

# 감시정찰 센서네트워크의 표적 탐지 및 식별 알고리즘에 관한 연구

심현민<sup>a</sup>, 김태복<sup>b</sup>, 김이형<sup>c</sup>, 강태인<sup>d</sup>

<sup>a</sup>LIGNex1(주) 시스템연구소  
경기도 용인시 기흥구 마북동 102-18번지 제1연구동  
Tel: +82-31-288-1183, Fax: +82-31-288-1199, E-mail: [hmskim@lignex1.com](mailto:hmskim@lignex1.com)

<sup>b</sup>LIGNex1(주) 시스템연구소  
경기도 용인시 기흥구 마북동 102-18번지 제1연구동  
Tel: +82-31-288-1189, Fax: +82-31-288-1199, E-mail: [tbkim@lignex1.com](mailto:tbkim@lignex1.com)

<sup>c</sup>국방과학연구소  
서울특별시 송파우체국 사서함 132호  
Tel: +82-2-3400-2589, Fax: +82-2-403-3512, E-mail: [lhkim@add.re.kr](mailto:lhkim@add.re.kr)

<sup>d</sup>국방과학연구소  
서울특별시 송파우체국 사서함 132호  
Tel: +82-2-3400-2574, Fax: +82-2-403-3512, E-mail: [tanekang@add.re.kr](mailto:tanekang@add.re.kr)

## Abstract

본 논문은 감시정찰 센서네트워크에서 센서노드의 주요 기능인 표적의 탐지 및 식별을 위한 알고리즘을 제안한다. 감시정찰 센서네트워크에서 각 센서노드는 노드의 크기 및 센서, 프로세서, 네트워크, 전원 등의 자원의 제약이 있기 때문에 침입하는 적의 탐지 및 종류 식별을 위해서는 효율적인 알고리즘의 선정과 최적화가 요구된다. 본 논문에서는 음향, 진동, PIR, 자기 센서 등을 이용하여 사람, 차량 및 궤도 차량의 침입을 탐지하기 위한 적응 임계값 알고리즘과 그 종류를 식별하기 위한 최대우도추정 기법, k-최근접 이웃 추정 기법에 기반한 표적의 탐지 및 식별 알고리즘을 제안한다. 실험 결과 음향 및 진동 센서에 의한 차량의 탐지, PIR 센서에 의한 사람의 탐지가 가능함을 확인할 수 있었으며 주파수 특징점을 이용하여 차량과 궤도차량의 종류식별이 가능함을 확인할 수 있었다.

## Keywords:

센서네트워크, 감시정찰, 탐지, 식별

## 서론

유비쿼터스 센서 네트워크(ubiquitous sensor network: USN)는 센서를 내장한 다수의 소형, 저전력 센서노드들이 무선으로 협력 네트워크를 구성하여 필요로 하는 곳의 다양한 정보를 수집, 관리 및 제어하는 시스템이다[1]. USN은 국방을 비롯하여 보안, 물류, 교통, 공장자동화, 농업, 재해관리, 행정, 의료, 복지 등 다양한 분야에 적용될 수 있다. 특히

국방에서의 USN은 전투 공간에서 우월한 정보력을 바탕으로 전장 인식 공유, 지휘 속도 향상, 작전 템포 증가, 치명성 증대, 생존성 및 자아 동시 통합 능력 향상을 도모하는 NCW (network centric warfare)를 구축하기 위한 시스템으로 많은 연구가 진행되고 있다.

경계병을 대신하여 감시 및 정찰 임무 수행을 위한 무인 지상 센서(unattended ground sensor: UGS)는 Harris, L3, Northrop Grumman 등에서 개발하였다. 이러한 UGS는 시스템의 크기가 크고 고가의 장비로 구성되어 있기 때문에 넓은 지역에 높은 밀도로 분포하기 어렵다. 이러한 문제를 해결하고자 DARPA의 지원을 받아 Exscal 그룹의 Line in the Sand나 미국 위스콘신 대학의 SensIT 프로그램과 같은 센서 네트워크 기반의 UGS에 대한 연구가 진행되었으나 전체 시스템에 대한 연구 보다는 센서 필드 내의 네트워크 구성, 혹은 탐지 식별을 위한 알고리즘에 대한 국부적인 연구 위주로 진행되었다[2,3].

