

# 적외선 센서 기반의 사람/차량 탐지 적응 알고리즘

## (An Adaptive Person/Vehicle Detection Algorithm for PIR Sensor)

김 영 만 \*      박 장 호 \*\*

(Young Man Kim)      (Jang Ho Park)

김 이 형 \*\*\*      박 흥 재 \*\*

(Li Hyung Kim)      (Hong Jae Park)

**요 약** 최근 유비쿼터스 컴퓨팅과 유비쿼터스 네트워크를 활용하여 새로운 서비스들을 개발하려는 노력이 활발히 진행 중이며, 이에 관련된 기술의 중요성도 급증하고 있다. 특히 감시정찰 센서네트워크의 핵심 구성요소인 저가의 경량 센서노드에서 측정된 미가공 데이터(raw data)를 사용하여 침입 물체의 실시간 탐지, 식별, 추적 및 예측하기 위한 디지털 신호처리 기술은 주요 기술 중 하나이다.

본 논문에서는 감시정찰 센서네트워크의 핵심 구성요소인 센서노드의 적외선 센서에서 측정된 적외선 미가공 데이터를 사용하여 사람과 차량을 탐지할 수 있는 디지털 신호처리 알고리즘을 설계 및 구현한다. 알고리즘의 주 목표는 감시정찰용 센서노드의 탐지 신뢰성을 높이기 위하여 높은 침입물체 탐지 성공률(success rate)과 낮은 허위신고(false alarm) 횟수를 갖도록 하는 것이다. 성능평가 결과에

의하면 제안한 APIDA 알고리즘은 평지일 경우 90% 이상의 탐지 성공률과 2회 이하의 허위신고 횟수를 가지는 것을 확인할 수 있었다.

**키워드** : 적외선 센서, 디지털 신호처리, 무선 센서네트워크

**Abstract** Recently, various new services based on ubiquitous computing and networking have been developed. In this paper, we contrive Adaptive PIR(Pyroelectric Infrared Radiation) Detection Algorithm (APIDA), a PIR-sensor based digital signal processing algorithm, that detects the movement of an invading object by the recognition of heat change in the detection area, since the object like person or car emits heat(i.e., infrared radiation). We devised APIDA as a highly reliable signal processing algorithm that increases the successful detection rate and decreases the false alarm rate in the intruding object detection. According to performance evaluation experiment, APIDA shows the successful detection rate of 90% and low false alarm in the plain area.

**Key words** : PIR sensor, digital signal processing, wireless sensor network

### 1. 서 론

USN(Ubiquitous Sensor Network)은 인간과 환경 사이의 상호작용 방식에 있어서 대변혁을 초래할 수 있다는 점에서 사회·경제·문화 전반에 걸쳐 다시 한번 인류의 삶을 근본적으로 변화시킬 수 있는 혁신적인 기술로 주목 받고 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 개발하기 위해서는 기존 대형 센서 체계와 다른 무선 센서네트워크 기반 저전력 센서 신호처리에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 초소형 센서노드들로 이루어진 감시정찰 센서네트워크 환경하에서 높은 탐지 신뢰성을 가지는 디지털 신호처리 알고리즘인 Adaptive PIR Detection Algorithm(APIDA)을 고안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 감시정찰용 센서노드를 위한 디지털 신호처리 알고리즘의 기존 연구에 대하여 설명한 후 3장에서는 디지털 신호처리 알고리즘을 설계한다. 다음으로 4장에서 성능 평가한 뒤 5장에서 결론 및 향후 과제를 다룬다.

\* 본 연구는 민·군겸용기술사업(Dual Use Technology Program) 지원 및 국방과학연구소 위탁 연구로 수행되었음

· 이 논문은 2008 한국컴퓨터종합학술대회에서 '적외선 센서 기반의 사람/차량 탐지 적응 알고리즘'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

\* 정 회 원 : 국민대학교 컴퓨터공학부 교수  
ymkim@kookmin.ac.kr

\*\* 비 회 원 : 국민대학교 컴퓨터공학부  
jhp0523@kookmin.ac.kr  
hjpark0@kookmin.ac.kr

\*\*\* 비 회 원 : 국방과학연구소 선임연구원  
lhkim@add.re.kr

논문접수 : 2008년 8월 27일  
심사완료 : 2009년 6월 24일

Copyright©2009 한국정보과학회 : 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 데이터 제15권 제8호(2009.8)

