

WSN 환경에서 전송률 향상을 고려한 화재감지 모니터링 시스템 구축에 관한 연구

(A Study on the Implementation of A Fire Detection Monitoring System to Improve
Data-Rate in WSN Environment)

이재수* · 윤찬영**

(Jae-Soo Lee · Chan-Young Yun)

Abstract

There are many problems with the fire detection devices being used in currently, because it is difficult to find location of the source of fire and determine where devices are working or not. In this paper, we proposed fire detection and rescue system using wireless sensor network that can be real-time monitoring and determine safe exit. Fire detection and rescue system based on ubiquitous sensor network can know exactly source of fire and help determine rescue tactics using sensing data from wireless sensor nodes. Transmitted wirelessly in real-time thermal sensor and gas sensor information to analyze the GUI to monitor the status information output to the screen by use of a system implemented in everyday life, looked at the possibility.

Key Words : Wireless Sensor Network(WSN), ZigBee, IEEE 802.15.4, CSMA/CA, MAC

1. 서 론

WSN(Wireless Sensor Network) 기반의 화재감지 모니터링 시스템이란 화재의 발화지점의 조기 감지 및 건물 내부에 배치되어 있는 소방방재시설에 대한 정보를 실시간으로 파악하여 종합상황센터에서 화재 재난 정보취득과 적절한 대응전술을 마련하기 위한

시스템으로 기존의 소방방재시설에 유비쿼터스(Ubiquitous) 컴퓨팅 기술을 접목하여 지능형 감지 경보체계를 구현해 실시간 예방 상황 모니터링 체계를 구축한 것을 말한다[1-2].

가스, 온도 센서, 습도 센서 등이 탑재된 센서 노드들을 화재감지가 필요한 장소에 배치하면 무선 네트워크를 통하여 주위 환경에 대한 24시간 감시가 가능하다. 또한 원격에서 실시간 모니터링이 가능하며 무선으로 신호를 받아 스프링클러와 같은 기존 소방방재 시설의 동작 여부 및 동작 장소를 정확히 파악할 수 있으며 이를 통해 화재 대응 및 개별 가정에 맞춘 보안 시스템도 적용이 가능하다. 소방방재시설은 일반적으로 기계식으로 동작하며, 특히 스프링클러의 경

* 주저자 : 김포대학 정보통신과 부교수
** 교신저자 : 계원디자인예술대학 디지털콘텐츠군 조교수
Tel : 031-999-4153, Fax : 031-999-4775
E-mail : jslee@kimpo.ac.kr
접수일자 : 2010년 11월 23일
1차심사 : 2010년 11월 30일
심사완료 : 2010년 12월 29일

우 오동작의 방지를 위해 전자식으로 제어할 수 없다. 본 논문에서는 스프링클러의 기계식 오동작 및 정상 동작, 노후화로 인한 누수를 감지할 수 있도록 물을 감지할 수 있는 습도센서를 이용하였다[3-5].

WSN은 이미 검증된 기술로써 연구 개발 기간을 줄일 수 있으며 무선 환경으로 구성하는 것이 가능하여 비용적인 절감을 꾀할 수 있으며 매립하지 않아도 미관을 크게 해치지 않으므로 향후 장비에 대한 교체 및 관리가 용이하다는 장점이 있다. 기존의 소방방재시설의 대표적인 시설인 스프링클러에 센서 노드를 접목함으로써 습도 센서를 통하여 화재발생장소에서 올바르게 스프링클러가 동작하고 있는지 여부를 확인할 수 있다[6].

