

논문 2014-51-7-22

표적 적응형 윈도우 기법을 적용한 지뢰 탐지 시스템 (Landmine Detection System using a Target-adaptive Window Selection Method)

김민주*, 김성대**, 팽경현*, 함종현*, 한승훈***, 이승의***

(Min Ju Kim[Ⓞ], Seong-Dae Kim, Kyunghyun Paeng, Jong-Hun Hahm,
Seung-hoon Han, and Seung-Eui Lee)

요약

지뢰 탐지 시스템의 성능은 지뢰의 특징을 일관성 있게 추출하는 것에 달려 있다. 그러나 지뢰는 다양한 크기를 가지므로, 지뢰영역을 일관성 있게 표현하기 위한 적절한 윈도우의 크기를 선택하는 것이 중요하다. 기존의 시스템들은 고정된 크기의 윈도우로 특징을 추출하기 때문에, 일관성 있는 지뢰의 특징을 획득할 수 없다. 본 논문에서는 지뢰의 크기에 따라 윈도우를 선택하는 기법을 제안한다. 제안 기법은 시스템에서 획득된 응답신호를 통해 지뢰의 종류를 추정한 후, 이에 따른 윈도우 크기를 선택한다. 제안 기법의 성능을 검증하기 위하여 시뮬레이션 프로그램으로 다양한 토양과 지뢰에 대한 데이터를 생성하였다. 실험 결과 고정 크기의 윈도우를 이용한 시스템의 성능에 비해 제안한 기법을 이용한 시스템의 성능이 2% 높은 탐지율을 가지는 것을 확인하였다.

Abstract

The performance of a landmine detection system depends on consistent extractions of the features of landmines. Since landmines have diverse sizes, it is critical to select an appropriate window size to represent the landmine region consistently. Conventional detection systems are incapable of extracting consistent landmine features because they employ fixed window sizes. This paper proposes a window size selection method according to the size of a landmine. The proposed method selects an appropriate window size based on the type of a landmine estimated from the response signal of the system. Data on various types of soils and landmines were generated from a simulation program to evaluate the performance of the proposed method. The results verified that the proposed method, which employs an adaptive window size, yields a better landmine detection rate than the conventional methods, which employ fixed window sizes.

Keywords : Ground Penetrating Radar, Histogram of Oriented Gradients, Landmine Detection System

* 학생회원, ** 정회원, 한국과학기술원 전기 및 전자공학

학과
(Dept. of Electrical Engineering, KAIST)

*** 정회원, 삼성탈레스 주식회사
(Samsung Thales)

Ⓞ Corresponding Author(E-mail: gagaland@kaist.ac.kr)

※ 본 논문에 포함된 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원과 삼성탈레스 관리하에 핵심기술 연구 개발 사업중에서 산학협력의 일환으로 수행되었음
(과제번호 UC120055ID & STC-C-13-021).

접수일자: 2014년05월09일, 수정일자: 2014년06월16일
수정완료: 2014년06월30일

I. 서론

지뢰 탐지 시스템 개발은 병력과 물자의 이동 경로 및 병력 주둔을 위한 공간을 확보하고, 아군의 병력 손실을 줄이기 위하여 필수적이다. 또한, 과거 전쟁 중에 매설되어 폭발사고의 원인이 되는 지뢰를 제거하기 위하여 지뢰 탐지 시스템 개발이 필요하다.

지뢰 탐지 시스템에서는 지뢰 신호를 획득하기 위해, 지면 투과 레이더(Ground Penetrating Radar) 또는 전

자기 유도(Electromagnetic Induction) 센서를 이용한다. 전자기 유도 센서는 금속 재질의 지뢰만 탐지할 수 있는 반면, 지면 투과 레이더는 매질의 비유전율(Relative Permittivity)을 이용하여 신호를 획득하기 때문에, 다양한 재질의 지뢰 탐지가 가능하다. 하지만 지뢰뿐만 아니라 지뢰이외의 클러터(Clutter)에서도 신호가 획득된다는 단점이 있다. 클러터와 지뢰를 구분하기 위해서는, 지뢰에서 공통적으로 발생하는 특징을 일관성 있게 추출하는 것이 중요하다. 이를 위해 Edge Histogram Descriptor(EHD)^[2]과 Spectral Characteristic Frequency(SCF)^[3] 등의 특징 추출 기법들이 제안되었다. 최근에는 더욱 일관성 있는 지뢰의 특징을 추출하기 위해, 잡음에 강인한 Histogram of Oriented Gradients(HOG)^[5]를 이용한 시스템이 제안되었다^[4]. [4]에서는 특징을 추출할 때 지뢰 영역에서 공통적으로 그림 1의 (a)와 같은 형태가 나타나는 점을 활용하였다. 그러나 [4]에서와 같이 고정 크기의 윈도우를 사용할 경우, 그림 1의 (b), (c)와 같이 포물선의 형태를 효과적으로 표현할 수 없는 문제가 발생한다. 이로 인해 다양한 크기의 지뢰에서 추출된 특징 사이의 일관성이 떨어지게 된다. 따라서 특징을 추출할 때, 지뢰의 크기에 맞는 윈도우를 사용하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 인접 지점 간 지뢰 신호의 상관도를 통해 지뢰의 종류를 한 후, 이에 따른 윈도우의 크기를 선택하는 기법을 제안한다. 제안된 기법을 통해 지뢰의 종류에 관계없이 일관성 있는 특징 추출이 가능하며, 이는 지뢰 탐지 시스템의 성능을 향상시킨다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 지면 투과 레이더의 원리에 대하여 설명한다. III장에서는 본 논문에서 이용하는 지뢰 탐지 시스템과 제안된 기법에 대하여 설명한다. IV 장에서는 데이터 생성 및 제안된

