

PIR 센서를 이용한 침입물체 식별 및 트래킹 알고리즘

김영만*, 고병권*, 라창현*

*국민대학교 전자정보통신대학 컴퓨터공학과

e-mail : kmucclab@gmail.com

Invasion Object Detection and Tracking Algorithm for using PIR Sensor

Young-Man Kim*, Byoung-Kwon Ko*, Chang-Hyun Na*

*Dept of Computer Science, Kookmin University

요 약

USN은 인간과 환경의 상호작용 방식의 대변혁을 초래할 수 있다는 점에서 사회·경제·문화 전반에 걸쳐 다시 한 번 인류의 삶을 근본적으로 변화시킬 수 있는 혁신적인 기술로 주목받고 있다. 최근 USN 응용 서비스에 대한 연구가 활성화 되고 있는데, 그 중 하나가 감시정찰 센서네트워크 시스템이다.

본 논문에서는 기존의 대 규모 감시정찰 센서네트워크 시스템 체계와 다른 저 전력 센서노드들로 이루어진 환경 하에서 높은 신뢰성과 탐지정확성을 가지는 식별 및 트래킹 알고리즘을 제안한다. 또한 각 알고리즘의 성능을 측정하고 평가하여 효율적인 감시정찰 센서네트워크 시스템 구축방안을 제시한다.

1. 서론

USN(Ubiquitous Sensor Network)은 인간과 환경 사이의 상호작용 방식에 있어서 대변혁을 초래할 수 있다는 점에서 사회·경제·문화 전반에 걸쳐 다시 한 번 인류의 삶을 근본적으로 변화시킬 수 있는 혁신적인 기술로 주목받고 있다[1]. 이러한 USN을 이용한 응용 시스템 중에 하나인 감시정찰 센서네트워크는 복합 센싱 능력을 갖는 소형 센서 노드들 간의 자율적 무선 네트워크 구축을 통해 근접 감시정찰 정보를 실시간으로 획득, 처리하는 시스템으로 정의된다[2].

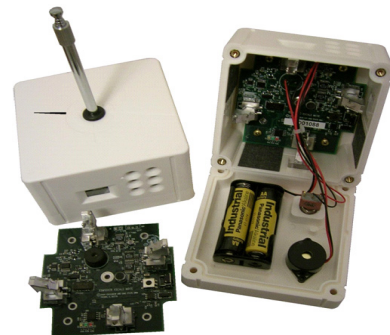
휴전선 GP 경계 등 전장 환경에 대한 감시정찰 업무에 활용할 수 있는 감시정찰 센서네트워크의 핵심 기능인 실시간 침입 탐지, 식별, 추적 및 예측 기술을 개발해야 한다. 본 논문에서는 기존의 대형 센서 체계와 다른 저 전력 센서에서의 트래킹 및 사람/동물 식별 알고리즘을 고안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 센서노드를 소개하고 3장에서는 감시정찰용 센서노드를 위한 관련 연구로써 라우팅, 시각 동기화, 신호처리 알고리즘에 대하여 설명한다. 4장에서는 트래킹 및 식별 처리 알고리즘을 설계한다. 다음으로 5장에서 성능평가한 뒤 6장에서 결론을 다룬다.

2. 센서노드 소개

본 논문에서는 적외선(KUBE의 C170) 및 소리(IEA의 F6027AP)센서가 장착되어 있으며 8비트 센서노드인

XSM(Crossbow MSP410CA)[3]을 사용한다. 센서노드의 모습은 아래 (그림 1)과 같다.



(그림 1) XSM 센서노드(MSP410CA)

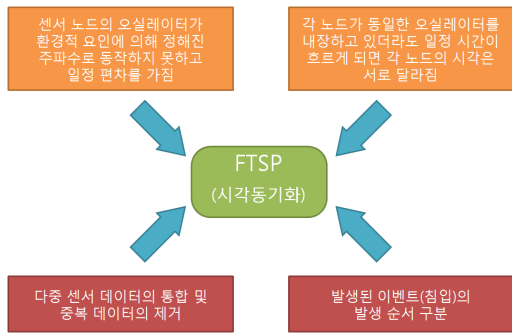
센서노드에서 수행되는 대표적인 운영체제로는 미국 버클리 대학에서 개발한 TinyOS[4]가 있다. TinyOS 센서노드와 같은 초소형, 저가의 노드에 저 전력, 적은 코드 사이즈, 최소한의 하드웨어 리소스를 사용하는 내장형 OS를 목표로 하며, 내장형 네트워크를 위한 프로그래밍 언어로는 nesC가 사용된다.