기존의 WSN 기반의 화재감지 시스템은 이벤트 기반으로 구성되어 특정 상황이 발생하는 경우에 데이터 전송이 이루어지므로 주기적으로 환경 정보를 확인하기는 어렵다. 또한 기존의 구현된 기술들은 주기적인 데이터를 GTS 방법으로 전송하지 않고, 경쟁구간인 CSMA/CA 구간을 사용하는 문제점을 가지고 있다. 주기적 데이터를 경쟁구간에서 전송하는 경우 데이터 트래픽이 증가하여 충돌이 발생할 확률이 증가하고, 데이터의 지연이 증가한다. 제안한 시스템에서는 경쟁구간에서 주기적 데이터의 전송을 효율적으로 지원하기 위해 데이터 프레임의 클래스를 나누었다. 센싱 정보에 기초하여 일반, 경고, 위험 상태로 구분하였으며, CSMA/CA 알고리즘에 클래스를 비교하는 과정을 추가하였다. 센싱 데이터의 클래스를 비교하여 이전의 데이터와 동일한 클래스를 가지는 경우 전송을 시도하지 않으므로 경쟁구간에서 데이터 트래픽을 감소할 수 있다. 그로인해 충돌 확률을 감소할 수 있었으며 데이터 전송의 지연시간도 감소하여 실시간 감지가 가능하게 구현하였다.

2. 이론고찰

2.1 ZigBee를 이용한 화재 감지 시스템

ZigBee 기술을 이용한 센서는 제한된 자원으로 구성된 소형의 내장형 시스템을 이용하여 주변 환경에

대한 변화를 감시하고 주변 노드를 통해 싱크 노드로 그 결과를 무선으로 전달하는 구조로 구축 및 증설이 쉽다[7]. 이미 많은 분야에서 검증을 받은 상태이기 때문에 다양한 환경에 적용하기 위한 연구 개발 기간을 줄일 수 있으며 기존의 유선으로 구성되어 있는 배선을 크게 고려하지 않은 상태에서 무선 중계기를 설치하여 무선 환경으로 구성이 가능하기 때문에 비용적인 절감을 꾀할 수 있다. 추가적인 센서가 필요한 경우 필요한 센서만 추가 설치하면 되므로 확장성에서도 용이하다. ZigBee의 특성상 일정한 전원 공급 없이 한번의 배터리 교체로 장기간 사용이 가능하고 서버 응용 프로그램을 통해서 각 센서 노드의 데이터 전송상태를 확인 가능하기 때문에 고장 발견 및 센서 관리 측면에서도 유리하다.

2.2 국내외 화재감지 시스템

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 것들이 대부분이다. 설치된 센서의 고장 등으로 인해 발생된 화재를 감지 못한다면 시스템이 무용지물이 될 수 있으며 이러한 치명적인 문제를 해결하기 위해 설치된 센서의 주기적 유지보수가 요구된다.

현재 국내에서 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.

2.3 IEEE 802.15.4 기술

IEEE 802.15.4는 저속 WPAN(Wireless Personal Area Network)을 위한 PHY(Physical Layer) 계층과

MAC(Medium Access Control) 계층의 표준이다. IEEE 802.15.4는 기본적으로 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 채널 액세스를 기반으로 동작한다.

IEEE 802.15.4는 슈퍼프레임 구조를 선택적으로 사용할 수 있으며, 슈퍼프레임의 형태는 코디네이터에 의해서 결정된다. 슈퍼프레임은 활동 구간(Active Period)과 비활동 구간(Inactive Period)이 있다. 비활동 구간 동안 코디네이터는 저전력 모드로 들어갈 수 있다. 그리고 경쟁구간(CAP : Contention Access Period) 동안 통신하기를 원하는 디바이스는 슬롯화된 CSMA/CA 방식을 사용하여 다른 디바이스들과 경쟁해야 한다. 경쟁구간에 전송되는 모든 프레임들은 채널을 액세스하기 위해 슬롯화된 CSMA/CA 방법을 사용한다. 또한 MAC 명령어 프레임들은 항상 경쟁구간에서 전송된다. 경쟁구간은 경쟁 기반의 채널 액세스 방법을 사용하기 때문에 주기적인 데이터 처리에는 적합하지 않다. 본 시스템에서는 주기적인 데이터를 경쟁구간에서 처리하기 위해 기존의 데이터와 비교하여 전송을 결정하는 과정을 추가하여 주기적 데이터 트래픽을 감소시켰다.