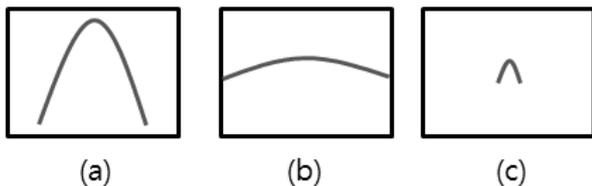


그림 1. (a) 포물선 크기에 맞는 윈도우 (b) 포물선에 비해 작은 윈도우 (c) 포물선에 비해 큰 윈도우
 Fig. 1. (a) Suitable window size for hyperbolic signal (b) Small window size for hyperbolic signal (c) Large window for hyperbolic signal.

기법과 기존 기법 간의 성능을 비교 분석하고, V장에서 결론을 맺고 향후 과제에 대해 논의한다.

II. 지면 투과 레이더

본 장에서는 지면 투과 레이더의 원리 및 획득된 데이터의 구조와 지뢰 영역에서 나타나는 특성에 대해서 설명한다.

지면 투과 레이더는 송신 안테나(Transmitter)와 수신 안테나(Receiver)로 이루어져 있다. 송신 안테나에서 방사된 전자기파는 매질의 비유전율 차이로 인해 반사되거나 산란되며, 이는 수신 안테나에서 획득된다. 지뢰 탐지 시스템은 여러 쌍의 레이더로 구성되어 있으며, 일렬로 배열된 레이더에서 신호를 획득한다.

지뢰 탐지 시스템에서 획득된 데이터의 구조는 그림 2의 (a)와 같다. Y축은 시스템의 이동 방향, X축은 레이더가 배열된 방향 그리고 Z축은 지면 아래의 깊이를 의미한다. 하나의 송신 안테나, 즉, (x',y')에서 방사된 전자기파를 수신 안테나에서 측정하면, 깊이에 따라 반사된 신호의 세기를 나타내는 1차원 신호(A-scan)를 획득할 수 있다. 각각의 레이더들에서의 1차원 신호들을 나열하면, 레이더 개수만큼의 너비를 가지는 2차원 신호(B-scan)가 된다. 최종적으로 시스템을 이동시키면서 3차원 신호(C-scan)를 획득한다.

지뢰 영역에서의 2차원 신호는 그림 2의 (b)와 같이 포물선 형태를 나타낸다. 이는 레이더가 일차원으로 배열되어 있기 때문이다. 그림 3에서 cross-track축(레이더들이 배열되어 있는 방향)을 따라 위치한 등근 점들이 송수신 안테나이고 직사각형이 지뢰라고 하자. 지뢰

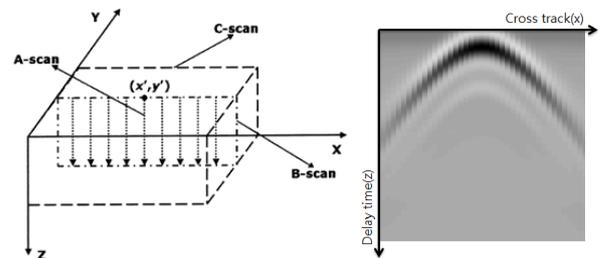


그림 2. (a) 지뢰 탐지 시스템에서 획득하는 데이터의 구조 (b) 포물선 신호의 예
 Fig. 2. (a) Data structure acquired by landmine detection system (b) Example of a parabolic signal.

