

무인헬기 및 센서네트워크 기반 화재 감시 시스템 설계

A Design of Fire Monitoring System Based On Unmaned Copter and Sensor Network

윤동열¹, 김성호²

¹ 군산대학교 전자정보공학부

E-mail: ydongyol@gmail.com

² 군산대학교 전자정보공학부

E-mail: shkim@kunsan.ac.kr

요 약

본 연구에서는 신속하고 정확한 산불감지를 위해 센서 네트워크 기술 및 무인 항공 기술을 접목한 새로운 형태의 화재 감시 시스템을 제안하고자 한다. 제안된 시스템은 광범위한 영역에 설치되는 다수의 센서 노드들과 이 영역위에서 자유로이 비행하면서 실시간으로 센서 노드에서 계측된 데이터를 수집하는 헬리콥터 및 헬리콥터에 장착되어 화재발생지점의 화상정보를 취득하고 이를 원격의 서버로 데이터를 무선 전송할 수 있는 임베디드 시스템으로 구성된다. 또한 산불 감지용 테스트베드를 제작하여 설계·제작된 시스템의 실제 적용을 통해 제안된 시스템의 유용성을 확인하고자 한다.

Key Words : Sensor network, Unmaned Copter, Fire Monitoring System

1. 서 론

우리나라와 같이 산이 많은 지형 특성을 갖는 곳에서는 매년 크고 작은 산불의 발생으로 산림훼손 및 인명 피해가 크게 발생하고 있다. 이를 위해 국가차원에서 대형 산불을 조기에 진압할 수 있는 다양한 형태의 소화약제 개발 등에 심혈을 기울이고 있다. 그러나 고성능 소화약제의 신속한 투입에 의한 산불의 조기 진압을 위해서는 신속하고 정확하게 화재 발생을 감지할 수 있는 IT 기술을 활용한 산불감시 시스템의 개발이 절실히 요구된다. 이러한 연구의 일환으로 무인항공 로봇과 지리정보 시스템을 이용한 산불감시 시스템이 개발된 바 있다. 이 시스템은 자동비행 중에 로봇에 장착된 불꽃감지 센서와 후각센서, 온도센서, 카메라 등을 이용하여 산불을 감시하며 산불이 발생하면 이를 지상관제 시스템에 알리고, 지상관제 시스템은 지리정보시스템을 이용해 소방당국에 산불 발화지점 등의 정보를 제공하는 형태로 운영된다.

최근 각광을 받고 있는 센서 네트워크는 유비쿼터스 컴퓨팅 실현을 위한 핵심 기술 중 하나로써 기존의 컴퓨팅 환경과 물리적인 실제 환경을 접목시켜주는 교량 역할을 한다. 특히 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서, 인간 외부 환경

의 감지와 제어기능을 수행하는 센서 네트워크 기술은 저전력 저가격의 무선 통신 기술, 초소형 마이크로프로세서 기술, 자동 구성이 가능한 ad-hoc 네트워크 기술, MEMS 기술, 다양한 종류의 센서들과의 이들의 표준화 노력, 그리고 임베디드 시스템 설계 기술등의 발전으로 그 응용분야가 계속 확대되고 있는 추세이다.

본 연구에서는 신속하고 정확한 산불감지를 위해 센서 네트워크 기술 및 무인 항공 기술을 접목한 새로운 형태의 화재 감시 시스템을 제안하고자 한다. 제안된 시스템은 광범위한 영역에 설치되는 다수의 센서 노드들과 이 영역위에서 자유로이 비행하면서 실시간으로 센서 노드에서 계측된 데이터를 수집하는 헬리콥터 및 헬리콥터에 장착되어 화재발생지점의 화상정보를 취득하고 이를 원격의 서버로 데이터를 무선 전송할 수 있는 임베디드 시스템으로 구성된다. 또한 산불감지용 testbed를 제작하여 설계·제작된 시스템의 실제 적용을 통해 제안된 시스템의 유용성을 확인하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 센서네트워크의 기본 구성요소, 산불감시 시스템에 도입 가능한 XMesh 알고리즘에 기술하며 제3장에서는 무인 헬리콥터와 관련된 사항에 대해 기술하며, 제4장에서는 본 연구에서 제안된 센서네트워크 및 무인 헬기 기반 산불

감지 시스템의 전체 구성에 대해 기술한다. 또한 제5장에서는 테스트베드에의 적용실험에 대해 기술하며 제6장에서는 결과에 대해 기술한다.