2. 기존 연구 고찰

일반적으로 센서노드는 무선 센서네트워크의 최단말로 기능하며, 자기, 소리, 진동 그리고 적외선 등과 같은 여러 종류의 물리량을 감지 및 수집하며 장치 간 통신과 제어 지원을 목표로 한다. 본 논문에서는 적외선(KUBE의 C170) 및 소리(IEA의 F6027AP) 센서가 장착되어 있으며, 미국 DARPA의 ExScal[3]프로젝트에서 사용한 8비트 센서노드인 XSM(Crossbow MSP410CA)[4]을 사용한다(그림 1 참조). 그리고 센서노드 운영체제는 버클리 대학에서 개발한 TinyOS를 사용한다.

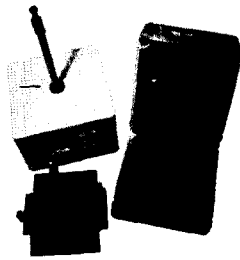


그림 1 XSM 센서노드(MSP410CA)

센서에서 수집한 미가공 데이터로부터 원하는 정보를 신뢰성 있게 획득하기 위해서는 높은 수준의 디지털 신호처리가 필요하다. 이러한 센서 디지털 신호처리에 대한 최신 연구는 미국 DARPA에서 수행한 ExScal, VigilNet과 같은 프로젝트가 있으며, 기타 대표적인 연구사례는 표 1과 같다.

표 1 디지털 신호처리 알고리즘 기준 연구

| 구분     | 센서의 특징 추출 방법   | 임계값 설정 방법                                      |                  |
|--------|----------------|--|------------------|
| 적외선 센서 | Lin Gu[5]      | 고역 통과 필터와 FFT를 사용한 Maximum power (noise level) | 동적 (noise level) |
|        | Anish Arora[6] | 대역 통과 필터, 저역 통과 필터                             | 고정               |

Lin Gu[5]가 고안한 적외선센서 디지털 신호처리 알고리즘은 고역 통과 필터와 FFT(Fast Fourier Transform)를 사용한 동적 임계값을 적용하고 있다.

Anish Arora[6]가 고안한 적외선센서 디지털 신호처리 알고리즘은 대역 통과 필터와 저역 통과 필터를 사용하고 고정 임계값을 적용하고 있다.

3. 디지털 신호처리 알고리즘

감시정찰용 센서노드의 탐지 신뢰성을 유지하기 위해서는 디지털 신호처리 알고리즘은 높은 탐지 성공률과

낮은 허위신고 횟수를 가져야 한다. 생명과 직결되는 감시정찰 시스템의 특성상 센서노드 배치를 고려하였을 때 약 20미터 이내의 거리(차량의 경우)에서 90% 이상의 탐지 성공률을 유지해야만 한다. 침입물체를 탐지하는 성공률이 높더라도 실제로 침입물체가 접근하지 않았을 때 발생하는 허위신고 횟수가 많다면 탐지 신뢰성은 현저히 낮아지게 되므로 감시정찰 시스템은 낮은 허위신고 횟수를 가져야 한다.

적외선 센서는 감지 지역의 열변화로부터 침입물체의 움직임을 감지하는 센서로서 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. 본 절에서는 제안하는 적외선 센서 디지털 신호처리 알고리즘인 Adaptive PIR Detection Algorithm(APIDA)을 설명한다. APIDA 알고리즘의 수행절차는 그림 2와 같으며, 상세한 수행 절차는 다음 각 항에서 설명한다.