USN은 제한된 자원 하에서 제한된 정보를 전송하기 위해 제안된 시스템이므로 일반적으로 USN에 사용되는 기존의 센서 노드는 음향, 진동 신호에 대한 신호 수집, 전송 및 처리가 어렵다. 이러한 문제를 해결하고자 본 논문에서는 감시정찰을 위한 네트워크의 구조 하에서 표적의 탐지 및 식별을 위한 센서 노드의 구조 및 탐지, 식별 알고리즘을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 표적의 탐지 알고리즘에 대해 소개하고 3장에서는 식별 알고리즘을 설명한다. 4장에서 시스템 구현 및

실험에 대해 서술한 후 5장에서 결론을 맺는다.

## 탐지 알고리즘

### 선형 임계값 알고리즘(Linear Threshold Algorithm)

센서 입력에 의해 표적을 탐지하는 기본적인 방법으로 임계값을 설정한 후 센서 입력 신호가 임계값보다 클 경우 탐지 신호로 인식하는 선형 임계값 알고리즘(Linear Threshold Algorithm: LTA)이 있다. LTA는 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} d(k) &= 1 & \text{if } E(k) \geq T \\ d(k) &= 0 & \text{if } E(k) < T \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $d(k)$ 는 탐지 결과로 1이면 탐지 되었음을 의미하며 0은 탐지되지 않았음을 의미한다.  $E(k)$ 는 센서 신호의 에너지이며  $T$ 는 임계값을 의미한다.

LTA는 주변 환경 변화가 비교적 적고 잡음의 영향을 크게 받지 않을 때 간단히 사용할 수 있다.

### 적응 임계값 알고리즘(Adaptive Threshold Algorithm)

#### 적응 임계값 알고리즘 개요

선형 임계값 알고리즘의 단점은 주변 환경 변화와 잡음에 대해 취약하다는 것이다. 이를 극복하기 위한 적응 임계값 알고리즘은 입력 신호에 대해 임계값의 크기를 변화시켜 잡음을 제거하는 방법이다.

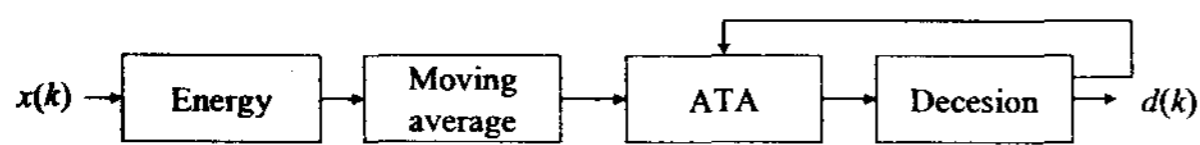


그림 1- 알고리즘 블록도.

ATA에서 임계값의 크기는 이전에 들어온 센서 신호 에너지를 피드백하여 결정한다. 만일 이전에 들어온 신호 에너지가 크다면 임계값이 커지고 신호에너지가 작다면 임계값이 작아진다. 적응 임계값  $T(k)$ 는 현재의 탐지 결정 상태에 따라 파라미터를 다르게 사용한다. 만일 탐지 결정 상태가 1이라면

$$T(k) = \alpha MA(k - M_d) + T_{offset} \quad (2)$$

과 같이 표현하고 탐지 결정상태가 0이라면

$$T(k) = \beta MA(k - M_d) + T_{offset} \quad (3)$$

여기서  $MA(k)$ 는 센서 입력 에너지의 이동 평균값이며  $\alpha$ ,  $\beta$ 는 이동평균값의 이득 조절 인자가 된다.  $T_{offset}$ 은 임계값의 기본 오프셋이며  $M_d$ 는 이동평균값의 지연에 대한 정수이다. 여기서  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $M_d$ 는 임의로 설정 가능한 상수이다.

이동 평균  $MA(k)$ 는 식(4)와 같다.

$$MA(k) = \frac{\hat{E}(k) + \hat{E}(k-1) + \dots + \hat{E}(k-M+1)}{M} \quad (4)$$

여기서  $\hat{E}(k)$ 는 입력 받은 센서의 에너지의 측정값이고  $M$ 은 이동평균을 취하기 위한 샘플의 수이다.

#### 적응 임계값 알고리즘 상태기계

임계값이 넘은 센서 에너지에 대해 탐지 결정을 내리기 위해서 상태기계를 이용한다. ATA 상태기계는 그림 2과 같다. 상태기계는 식(5)-(7)과 같이 구성된다.

