

# 무선 센서 네트워크 기반 무인 감시/추적 시스템의 구현

\*안일엽, 이상신, 김재호, 송민환, 원광호  
전자부품연구원

e-mail : {iyahn, sslee, jhkim, mhsong, khwon}@keti.re.kr

## Implementation of Unmanned Monitoring/Tracking System based on Wireless Sensor Network

\*Il-Yeup Ahn, Sang-Shin Lee, Jae-Ho Kim, Min-Hwan Song, Kwang-Ho Won  
Korea Electronics Technology Institute

### Abstract

본 논문에서는 현재 활발한 연구개발이 이루어지고 있는 유비쿼터스 컴퓨팅, 센서 네트워크 기술을 적용한 무인 감시/추적 시스템을 제시한다. 본 논문의 무인 감시/추적 시스템은 센서네트워크 기술, 다중센서 융합에 의한 탐지 및 위치 인식 기술, 무인 감시/추적 알고리즘으로 구성되어 있다. 센서네트워크는 센싱 데이터를 실시간으로 전송하기 위해 노드의 주소를 기반으로 하는 계층적 멀티홉 라우팅 기법을 제안하였다. 침입자와 추적자의 위치 인식은 자기센서 및 초음파센서를 가진 센서모듈들로부터 얻어진 센싱 정보를 융합하고, 이를 확률적으로 침입자 및 추적자의 위치를 결정하는 Particle Filter를 적용한 위치인식 알고리즘을 통해 이루어진다. 추적 알고리즘은 무인 자율 추적을 위해 이동벡터에 기반한 알고리즘이다.

### I. 서 론

과거의 감시/정찰/항법 체계는 많은 연구 개발이 진행되어 왔음에도 불구하고 자율성이 결여된 시스템으로 인하여 많은 인적/물적 자원을 요구하여 왔다. 일부 무기 및 정찰 체계에서 사용하는 자동화 시스템은 설치 및 유지비용이 많이 들고, 시스템의 운용에 있어서 매우 제한적인 운용 구조를 가지고 있다.

본 논문은 이러한 시스템의 운용의 제한을 극복하고, 시스

템에 자율성을 부여하는 무선센서네트워크 기반 무인/감시(UMT) 시스템을 제시한다.

다음 그림은 본 시스템에 대한 개념도를 보여주고 있다.

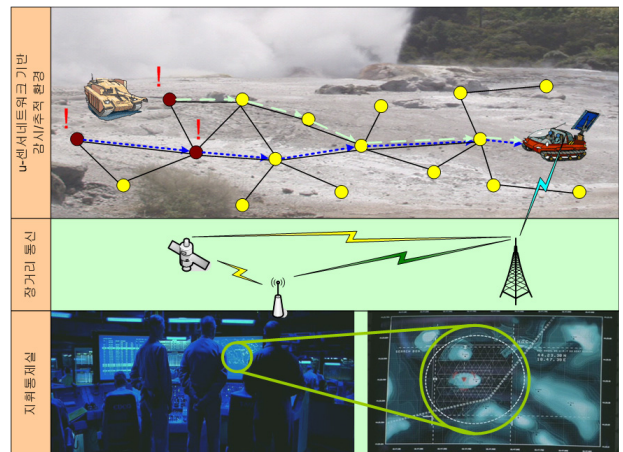


그림 1. u-센서네트워크 기반 무인 감시/추적 시스템 개념도

위 그림은 네트워크를 이루고 있는 센서노드들이 침입자를 탐지하여 노드간의 근거리 네트워크와 위성 및 무인항공기의 장거리 네트워크를 통해 침입 정보를 컨트롤 센터에 보고하고 추적자에게 명령을 전달하는 일련의 개념적인 과정을 보여주고 있다.

### II. 무선 네트워크 기반 UMT 시스템 구조

본 논문에서 제안하는 UMT 시스템은 그림 1의 개념도에 충실하여 다음 그림과 같은 구조로 이루어져 있다.

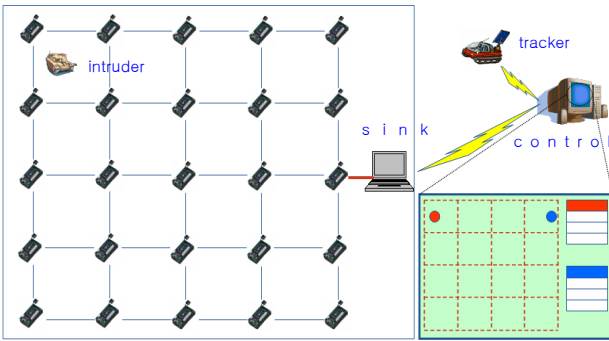


그림 2. 무선 센서네트워크 기반 UMT 시스템 구조

위의 그림에서와 같이 UMT 시스템의 구현 환경은 25개의 센서노드가 4m 간격으로 가로x세로 20m의 격자구조로 이루어진 공간에서 랜덤하게 움직이는 침입자와 이를 추적하는 추적자가 존재하는 환경이다.