3. 시스템 설계 및 구현

3.1 개발 환경

본 논문에서 사용된 하드웨어는 센서 모듈, 방향 표시 모듈, 공통 모듈이 있다. 그림 1은 센서 모듈의 기본 구성도이다

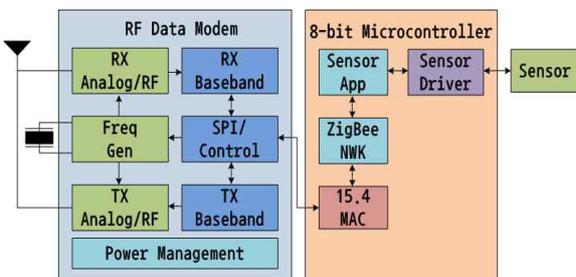


그림 1. 센서 모듈의 구성도
Fig. 1. Blockdiagram of sensor module

3.2 하드웨어 구성

구현된 모니터링 시스템은 스프링클러의 오작동 및 고장에 대한 감지를 확인할 수 있으며 온도 센서와 가스 센서에서 센싱되는 데이터를 주기적으로 모니터링함으로써 화재의 조기 진화로 인명 및 재산 피해를 줄이고자 한다. 그림 2는 본 논문을 위하여 개발한 시스템의 구성도이다.

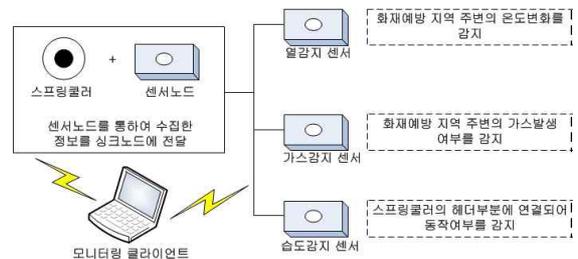


그림 2. 화재감지 및 소방방재 시스템 구성도
Fig. 2. Blockdiagram of fire detection and disaster management system

1) 센서 노드

센서 노드는 무선 통신에 사용되는 ZigBee 모듈과 센싱 데이터 처리를 위한 마이크로컨트롤러가 포함된 노드로서 무선 통신이 가능하도록 해주는 역할을 한다. 센서 노드는 센서 모듈 연결 단자와 무선 통신 모듈 연결 단자 등으로 구성된다. 그림 3은 연구를 위해서 제작된 센서 노드이다.



그림 3. 센서 노드
Fig. 3. Sensor node

2) 센서 모듈

센서 모듈은 온도 센서, 가스 센서, 습도 센서 등을 이용하여 온도 측정 및 CO 측정을 바탕으로 건물 내부의 화재 발생 여부와 가스 누출 여부를 측정할 수

있다. 그림 4는 연구를 위해서 제작된 센서 모듈이다.

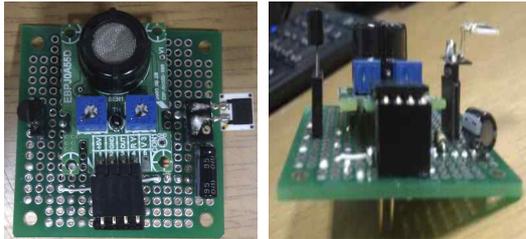


그림 4. 센서 모듈
Fig. 4. Sensor module

3) 온도 센서

온도가 올라갈수록 저항이 낮아지는 음온도 계수를 가지는 반도체 소자로 구성된 서미스터를 이용하여 실내의 온도 변화를 바탕으로 화재발생을 판단할 수 있다. 본 연구에 사용된 온도 센서는 LM35DZ로 0.1도 단위로 센싱이 가능하며 구성이 간단하는 장점이 있다. 센싱된 온도를 클래스로 표현하기 위해 3비트를 사용하였으며, 일반 상태는 2진수로 00000001, 경고는 00000010, 위험은 00000011로 정의하였다.