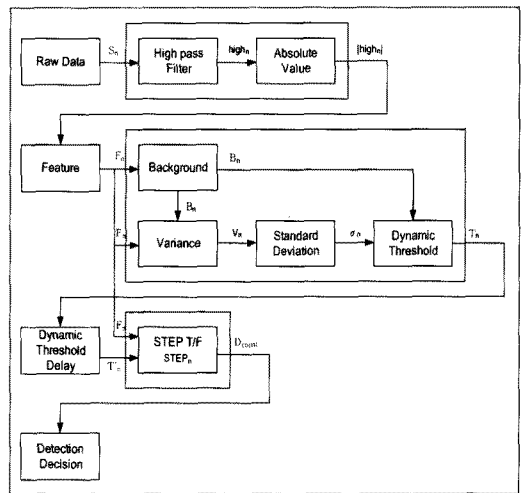


그림 2 APIDA 알고리즘 수행절차

3.1 미가공 데이터 측정

샘플링 주파수를 14Hz로 하여 적외선 센서의 미가공 데이터를 수집하며 이를 S<sub>n</sub>이라 한다. S<sub>n</sub>의 데이터 범위는 적외선 아날로그 신호의 디지털 변환 결과인 10비트(0~1023)이다. 그림 3은 10m 거리에서 SUV 차량이 이동할 때 측정된 적외선 센서의 미가공 데이터이다. 측정 시작 후 40초가 지난 뒤 SUV 차량이 출발하였으며, 해당 시점에서 적외선 센서의 미가공 데이터가 변화됨을 확인할 수 있다.

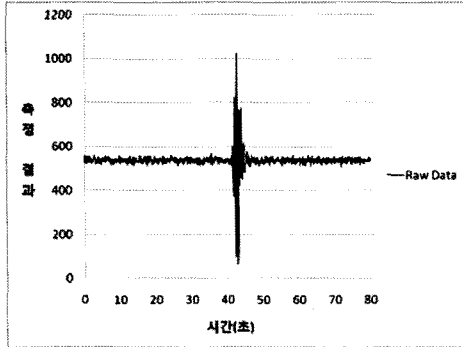


그림 3 디지털 신호처리 수행 결과(미가공데이터)

### 3.2 특징 추출

수집한 미가공 데이터를 시간 영역에서 주파수 영역으로 변환시키면 40초 영역에서 약간의 변화가 있으나 뚜렷하지 않으므로 수집한 미가공 데이터를 1Hz 차단주파수를 가지는 고역 통과 필터(High Pass Filter)에 통과시킨 경우에는 물체가 이동하는 40초 부근에서 값의 변화가 분명하며 결과적으로 침입 탐지 판단을 명확하게 한다.

$$\begin{aligned} high_0 &= 0 \\ high_n &= s_n - s_{n-1} + 0.9high_{n-1} \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)을 이용해 고역 통과 필터를 통과시킨 결과인  $high_n$  을 구한다. 식 (1)에서 얻은  $high_n$  의 절대값을 적외선 센서의 특징인 식 (2)로  $F_n$  을 설정한다.

$$F_n = |high_n| \quad (2)$$

### 3.3 동적 임계값 지연 설정

동적 임계값 지연을 계산하기 위해서는 배경값, 분산 그리고 표준편차가 필요하며 자세한 계산절차는 다음과 같다.

적외선 센서의 특징  $F_n$  을 배경 윈도우  $B_{ws}$  의 버퍼에 저장한다. 이때 배경 윈도우  $B_{ws}$  의 크기가 8이라면 현재 단계에서부터 7개 전까지의 값인  $F_n$  에서  $F_{n-7}$  이 배경 윈도우  $B_{ws}$  내에 저장된다. 저장된 배경 윈도우  $B_{ws}$  내의 값인  $F_n$  에서  $F_{n-7}$  의 평균을 식 (3)과 같이 구하고 그 값을 배경값  $B_n$  이라 한다.

$$B_n = Average(B_{ws}) \quad (3)$$

미가공 데이터에서 추출한 특징인  $F_n$  과 배경값  $B_n$  의 차이를 구한 후 절대값을 계산하여 이를 분산(Variance)  $V_n$  이라 하고 식 (4)와 같다.

$$V_n = |F_n - B_n| \quad (4)$$

분산  $V_n$  을 표준편차 윈도우  $\sigma_{ws}$  의 버퍼에 저장한다. 이때 표준편차 윈도우  $\sigma_{ws}$  의 크기가 8이라면 현재 단계에서부터 7개 전까지의 값인  $V_n$  에서  $V_{n-7}$  가 표준편차

윈도우  $\sigma_{ws}$  내에 저장된다. 식 (5)와 같이 표준편차 윈도우  $\sigma_{ws}$  내의 값들( $V_{n-7}, V_{n-6}, \dots, V_n$ )의 평균을 구하여 이를 표준편차  $\sigma_n$  이라 한다.

$$\sigma_n = Average(\sigma_{ws}) \quad (5)$$

표준편차  $\sigma_n$  과 표준편차 계수  $\alpha$  를 곱한 후 배경값  $B_n$  과의 합을 계산하여 식 (6)과 같이 동적 임계값(Dynamic Threshold)  $T_n$  으로 설정한다.

$$T_n = B_n + \alpha \cdot \sigma_n \quad (6)$$

동적 임계값  $T_n$  을 d만큼 지연시키며 이를  $T'_n$  이라 한다. 그림 4는 적외선 센서의 미가공 데이터에서 추출한 특징과 동적 임계값 지연을 나타낸 그래프이다.