2. 산불감지 시스템에 적용될 센서 네트워크의 기본 구성 요소

센서네트워크란 인간 친화적인 미래 컴퓨팅 패러다임인 “유비쿼티스 컴퓨팅”을 실현 가능케 하는 기반 네트워킹 기술로서 광범위한 지역에 분산되어 있는 초소형, 초저전력의 센서 노드들로 구성된 일종의 무선 Ad-Hoc 통신망으로 정의된다. 센서 네트워크는 일반적으로 센싱의 정확성과 감시 영역의 확장성을 위해 대규모의 센서 노드들로 구성되며 이러한 대규모 네트워킹 환경하에서 동적인 상황변화에 효율적으로 적용할 수 있는 자가구성(Self-configuration) 능력 및 노드들간의 상호협업(Fusion) 능력이 중요시 된다.

2.1 센서 노드(스마트 센서)

본 연구에서 사용된 센서 노드는 한백전자에서 개발된 2.4GHz 대역 통신을 사용하는 ZigbeX를 사용하였으며, 이러한 ZigbeX의 메인 보드는 그림1과 같다.

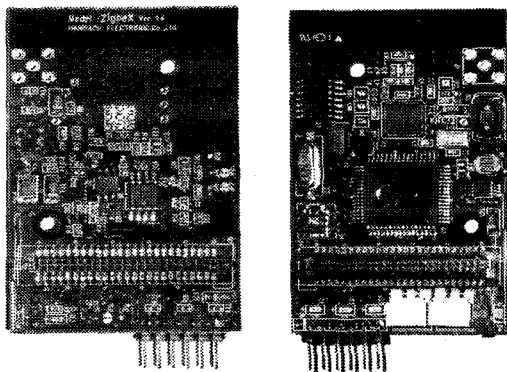


그림 1. ZigbeX 메인 보드

ZigbeX는 Atmel사의 Atmega128 MCU와 Chipcon사의 CC2420 RF Transceiver 칩으로 구성되어 있으며, 센서 노드에는 온도 센서와 습도 센서, 광센서, 적외선 센서가 탑재되어 있다. 또한 본 실험을 위하여 화재 발생시 연기로서 화재를 감지할 수 있는 연기감지센서로 그림 2와 같은 DAESHIN사의 연기감지센서를 사용하여 화재 발생 유무를 검출할 수 있게 하였다.

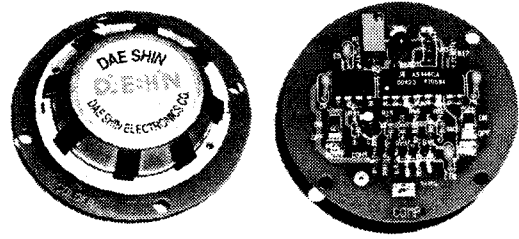


그림 2. DAESHIN 사의 연기감지센서모듈

2.2 센서 네트워크 소프트웨어

ZigbeX의 펌웨어는 TinyOS를 사용하여 Nes-C로 프로그래밍 할 수 있다[3].

Nes-C는 구조적 개념과 TinyOS 실행 모델을 구체화하기 위해 디자인된 C의 확장이며, TinyOS는 제한된 자원을 가진 Sensor Network Node를 위해 디자인된 event-driven operation system으로 Atmega128 과 같은 128kbyte의 롬과 4kbyte의 램에서 수행될 정도로 작은 OS이다. 또한 센서네트워크는 Active Message(AM)기반의 센서 네트워크 무선통신 메커니즘에 의해서 전송된다. 여기서 AM은 TinyOS의 가장 상위 레벨의 패킷 개념으로 하드웨어에 유연성을 갖는 비동기 통신 방식이다. 다음은 TinyOS에서 사용되어지는 기본 AM 패킷인 TOS_Msg의 구조체로, 다른 모든 메시지 타입들은 이 패킷 속에 캡슐화 되어 전송되게 된다.

```
typedef struct TOS_Msg
{
    uint16_t addr;
    uint8_t type;
    uint8_t group;
    uint8_t length;
    int8_t data[TOSH_DATA_LENGTH];
    uint16_t crc;
    uint16_t strength;
    uint8_t ack;
    uint16_t time;
} TOS_Msg;
```