이러한 환경에서의 전체적인 프로세스를 보면, 침입자가 없는 경우에는 각 노드의 상태 정보를 수집하여 노드 상태를 모니터링 하고 있다가 침입자가 들어올 경우에는 침입자를 탐지한 침입자 주위의 노드들이 각각 센싱 정보를 sink 노드로 전송한다. 그러면, sink 노드는 수신된 침입 정보를 시스템 컨트롤 서버로 전송하고, 시스템 컨트롤 서버는 현재 침입자와 추적자의 위치를 수집된 센싱 정보를 기반으로 분석한 후 추적자에게 침입자를 추적할 수 있는 추적 명령을 전달한다.

### 1. 각 노드의 H/W 구조

센서 노드의 H/W 구조는 다음 그림에서 보는 것과 같이 RF를 포함하는 네트워크 모듈과 자기센서와 초음파 센서를 포함하는 센서 모듈로 구성되어 있다. 세 번째 그림은 실제 설치되는 기구 모습을 보여주고 있다.

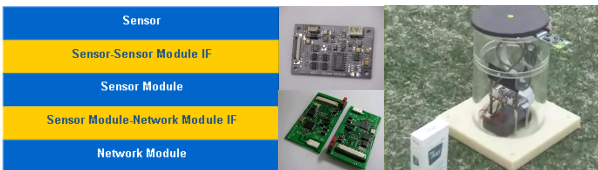


그림 3. 센서 노드의 H/W 구조

네트워크 모듈은 저전력 MCU인 MSP430<sup>[1]</sup>과 2.4GHz RF IC인 Chipcon사의 CC2420<sup>[1]</sup>를 탑재하였고, 센서 모듈은 자기 센서로 Honeywell사의 2축 자기센서와 초음파 센서를 탑재하였다. 초음파 센서의 탐지거리는 약 4.5M로 측정되고, 자기센서의 탐지 거리는 약 2.5M가 되도록 설계 하였다.

### 2. 각 노드의 S/W 구조

센서 노드의 S/W 구조는 다음 그림과 같이 네트워크와 센서 디바이스 드라이버 단으로 나뉘어 진다. OS는 UC Berkeley의 TinyOS<sup>[2]</sup>를 포팅하였고, 센서 디바이스 드라이버는 실제 센서로부터 데이터를 취득하기 위한 API를 제공하

고, MAC은 UC Berkeley의 B-MAC<sup>[3]</sup>을 이용하였다.

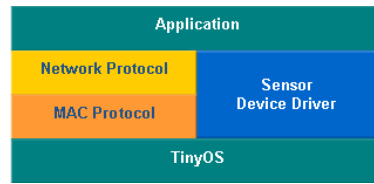


그림 4. 센서 노드의 S/W 구조

네트워크 프로토콜은 본 시스템의 환경에 적합한 실시간 계층적 멀티홉 라우팅 기법과 계층별 데이터 aggregation 전송 프로토콜을 적용하였다.

### 3. Control Server S/W 구조

컨트롤 서버는 수집된 각 센서노드의 데이터들을 융합하여 침입자 및 추적자의 위치를 인식하고, 추적자에서 추적 명령을 내리며, 유저 인터페이스를 통해 사용자가 각각의 노드를 제어할 수 있도록 설계 되었다.

다음 그림은 컨트롤 서버의 소프트웨어 구조를 보여주고 있다. 센서데이터를 처리하는 부분과 추적자에게 추적을 위한 명령을 결정, 전달하는 부분, 유저인터페이스로 구성되어 있는 것을 볼 수 있을 것이다.

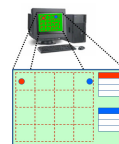
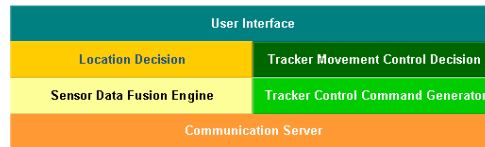


그림 5. 컨트롤 서버 구조

## III. 무선 네트워크 기반 UMT 시스템 구현

### 1. UMT 시스템 데이터 처리

무인 감시/추적 시스템은 침입자에 대해서 효율적인 자율 추적을 위해 6단계의 과정을 거친다. 6단계는 탐지, 갱신, 전송, 수집, 분석, 추적의 단계가 있으며, 이러한 과정이 모두 실시간으로 이루어져야 하기 때문에 각 단계마다 아주 짧은 프로세싱 타임이 요구되어 진다.