### 3.4 탐지 결정

침입물체의 유무를 판단하기 위하여 각 디지털 신호처리 단계별 참/거짓(TRUE/FALSE)을 계산한 뒤, 그 결과를 침입탐지 결정 정책에 따라 탐지 유무를 판단한다. 자세한 탐지 결정 절차는 다음과 같다.

현재 단계의 참(TRUE) 또는 거짓(FALSE) 여부를 판단하며 이를 STEP<sub>n</sub>라 하고 식 (7)과 같다. 만약  $F_n$  이 동적 임계값 지연인  $T'_n$  보다 크면 STEP<sub>n</sub>을 TRUE로 설정하고, 작으면 FALSE로 설정한다.

$$STEP_n = \begin{cases} TRUE : F_n > T'_n \\ FALSE : F_n \leq T'_n \end{cases} \quad (7)$$

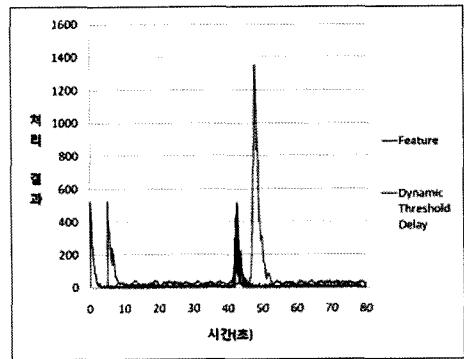


그림 4 디지털 신호처리 수행 결과(특징 및 동적 임계값 지연)

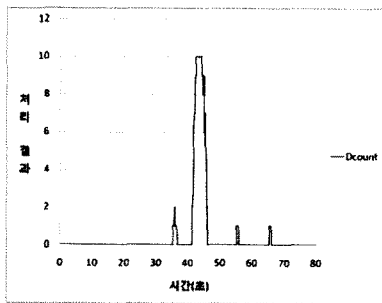
STEP<sub>n</sub>을 탐지 결정 윈도우  $D_{ws}$  의 버퍼에 저장한다. 이때 결정 윈도우의  $D_{ws}$  의 크기가 8이라 하고 탐지 결정 윈도우  $D_{ws}$  내의 값인 STEP<sub>n</sub>에서 STEP<sub>n-7</sub>까지의 값들 중 참인 개수의 합을  $D_{count}$ 라 하였을 때, 식 (8)과 같이  $D_{count}$ 가 탐지 결정 윈도우 내의 기준 결정 개수인  $D_{basis}$  보다 크거나 같으면 침입 물체를 탐지한 것이다.

$$Detection_n = \begin{cases} TRUE : D_{count} \geq D_{basis} \\ FALSE : D_{count} < D_{basis} \end{cases} \quad (8)$$

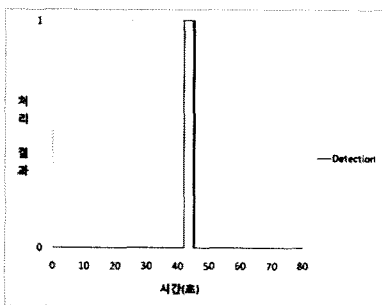
그림 5(a)는 시간에 따른  $D_{count}$ 의 변화를 나타내며, 그림 5(b)는 침입탐지 결과(탐지 성공일 경우 1)를 표현한다. SUV 차량이 이동하기 시작한 40초 근방에서 적외선 센서에 의한 침입탐지가 판단된 것을 확인할 수 있다.