그림 3. TinyOS 메시지의 구조

위의 구조체에서 addr필드는 목적지 노드의 ID또는 broadcast 주소이며, group 필드는 네트워크에서 사용되는 센서 노드들의 채널을 표시한다. Type 필드는 패킷이 받아졌을 때 AM 레벨에서 불러지게 되는 핸들러를 기술하고, length 필드는 TOS_Msg에 저장되어 있는 data의 길이로 최대 29byte가 된다. 다음 2바

이트는 CRC로 할당된다. 센서 노드로부터 싱크노드로 전송되는 모든 데이터는 TOS_Msg 패키지 형식으로 전송되며, 최대 TOS_Msg는 크기는 36byte를 넘을 수 없다.

2.3 센서 네트워크를 위한 multi-hop 프로토콜

최근 센서 네트워크의 운영과 관련하여, 짧은 전송 범위를 감안한 저전력 에너지 소모 및 효율적인 번복조를 위한 물리계층의 설계와 통신 에너지 소비를 최소화 하기 위한 MAC (Medium Access Control) 프로토콜에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 네트워크 계층의 라우팅 프로토콜로 Directed Diffusion, Gradient based routing, Energy-aware routing 및 LEACH 프로토콜 등이 제안된 바 있다[4]. 이러한 연구의 일환으로 Crossbow사는 센서 네트워크의 에너지 효율을 최대화할 수 있도록 TinyOS에 탑재되어 운영될 수 있는 오픈 아키텍처 형식의 multi-hop 프로토콜인 XMesh를 제안하였다.

XMesh 프로토콜은 각각의 무선 센서 노드에 탑재되어 운영되며 이를 통해 기존의 입증된 다양한 형태의 Ad-Hoc 라우팅 프로토콜을 사용하여 센서 노드들간에 동적으로 신뢰도가 높은 mesh 네트워크의 형성을 가능케 한다. 이러한 XMesh는 Crossbow사의 최소 전송기술의 도입으로 네트워크상의 전송 패킷의 수를 획기적으로 줄임과 동시에 정확한 시간 동기화를 이용하여 규정된 통신 순간에만 동작하고 이외의 시간에는 센서 노드를 sleep mode에 있게 함으로써 하나의 AA 배터리로 최대 5년 동안 센서 노드를 구동시킬 수 있게 된다. 또한 최소 전송기술의 도입은 배터리 수명의 연장 및 전송대역(bandwidth)을 증대시키고 네트워크의 트래픽과 latency를 줄일 수 있게 한다.

3. 산불감지 시스템에 사용될 무인 헬리콥터 시스템

3.1 무인 헬기의 구성 및 성능

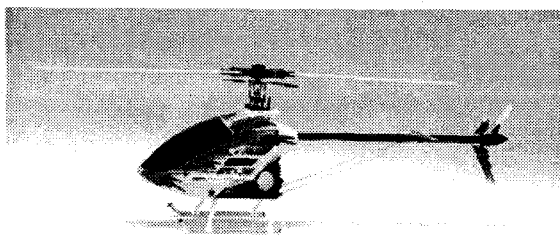


그림 4. RC 헬리콥터

본 실험에서 사용한 RC 헬리콥터는 HIROBO사의 GPH346 전문가용 중형 모형 헬리콥터로서 2-3kg의 장비를 실고 안정적인 비행을 할 수 있다. 자세한 사양은 표 1과 같으며, 40Mhz 대역의 무선 주파수를 사용하고 1.5km이상의 도달 거리를 갖는 8채널 RC조종기를 통해 동작 되어 진다.

표 1. RC 헬리콥터 사양

Power Class	Glow (.40 - .59)
Class	Helicopter
Category	Aerobatic Pod & Boom Trainer
Flying Skill	Beginner-Intermediate
Build Type	Full Build
Rotor Diameter	52.76 inches
Length	46.06 inches
Weight	7.28 Lbs.

