네트워크의 신

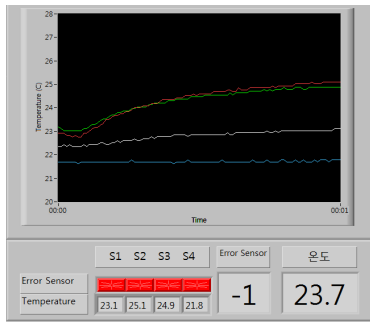


그림 8. 여러 센서 이상 시의 동작  
Fig. 8 Fault operation of multiple sensors

뢰성을 향상시킬 수 있다. 그러나 다수의 센서 장착으로 인한 크기 증가, 전력 소모 증가, 제작비용 상승, 회로의 복잡도 증가 등이 단점이 될 수 있다. 따라서 일반적인 응용 분야 보다는 고 신뢰도가 중요한 구조물 모니터링, 보안, 군사 분야 등에 적합할 것으로 생각된다.

## V. 결론

본 논문에서는 다중 센서를 갖는 센서 노드 구조를 제안하고, 이를 이용하여 센서의 오류를 감지하고 처리하는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 센서 노드의 센서부는 하나의 물리량을 측정하기 위해 다중 센서를 구비하며, 각 센서의 측정값의 차이가 미리 정한 범위 내이면 전체 센서의 평균값을 전송한다. 만약 측정값의 차이가 미리 정한 범위 이상이면 오류가 있는 센서를 감지하여, 이를 제외한 나머지 센서의 평균값을 전송하는 방식으로 동작한다.

제안된 알고리즘의 검증을 위해 사용자 파라미터 설정과 센서 출력 그래프, 센서 이상 디스플레이 등이 가능한 시뮬레이터를 구성하고, 4개의 온도센서에 대해 정상 동작 및 센서 오류 시의 검출 결과를 보였다.

본 논문에서 제안된 알고리즘은 일반적인 단일 센서를 사용한 노드에 비해 신뢰성을 높일 수 있는 장점이 있으나, 노드 제작비용의 증가되고 전력 소모가 늘어날 수 있다는 등의 단점이 있다. 따라서 일반적인 응용 분야 보다는 높은 신뢰도가 필수적인 보안, 고가의 구조물 관리, 군사 분야 등에 적합할 것이다.

또한 본 논문에서 제안된 구조는 센서가 사용되는 일반적인 응용 분야에도 유용하게 적용할 수 있기 때문에, 향후 음향센서를 이용한 소음 제어에 적용하여 다중 센서 구조의 유용성을 확인할 예정이다.

## 감사의 글

이 논문은 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2014R1A1A2057077)

## References

- [1] S. Krco, B. Pokric, and F. Carrez, "Designing IoT architecture(s) : A European perspective," In *Internet of Things (WF-IoT), 2014 IEEE World Forum on*, Seoul, Korea, March 2014, pp. 79-84.
- [2] W. Oh and S. Lee, "MAC protocol for Energy-Efficiency and Delay in Ubiquitous Sensor Networks," *J. KIECS*, vol. 4, no. 1, 2009, pp. 19-23.
- [3] M. Kim, K. Kim, and Y. Shon, "Information Analysis as Keyword of integrated IoT and Advanced Leisure Sport," *J. KIECS*, vol. 9, no. 5, 2014, pp. 609-616.
- [4] J. Kim, "A cluster head replacement based on threshold in the Internet of Things," *J. KIECS*, vol. 9, no. 11, 2014, pp. 1241-1248.
- [5] K. Lee, "A Fuzzy Model Based Sensor Fault Detection Scheme for Nonlinear Dynamic Systems," *Trans. KIEE*, vol. 56, no. 2, 2007, pp. 407-414.
- [6] I. Lee, "ART2 Neural Networks Based Gas Classification and Sensor Fault Diagnosis in the Gas Monitoring System," In *Proc. KIIT Summer Conf.*, Korea, June. 2009.
- [7] Y. Youk and S. Kim, "Development of Intelligent Data Validation Scheme for Sensor Network," *J. of Control, Automation and Systems Engineering*, vol. 13, no. 5, 2007, pp. 481-486.

- [8] E. Youk, S. Yun, and S. Kim, "Development of fault detection algorithm applicable to sensor network system," *J. of KIIS*, vol. 17, no. 6, 2007, pp. 760-765.
- [9] J. Hur, Y. Lee, and H. Yoon, "Trust-Based Filtering of False Data in Wireless Sensor Networks," *J. of KIISE*, vol. 35, no. 1, Feb. 2008, pp. 76-90.
- [10] MiCo SnP, "HT-01xx User's Manual," *MiCo SnP*, 2013.

### 저자 소개



#### 오원근(Won-Geun Oh)

1989년 한양대학교 전자통신공학과 졸업(공학사)

1992년 한양대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사)

2007년 한양대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학박사)

1997년~현재 순천대학교 멀티미디어공학과 교수

※ 관심분야 : 디지털신호처리, 음향시스템, 음향신호처리, 센서 및 제어시스템 응용



#### 이성근(Sung-Keun Lee)

1985년 고려대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1987년 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1995년 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

2004년~2005년 UC Davis 컴퓨터과학과 방문교수

1997년~현재 순천대학교 멀티미디어공학과 교수

※ 관심분야 : 에너지 효율적인 이더넷, WSN, 멀티미디어 통신, 인터넷 QoS