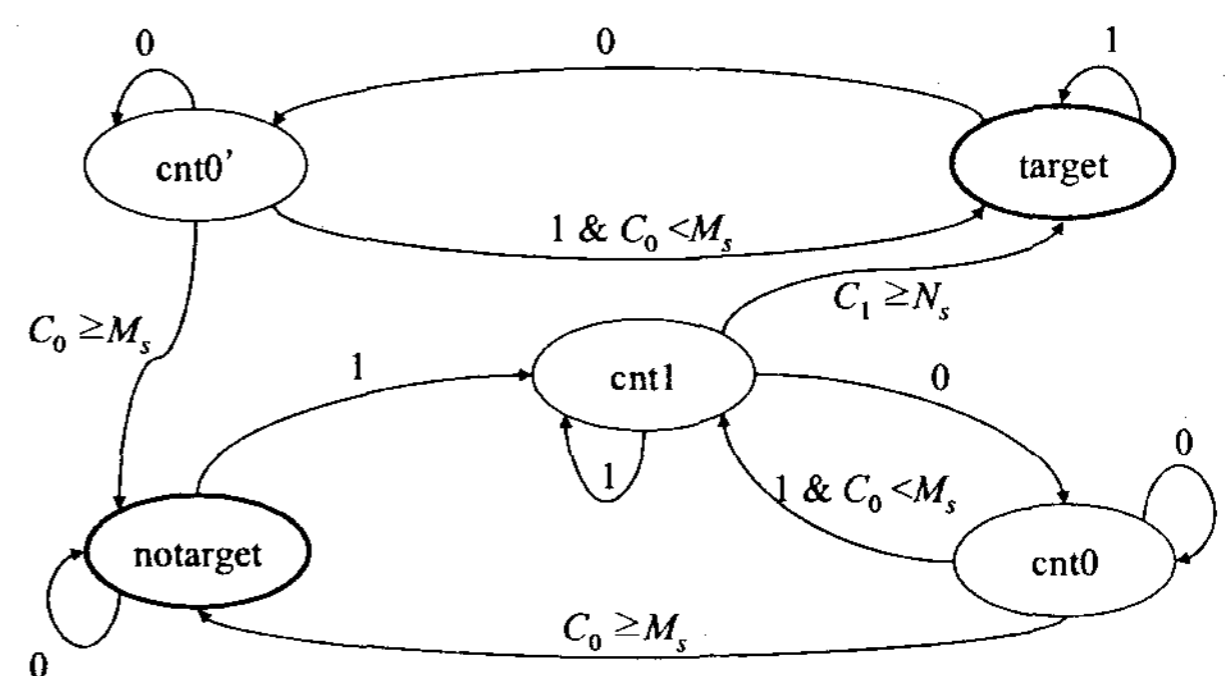


그림 2- 탐지 상태기계.

$$state(x) : \{target, notarget, cnt1, cnt0, cnt0'\} \quad (5)$$

$$input(u) : \{1,0\} \quad (6)$$

$$output(d) : \{target, notarget\} \quad (7)$$

상태기계 입력은 다음과 같이 정의된다.

$$u(k) = \begin{cases} 1 & \text{if } \hat{E}(k) \geq T(k) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

계수 상태인 {cnt1, cnt0, cnt0'} 는 다른 상태에서부터 천이될 때 0으로 초기화된 후 같은 상태를 반복할 때마다 증가하게 된다. 이때 증가하는 수는 상태기계 입력과 함께 천이조건이 된다. notarget, cnt0, cnt1의 출력은 notarget이 되며 target과 cnt0'의 출력은 target이 된다.  $M_s, N_s$  는 상태천이가 되기 위한 지연 상수로 임의로 설정 가능한 상수이다.

### 식별 알고리즘

#### 논리식에 의한 식별

표적의 종류 식별은 표적의 종류에 따라 검출할 수 있는 센서의 종류가 다르다는 특징을 이용한다. 본 논문에서 제안하는 센서는 음향, 진동, 자기, PIR 센서이며 각 센서 별로 검출할 수 있는 표적을 표 1에 정리하였다.

표 1- 센서 별 탐지 가능 표적

표적 \ 센서	민간인	군인	차량	궤도차량
음향	×	×	○	○
진동	×	×	○	○
자기	×	○	○	○
PIR	○	○	○	○

표 1을 이용하여 각 표적을 식별하기 위한 논리식을 정리하면 식(9)와 같다.

$$\begin{aligned} C_c &= \overline{D_A} \cdot \overline{D_s} \cdot \overline{D_M} \cdot D_P \\ C_m &= \overline{D_A} \cdot \overline{D_s} \cdot D_M \cdot D_P \\ C_{fv} &= (D_A + D_s) \cdot (\overline{D_M} + \overline{D_P}) \\ C_{nv} &= (D_A + D_s) \cdot (D_M + D_P) \end{aligned} \quad (9)$$

여기서  $C_c$  는 민간인 표적 클래스,  $C_m$  은 군인 표적 클래스,  $C_{fv}$  는 멀리 있는 차량 및 궤도차량 표적

클래스,  $C_{nv}$  는 가까이 있는 궤도차량 표적 클래스이다.  $D_A$  는 음향 탐지 신호,  $D_s$  는 진동 탐지 신호,  $D_M$  은 자기 탐지 신호,  $D_P$  는 PIR 탐지 신호를 의미한다.

