

## 센서 네트워크 기반 화재 감지 시스템 설계

# Design of Fire Detection System Based on Sensor Network

육의수<sup>1</sup>, 김성호<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 군산대학교, 전자정보공학부

E-mail: sixofnum@hanmail.net

<sup>2</sup> 군산대학교, 전자정보공학부

E-mail: shkim12244@kunsan.ac.kr

### 요 약

현재 주로 사용되고 있는 화재 감지 장치들은 경고 기반으로 되어 있어 정확한 화재 발생의 위치 검색이 어려우며 장치의 고장이 발생한 경우 고장 유/무의 확인이 어려워 보다 큰 인명 피해 및 재산 피해를 가져올 수 있다. 센서 네트워크 시스템은 통신매체 없이 데이터 송/수신이 가능하며 이를 통한 모니터링 환경의 구축이 쉬워 위치검색 및 고장 검출 알고리즘의 적용이 간단하다. 본 논문에서는 WSN 기반의 화재 감지 시스템을 제안하며 오류검출 알고리즘인 Consensus 알고리즘을 적용하여 그 유용성을 확인하고자 한다.

**Key Words** : Fire detection system, detection of fault node, consensus algorithm

### 1. 서 론

최근 건축되는 대부분의 산업구조물이나 건물들에는 발생하게 되는 화재를 효율적으로 감시하기 위한 다양한 형태의 화재탐지장비가 설치되어 있다. 이러한 장치들은 화재발생시 단순 경보음을 발생시켜 사람들에게 화재의 발생을 알리는 간단한 것으로부터 위치 센서를 사용하여 화재발생 위치를 파악함과 동시에 화재의 진행을 추적하여 화재발생 건물의 평면과 단면에 화재 상황을 그대로 실시간으로 표현함으로써 소화활동을 위한 진입루트 결정 및 스프링클러설비, 방화문, 제연팬 등을 감시·제어할 수 있는 시스템까지 다양한 형태를 취한다[1]. 이러한 화재탐지 시스템은 화재의 발생을 정확히 판별할 수 있도록 설계되어야 한다. 특히 설치된 센서의 고장 등으로 인해 발생한 화재를 감지 못한다면 시스템이 무용지물이 될 수 있으며 이러한 치명적인 문제를 해결하기 위해 설치된 센서의 주기적 유지보수가 요구된다.

최근 무선 통신 기술 및 반도체 산업의 발달은 계측 및 무선 통신 기능을 갖는 저가격·저전력의 다양한 센서 노드들의 개발을 가져왔다. 이러한 노드들은 자신의 ID를 가지고 자체적으로 형성된 네트워크를 통해 계측 데이터를

기간망으로 전달하는 센서 네트워크에 사용된다. 이러한 센서 네트워크 시스템은 최근 환경, 생태 모니터링, 지진 감시 및 군사용 등과 같은 분야에 폭넓게 도입되고 있다[2].

센서 네트워크 시스템은 제한된 리소스나 환경적인 문제들로 인해 종종 노드의 고장이 발생되며 이들 고장 센서노드들은 전체 시스템에의 영향이 최소화되도록 설계되어야 한다. 이를 위해서는 고장 센서노드의 신속한 검출 및 네트워크내의 전체 노드들의 고장 센서 노드의 효율적 인식방법이 필요하게 된다. 이러한 센서네트워크상의 고장 센서노드의 검출을 위한 많은 연구가 진행되어 왔으며 이중 Consensus 알고리즘이 널리 사용되고 있다[3].

본 연구에서는 고신뢰도의 화재탐지 시스템의 설계시 요구되는 1)주기적인 센서의 유지보수, 2)고장센서의 신속한 검출 등을 효과적으로 수행할 수 있게 하는 센서 네트워크 기반 화재탐지 시스템을 제안하고 실제 적용실험을 통해 제안된 시스템의 유용성을 확인하고자 한다. 제안된 시스템은 화재감지 센서가 장착된 센서노드와 각 센서노드들 간의 통신을 통해 고장센서노드의 인식을 가능케 하는 Consensus 알고리즘 및 이들 노드들로부터의 정보를 기반으로 원격에서 모니터링을 가능케 하는 서버 시스템 등으로 구성된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 센서 네트워크 시스템에 대한 간단한 개요를 설명하며 3장에서는 고장 센서 노드 검출을 위한 Consensus 알고리즘에 대해 설명하고 4장에서는 센서 네트워크 기반 화재탐지 시스템에 대해 설명하며 마지막으로 5장에서 결론을 기술한다.