4) 가스 센서

가스감지 센서는 세라믹 반도체 표면에 가스가 접촉

했을 때 일어나는 전기전도도의 변화를 이용하며, 가스의 누설감지, 농도의 측정기록에 사용한다. 본 연구에 사용된 가스센서는 GSLS61로 Butane 및 Methane 가스 검출에 용이하다. 가스 센서의 경우 2개의 클래스로 구별하였으며, 출력 값 2.5[V]기준으로 클래스를 나누도록 정의하였다. 일반상태는 2진수로 00000100, 위험상태는 00001000으로 정의한다.

5) 습도감지 센서

습도감지 센서는 전기저항식 습도계의 전기저항의 정도가 변하는 것을 이용하여 수분을 흡수한 목면의 전기저항이 증가해 전류를 억제하는 원리로 구성되어 있다. 본 연구에 사용된 습도센서는 시뮬레이션을 통해 물이 닿는 경우에 저항을 측정하였다. 물이 닿지 않는 경우의 저항과 물이 닿았을 경우의 저항을 고려하여 전압분배용 탄소피막저항을 추가하여 일반상태에서는 2.5[V] 이상 출력되고, 물이 닿는 경우에는 그 이하로 출력 값이 감소하도록 설계하였다. 습도센서의 클래스는 일반상태와 위험상태로 구별하였으며, 일반상태는 2진수로 00100000, 위험상태는 01000000로 정의하였다.