논리식을 이용한 식별 방법은 비교적 간단하게 구현 가능하지만 차량과 궤도차량을 구분할 수 없기 때문에 차량과 궤도차량을 구분하기 위한 알고리즘을 추가로 요구하게 된다.

#### 주파수 특징점을 이용한 식별

주파수 특징점을 이용한 식별은 차량과 궤도차량의 음향 및 진동의 파워 스펙트럼의 분포가 서로 다를 것을 이용한 방법이다. 주파수 특징점은 FFT연산을 통해서 얻을 수 있으며 특징점의 비교를 위한 차량 및 궤도차량의 특징점 DB가 필요하다. 특징점 비교를 통해 차량의 종류 식별을 위한 기법들로 최대우도 추정법(maximum likelihood estimation: MLE), k-최근접 이웃 추정법(k-nearest neighbor estimation: k-NN) 등이 있다.

#### 최대우도 추정법(Maximum Likelihood Estimation)

MLE는 베이즈 정리를 이용한다. 베이즈 정리는 식(10)과 같다.

$$P(w_j | \mathbf{x}) = \frac{P(\mathbf{x} | w_j) \cdot P(w_j)}{\sum_{k=1}^N P(\mathbf{x} | w_k) \cdot P(w_k)} = \frac{P(\mathbf{x} | w_j) \cdot P(w_j)}{P(\mathbf{x})} \quad (10)$$

여기서  $w_j$  는  $j$  번째 클래스이고  $\mathbf{x}$  는 특징벡터이다. 임의의 패턴에 속하는 클래스를 알아내는 기준은 가장 큰  $P(\mathbf{x} | w_j)$  를 가지는 클래스  $w_j$  를 선택하는 것이다. 베이즈 정리의 각 항의 의미는 다음과 같다.

- $P(w_j)$       클래스  $w_j$  의 사전 확률
- $P(w_j | \mathbf{x})$       관측  $\mathbf{x}$  가 주어질 경우 클래스  $w_j$  에 대한 사후 확률
- $P(\mathbf{x} | w_j)$       우도 : 클래스  $w_j$  가 주어질 경우 관측  $\mathbf{x}$  가 일어날 조건부 확률
- $P(\mathbf{x})$        $\mathbf{x}$  가 일어날 확률로 결정에 영향을 미치지 않는 정규화 상수

여기서  $P(w_j | \mathbf{x})$  가 판별함수가 되는데 이를 위해서 먼저 사전확률  $P(w_j)$  와 우도  $P(\mathbf{x} | w_j)$  를

먼저 추정된 후에 사용한다. 사전확률은 보통 문제가 주어진 경우 이미 알려진 사실로부터 미리 정할 수 있는 반면 해당 클래스의 확률밀도함수에 해당하는 우도는 표본데이터로부터 추정해야 한다.

### 최근접 이웃 추정법(k-Nearest Neighbor Estimation)

kNN은 구현이 비교적 쉬우면서 탐지확률이 높은 식별 알고리즘이다. 이는 표적 DB와 이벤트 PSD 간 유클리드 거리를 식(11)을 이용해 계산하며 그 결과를 오름차순으로 정렬한다.

$$d(a,b) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (b_i - a_i)^2} \quad (11)$$

kNN에서 k는 임의 설정 가능한 상수로서 k가 1일 경우 오름차순 정렬 값 중 첫 번째 값이 속해있는 표적DB의 라벨이 표적의 식별 결과가 된다. 예를 들어 표적DB가 차량, 궤도차량으로 구성되어 있을 때 kNN 알고리즘의 결과값이 차량 DB내의 샘플과 가장 가깝다면 식별결과는 바퀴차량이 되는 것이다. 만약 k가 10일 경우는 오름차순 정렬결과에서 제일 작은 순으로 10개를 추출하여 다수결 결정방식으로 결론을 내린다. 예를 들어 10개의 정렬 결과 중에 3개는 차량, 7개는 궤도차량일 경우 식별결과는 궤도차량이 된다.

