

## 주성분 분석법을 이용한 지뢰인식 시스템

이도현\*, 신영숙

조선대학교 정보통신공학과

[blue17710@hotmail.com](mailto:blue17710@hotmail.com), [ysshin@chosun.ac.kr](mailto:ysshin@chosun.ac.kr)

### Landmine Recognition System using principal component analysis

Doeheon Yi\*, Youngsuk Shin

Chosun university, School of Information Communication Engineering

#### 요 약

차세대 지뢰탐지 기술로는 NQR(Nuclear Quadrupole Resonance, 핵4중극자공명), GPR(Ground Penetrating Radar, 지상 침투 레이더)등 이 연구 및 개발 중 이다. 현재 우리나라에서도 이중 GPR을 차세대 지뢰탐지 기술로 연구중에 있다. 그렇지만 지금까지 개발된 GPR 기술을 적용한 지뢰탐지기는 얻어진 2차원 영상에 대해서 육안에 의한 식별만이 가능하여 지뢰 식별이 장시간 소요된다는 단점을 가지고 있다. 이에 본 논문에서는 그러한 문제를 해결하기 위해 주성분 분석법을 적용하여 해결하고, 제안된 시스템이 가능한지 확인하기 위해 유사한 실험 환경을 구성하고, 얻어진 영상을 학습시켜 실제로 얻어진 영상에 대한 분류가 가능한지를 확인하였다.

#### 1. 서 론

지뢰는 인류가 창조한 대표적인 살상 무기로, 제1차 세계대전부터 지금까지 꾸준히 사용되었다.

더불어 지뢰를 탐지하는 방법 또한 다양하게 개발되었다. 현재 개발이 완료되어 실용화 된 지뢰탐지장치는 30여종으로 주로 Electromagnetic Technology를 이용한 금속지뢰탐지기류이다. 금속지뢰탐지기의 경우 비금속 지뢰를 탐지하지 못하는 까닭에 사용에 있어 큰 제약을 받고 있다. 최근 우리나라를 비롯한 미국, 캐나다, 독일, 영국 등 선진국의 지뢰탐지장치에 관한 연구개발 동향은 NQR(Nuclear Quadrupole Resonance, 핵4중극자공명), GPR(Ground Penetrating Radar, 지상 침투 레이더), Infrared Technology 등을 중심으로 개발이 진행중이다.

우리나라에서는 NQR을 이용한 탐지장치가 TNT 함유 지뢰와 같은 복잡한 공명구조를 갖는 지뢰에 대한

완전한 원리규명이 안 되었기 때문에 상용화의 경우 오작동에 따른 안정성 문제가 제기되어 GPR 및 금속지뢰탐지기술을 결합한 휴대용 지뢰탐지장치를 개발하고 있다[1].

GPR(Ground Penetrating Radar, 지상 침투 레이더)은 6 ~ 1800MHz의 전자파(Radio Wave)를 송신기에 의하여 지하(또는 인공의 구조물)로 방사시켜 서로 전기적 물성이 다른 지하매질(또는 인공의 구조물)의 경계면에서 반사되는 파를 수신기(Receiver)로 수집하여 기록한 뒤, PC에 의한 자료 처리와 해석 과정을 거쳐 지하(또는 인공의 구조물)의 구조와 상태를 규명하여 영상화하는 매우 간편한 첨단 비파괴 지층탐사(구조물 조사)법으로 현재 지뢰탐지 기술에 접목중이다.

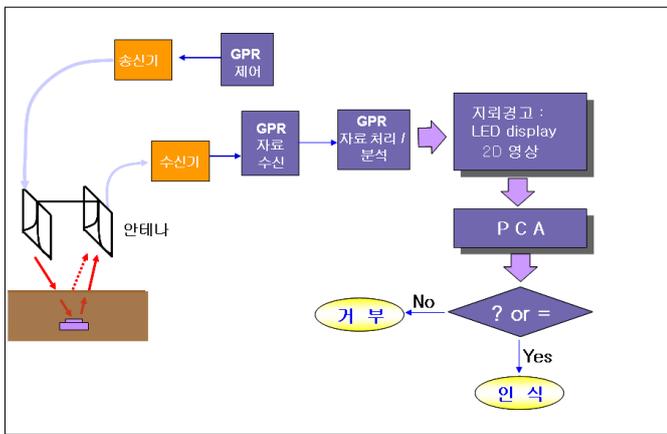
그러나, GPR을 이용한 지뢰탐지 방법은 금속 및 비금속 지뢰까지 탐지 가능하다는 장점을 가지고 있으나, 탐지된 영상을 육안으로 확인하기 때문에 판독이 장시간 소요된다는 단점이 있다[2].