3. 관련연구

3.1 FTSP (The Flooding Time Synchronization Protocol)

FTSP[5]는 Vanderbilt University에서 제안한 Flooding 방식의 알고리즘으로 멀티홉 네트워크에서의 시각동기화를

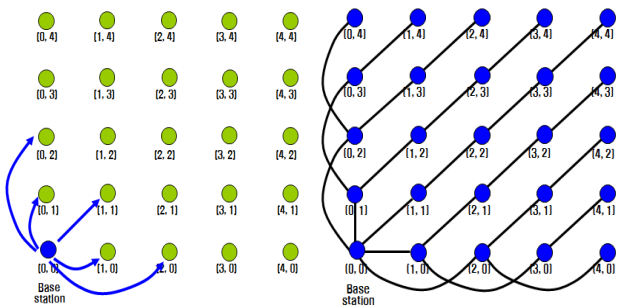
가능하게 한다. FTSP는 네트워크상의 동기화된 또는 루트인 임의의 노드가 보내는 주기적인 브로드캐스트 메시지를 주고받음으로써 동기화 된다. 동기화 되지 않은 노드는 reference point가 담긴 브로드캐스트 메시지를 일정 개수만큼 받게 되고 충분한 reference point가 모이게 되면 시각 오프셋과 로컬 클럭의 skew를 계산하고 자신의 시각을 동기화 한다. 아래 (그림 2)는 시각동기화의 개요이다.



(그림 2) 시각동기화의 개요

3.2 실시간 라우팅 프로토콜 LGR(Logical Grid Routing)

센서네트워크의 특성을 바탕으로 설계된 프로토콜이 Logical Grid Routing Protocol이다. LGR 프로토콜은 Base Station을 root로 하는 spanning tree형태의 네트워크 토폴로지를 항상 유지하는 특성을 가지고 있다. 각각의 센서노드는 자신의 위치를 이차원의 (i,j)형태로 알고 있으며 위치 좌표는 Logical한 좌표로 나타낸다. LGR은 최소한의 자원을 사용하기 위해서 센서네트워크 토폴로지를 유지하기 위해서 일정 간격을 두고 센서네트워크 토폴로지를 유지하는 아주 작은 메시지를 인접한 노드에게 보낸다. 아래 (그림 3)의 좌측 그림은 Root인 Base Station에서 일정 간격에 있는 노드에게 메시지를 보내는 그림이다.



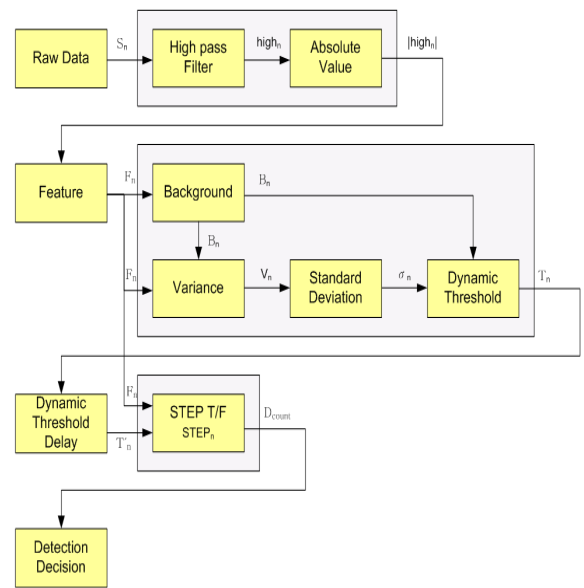
(그림 3) Base Station으로부터의 Broadcast 메시지 (좌) 완성된 라우팅 프로토콜 Spanning tree 형태 (우)

LGR은 센서네트워크를 위해서 설계되었기 때문에 센서노드는 자신이 센싱한 정보를 Base Station까지 보내는 것을 목적으로 Base Station을 Root로 가지는 Spanning tree 형태의 네트워크 토폴로지를 항상 유지하는 특성을

가지고 있다. 위의 (그림 3)의 우측 그림은 LGR을 사용하여 Spanning tree 형태의 네트워크 토폴로지가 완성된 모습이다. LGR에서 사용되는 메시지 전송방식에는 Unicast 방식과 Broadcast방식이 있다.