4. 성능평가

제한한 알고리즘의 성능평가를 하기 위하여 서울대공원 주차장과 국민대학교 공터 및 산악지대(오르막, 내리막 길)에서 성인남성과 SUV 차량에 대하여 미가공 데이터를 측정하는 실험을 실시하였다. 측정 당시 날씨는 맑았으며 온도는 20~25°C, 바람은 3~5m/s이었다. 그리고 미가공 데이터를 측정할 때 사람의 이동 속도는 정상적으로 걷는 수준인 3km/h로, 차량의 이동 속도는 20~30km/h로 유지하였다.



(a) Dcount 변화



(b) 탐지 결정

그림 5 디지털 신호처리 수행 결과

미가공 데이터를 측정하는 시간은 측정 시작 후 40초 까지의 구간과 60초~80초 구간을 유휴 기간으로 설정하고 40초~60초 구간을 측정 대상이 이동하는 구간으로 설정하였으며, 미가공 데이터를 측정할 횟수는 센서 및 측정 거리별 40회로 유지하였다.

측정 대상이 사람일 경우 평지와 오르막길 그리고 내리막길에 대하여 각각 미가공 데이터의 측정을 실시하였다. 그림 6과 같이 센서노드 및 싱크노드를 배치시키

고 사람 또는 차량이 측정 거리만큼 떨어진 곳으로부터 횡으로 이동하도록 하였다.

무선 센서네트워크를 위한 디지털 신호처리 알고리즘의 성능평가 지표는 표 2와 같으며, 파라미터는 표 3과 같이 설정하였다.

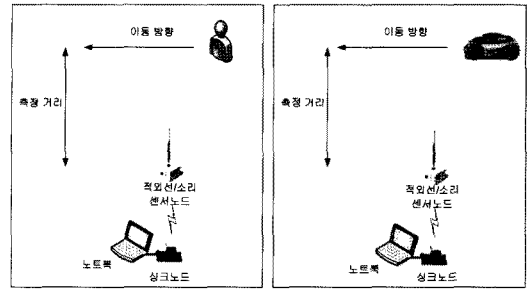


그림 6 미가공 데이터 측정 방법

표 2 성능평가 지표

| 장소    | 측정 대상   | 목표 거리 | 탐지 성공률 | 허위신고 횟수 | 비고 |
|-------|---------|-------|--------|---------|----|
| 평지    | 사람      | 5m    | 90% 이상 | 2회 이하   |    |
|       | 차량(SUV) | 20m   | 90% 이상 | 2회 이하   |    |
| 오르막 길 | 사람      | 3m    | 70% 이상 | 5회 이하   |    |
| 내리막 길 | 사람      | 3m    | 70% 이상 | 5회 이하   |    |

표 3 알고리즘 파라미터

| 구분                        | 값                | 비고 |
|---------------------------|------------------|----|
| 배경 윈도우 크기 $B_{ws}$        | 8                |    |
| 표준편차 윈도우 크기 $\sigma_{ws}$ | 16               |    |
| 탐지결정 윈도우 크기 $D_{ws}$      | 10               |    |
| 표준편차 계수 $\alpha$          | 2.5              |    |
| 동적 임계값 지연 변수 $d$          | 5(초) $\times$ 14 |    |
| 탐지결정 기준 $D_{basis}$       | 7                |    |

평지에서 측정 대상이 사람일 경우 성능평가 결과 그래프는 그림 7과 같다. 탐지 성공률에 있어서 제안한 APIDA 알고리즘과 Lin Gu의 알고리즘이 6m 이내에서 90% 이상을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 반면에 Anish Arora 알고리즘의 경우 4m에서 90% 이상의 탐지 성공률을 만족하나 6m 이후는 급격한 성능저하를 나타낸다. 누적 허위신고 횟수에 있어서는 제안한 APIDA 알고리즘과 Anish Arora 알고리즘이 2회 이하를 가지고 Lin Gu의 알고리즘은 2회 이상을 나타낸다. 또한 오르막 길과 내리막 길 모두 평지와 같이 제안한 알고리즘이 성능평가 지표를 만족하였다.

