

# 실시간 센서 네트워크 프로토콜을 이용한 산불 모니터링 시스템의 구현

\*김재호, 이상신, 안일엽, 김태현, 원광호, 김성동  
전자부품연구원

e-mail : {jtkim, sslee, iyahn, thkim, khwon, sdkim}@keti.re.kr

## Realtime Wireless Sensor Line Protocol for Forest Fire Monitoring System

\*Jaeho Kim, Sangshin Lee, Ilyeup Ahn, Taehyun Kim, Kwangho Won, Seongdong Kim  
Korea Electronics Technology Institute

### Abstract

*This paper introduces a novel sensor network protocol, R-WSLP(Realtime Wireless Sensor Line Protocol), which has extremely low latency characteristic in large-scale WSN. R-WSLP is proposed to implement realtime forest fire monitoring system. We propose Distributed TDMA method for the multiple channel access and Time Synchronized Forwarding Mechanism instead of routing technique to achieve low latency network. Also, R-WSLP provides extremely low power operation which we accomplished by reducing idle listening. In our experimentation, we get successful results at the forest fire monitoring system with our protocol.*

### I. 서론

우리는 본 논문에서 실시간 무선센서 네트워크를 이용한 산불모니터링 시스템을 소개하고 이를 위한 효율적인 센서네트워크 프로토콜인 실시간 센서라인 프로토콜을 제안한다. 본 논문에서 제안한 센서네트워크를 이용한 산불모니터링 시스템은 수많은 센서노드들로 구성된 산불 감시 펜스, 실시간으로 산불의 발생을 알리고 관련된 데이터를 저장 분석하는 모니터링서버, CDMA망을 이용하여 산불 진압장비에게 산불이 발생한 정확한 위치정보를 실시간으로 알려주는 네비게이션 시스템, 관련된 사람에게 휴대전화를 통하여 실시간으로 알람을 해주는 이용한 SMS 시스템으로 구성된다.

산불 모니터링 시스템은 산불의 발생을 실시간으로 알려주는 센서노드의 낮은 전력소모와 짧은 시간 안에

산불 발생을 알릴 수 있도록 하기위한 낮은 네트워크 지연이 필수적이다. 기존의 센서네트워크 프로토콜인 S-MAC, T-MAC, B-MAC, ZigBee 기술은 에너지 효율성을 높이기 위하여 Duty Cycle을 낮춤으로 인해서 많은 네트워크 지연을 발생시킨다. 이러한 프로토콜들은 에너지 소모와 네트워크 지연에 있어서 서로 반비례한 관계를 유지하는 특성을 가지고 있어서 전력소모를 최소화함에 따라 네트워크의 지연이 증가하는 단점을 가진다. 우리는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 Duty Cycle과 네트워크 지연의 연관성을 배제할 수 있는 저전력의 실시간 무선센서라인 프로토콜을 제안한다. 실시간 무선 센서 라인 프로토콜은 대규모 센서네트워크 응용환경에서 저전력과 매우 낮은 지연을 모두 보장하기 위하여 제안된 기술로서 센서네트워크 응용분야에서 실시간 응급상황에 대한 보고가 필요한 응용을 위하여 개발되었다.

### II. 관련 연구

무선 센서 네트워크의 노드는 센싱, 컴퓨팅, 무선통신 등이 제한된 배터리를 이용하여 동작된다. 기존의 MANET 및 IEEE802.11과 같은 전통적인 MAC 프로토콜을 센서 네트워크에 적용할 경우, 무선 네트워크에서 에너지를 낭비하는 Data collision, Overhearing, Control packet overhead, Idle listening등의 문제점이 발생하게 된다. 특히 Idle listening은 통신 기능이 요구되지 않는 기간에도 센서노드가 항상 Active 상태로 동작함에 따라서 많은 에너지 소모를 유발하게 된다.

이러한 단점을 보완하기 위하여 센서네트워크에서 사용되는 MAC 프로토콜은 평상시에 Sleep 상태로 동작하여 전력소모를 최소화 하다가 주기적으로 깨어나 Active 상태로 동작하는 방법을 통하여 에너지를 절감한다. 이러한 방법을 이용하는 센서 MAC 프로토콜은 다음과 같다.