## 실험 및 결과

### 탐지 알고리즘 시험

기존의 센서노드는 저가, 저전력을 우선시하여 저전력, 저속의 프로세서와 저가의 센서로 구성되어 있기 때문에 본 논문에서 제안하는 주파수에 의한 식별의 구현이 불가능하다. 따라서 DSP 프로세서를 이용한 신호처리가 필요하며 신호처리 및 알고리즘 구현을 위한 DSP 프로세서와 네트워킹을 위한 컨트롤러의 혼합형 센서노드가 필요하다. 이러한 센서노드를 제작하기에 앞서 각 신호를 수집하기 위해 그림 과 같은 신호수집보드를 제작하고 이를 이용하여 신호를 수집한 후 알고리즘을 구현하였다.

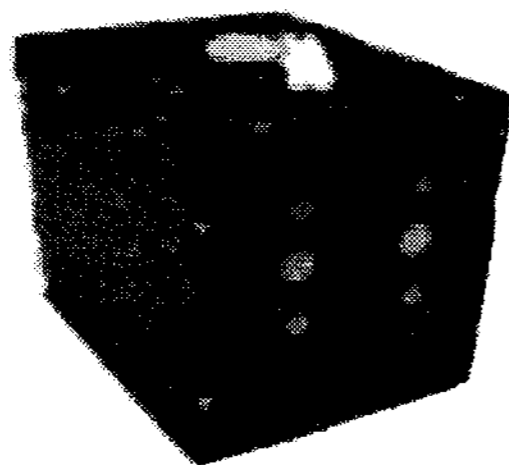


그림 3- 신호 수집 장치 외형.

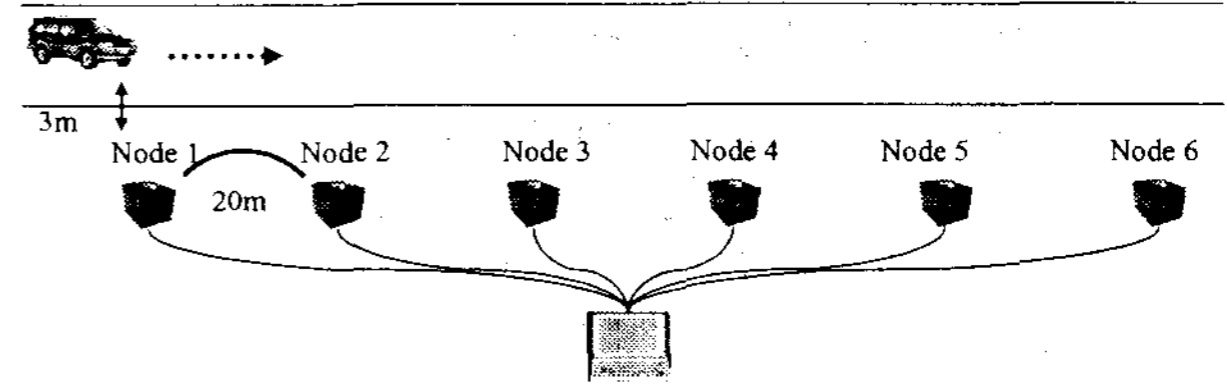


그림 4- 신호 수집 환경.

신호 수집을 위한 수집장치의 배치는 그림 4와 같다.