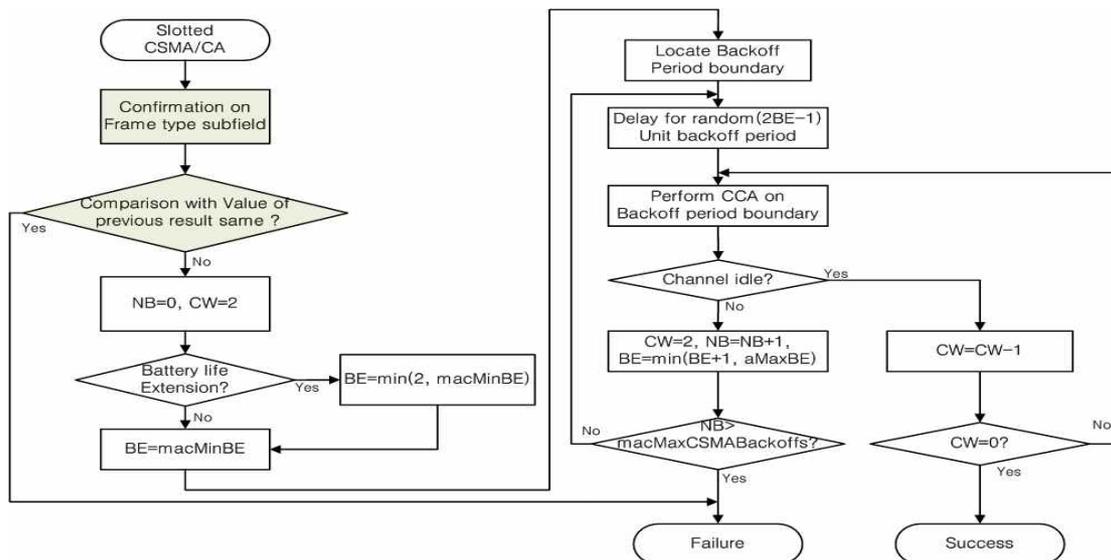


그림 5. 제안한 CSMA/CA 알고리즘
Fig. 5. Proposed CSMA/CA algorithm

6) 모니터링 Client

모니터링 Client는 센서 노드들의 정보를 수집하고 제어하도록 설계 되어 있다. 모니터링 Client는 사용자에게 센서들이 수집하는 정보를 한눈에 알 수 있도록 구성되어 있다. 수집된 정보를 바탕으로 화재나 가스 누출 등의 재난 발생을 알 수 있으며 화재 발생시 스프링클러의 올바른 동작 여부 역시 센서 노드를 통해서 전달 받는다. 또한 센서 노드가 이상을 감지하면 문제가 발생한 노드의 위치를 나타내고, 경고음을 발생시켜 안전하고 신속한 대피를 통한 인명피해를 최소화 할 수 있다.

3.3 제안한 CSMA/CA 알고리즘

데이터를 수집하는 과정은 센서모듈에서 이루어진다. 가스, 온도, 습도 센서는 센싱 정보를 아날로그 방식으로 마이크로컨트롤러와 ZigBee 모듈로 구성된 센서 노드에 전송한다. 센서 노드는 ADC 기능을 사용하여 아날로그 신호를 5초 간격으로 샘플링하여 디지털 신호로 변환한다. 샘플링한 신호는 ZigBee를 통해 전송되며, 제안한 CSMA/CA 알고리즘을 적용받는다.

제안한 CSMA/CA 알고리즘의 초기단계는 센싱 데이터의 클래스를 비교하는 과정이다. 센싱 정보에 기초하여 클래스를 구별하며, 온도센서의 경우 40도 미만이면 일반, 40도 이상 50도 이하이면 경고, 50도를 초과하면 위험의 클래스를 가진다. 가스센서의 경우 Butane 가스 기준으로 1,700[ppm] 이상이면 위험을

넘지 않는 경우는 일반상태를 가진다. Methane 가스는 12,500[ppm]을 기준으로 위험과 일반의 상태로 나뉜다. 습도센서는 저항처럼 동작하는 특성 상 물이 센서부에 닿게 되면 위험, 닿지 않는 경우는 일반상태로 정의하였다.

센싱된 정보는 클래스에 맞게 MAC 헤더에 설정된 후, 이전의 데이터와 비교하는 과정을 거친다. 각각의 센서모듈들은 ATmega128을 포함하고 있어, 이전의 결과를 저장할 수 있다. 새로운 데이터가 발생하면 이전값과 비교하여 데이터의 변화가 있으면 전송을 시도하고, 데이터 변화가 없다면 전송을 시도하지 않고 데이터를 폐기한다.

주기적인 데이터를 비교하는 과정을 거침으로써 실제로 전송을 시도하는 데이터 트래픽의 양을 감소할 수 있다. 그림 5는 제안한 CSMA/CA 알고리즘을 나타낸다.

3.4 MAC 프레임 포맷

본 논문에서 제안한 CSMA/CA 알고리즘을 적용하기 위하여 기존의 IEEE 802.15.4 MAC 프레임 포맷을 수정하였다. 데이터 프레임의 클래스를 표현할 수 있도록 MAC 프레임의 MHR 영역을 수정하였다. MHR의 프레임 타입 서브필드에 정의한 데이터 프레임의 클래스를 그림 6과 같이 설정하였다.

000부터 011까지는 기존의 IEEE 802.15.4와 동일한 구조로 되어있으며, 100에서 110까지는 센싱 정보를 확인하여 일반, 경고, 응급 상황을 나타낸다.