3.3 디지털 신호처리 알고리즘

적외선 센서는 감지 지역의 열변화로부터 침입물체의 움직임을 감지하는 센서로써 사람 및 자동차와 같이 열(적외선)을 방출하는 물체를 탐지할 때 사용할 수 있다. 그러나 이러한 적외선 센서는 바람, 온도, 습도 등의 날씨 변화에 민감하기 때문에 침입물체의 탐지 성공률이 저하될 수 있다. 그러므로 높은 수준의 디지털 신호처리 알고리즘을 사용하여 침입물체의 접근 여부를 판단해야 한다.



(그림 4) APIDA 알고리즘 수행절차

본 논문에서 제안하는 APIDA 알고리즘[6]의 수행절차는 (그림 4)와 같으며, 상세한 수행절차는 미가공 데이터 (Rawdata) 수집, 특징추출, 동적 임계값 지연, 탐지 결정의 순으로 이뤄진다. 미가공 데이터 수집은 샘플링 주파수를 14Hz로 하여 적외선 센서로 수집하며 이를 Sn이라 한다. Sn의 데이터 범위는 적외선 아날로그 신호의 디지털 변환 결과인 10비트(0~1023)이다. 특징추출은 수집한 미가공 데이터를 1Hz 차단주파수를 가지는 고역 통과 필터 (High Pass Filter)에 통과시켜 값의 변화가 분명하며 결과적으로 침입 탐지 판단을 명확하게 한다. 동적 임계값 지연은 배경값, 분산 그리고 표준편차를 이용하여 동적 임계값을 일정 시간만큼 지연시키고 이를 이용하여 물체의 침입 탐지를 결정한다.

4. 식별 및 트래킹 알고리즘

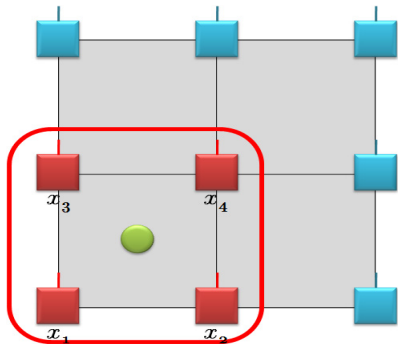
본 논문에서는 구현한 KDTA(Kookmin Design

Tracking Algorithm)은 자바로 프로그래밍 되었으며 라우팅과 시각동기화로 구성된 센서 네트워크상에 침입 물체가 나타났을 때 각 센서 노드가 신호처리를 통해 보내오는 침입 탐지 데이터를 수신함으로써 시작된다. 해당 센서 노드의 좌표 번호와 시각정보, 그리고 물체와 센서 사이의 가중치를 이용하여 침입물체의 트래킹 모습을 화면에 출력한다.

4.1 사람 / 동물 식별 알고리즘

침입 탐지가 되면 침입된 물체 주위의 4개의 PIR 센서가 Basemote로 센싱 데이터를 보낸다. 신호 처리된 PIR 센싱 데이터의 범위는 0~250까지이다. 트래킹을 위해 계급을 50으로 나누어 가중치를 부여한다. 0~50은 가중치 1, 51~100은 가중치 2, 101~150은 가중치 3, 151~200은 가중치 4, 201~250은 가중치 5를 부여한다. 수차례 실험을 통하여 가로 세로 0.5m²의 크기 이하의 물체(사람보다 작은 동물)로부터는 가중치가 3이하의 값이 측정되고, 사람의 몸에선 3이상의 가중치가 측정됨을 알았다. 이에 4개 센서 가중치의 평균값(m)이 3이상이면 사람으로 식별하고, 3이하이면 동물로 식별한다.

아래 (그림 5)에서는 물체가 침입 했을 때, PIR 센서가 센싱되는 영역을 빨간색 선으로 표현했으며, 그 영역에서 센싱되는 센서들을 보여준다. 그리고 식(1)을 통하여 가중치의 평균을 구한다.