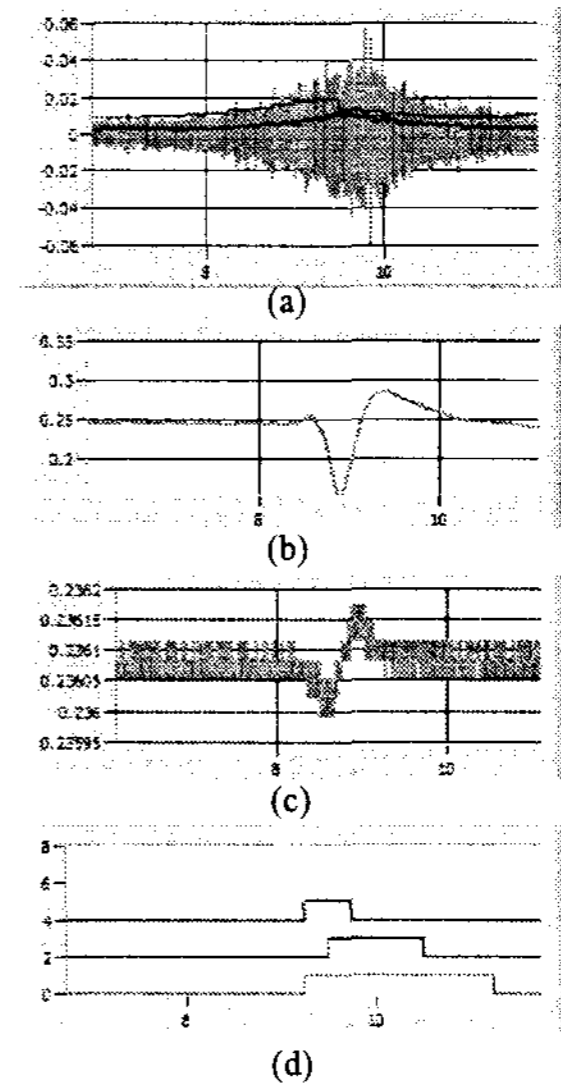


그림 5- 차량의 탐지 결과.

그림 5는 차량에 대한 탐지 결과이다. 그림 5(a)는 음향 신호, 그림 5(b)는 PIR 신호, 그림 5(c)는 자기 신호의 입력신호이며 그림 5(d)는 탐지 신호이다. 아래에서부터 각각 차량, PIR, 자기에 대한 탐지신호이다. 이 경우 각각 센서의 탐지 범위와 탐지 지속시간이 다르기 때문에 논리식에 의한 식별에서 이를 고려해야 할 것이다.

### 식별 시뮬레이션

식별 알고리즘을 수행하기 위해서는 차량 및 궤도차량에 대한 각각의 신호 DB가 필요하지만 DB 획득에 앞서 기존 SensIT에서 획득한 DB를 이용하여 모의 실험을 실시하였다.

먼저 궤도차량과 차량의 음향 및 진동 센서의 시계열에 대한 에너지를 각각 구한 후 탐지 이벤트를 추출하였다. 다음으로 탐지 이벤트 구간의 시계열만을 이용하여 FFT를 통한 주파수 스펙트럼을 획득하였다.

그림 6-9는 각각 궤도차량과 차량에 대한 각



알고리즘별 모의 실험 결과이다.

탐지 이벤트에 대해 식별을 수행한 결과 kNN 방식이 MLE에 비해 높은 인식율을 보였다. 또한 kNN 방식을 적용하였을 때에는 음향과 진동 신호에 대한 인식율이 거의 유사하게 나왔으나 MLE 방식을 적용하였을 때에는 차량의 인식율이 더 높게 나왔다.

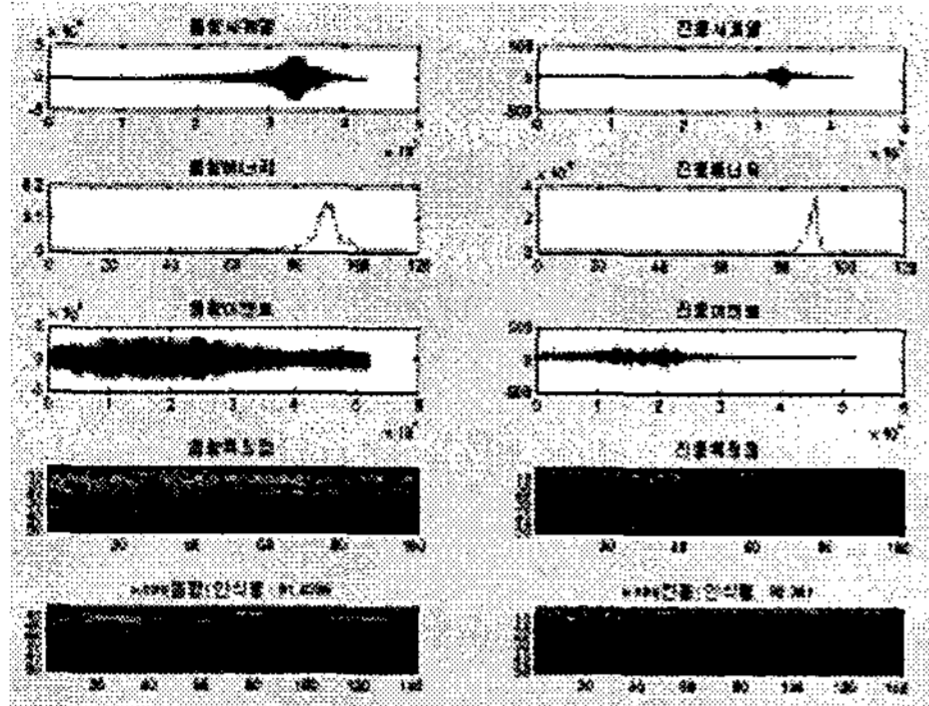


그림 6 - kNN 방식을 이용한 궤도차량에 대한 음향과 진동 데이터의 탐지 식별 결과.