## 2. 센서 네트워크

센서 네트워크는 RF를 지원하는 모듈들간에 네트워크를 형성함으로써 각 노드에서 수집된 정보를 한곳에 모으는 기능을 갖는 저가격 및 저전력 시스템을 의미한다.

### 2.1 센서 노드의 하드웨어 플랫폼

본 연구에서 사용되는 센서노드는 버클리 대학에서 개발된 mica2를 기반으로 실제 적용상의 문제점 및 효과적인 성능 검토를 위해 아래 그림 1과 같은 센서노드를 설계 제작하였다.

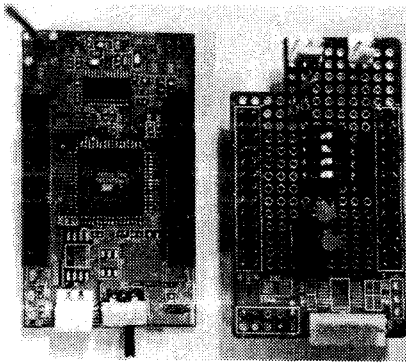


그림 1. Mica2 기반 센서노드

위의 센서노드는 크게 데이터 처리부, RF 송/수신부, 센서연결부, 외부장치연결부로 나뉘어진다.

데이터 처리를 위한 CPU는 ATMEGA128L 저전력 8비트 RISC프로세서를 사용하였다. 이 프로세서는 128Kbyte의 내부 프로그램 메모리와 4Kbyte의 데이터 메모리 및 EEPROM을 내장하고 있어 센서노드의 OS로 사용되어지는 TinyOS 어플리케이션을 동작시키기 충분하다. 또한 소비전력을 줄이기 위한 6가지 종류의 슬립모드를 사용할 수 있다.

RF 송/수신부는 센서에서 수집된 데이터의 전송을 위해 RF transceiver를 사용하여 데이터 수집을 담당하는 Host로 전송하게 되는데 transceiver chip으로는 Cipcon사의 CC1000을 사용한다. 이 칩은 300MHz에서 1000MHz 사이의 대역에서 동작하며, 구현된 플랫폼은 915MHz의 주파수를 고정하여 전송주파수로

사용한다.

센서 연결부는 온도, 습도, 조도, 초음파센서 등과 같은 다양한 센서들의 연결을 위해 사용되는데 계측방식으로는 ATMEGA128L 프로세서에 기본으로 내장된 10비트 8채널의 A/D 컨버터 및 외부 확장핀의 I2C/SPI 포트가 이용되어진다.

마지막으로 외부장치와의 연결을 위한 RS 232 인터페이스가 연결되어 있으며 기타 외부 하드웨어를 추가할 수 있도록 I/O 포트들을 뽑아 놓았다.

### 2.2 TinyOS

TinyOS는 무선 센서 네트워크를 위해 개발된 개방형 운영체제이다. TinyOS는 기본적으로 컴포넌트 기반 구조를 갖기 때문에 센서 네트워크 설계시 필연적으로 발생하는 메모리 용량 제약을 최소화하면서 빠른 개발을 위해 개발되었다. TinyOS의 컴포넌트 라이브러리(Component Library)에는 네트워크 프로토콜, 분산 서비스, 센서 드라이버 및 데이터 취득 도구들이 포함되어 있어 이들 컴포넌트들은 유저 어플리케이션에 따라 효과적으로 사용될 수 있다. 일반적으로 TinyOS 시스템, 라이브러리 및 유저 어플리케이션들은 구조적 컴포넌트 기반 어플리케이션 개발을 위해 개발된 nesC로 작성된다. nesC는 C언어와 유사한 구문체계를 가지고 있으나 네트워크용 임베디드 시스템 설계에서 필수적인 병행성 모델을 지원한다는 특징을 갖는다[5]. 일반적으로 nesC 기반 어플리케이션은 잘 정의된 양방향성 인터페이스들을 갖는 컴포넌트들로 구성되며 task와 하드웨어 이벤트 핸들러를 사용하여 병행성 모델을 지원한다.

## 3. Consensus 알고리즘

Consensus 알고리즘은 네트워크 내에서 고장이 없는 노드들에 의해 고장노드를 검출하는 알고리즘이다.

### 3.1 Consensus 알고리즘의 Message 구조

Consensus 알고리즘은 각각의 노드가 자기 자신을 유지하는 것만 아니라 다른 노드의 상태에 관하여 감시하고 또한, 의심되는 다른 모든 fault-free노드들을 모니터하는 것이 필요하다. 이 목표를 얻기 위해서, 네트워크 안에 있는 각 노드들은 자기 자신의 의견을 기록해 두는  $1 \times n$  fault 벡터 F와 전체 노드들의 의견을 기록해두는  $n \times n$  suspect matrix S를 가지고 있다.