평지에서 측정 대상이 차량일 경우 성능평가 결과 그래프는 그림 8과 같다. 탐지 성공률에 있어서 제안한 APIDA 알고리즘과 Lin Gu의 알고리즘이 34m까지

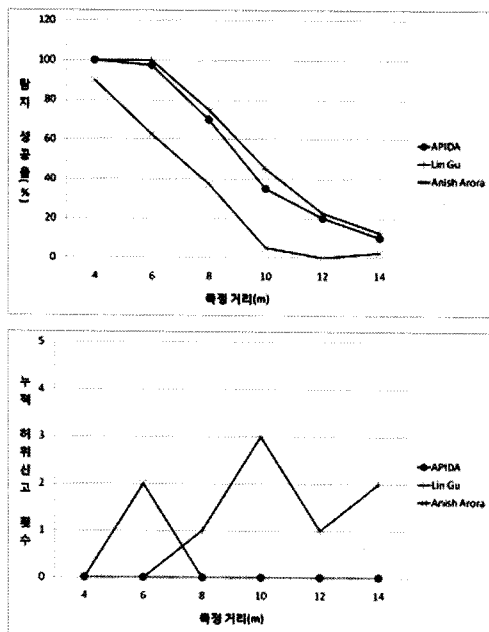


그림 7 탐지 성공률/허위신고 횟수(사람, 평지)

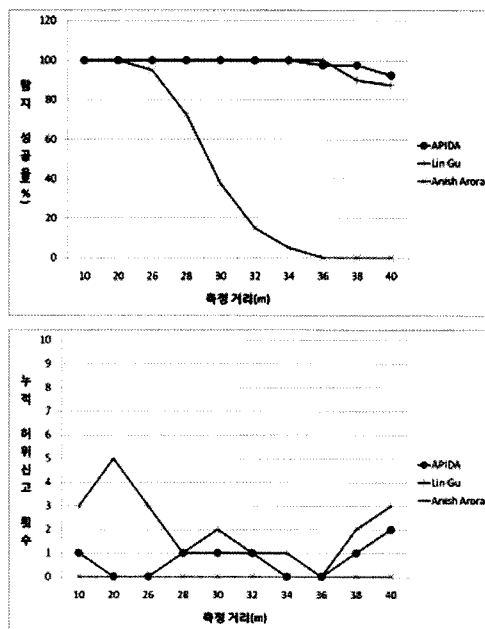


그림 8 탐지 성공률/허위신고 횟수(차량)

100%을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 그러나 Anish Arora 알고리즘의 경우 20m에서 90% 이상의 탐지 성공률을 만족하지만 고정 임계값을 사용하기 때문에 26m 이후는 급격한 성능저하를 나타낸다. 누적 허위신고 횟수에 있어서는 제안한 APIDA 알고리즘과 Anish Arora 알고리즘이 2회 이하를 가지고 Lin Gu의 알고리즘은 2회 이상을 나타낸다.

성능평가 결과 측정 대상이 사람 또는 차량인 경우본 논문에서 제안한 알고리즘이 기존 알고리즘에 비하여 탐지 성공률과 누적 허위신고에 있어서 높은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

### 5. 결론

본 논문에서는 초소형 센서노드에서, 침입물체가 접근 하였을 때 높은 탐지 성공률과 낮은 허위신고 횟수를 가지는 디지털 신호처리 알고리즘인 Adaptive PIR Detection Algorithm(APIDA)를 설계하였다. 실험을 통한 성능평가 결과에 의하면 제안한 알고리즘은 평지일 경우 90% 이상의 탐지 성공률(success rate)과 실험기간 중 2회 이하의 허위신고(false alarm) 횟수를 가지는 것을 확인할 수 있었다.

향후 날씨(비, 안개 등) 또는 지형(수풀, 산악 등)에 따른 다양한 환경하에서 측정된 미가공 데이터를 사용하여 성능평가를 실시해야 한다.

### 참고 문헌

- [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, pp.30-33, 2006. 9.
- [3] Exscal web site, <http://cast.cse.ohio-state.edu/exscal>.
- [4] MSP410CA, [http://www.xbow.com/Products/Product\\_pdf\\_files/Wireless\\_pdf/MSP410CA\\_Datasheet.pdf](http://www.xbow.com/Products/Product_pdf_files/Wireless_pdf/MSP410CA_Datasheet.pdf).
- [5] Lin Gu, John A. Stankovic, et al, "Lightweight Detection and Classification for Wireless Sensor Networks in Realistic Environments," *SenSys05*, pp.205-217, 2005.
- [6] Anish Arora, Emre Ertin, Sandip Bapat, Vinayak Naik, et al, "ExScal: Elements of an Extreme Scale Wireless Sensor Network," *IEEE RTCSA 05*, pp.102-108, 2005. 8.