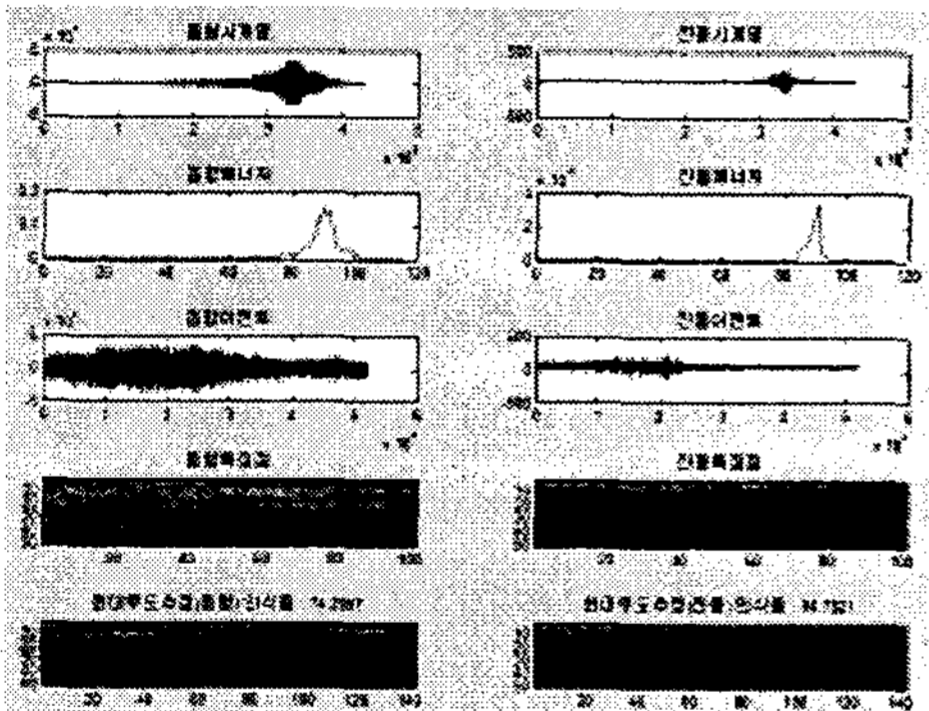


그림 7 - MLE 방식을 이용한 궤도차량에 대한 음향과 진동 데이터의 탐지 식별 결과.

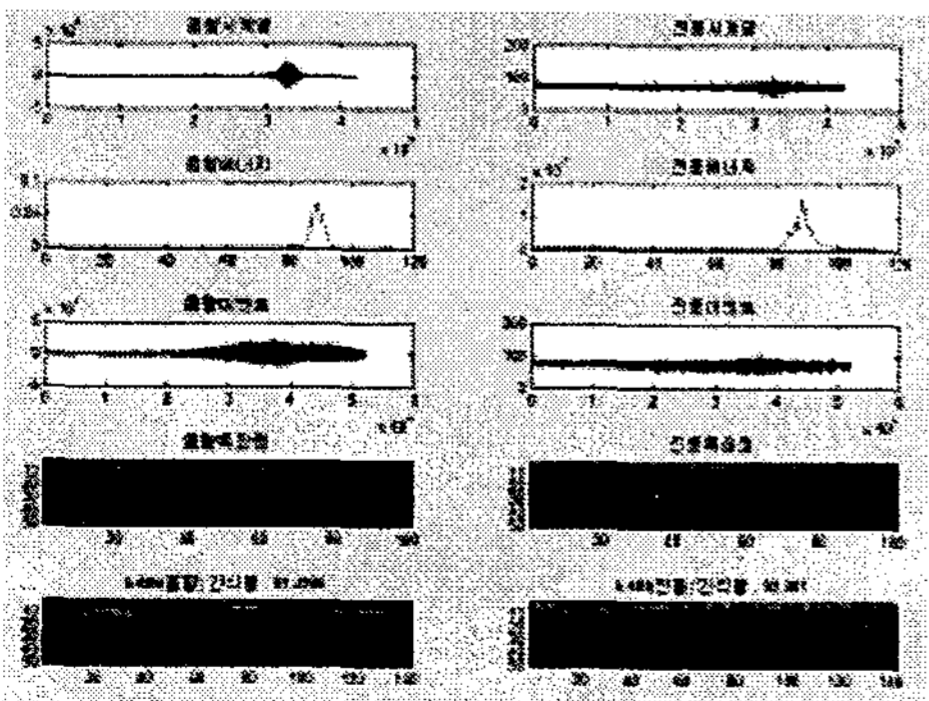


그림 8 - kNN 방식을 이용한 차량에 대한 음향과 진동 데이터의 탐지 식별 결과.