3.2 무인헬기에 장착된 임베디드 시스템

3.2.1 임베디드 시스템

임베디드 시스템은 Intel사의 ARM칩인 Pxa255칩을 사용한 Hybus사의 hyper255B 보드를 사용하였고, Host PC와의 통신을 위해 pcmcia타입의 무선랜을 장착하여 Access point를 통해 Host PC와 연결이 가능하게 하였다. 무선랜의 무선 유효거리는 실외에서 최대 100미터 정도이지만 AP에 지향성 증폭 안테나를 추가하여 200미터이상 송수신이 가능하였다. 임베디드 보드에서 사용된 OS는 리눅스 커널 2.4.18 버전을 임베디드 보드에서 UART1 포트와 무선랜을 사용하기 위해 다시 포팅 하였다.

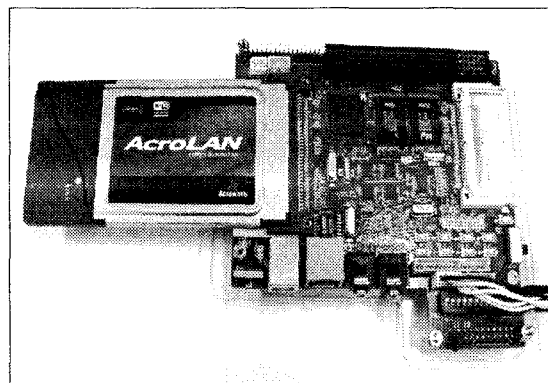


그림 5. 임베디드 보드와 무선 랜카드

3.2.2 카메라와 영상전송 시스템

사용된 무선 영상 송수신 시스템은 TAEJIN사의 RX-2400으로 2.4GHz 대역의 무선주파수

를 사용한다. 자세한 사양은 표 2와 같으며, 본 실험에서 사용한 센서노드와 같은 대역의 주파수를 사용하는 이유로, 서로 간섭 현상이 발생하여 영상이 조금 왜곡되었으나 노드간 무선통신에는 지장이 없었다.

표 2. 무선 영상 송수신기 사양

Operation voltage	7.5V-12V DC
Current consumption	LESS THAN 150mA
Channel frequency	CH1 : 2.410GHz CH2 : 2.430GHz CH3 : 2.450GHz CH4 : 2.470GHz
Channel selection	BY DIP SWITCH
Transmission power	10mW (10dBm)
Range approx.	Indoor : 30 m Outdoor: 300 m
Antena	OMNIDIRECTIONAL
Size	50 X 15 X 8 mm