Octets: 2	1	0/2	0/2/8	0/2	0/2/8	0/5/6/10/14	variable	2
Frame Control	Sequence Number	Destination PAN Identifier	Destination Address	Source PAN Identifier	Source Address	Auxiliary Security Header	Frame Payload	FCS
		Addressing fields						
MHR							MAC Payload	MFR
Bits: 0-2	3	4	5	6	7-9	10-11	12-13	14-15
Frame Type	Security Enabled	Frame Pending	Ack. Request	PAN ID Compression	Reserved	Dest. Addressing Mode	Frame Version	Source Addressing Mode

Frame type value	Description
000	Beacon
001	Data
010	Ack
011	MAC Command
100	General(Data)
101	Warning(Data)
110	Danger(Data)
111	Reserved

그림 6. 제안한 MAC 프레임 포맷
Fig. 6. Proposed MAC frame format

3.5 시스템 동작

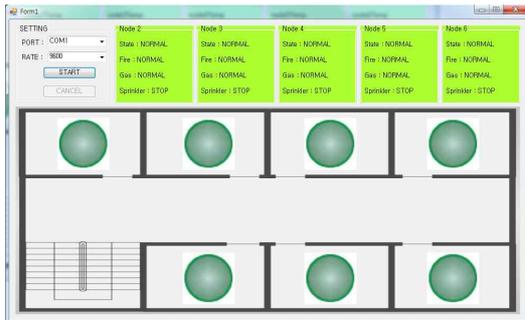


그림 7. 일반상태 화재감시 모니터링 GUI
Fig. 7. Fire detection monitoring GUI of general status



그림 8. 위험상태 화재감시 모니터링 GUI
Fig. 8. Fire detection monitoring GUI of risk status

그림 7은 일반적인 상황에서의 GUI 화면이다. 일반적인 상황에서는 녹색배경으로 감지되는 센서의 정보를 보여주며, 위험 상태에는 그림 8과 같이 알람음과 함께 화재발생을 알리는 GUI 화면으로 전환되어 사용자는 실시간으로 화재의 발생유무와 화재 발생의 위치를 알 수 있게 된다. 또한 화재가 발생한 지역의 습도 센서에서 발생하는 정보를 무선으로 전송 받아 스프링클러가 올바르게 동작하는지 여부를 알 수 있다.

4. 성능 평가

본 장에서는 주기적 전송 특성을 가진 데이터를 경쟁구간을 통해 전송하는 경우 데이터의 전송성 공 및 실패확률에 대한 성능 평가 결과를 보여준다.

제안한 WBAN 알고리즘의 성능평가를 위해서 IEEE 802.15.4 시뮬레이터인 Castalia를 사용하였다. 성능평가를 위해 전송을 시도하는 데이터의 클래스를 주기적으로 변화하였으며, 표 1은 성능평가에 적용된 파라미터를 나타낸다.

표 1. 트래픽 파라미터
Table 1. Traffic parameter

파라미터	값
트래픽 종류	CBR
통신 범위	7×7
시뮬레이션 시간	50초
듀티 사이클	50[%]
토폴로지	스타
노드 개수	10개
통신방향	단방향(노드→코디네이터)

표 2. 성능평가 결과
Table 2. Results of performance test

파라미터	IEEE 802.15.4 CSMA/CA	Proposed CSMA/CA
Packets Transmitted (bps)	28775	14251
Packets Successfully (bps)	13447	10992
Packets Dropped (bps)	15328	3259
Packet Delivery Ratio(%)	46.73	77.13
Average Delay(s)	1.346	0.565

표 2는 경쟁구간에서 전송을 시도한 데이터량, 전송에 성공한 데이터량, 실패한 데이터량, 전송 성공 확률을 보여준다. 전체 전송을 시도한 데이터량은 제안한 방식이 거의 절반임을 확인하였다. 시뮬레이션에서 패킷의 클래스를 변화시키는 알고리즘에 의한 결과로 이전과 동일한 클래스는 전송을 시도하지 않기 때문

에 전송을 시도한 데이터는 감소한다. 전송 성공 데이터량과 실패한 데이터량 모두 기존의 방법이 높은 수치를 나타내며, 성공 확률면에서 보았을 때 제안한 방식이 약 30[%]의 성능을 개선되었다. 평균 지연시간을 확인하면 제안한 방식이 0.78[s] 감소하였으며, 기존의 방식은 시스템이 동작시간이 길어질수록 지연이 증가하는 결과를 보였지만, 제안한 방법은 모든 구간에서 유사한 지연시간을 관찰할 수 있었다.