본 논문에서는 그러한 육안판독 및 장시간 소요의 문제를 주성분 분석법으로 해결하고, 인식된 영상에 대한 구현이 가능한지에 대해 연구하였다. 이러한 시스템 구현을 위해 GPR에서 얻어지는 결과와 유사한 영상의 집합을 제작하고 얻어진 영상의 특징을 추출하여, 고유값을 설정한 뒤 실제 인식이 가능한지를 확인하였다.

## 2. 본 론

### 2-1. 제안한 시스템의 구조

본 논문에서 제안한 시스템의 전체적인 흐름도는 <그림 1>과 같으며, 이를 간략하게 살펴보면 GPR 지뢰탐지기에 의해 얻어진 영상을 주성분 분석법(PCA)을 통해 특징점을 추출한다. 이 성분값들이 각 영상의 대표값이 된다. 테스트 영상을 고유 지뢰 공간에 투사시켜, 나온 성분과 저장된 대표값과의 유클리디안 거리를 비교한다. 이 거리값 중에서 가장 작은 거리를 갖는 대표값에 해당하는 영상을 테스트 영상과 같은 영상으로 인식하게 되는 것이다.



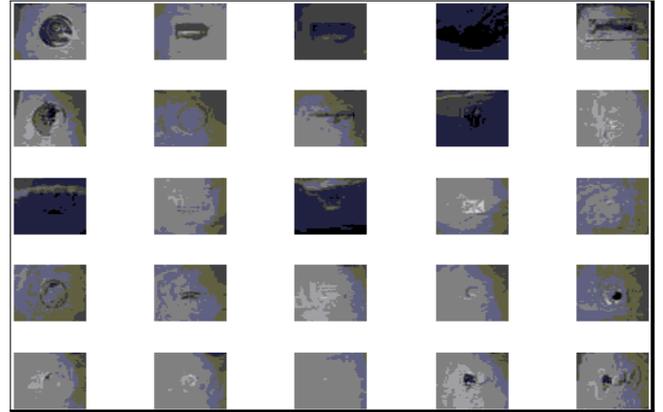
<그림 1> 지뢰인식 시스템의 전체 흐름도

### 2-2. 인식후보 지뢰 데이터베이스 구성

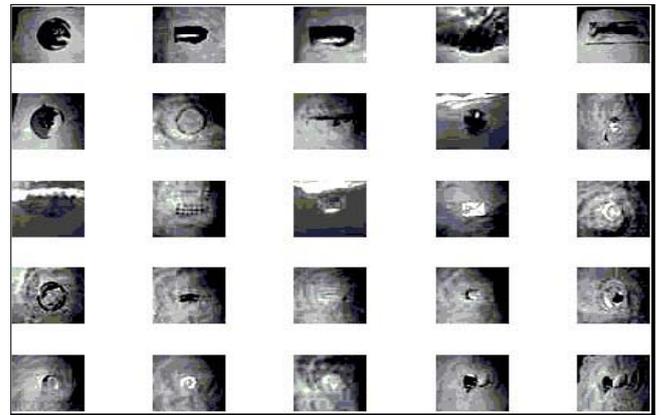
본 논문에서 주성분분석법[3]을 적용하기 위한 데이터베이스는 <그림 2>와 같이 구성하였다. 구성된 데이터베이스는 실제 GPR 탐지기에 의한 영상 획득이 제한되기 때문에 영상 촬영을 통해서 구성하고, 실물지뢰와 동일한 모형 지뢰, 이와 유사한 형태(shape)를 가지는 물건의 영상을 이용하여 데이터베이스를 구성하였다.

### 2-3. 이미지 정규화

주변 왜곡요인인 조명등에 대한 영향을 줄이기 위해 미리 설정된 평균(mean)과 분산(variance)을 기준으로 <그림 2>에서 구성한 데이터베이스를 <그림 3>과 같이 정규화 하였다.