### 2.1 S-MAC

S-MAC 프로토콜은 무선 네트워크에서 가장 큰 에너지 낭비요소인 Idle listening을 줄이기 위해 낮은 Duty cycle을 사용하여 센서 노드에게 주기적으로 슬립 모드로 전환하게 하는 것이다. 이런 동작을 통해서 센서 네트워크의 주된 목적인 에너지를 절감하고, 경쟁 기반의 스케줄링을 사용하여 우수한 확장성 및 패킷의 충돌을 회피 할 수 있다. 그러나 Idle listening으로 인하여 네트워크 지연이 커지는 단점이 있다.

### 2.2 T-MAC

T-MAC은 S-MAC과 같은 경쟁 기반의 무선 센서네트워크를 위한 MAC 프로토콜이다. S-MAC에서 제안된 Active/Sleep Duty cycle을 적용하여 에너지를 절감한다. 그러나 S-MAC에서 제안된 Duty cycle은 고정된 형태로 적용됨에 따라 트래픽 환경 변화에 대해서 에너지 절감 효율성이 감소하는 특성을 가져온다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 T-MAC에서는 Active period 기간을 데이터의 트래픽에 따라 유동적으로 동작할 수 있도록 하였다. 이러한 유동적인 Duty cycle을 통해서 T-MAC은 Idle listening을 더욱 줄일 수 있어서 트래픽 환경 변화에 대한 에너지 절감 효율성을 높일 수 있다. 하지만 S-MAC과 마찬가지로 Idle listening으로 인한 네트워크 지연이 커지는 문제는 여전히 존재한다.

### 2.3 B-MAC

B-MAC은 기본적으로 CSMA에 기반한 MAC 프로토콜이다. 이 프로토콜은 idle listening을 최소화하기 위하여 LPL (Low-power listening)을 이용한다. LPL을 이용하여 주기적으로 매우 짧은 시간동안 listening을 수행하고 데이터를 보내는 노드는 이 주기보다 긴 Preamble을 가지는 packet을 보낸다. 노드는 LPL 기간에 Preamble을 인지하게 되면 이후에 들어오는 데이터를 받게 된다. B-MAC은 기본적으로 S-MAC에 비하여 저전력 환경하에서 낮은 지연을 제공하지만 짧은 Check Interval을 가지면 네트워크 지연을 줄일 수 있으나 에너지 소모가 많아지게 되고 긴 Check Interval을 가지면 네트워크 지연을 증가시키게 된다.

## III. 센서네트워크를 이용한 산불 모니터링 시스템

기존의 산불감시 시스템은 주로 카메라나, 적외선 센서를 가진 위성 등을 이용한 산불 감시 시스템으로

비용문제, 감시 가능한 산불의 크기 문제, 산불 발생 위치에 대한 정확한 보고의 어려움 등의 문제점을 가지고 있다. 우리는 저렴한 비용으로 효율적인 산불 모니터링을 할 수 있도록 하기위하여 산불 발생 위험이 높은 곳에 대하여 센서노드를 이용한 센서네트워크를 이용한 펜스를 구성하는 방법을 적용하였다. Food and Agriculture Organization of the United Nations 의 통계에 따르면 산불 피해는 사람에 의한 원인이 96% 자연발화가 약 4%정도 차지한다. 즉 사람이 접근이 잦은 지역, 예를 들어 등산로 주변, 에서 대부분의 산불이 발생한다. 이러한 통계자료를 바탕으로 본 논문에서 저렴한 비용으로 효율적으로 산불에 대한 모니터링을 하기위하여 산불 발생이 예상되는 취약지역에 수많은 센서노드들로 구성된 산불 감지 펜스를 설치하고, 설치된 센서들로부터 탐지된 산불의 발생에 대한 정보를 실시간으로 센서네트워크를 이용하여 알리는 시스템을 구현 하였다.

실시간 산불모니터링 시스템은 산불의 발생을 탐지하고 센서네트워크를 이용해서 실시간으로 전송을 담당하는 산불 감지 펜스, 산불의 발생을 경보하고 관련된 데이터를 저장 분석하는 모니터링서버, CDMA망을 이용하여 산불 진압장비에게 산불이 발생한 정확한 위치정보를 실시간으로 알려주는 네비게이션 시스템, 관련된 사람에게 실시간으로 알람을 해주는 휴대전화를 이용한 SMS 시스템으로 구성된다. 실시간 산불 모니터링 시스템은 본 연구원의 외부 펜스에 약 10M 간격으로 50개 노드를 설치하여 약 500M정도의 울타리에 대하여 실시간 감시를 할 수 있도록 시험 운용하였다.