5. 결 론

기준에 주로 사용되고 있는 화재 예방 시스템들은 경고 기반으로 되어 있어 정확한 화재 발생의 위치 검색이 어려우며, 건물의 내부에 사용되고 있는 스프링클러의 동작 확인은 유수감지장치에 연결되어 있는 알람벨브에 의존하고 있어 정확한 감시가 어렵다. 또한 이벤트 기반으로 동작하기 때문에 실시간으로 환경 정보를 획득하기 어렵다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 WSN 기술을 적용한 실시간 화재 감지 모니터링 시스템을 통하여 화재감시 및 소방방재시설의 관리를 원격에서 실시간으로 이루어질 수 있도록 설계 및 구현하였다. 이를 통하여 스프링클러의 오작동 및 고장에 대한 감지를 확인할 수 있으며, 온도 센서와 가스 감지 센서에서 센싱되는 데이터를 모니터링 하고 원격에서 제어하여 안전한 대피로를 확보함으로써 화재의 조기 진화 및 인명과 재산 피해를 줄이고자 하였다.

제안한 방법은 데이터를 전송하기 전에 비교하는 과정을 추가함으로써 데이터 트래픽 양을 감소할 수 있었다. 그 결과 데이터 전송 성공 확률은 향상되고 지연시간은 감소할 수 있었다. 비교하는 과정을 없는 경우에는 10개의 노드에서 주기적으로 전송을 시도하여 지연시간이 계속 증가하였으나, 비교 과정을 추가하였을 경우 10개의 노드에서 경쟁구간을 사용하여 주기적 데이터를 전송하여도 지연 시간이 거의 증가하지 않았다. 본 논문에서는 제안한 시스템의 구성도에 맞게 하드웨어 및 GUI를 설계 및 구현하였다. Zigbee 모듈로부터 무선으로 실시간으로 전송되는 데이터를 분석하여 모니터링 화면에서 화재 여부를 알 수 있도록

하여 일상생활에서 구현한 시스템의 활용 가능성을 확인하였다.

본 논문은 2010학년도 김포대학의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

References

- [1] 윤찬영, 김승용, 이상진, "A Study on the Implementation of A Fire Detection and Rescue System based on Ubiquitous Sensor Network" KICS, 제34권 제 12호, pp. 325-329, 2009. 12.
- [2] Kemal Akkaya, Mohamed Younis. "A study on routing protocols for wireless sensor networks", Ad Hoc Networks, 2005.
- [3] Chee-Yee Chong, Kumar, S.P, Booz Allen Hamiton, "Sensor networks: evolution, opportunities, and challenges", Proceedings of the IEEE, Aug, 2003.
- [4] B.Krishnamachari, D.Estrin and S.Wicker, "Modelling Data-Centric Routing in Wireless Sensor Networks." IEEE INFO-COM '02, June, 2002.
- [5] CC2420: "Datasheet for Chipcon (TI) CC2420 2.4GHz IEEE 802.15.4/ZigBee RF Transceiver".
- [6] IEEE, "Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks", IEEE std, 802.15.4, 2003.
- [7] ZigBee Alliance, <http://www.zigbee.org>.

◆ 저자소개 ◆



이재수 (李在洙)

1964년 5월 5일생. 1987년 광운대학교 전자공학과 졸업. 1989년 광운대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2001년 광운대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 1989~1994년 갑을전자 부설연구소 근무. 1994~1995년 한전KDN 근무. 1996년~현재 김포대학 IT학부 정보통신과 부교수.



윤찬영 (尹贊永)

1972년 6월 11일생. 2001년 광운대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(석사). 2007년 광운대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(박사). 2005년~현재 계원디자인예술대학 디지털컨텐츠군, Creative-Ubiquitous Track 조교수.