<그림 2> 인식후보 데이터베이스



<그림 3> 정규화된 이미지

### 2-4. 평균영상 벡터( $\psi$ ) 계산

지뢰영상의 크기가  $N \times N$  이고, 인식후보 지뢰영상의 개수가  $M$ 개 일 때, 각 후보 지뢰영상을  $M$  개의  $N^2 \times 1$  행벡터로 인식후보 지뢰 데이터베이스 집합 ( $S = \Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_M$ ) 으로 부터 식 2.1과 같이 평균지뢰영상을 계산한다[4].

$$\psi = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M \Gamma_n \quad (2.1)$$

이렇게 얻어진 평균 이미지에 모든 학습 이미지를 투사시켜 각 학습 이미지의 특징을 나타내는 몇 개의

성분값을 저장한다. 이 성분값들이 각 지뢰 영상마다의 대표값이 된다.



<그림 4> 평균 이미지

### 2-5. 고유 이미지(eigen image) 계산

이미지 영상들이 입력되면, 입력된 이미지들을 주 성분 분석법을 통해서 각 이미지의 차이를 나타내는 고유 이미지를 구한다. 학습 이미지 영역간의 관계를 분석하기 위해서 식 2.2과 같이 공분산 행렬을 사용한다.

$$\begin{aligned} \Phi_i &= \Gamma_i - \Psi \\ C &= \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M \Phi_n \Phi_n^T \end{aligned} \quad (2.2)$$

이 단계의 결과,  $N^2 \times M$ 행렬이 되며, 공분산 행렬은  $N^2 \times N^2$ 의 고차행렬이 된다. 공분산 행렬(C)로부터 M개의  $N^2$ 의 고유값  $\lambda_i$ 와 이에 대응하는 고유벡터  $u_i$ 를 계산한다. 여기서, 고유값은 평균 지뢰 영상에 대한 분산의 정도를 나타내며, 고유값으로 부터 얻어진 고유벡터를  $N \times N$ 로 재배열하면 이미지의 모양과 닮아 보이므로 이를 고유이미지(eigen image)라고 한다. 이렇게 고유지뢰양상이 완성되면 지뢰인식을 위한 학습단계가 종결된다[5,6].

### 2-6. 지뢰 인식 단계

새로운 영상이 입력되면 벡터의 차원을 줄여 영상 정보의 대부분을 보존하는 N개의 벡터를 구한다. N개의 큰 고유벡터 값만을 사용하여 영상의 특징벡터를 구하는 것은 식(2.3)에 나타난다.

$$\omega_k = u_k^t (\Gamma - \Psi) \quad k = 1, 2, \dots, M' \quad (2.3)$$

$\omega_k$ 는 각각의 열에 직교한 기저벡터이며, 이렇게 얻어진 기저벡터를 이용하여 입력 영상을 표현하는 고유영상 성분 벡터( $\Omega$ )를 식(2.4)와 같이 구할 수 있다.

$$\Omega^T = [\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_{M'}] \quad (2.4)$$

이 값이 구해지면, 후보 영상들의 고유영상에서의 가중치와 유클리디안 거리를 비교하여 그 거리가 최소가 되는 영상이 가장 입력영상과 유사한 영상이 되므로 이 영상 후보를 인식 결과로 결정하는 것이다. 만약, 이때 오차를 일정 임계값보다 큰 경우에는 후보 영상에 없음을 나타내는 거절(rejection) 결과를 출력할 수도 있다.