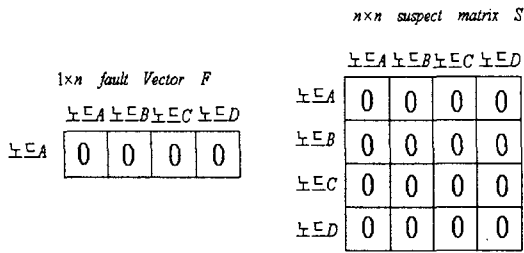


그림 2. Consensus 알고리즘의 메시지구조

각 노드들은 이웃한 노드들의 정상동작을 확인하기 위해 Suspect matrix를 주고 받는다. 만약  $i$  노드가  $j$  노드의 고장을 의심하게 되면 요소  $S[i,j]$ 는 1로 설정된다. Fault-free노드로 대응되는 모든  $i$ 에 0이 담겨질 때 주어진S의 column의 노드가 정상임을 나타내고 반대로 1이 채워지게 되면 비정상노드임을 나타낸다. Fault-free 노드들은 유지하는 각 노드의 fault 벡터  $F$ 에 의해 감시 된다. 즉 Suspect matrix에 의해 추측된 노드의 상태를 fault 벡터에 항상 기록하여 데이터 전송시 고장 노드는 제외시킨다.

### 3.2 Consensus 알고리즘 기본 동작

네트워크를 형성하는 각 노드들은 모든요소 가 0인 Suspect matrix와 fault Vector를 가지고 있으며 mulit-hop 라우팅 프로토콜을 이용하여 데이터를 교환하게 된다. 각각의 노드들은 교환된 Suspect matrix를 간단한 논리 연산을 통해 갱신하며 갱신된 Suspect matrix에서의 고장노드를 제외한 나머지 노드들의 의견이 Consensus 상태에 도달했을 때 Fault Vector를 갱신하게 된다.

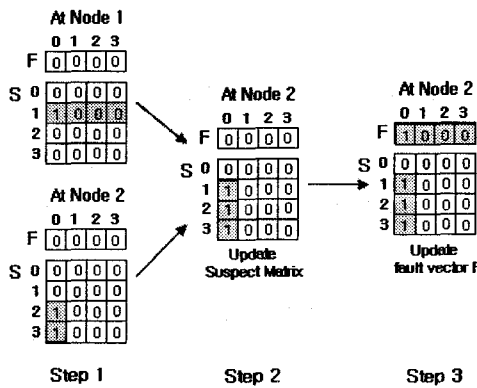


그림 3. Consensus 알고리즘의 기본동작

**STEP 1:** 노드1의 Suspect matrix를 보면 노드1이 이미 노드 0의 고장을 의심하고 있음을 알 수 있고 노드2의 Suspect matrix를 보면 노드 2또한 노드 0의 고장을 의심하고 있음을 알 수 있고 이전에 노드0의 고장을 의심하는

노드 3과 데이터 교환이 있었음을 알 수 있다.

**STEP 2:** 노드 2는 노드 1의 Suspect matrix를 수신하여 자신의 Suspect matrix와 수신된 노드 2의 Suspect matrix를 논리연산 OR하여 업데이트한다.

**STEP 3:** 노드 2는 모든 Fault-free 노드들이 노드 0의 고장을 인지한 후 consensus가 완료되는 것을 보여준다. 고장노드 0과 관련 있는 값이 모두 1로 되면 고장벡터  $F$ 는 해당 열을 1로 갱신된다.

그림 4는 Consensus 알고리즘의 흐름도를 나타낸다.