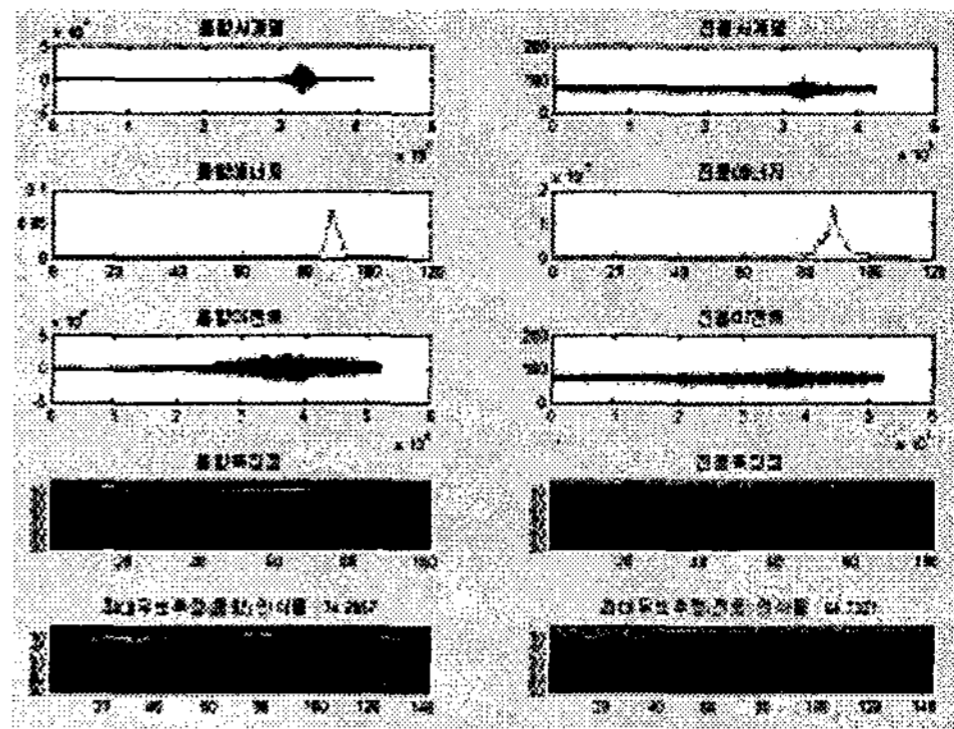


그림 9 - MLE 방식을 이용한 차량에 대한 음향과 진동 데이터의 탐지 식별 결과.

### 결론

본 논문에서는 감시정찰 센서네트워크에서 표적의 탐지 및 식별을 위한 알고리즘을 제안하고 이에 대한 실험을 통해 알고리즘의 유효성을 보였다.

앞으로 실제의 센서노드에 적용하여 알고리즘을 적용할 것이며 다수의 센서 노드의 협업 처리에 대한 연구가 이루어져야 할 것으로 보인다.

### Acknowledgments

민·군겸용기술사업(Dual Use Technology Program )으로 지원받았음

### References

- [1] 박승민, “센서 네트워크 노드 플랫폼 및 운영체제 기술 동향,” 전자통신동향분석, 21권, 제1호, pp. 14-24, 2006. 2.
- [2] A. Arora, P. Dutta, S. Bapat, V. Kulathumani, H. Zhang, V. Naik, V. Mittal, H. Cao, M. Demirbas, M. Gouda, Y-R.Choi, T. Herman, S. S. Kulkarni, U. Arumugam, M. Nesterenko, A. Vora and M. Miyashita. “A line in the sand: A wireless sensor network for target detection, classification and tracking,” *Computer Networks*, pp. 605-634, 2004.
- [3] Marco Duarte and Yu-Hen Hu, “Vehicle Classification in Distributed Sensor Networks,” *Journal of Parallel and Distributed Computing*, Vol. 64 No. 7, pp. 826-838, 2004.
- [4] César Torres-Huitzil, Rene Cumplido- Parra, Santos López-Estrada, “Design and Implementation of a CFAR Processor for Target Detection,” *14th International Conference on Field Programmable Logic, FPL04*, Belgium, August 2004. Lectures Notes on Computer Science Vol. 3203, pp. 943-947