(그림 5) 침입물체 탐지영역 및 센서

$$\frac{\sum_{i=1}^4 x_i}{4} = m \tag{1}$$

- ※ x_i : 침입 탐지된 PIR 센서의 가중치
- ※ m : 가중치의 평균

또한 실험을 통하여 크기가 작은 동물은 사람에 비해 편차가 크게 나음을 확인 하였다. 그래서 보다 정확한 식별을 위해 가중치의 평균값과 측정치를 이용하여 표준 편차(σ)를 구하여 표준 편차의 값이 1이상이면 물체(사람보다 작은 동물)로, 1이하이면 사람으로 식별한다. 표준편차는 아래 식(2)와 같이 구한다.

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 (m - x_i)^2}{4}} = \sigma \tag{2}$$

※ σ : 가중치의 표준편차

따라서 사람과 동물의 식별은 가중치의 평균이 3이상, 표준 편차가 1이하이면 사람으로 식별하고, 그 외에는 동물로 식별을 한다.

4.2 트래킹

침입이라고 판단되었을 때, 센서와 사람 사이의 거리를 추정하기 위해 센싱된 데이터의 크기를 비교하여 탐지 수준을 결정한다. 센서노드는 탐지 수준을 탐지된 시각 정보와 함께 중앙관리서버로 전송한다. 중앙관리서버에 각 센서 노드의 탐지 수준을 저장하기 위한 공간을 할당한다. 그리고 센서에서 전송한 데이터를 각자 할당된 공간에 저장한다. 이 때 가장 최신의 시각 정보를 가진 데이터만을 저장한다.

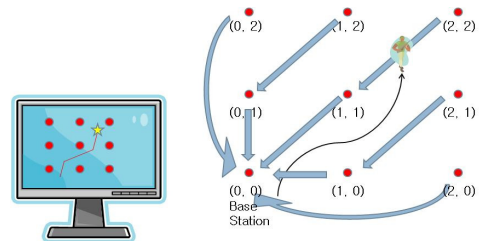
위치를 출력하기 위해서 일정한 주기마다 각 센서를 위해 할당된 공간의 데이터를 가져오고 그 중 센싱한 정보를 가지고 있는 센서의 위치와 탐지 수준을 이용하여 위치를 추정하고 다음 주기를 위해 할당된 공간을 초기화한다.

동일 시간대 탐지 메시지를 M_1, M_2, \dots, M_n 라 하고, 가중치를 W_n 이라하면 추정 예측 좌표 (X,Y)는 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} X &= \frac{\sum_{n=1}^x (X_n \times W_n)}{\sum_{n=1}^x W_n} \\ Y &= \frac{\sum_{n=1}^y (Y_n \times W_n)}{\sum_{n=1}^y W_n} \end{aligned} \tag{3}$$

※ 탐지 메시지 M_x 은 (X_x, Y_x) 를 포함.

계산된 좌표를 화면에 점 형태로 출력하며 이전 좌표와 현재 좌표를 선으로 그려 점과 함께 출력 되도록 하였다.



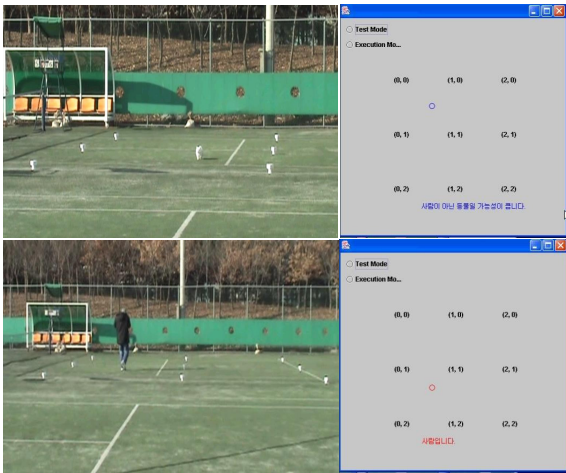
(그림 6) 이동에 따른 트래킹 프로그램

5. 실험 및 결과

5.1 사람 / 동물 식별 알고리즘 성능 실험

동물(개)과 사람 식별 성능 알고리즘 실험은 아래 (그림 7)과 같이 PIR 적외선 센서노드를 3x3배열로 설치한

후 사람과 동물 식별 일치 여부로 성공률을 확인한다.