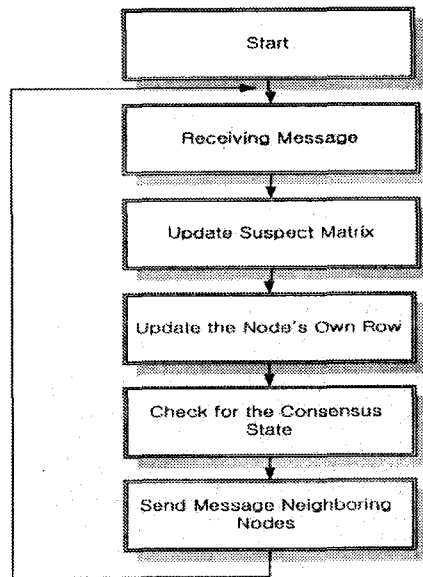


그림 4. Consensus 알고리즘의 순서도

## 4. 센서네트워크 기반 자동화재탐지 시스템

우리나라와 일본은 신호방식에 따라 자동화재 탐지장치를 분류하고 있다. 각 경계구역의 발신기 등과 수신기를 실선배선(Hard Wire)으로 연결하여 화재신호를 점접신호로 주고받는 방식을 P형 설비라 하고, 통신배선을 중계기를 통하여 다중통신방식(Multiplexing)으로 화재신호를 주고받는 형식을 R형 설비라 한다. 본 연구에서 제안하는 센서네트워크 기반 자동화재 탐지시스템은 R형설비의 일종으로 화재감지를 위한 센서 노드들과 이들로부터의 정보를 실시간으로 모니터링 할 수 있게 하는 관리서버로 구성되며 전체 시스템은 그림5와 같다.

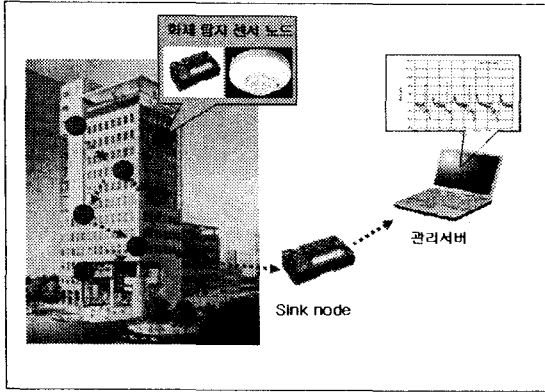


그림 5. 제안된 센서 네트워크 기반 화재 탐지 시스템

**4.1 화재탐지센서**

본 연구에서 사용한 화재탐지센서는 이온화식 연기감지센서로서 직렬로 연결된 외부 이온실과 내부 이온실 중 외부 이온실에 가해진 연기입자에 의한 미세 전압차를 이용하여 측정하는 원리를 가지며 본 실험에서 사용한 연기센서는 미세 전압차를 증폭시켜 0 ~ 9V 사이의 아날로그 출력을 얻도록 설계 되어졌다.

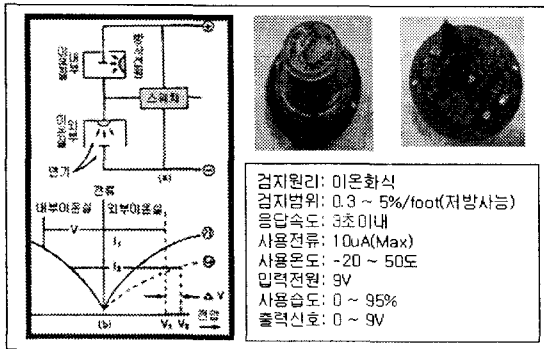


그림 6. 이온화식 연기 센서

**4.2 화재탐지센서가 장착된 센서 노드**

본 연구에서 설계 제작된 화재탐지센서가 장착된 센서노드의 설계도는 그림 7과 같다.

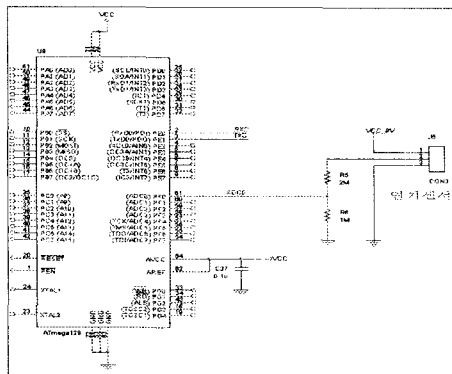


그림 7. 센서 노드의 설계도

각 센서노드는 주기적으로 연기센서로부터의 디지털 측정값과 suspect matrix 및 고장 벡터를 가지고 있으며 이들 데이터를 이웃한 노드들과 무선 통신을 이용하여 주기적으로 교환한다. 그리고 만일 수신된 데이터가 이전 데이터와 다를 경우 자신이 갖고 있는 데이터를 갱신하게 된다.

**4.3 관리자 서버**

관리자 서버는 비주얼 베이직 .Net을 이용하여 개발하였다. 관리자 서버의 기능은 Sink 노드를 통하여 수신되는 화재 탐지 센서들의 센서 데이터 및 Consesus 메시지를 모니터링하는 역할과 고장 노드가 검출되었거나 화재가 감지 되었을 경우 관리자에게 신속하게 조치할 수 있도록 정확한 정보를 제공해 주는 역할을 한다.