### 3.1 실시간 산불 감지 펜스

실시간 산불감시 펜스는 온도/습도 센서를 가지고 있는 센서네트워크 노드들을 이용하여 구성된다. 각 노드는 온도/습도 센서를 가지고 있으며 본 연구를 통해서 개발된 저전력 실시간 센서네트워크 프로토콜을 탑재하였다. 또한 산불 발생의 정확한 위치 보고를 위하여 설치시에 센서노드의 무선 링크를 이용하여 GPS 단말기로부터 위치정보를 수신 저장하는 무선위치기록 기능을 탑재하였다. 그림 1은 연구원 외부 펜스에 설치된 센서네트워크노드를 이용한 실시간 산불 감시 펜스를 보여주고 있다.



그림 1. 실시간 산불 감시 펜스

### 3.2 실시간 산불 감시 시스템

실시간 산불 감시 시스템은 센서네트워크의 싱크로부터 CDMA 또는 WLAN의 장거리 통신을 이용하여 데이터를 받는 게이트웨이와 게이트웨이로부터 정보를 받아 데이터베이스에 기록 및 저장하고 실시간으로 산불 발생을 경보하고 지도상에서 정확한 위치를 팝업해주는 산불 모니터링 서버, 모니터링 서버로부터 위치 정보를 받아 실시간으로 산불 발생 위치 및 정보를 알려주는 산불 발생 네비게이션 시스템, 그리고 산불이 발생 상황을 실시간으로 여러 관계자에게 실시간으로 알려주는 SMS 시스템으로 구성되어 있다. 이러한 시스템들은 센서노드에서 탐지된 정보를 기반으로 수초 내에 모든 일련의 과정들이 이루어진다. 그림은 연구실에서 실험 운용중인 실시간 산불 모니터링 시스템을 보여주고 있다.

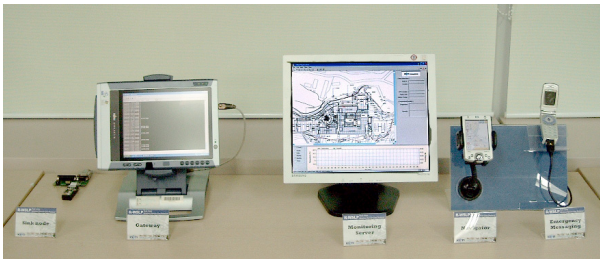


그림 2. 실시간 산불 모니터링 시스템

### 3.3 시험운용

우리는 개발된 시스템의 안정화 및 성능개선을 위하여 연구원의 외부 펜스에서 약 1개월간 시험운용을 진행 하였으며 이를 통하여 동일 조건으로 동작하도록 구성한 B-MAC 기반 노드의 전력의 소모보다 본 시스템의 전력 소모가 적음을 확인하였다. 또한 전송 지연 면에서는 현저한 개선을 보였다.

## IV. 실시간 센서라인프로토콜

실시간 무선센서라인 프로토콜은 분산 TDMA 방식을 기반으로 하는 낮은 Duty Cycle MAC 알고리즘 및 시간동기 포워딩 메커니즘을 이용하여 실시간 센싱 데이터 전송, 낮은 에너지 소모, 오버히어링(Overhearing) 문제 제거, 컨트롤 트래픽 오버헤드 최소화 등의 요구사항을 만족함으로써 에너지 소비를 최소화 하였으며

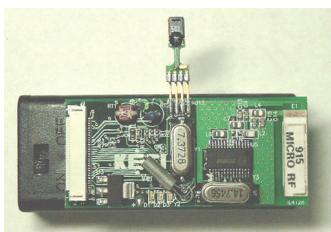


그림 3. 센서네트워크 모듈

네트워크의 낮은 지연을 보장하였다. 또한 기존의 통신 프로토콜이 가지는 레이어 개념을 단순화하여 링크 계층과 네트워크계층, 전송계층이 통합된 구조를 적용함으로써 프로토콜의 효율성을 극대화 하였다. 또한 가상의 센서 라인을 자율적으로 구성하는 Self-organization의 기능을 통하여 Scalability를 제공한다. 우리가 개발한 실시간 무선 센서라인 프로토콜은 Chipcon사의 CC1000을 이용하여 자체 제작한 센서모듈에 구현하여 적용하였다.