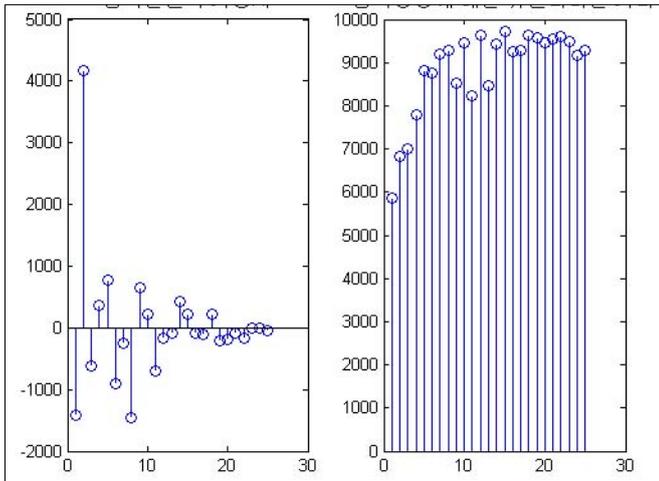
### 3. 실험결과

PCA에 의한 영상인식 단계로서 우선 학습 영상들의 공분산 처리에 의해 학습 영상 벡터 공간을 구해서, 저장한 다음, 학습 영상을 벡터 공간에 투영시켜 특징점을 추출하여 그 값을 저장한다. 인식과정에서는 테스트 영상이 입력되면 저장되어진 학습 영상에 대한 특징점들의 유클리디안 거리를 비교하여 최소의 거리가 되는 영상을 찾아 테스트 영상을 찾아 지뢰를 인식한다.

<그림 5>는 이 과정에서 나타나는 영상을 보여준다. <그림 5> (a)는 입력된 테스트 영상이고, <그림 5> (b)는 주성분 분석법에 의하여 찾은 유클리디안 거리 분포도이며, <그림 5> (c)는 인식된 결과 영상이다.



(a) 입력된 테스트 영상



(b) PCA 특징 성분



(c) 인식 결과 영상

<그림 5> PCA를 이용한 지뢰 인식 결과:(a)입력된 테스트영상 (b) PCA 특징 성분 (c) 인식 결과 영상

<그림 6>은 유클리디안 최소 거리에 일치하지 않는 경우들이다. 따라서, <그림 6> (c)와 같이 거부가 나타나며, 실제로 <그림 6> (a)영상은 학습시키지 않은 영상으로서 정상적인 거부가 발생하였다. 본 실험결과 25개의 인식 후보 데이터베이스를 이용해 학습된 영상 7개를 주성분 분석법을 통해 실험한 결과 90%이상의 인식률을 보였으며, 학습이 안된 영상을 이용하여 실험을 실시한 결과 80%이상 거부 반응을 보였으며, 일부 영상에 대해서는 오인식을 보였다.

#### 4. 결론

본 논문에서 제안한 알고리즘은 지상 침투 레이더 (GPR, Ground Penetrating Radar)에서 얻어지는 학습영상에 대해서 주성분 분석법을 이용한 지뢰 인식

방법을 제안하였다.



(a) 입력된 테스트 영상



(c) 인식 결과 영상

<그림 6> 제안한 알고리즘을 적용한 인식 결과(거부가 발생한 경우):(a) 입력된 테스트 영상 (b) 인식 결과 영상

학습 영상이 입력되면 공분산을 이용한 주성분 분석법을 통해서 특징점을 얻고, 벡터 공간에 투영시켜 특징점을 추출한 후, 학습 영상을 벡터 공간에 투영시켜 얻은 특징점과의 유클리디안 거리값을 비교하여 최소 거리가 나타나는 영상을 찾아 지뢰를 인식하게 된다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 입력되는 영상에서 지뢰를 인식하는 것이 목적이다. 이에 25개의 인식 후보 데이터 베이스를 구성하고, 이중 실제 지뢰의 모형 영상을 7개 포함시켜 주성분 분석법을 통해 실험한 결과 100%의 인식률을 보여 주었다. 그러나, 지뢰 주변 가까운 곳에 여러 가지 왜곡요인(자갈, 굽은모래 등)을 첨가 하였을 경우는 인식률이 떨어지는 것으로 확인되었다.

따라서, 향후 연구과제로는 지형, 조명 등의 왜곡요인을 제거함으로써 인식률을 높이는 것이며, 정지

영상에서만이 아닌 실시간 동영상에서도 지뢰 인식이 가능하게 하는 것이다.

## 5. 참고문헌

- [1] 조용섭, Development of an explosive detection system using a proton accelerator, 한국원자력연구소, 2002
- [2] Motoyuki Sato, "GPR Development for Landmine Detection", mullitamsa, 8(4), 2005
- [3] P. N. Belhumeur, J. P. Hespanha, "Eigenfaces vs. Fisherfaces : recognition using class specific Linear Projection", 1997,
- [4] 한학용, 패턴인식 개론, 한빛미디어, pp. 292~296, 2005
- [5] 김영심, "주성분 분석에 기반한 얼굴 인식", 서울시립대, 2000
- [6] 곽승준, "공분산 행렬을 이용한 얼굴 검출에 관한 연구", 울산대학교, 2001