탐지 단계는 노드가 탑재하고 있는 센서로부터 침입자를 탐지하는 단계이다. 현재 노드는 2가지 센서를 가지고 있으면, 이 센서는 자기 센서와 초음파 센서를 탑재하고 있다. 자기 센서는 2.5m 이내의 전방위로부터 자성 물체를 탐지하고, 초음파센서는 한 셀의 침입자를 탐지한다.

갱신 단계는 센싱 데이터를 전송하기 전까지 일정한 주기로 센서로부터 데이터를 계속 갱신하는 단계이다. 전송과 수집을 같은 주기로 두면 전송할 때 지연이 있기 때문에 이전

에 탐지 데이터를 전송하게 되므로 갱신과 전송은 별개의 단계로 이루어진다.

전송단계는 현재 갱신된 데이터를 바로 다음 노드로 전송하는 단계이다. 다음 노드로부터 ACK가 없을 경우에는 그 다음 노드 혹은 이웃 노드로 Path를 잡아 전송한다.

수집단계는 각 노드의 데이터들이 모두 Sink 노드로 수집되는 단계로 Sink 노드의 데이터 트래픽을 최소화하기 위해 계층별 데이터 aggregation 기법을 사용한다. 하나의 노드가 데이터를 전송할 때, 수신된 데이터에 현재 노드의 데이터를 같이 전송하는 것이다.

분석단계는 이렇게 수집된 데이터를 분석하여 침입자 및 추적자의 위치를 인식하는 단계이다.

추적단계는 침입자의 위치를 분석하여 추적자에 추적 명령을 전달하는 단계로 추적자가 실제 침입자를 쫓아 이동하게 되고, 이 때 추적자는 침입자에 한 셀을 간격을 두고 이동하게 된다.

### 2. 센서 네트워크 데이터 전송

본 시스템의 센서네트워크는 최종단의 Sink 노드로 각 센서노드로부터 얻어진 센서정보를 전송 지연을 최소화하는 실시간 전송을 목적으로 한다. 이를 위해 센서 노드는 노드간의 효율적인 전송을 위해 최적의 전송경로를 찾고, Sink 노드 및 컨트롤 서버에서의 실시간 데이터 처리를 위해 Sink 노드의 전송 트래픽을 최소화 하는 방향으로 데이터를 전송한다. 그리고, 센서 노드는 컨트롤 서버가 최적의 시스템 환경을 위해 각 노드의 상태를 제어할 수 있는 제어 데이터 전송을 제공하고 있다.

UMT 시스템은 전체 노드간의 데이터 전송을 위해 다음 그림에서 보는 것과 같이 Zigbee의 Cluster Tree 구조로 구성되어 있고, 최적의 경로를 찾기 위해서 Zigbee 라우팅 알고리즘을 본 시스템에 맞게 수정한 알고리즘을 적용하였다.

센서 노드간의 데이터 전송을 트래픽을 최소화하기 위해 계층별 데이터 aggregation 방법을 사용하여 층별 데이터 전송 트래픽은 자신보다 위의 계층으로 보내는 데이터 트래픽은 '1'이 되도록 고정하였고, 최종단의 Sink 노드의 트래픽은 차일드 수와 같은 트래픽만이 발생하도록 하였다. 그래서, 다음 그림에서 Sink 노드의 트래픽은 '4'로 고정되어 있다.

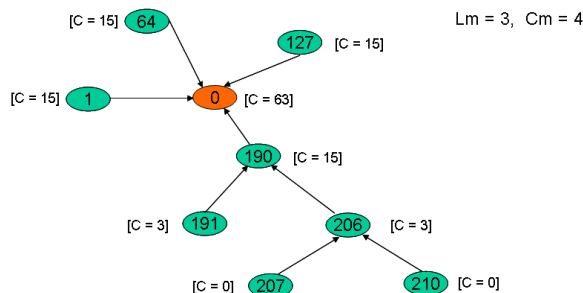


그림 6. 센서네트워크 Cluster Tree 주소

노드에 부여하는 어드레스는 Cluster Tree 구조의 Zigbee 어드레스로 새로운 노드가 네트워크에 Join할 때 자동으로 어드레스를 할당하는 구조로 되어있다. 아래 그림의 화살표는 0번 노드의 Sink 노드 방향으로 되어 있는데 이는 센서 정보 데이터의 흐름을 나타내고 있다.

### 3. UMT 시스템 위치 인식 및 추적

UMT 시스템에서 침입자 및 추적자를 탐지하고 위치를 인식하기 위해 구하고자 하는 어떤 값을 통계적인 도구를 가지고 구하는 방법으로 몬테카를로 방법인 Particle Filter<sup>[4]</sup>를 적용하였다.