### 4.1 Distributed TDMA

R-WSLP는 저전력을 위해서 낮은 Duty cycle을 보장하면서 낮은 네트워크 지연을 가지도록 하기위해서 분산 TDMA기법을 사용하였다. 분산 TDMA는 기존의 TDMA와 달리 네트워크에 있는 마스터노드가 모든 노드의 Time Slot을 할당하는 방법을 사용하지 않고 각 노드가 분산 환경에서 코디네이터 노드의 정책에 따라 스스로 자신의 Time Slot을 스스로 할당하게 된다. 네트워크의 모든 노드는 자신과 데이터를 주고받는 노드와의 시간동기를 통해서 분산적으로 전체 네트워크의 동기를 이루게 되며 이러한 동기를 기반으로 하여 CRP(Collision Resolution Period) 동안 노드간의 상호 충돌을 피할 수 있도록 상위노드를 기준으로 자신의 Time Slot을 설정하게 된다. Distributed TDMA의 Time Slot은 기본적으로 매우 짧은 기간의 Active 구간과 상대적으로 긴 Sleep구간으로 이루어져있다. Active 구간은 TX-RX-TX의 3개의 상태로 이루어져 있다. 또한 각각의 상태에서 Idle listening을 제거하기 위하여 유효한 통신이 없는 동안에는 즉시 Sleep상태로 전환된다.

### 4.2 Time Synchronization

TDMA통신은 기본적으로 정확한 시간동기를 기반으로 한다. 또한 R-WSLP에서 시간동기의 정확성은 전체네트워크 지연과 전력 소모에 많은 영향을 준다. R-WSLP에서 사용하는 시간동기 기법은 상위노드가 보낸 Packet에 존재하는 SFD(Start of Frame Delimiter)를 이용하여 캡처된 타임스탬프를 기준으로 하여 주기적인 Wakeup을 담당하는 Timer\_A를 Set하게 되고 Timer\_A가 expire되면 Timer\_B를 이용하여 자신의 RX와 TX를 수행하게 된다. 노드는 Active 주기마다 SFD를 받게되면 자신의 Timer\_A를 재설정함으로써 시간이 드리프트(drift)되는 현상을 방지한다. 또한 Jitter에 의하여 시간동기가 깨어지는 것을 방지하기 위하여 적절한 Guard Time을 주었다.

### 4.3 Time Synchronized Forwarding Mechanism

R-WSLP의 아이디어는 센서네트워크의 응용분야 중 상당 부분이 Linear Topology의 확장을 통하여 효율적으로 구현가능하다는 것에서 시작하였다. 그림 4는 Linear Topology의 기본 네가지 형태를 보여주고 있다. 우리는 이러한 기본적인 네가지 Topology를 이용하여 기본 네트워크 단위를 구성하고 Topology의

확장을 위하여 Interconnection 기법을 이용하여 다양한 Topology의 확장을 가능하게 하였다. 이러한 기본 Topology를 기반으로 하여 효율적으로 멀티홉 네트워크 전송 시간을 최소화하는 TSFM (Time Synchronized Forwarding Mechanism)을 제안한다.

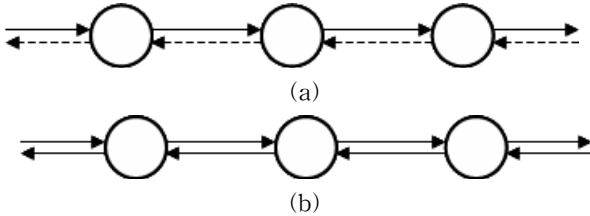


그림 4. Linear/Ring Topology 단방향(a), 양방향(b)