(그림 7) 동물/사람 식별 성능 평가

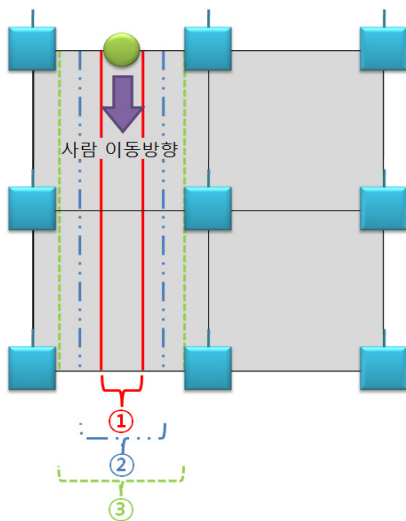
실험은 실외 운동장에서 실시하였으며, 사람과 동물 각 50회씩 실험을 하였다. 실험 결과는 아래의 <표 1>과 같이 50회의 실험 중 사람은 44번을 식별 성공 하였고, 동물은 47번을 식별 성공 하였다.

<표 1> 사람/동물 식별 성공률
단위 : %

구 분	사 람	동 물
성공률	88	94

5.2 사람 트래킹 알고리즘 성능 실험

사람 트래킹 알고리즘 성능 실험은 아래 (그림 8)과 같이 PIR 적외선 센서노드를 3x3배열로 설치한 후 실제 시간 구간과 실험에 의해 출력된 궤적과의 일치여부로 성공률을 확인하였다.



(그림 8) 사람 이동 방향과 오차 범위

※ 오차범위 : ① 1m 이내, ② 2m 이내, ③ 3m 이내

실험은 실외 운동장에서 실시하였으며, 사람은 이동 방향으로 정확하게 이동한다. 총 50회의 실험에서 1m이내로 39회 탐지되었으며, 2m이내는 8회, 3m이내는 3회 측정되었다.

<표 2> 오차 범위 내의 성공률

단위 : %

구 분	1m 이내	2m 이내	3m 이내
성공률	78	16	6

6. 결론

본 논문에서는 PIR 적외선 센서네트워크를 이용한 침입 탐지 및 식별, 트래킹 시스템을 제안하였다. 이 시스템은 사람이 쉽게 접근할 수 없는 지역이나 한 눈에 감시할 수 없는 광범위한 지역에서의 적용이 가능하다. 그 예로 휴전선 GP 경계 등 다양한 전장 환경에서 사용하여 감시정찰 지역의 아군피해를 최소화 할 수 있고, 감시정찰 지역의 실시간 적 활동 감시가 가능하며, IT 신기술을 활용한 병력 및 비용 절감으로 국방 개혁에 기여 할 수 있다.

그 밖에도 이러한 센서네트워크 시스템은 환경관리 및 보안을 목적으로 사람이나 동물의 침입탐지 및 식별이 가능하기 때문에 홈 네트워크와 삼림, 화재 및 국립공원 감시용 등으로 유용하게 사용 될 수 있을 것으로 기대된다.

향후 트래킹 알고리즘 성능 실험에서는 직선패턴 외에 복잡한 패턴의 성능 실험하고, 오차범위 1m 이내의 성공률을 더 높이기 위한 연구를 해야 한다.

참고문헌

- [1] Mark Weiser, "The computer for the 21st century", IEEE Pervasive computing, mobile and ubiquitous systems, Vol. 1, No. 1, pp. 18-25, (reprinted with permission Copyright 1991 by Scientific American Inc), IEEE Computer Society, 2002. 2.
- [2] 이노복, "u-Defense를 위한 유비쿼터스 기술 동향", 한국정보산업연합회 정보산업지, 2006권, 5호, 30-33페이지, 2006. 9.
- [3] MSP410CA, http://www.xbow.com/Products/Product_pdf_files/Wireless_pdf/MSP410CA_Datasheet.pdf.
- [4] TinyOS web site <http://www.tinyos.net/>
- [5] Miklós Maróti, Branislav Kusy, Gyula Simon, Ákos Lédeczi, "The Flooding Time Synchronization Protocol"
- [6] Hongjae Park, Jangho Park, Li Hyung Kim, Young Man Kim, "Design and Evaluation of PIR Sensor Signal Processing Algorithm for USN", 한국정보과학회 2008 종합학술대회 논문집, 35권, 1호(A), 2008. 6.