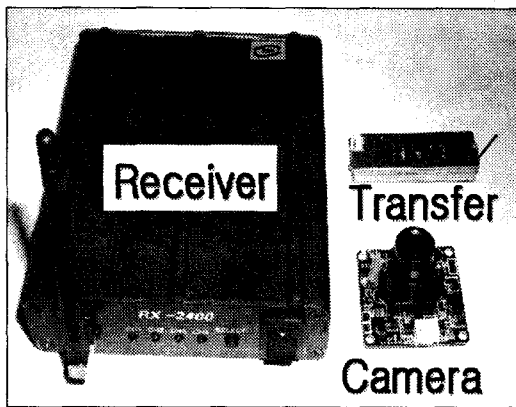


그림 6. 무선 영상 송수신 시스템과 카메라 모듈

4. 제안된 시스템의 구조

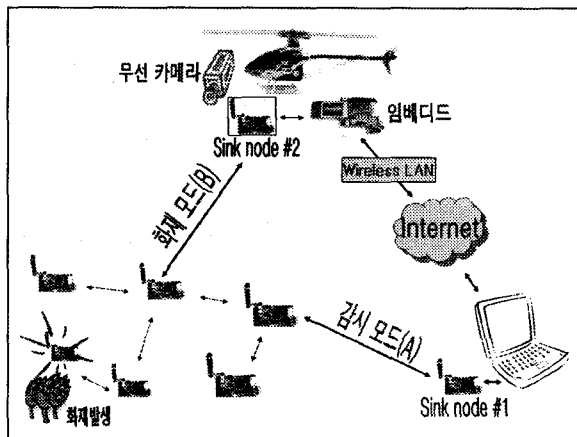


그림 7. 제안된 시스템

제안된 시스템은 그림 7과 같이 크게 센서네트워크 부분과 무인 헬리콥터 부분 그리고 Host PC부분으로 나뉜다. 평상시에는 화재 감시모드(A)로 작동하여, 화재를 모니터링하게 된다. 모니터링 중 화재를 감지하게 되면 센서노드는 싱크노드#1을 통해 데이터를 Host PC로 보내게 된다. 이를 통해 사용자는 센서노드의 위치와 센서 값들을 기반으로 산불을 초기진원지와, 산불의 확산 방향을 알 수 있다. 하지만 시간이 지남에 따라 산불의 규모가 커지면, 중간 노드들이 화염에 의해 손상되는 일이 발생하게 된다. 이로 인해 데이터가 원활히 전송되지 못하게 된다. 그러면 시스템은 화재모드(B)로 동작하여 싱크노드#2가 동작하게 된다. 이때, PC에 부착되어 있는 싱크노드#1은 더 이상 작동하지 않게 된다. 데이터는 헬리콥터의 임베디드 시스템에서 다시 받아, 무선 랜을 통해 Host PC로 보내어 안정적으로 데이터를 수신할 수 있게 된다. 또한 헬리콥터에 부착되어 있는 무선 카메라를 통해 화재에 대한 더욱 더 구체적인 정보를 알 수 있게 하여, 진화작업에 효율성을 주게 된다.

5. 실험

본 연구에서 제안된 시스템의 유용성 확인을 위해 몇 가지의 실험을 수행하였다. 첫 번째 실험을 위해 연기감지센서가 장착된 9개의 센서노드를 운동장에 50m 간격으로 설치하였으며 가상 화재발생을 모의하기 위해 센서노드 부근에 불을 피워 연기가 발생되도록 하였다. 이 경우, 호스트 PC의 서버 프로그램에서 몇 초 후 연기감지센서의 수치가 상승함을 실시간으로 모니터링 할 수 있었으며 곧 화재 정보가 발생함을 확인할 수 있었다. 두 번째 실험은 헬리콥터를 화재가 발생한 부근으로 날려 보내어 헬리콥터에 부착된 싱크노드로 센서값의 수신 가능 여부를 확인하였다. 헬리콥터를 날려 센서노드들 사이로 보낸 지 약 2분 후, 센서노드들은 라우팅 테이블을 수정하여 헬리콥터의 싱크노드로 데이터를 보내기 시작하였고, 헬리콥터에 탑재된 임베디드와 무선랜을 통하여 데이터를 정상적으로 Host PC의 서버프로그램으로 전송함을 확인하였다. 또한, Host PC에서 헬리콥터에 탑재된 무선 카메라를 통해 현재 상황의 영상을 실시간으로 지켜볼 수 있었다.

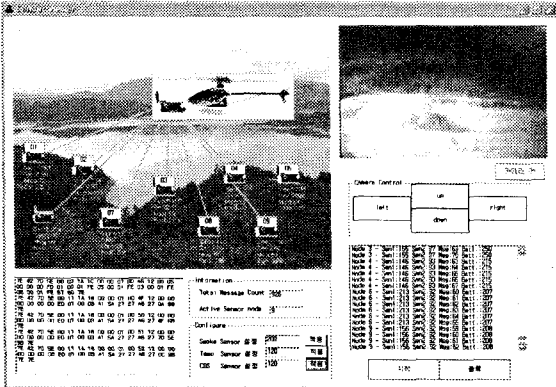


그림 8. 설계 제작된 PC용 실시간 모니터링 화면

6. 결 론

본 연구에서는 신속하고 정확한 산불감지를 위해 센서 네트워크 기술 및 무인 항공 기술을 접목한 새로운 형태의 화재 감지 시스템을 제안 하였으며 제안된 시스템의 유용성 확인을 위해 여러 종류의 실험을 수행하였다. 실험결과 제안된 시스템이 효과적으로 사용될 수 있음을 확인하였다.

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음

참 고 문 헌

- [1] A. Hac "Wireless Sensor Networks Design", Dec. 2003.
- [2] N. Lee, P. Levis, J. Hill, "Mica High Speed Radio Stack", Sept. 11, 2002.
- [3] T.von Eichen, D. Culler, S. C. Goldstein, K. E. Schauer, "Active Messages: a Mechanism for Integrated Communication and Computation", 19th International Symposium on Computer Architecture, 1992.
- [4] S. Singh, M. Woo and C. S. Raghavendra, "Power aware routing in mobile ad hoc networks", IEEE/ACM MobiCom, Oct. 1998, pp. 181-190.