**4.4 testbed 상에서의 적용 실험**

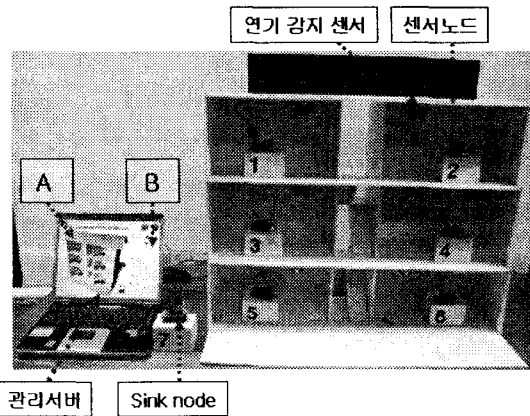


그림 8. 실제 실험을 위해 제작된 testbed 시스템

시스템의 정상작동을 확인하기 위해 그림 8과 같은 실험 장치를 설계하였으며 다음과 같은 실험을 진행하였다. 첫 번째로 노드의 고장 유무를 확인하기 위해 각각의 센서 노드의 입력 전원을 랜덤하게 제거한 후 관리서버에서의 Suspect matrix와 fault vector를 확인해 보았다. 관리서버에의 Suspect matrix와 fault vector의 변화는 Sink 노드를 통하여 주기적으로 전송되는 업데이트 된 메시지로 확인할 수 있었으면 반복되는 실험 결과를 통해 고장 식별 유/무가 가능함을 확인할 수 있었다. 그림 9는 4번 노드의 전원을 제거하여 실험한 결과를 나타낸 것이다.

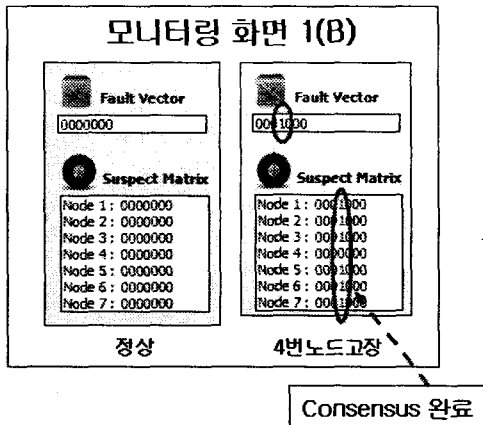


그림 9. 고장 센서 노드 검출 화면

두 번째로 화재가 감시되었을 경우 검출 가능 여부를 확인하기 위해 각각의 센서에 종이를 태워 연기를 발생시킨 후 관리 서버에서의 변화를 확인해 보았다. 적색 경보는 센서값이 정해진 기준치 이상이 되었을 때 발생되며 이 실험 역시 시스템의 신뢰성을 위해 반복적으로 수행하였다. 그림 10은 5번 노드에 연기를 가했을 경우 관리서버에서의 변화를 나타낸 것이다.

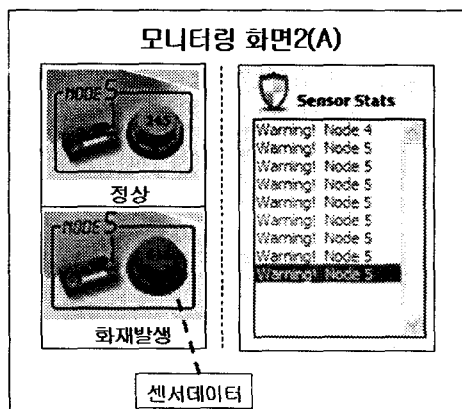


그림 10. 화재 감지 실험 화면

### 5. 결 과

본 연구에서는 설치와 교체가 쉽고, 저전력 및 저가격 특성을 갖는 센서 네트워크 시스템과 고장 검출 알고리즘인 Consensus 알고리즘을 적용한 화재 감지 시스템을 제안하였고 위와 같은 실험을 통하여 그 유용성을 확인해 보았다.

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음

### 참 고 문 헌

[1]Jeong-Kyoon Lee ,Ki-young Lee, "A study on Implementation of Fire Alarm System Using Internet", 2002  
 [2]B.Krishnamachari, D. Estrin and S. Wicker, "Modelling Data-Centric Routing in Wireless Sensor Networks," IEEE INFO-COM'02, June 2002  
 [3]S. Ranganathan, A.D. George, R.W. Todd, Matthew C.Chidester, "Gossip-Style Failure Detection and Distributed Consensus for Scalable Heterogeneous Clusters", HCS Research Laboratory, 2000  
 [4] N. Lee, P. Levis, J. Hill, "Mica High Speed Radio Stack", Sept. 11, 2002  
 [5]Philip Levis, "The TinyScript Language", July, 12, 2004  
 [6]Philip Levis, "Ad\_Hoc Routing Component Architecture", February, 5, 2003