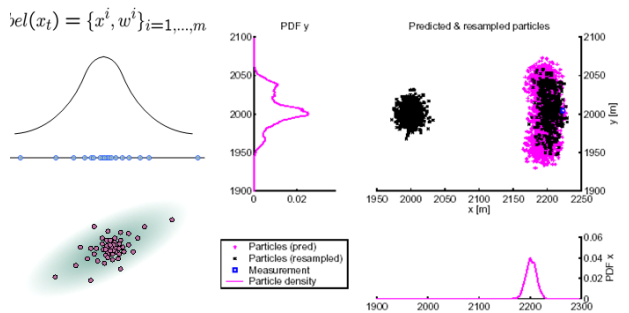


그림 7. Particle Filter

위 그림은 Particle Filter를 설명하는 것으로 왼쪽 그림은 현재 위치를 표준 분포를 따르는 Weight를 가진 Particle로 표시하는 것을 보여준다. 오른쪽 그림은 현재 위치에서 물체의 모션 모형을 기반으로 다음 위치를 예상하고 실제 물체가 위치가 변했을 때 취득한 데이터를 기반으로 Particle들의 Weight가 변화한 모습을 보여준다. 까만 점들은 실제 Particle을 나타내고 분홍색의 점들은 예상된 위치에서의 Particle을 보여준다. 이 방법을 적용하여 본 시스템에서는 침입자와 추적자의 이동 모형과 센싱된 데이터를 기반으로 침입자와 추적자의 위치를 인식하였다.

이렇게 침입자와 추적자의 위치가 구해지면, 추적자에게 침입자를 추적할 수 있도록 이동 명령을 컨트롤 서버에서 만들어 추적자에게 전송한다. 이동 명령은 거리와 각도의 세트 로 구성되어 있고, 침입자와 추적자의 현재 위치를 기준으로 거리와 각도를 계산한다. 침입자 및 추적자의 헤딩 방향은 현재 위치와 이전 위치와의 이동 벡터로 구할 수 있다.

다음 그림은 센서가 탐지한 센싱 데이터를 기반으로 침입자와 추적자의 위치를 인식하고, 추적자가 침입자를 추적하는 모습을 보여주고 있다.

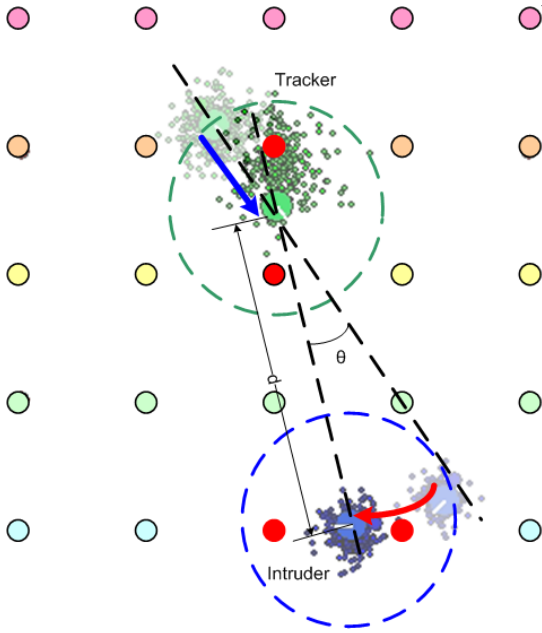


그림 8. 탐지 및 위치 인식, 추적

#### IV. 결론

지금까지 본 논문의 무선 센서 네트워크 기반 무인 감시/추적 시스템은 크게 센서 네트워크, 다중 센서 융합에 의한 탐지 위치 인식, 위치 추적의 3가지 요소로 구성되어 있음을 보여 주었다. 이러한 요소들을 통합하여 우리는 UMT 시스템을 구현하였고, 이 시스템을 통하여 서로 다른 두개의 센서만으로 침입자와 추적자의 위치를 인식하고, 침입자의 위치 추적이 가능함을 보여주었다.

따라서, 본 연구를 통해 우리는 무선 센서 네트워크 기술이 위치 인식에 관련한 다양한 분야에 적용 가능한 기술임을 검증하였다.

#### 참고 문헌

- [1] Joseph Polastre, Robert Szewczyk, Cory Sharp and David Culler, "The Mote Revolution: Low Power Wireless Sensor Network Devices," In Hot Chips 16: A Symposium on High Performance Chips. August 22-24, 2004.
- [2] David Gay, Phil Levis, Rob von Behren, Matt Welsh, Eric Brewer, and David Culler, "The nesC Language: A Holistic Approach to Networked Embedded Systems," Proceedings of Programming Language Design and Implementation (PLDI) 2003, June 2003.
- [3] Joseph Polastre, Jason Hill and David Culler, "Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks," In Proceedings of the Second ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems

(SenSys), November 3-5, 2004.

- [4] F. Gustafsson, F. Gunnarsson, N. Bergman, U. Forssell, J. Jansson, R. Karlsson, and P-J. Nordlund, "Particle filters for positioning, navigation and tracking," IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 50, Nr. 2, 2002.