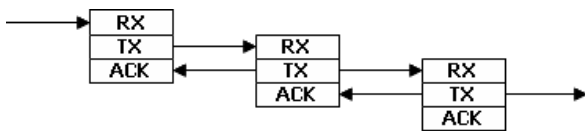


그림 3. 그림 4a에서의 TSFM의 기본 개념

Forwarding Mechanism)을 제안한다. TSFM은 앞에서 설명한 distributed TDMA를 기반으로 하여 Low Latency, Low Power Consumption을 위하여 제안되었다. 코디네이터 노드의 정보를 기반으로 하여 Distributed TDMA로 동작하는 네트워크의 모든 노드는 실시간 포워딩을 지원하기 위해서 자신의 Active 주기를 데이터의 전송 방향의 앞 노드보다 하나의 TX 주기를 먼저 깨어나서 RX-TX-RX의 상태로 동작하게 된다. 그림 5는 TSFM의 기본 아이디어를 보여주고 있다.

#### 4.4 망의 구성 및 데이터 전송

R-WSLP는 Topology의 구성을 위해서 자신의 이웃 노드 중에서 LQI(Link Quality Indication)정보를 기반으로 R-Side 노드(Right Side Node)와 L-Side 노드(Left Side Node)를 자율적으로 결정하여 자율적으로 망을 구성한다. 또한 네트워크의 오류가 발생할 경우 Link 복구 및 RR-Side, LL-Side로의 Link 정정, 망 재구성의 다단계 복구절차를 가진다.

R-WSLP는 데이터의 효율적인 전송을 위하여 Priority Base Data Aggregation기법을 이용하며 트래픽 효율적인 전송 및 긴급한 데이터에 대한 우선 전송을 보장한다.

### V. 결론 및 향후 연구 방향

우리는 대규모 센서네트워크 응용환경에서 실시간과 저전력을 동시에 만족하는 R-WSLP를 제안하였으며 이를 이용한 실시간 산불 모니터링 시스템을 구현하였다. 시험운용을 통하여 본 시스템이 우수한 성능을 가지고

동작함을 확인 하였다. 향후 철도, 도로, 교각 등의 안전 모니터링, 국방, 특정지역/건물 등의 보안시설 모니터링 등의 실시간성이 매우 중요한 응용분야에 본 기술을 이용하여 응용 분야를 확대하는 연구가 필요하다.

### 참고문헌

- [1] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin. "An energy-efficient mac protocol for wireless sensor networks." INFOCOM 2002, June 2002.
- [2] T. van Dam and K. Langendoen. "An adaptive energy-efficient macprotocol for wireless sensor networks." the First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, Nov. 2003.
- [3] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin. "An energy-efficient mac protocol for wireless sensor networks." INFOCOM 2002, June 2002.
- [4] Joseph Polastre, Jason Hill, David Culler, Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks Joseph Polastre, SenSys, November, 2004.
- [5] Dennis Cox, Aleksandar Milenkovic, Emil Jovanov, "Time Synchronization for ZigBee Networks," SSST2005, Tuskegee, Alabama, 20-22 March 2005, pp. 135-138.
- [6] M Maroti, B. Kusy, G. Simon, and A. Ledeczi, "The Flooding Time Synchronization Protocol," SenSys '04, pp. 39-49.
- [7] Elson, J. E. "Time Synchronization in Wireless Sensor Networks." Ph.D. Thesis, University of California, Los Angeles 2003.
- [8] Elson, J. E., Girod, L., and Estrin, D. "Fine-Grained Network Time Synchronization using Reference Broadcasts." OSDI, p. 147163, December 2002.
- [9] Tarik Arici, Bugra Gedik, Yucel Altunbasak and Ling Liu, "PINCO: a Pipelined In-Network Compression Scheme for Data Collection in Wireless Sensor Networks," in Proc. IEEE Int. Conf. Computer Communications and Networks, 2003
- [10] D. Petrovic, R.C. Shah, K. Ramchandran, and J. Rabaey. "Data Funneling: Routing with Aggregation and Compression for Wireless Sensor Networks." SNPA'03. Proceedings of the First IEEE. 2003 IEEE International Workshop on , 11 May 2003.
- [11] M. Chen and ML Fowler, "The importance of data compression for energy efficiency in sensor networks," CD-ROM Proceedings of the Conference on Information Sciences and Systems, Johns Hopkins University, March 12-14, 2003.
- [12] TinyOS , "http://www.tinyos.net"
- [13] ZigBee Alliance, "http://www.zigbee.org"