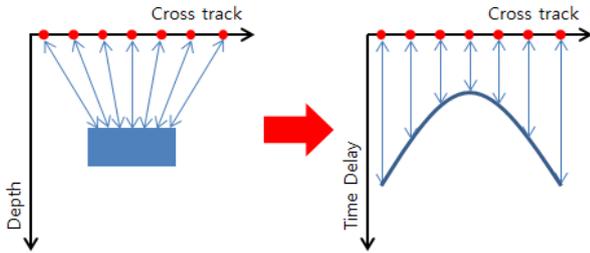


그림 3. 지뢰 영역에서 획득된 데이터의 특성[7]
Fig. 3. Characteristic of data acquired at landmine region.

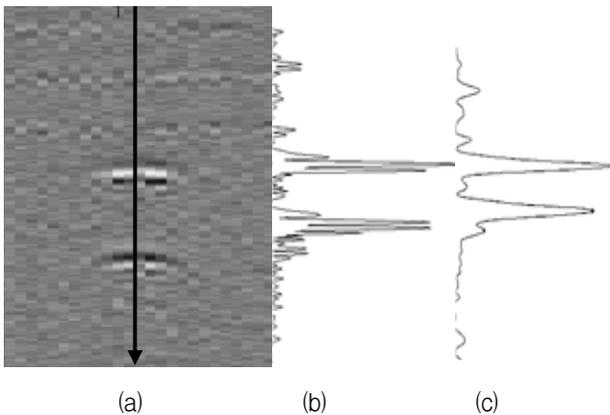


그림 4. (a) B-scan 영상과 지뢰 위치, (b) 지뢰 위치에서의 에너지 신호, (c) (b)의 가우시안 필터링 신호
Fig. 4. (a) B-scan image and landmine location, (b) A-scan from the landmine location, (c) Gaussian filtering from (b).

에서 거리가 먼 레이더일수록 송신안테나에서 나온 전자파가 반사되어 수신 안테나로 들어가기까지의 시간이 오래 걸린다. 따라서 지뢰와 멀리 떨어져 있는 레이더에서는 지뢰에서 반사된 신호가 더 늦게 측정 된다. 이것을 측정위치-지연시간으로 표현하면, 지뢰에서 거리가 가장 가까운 레이더를 중심으로 포물선을 형성함을 알 수 있다.

III. 제안 기법

본 장에서는 HOG 기술자에 대해 설명하고, 이를 이용한 지뢰탐지 시스템의 흐름도와 제안 기법인 적응적 윈도우 선택 기법에 대해 설명한다.

1. HOG 기술자를 이용한 지뢰 탐지 시스템

HOG 기술자^[5]는 2005년 보행자 인식문제에서 제안된 방법으로, 영상의 특정 부분에서 윤곽선의 각도와

세기의 분포를 나타내는 기술자이다. 광원의 변화나 색상 차이에도 강인한 윤곽선 정보를 사용함으로써 영상 분류 또는 인식에 좋은 성능을 나타낸다. HOG 기술자를 추출하기 위해서는 해당 영상에 x, y 방향 기울기 필터인 $h_x = [-1, 0, 1], h_y = [-1, 0, 1]^T$ 를 컨벌루션(convolution)하여 기울기 영상(gradient image)인 g_x, g_y 를 생성한다.

기울기 영상을 이용하여 각 픽셀의 에지 각도와 세기를 저장하는 크기 영상(magnitude image, G)과 각도 영상(angle image, θ)을 식 (1), (2)와 같이 구한다.

$$G(i, j) = \sqrt{g_x(i, j)^2 + g_y(i, j)^2} \quad (1)$$

$$\theta(i, j) = \tan^{-1} \left(\frac{g_y(i, j)}{g_x(i, j)} \right) \quad (2)$$

두 영상을 생성한 후, HOG 기술자를 구성하는데 쓰일 bin의 개수를 결정한다. 경사각은 0° 부터 180° 로 나타내며, 180° 가 넘어가는 각은 180° 를 뺀 각으로 이용한다. 본 논문에서는 총 9개의 bin을 사용하였다. 각도 영상에서 각 bin이 표현하는 각도의 범위에 해당하는 픽셀들의 위치를 찾은 후, 해당 위치에서의 크기(magnitude)를 해당하는 bin에 가중치(weight)로 더한다. 이와 같은 과정을 거치면 최종적으로 bin의 개수만큼 2차원 영상이 생성되어 3차원 특징 행렬이 생성된다.

각 bin에 해당하는 문턱치 집합(Φ)은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi_k = \frac{180k}{n_\theta}, k = 0, \dots, n_\theta \quad (3)$$

n_θ 는 bin의 개수를 의미하고, ϕ 는 문턱치(thresholding) 집합을 의미한다. 이를 이용하여 3차원 특징 행렬은 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$V(i, j, k) = G(i, j) \delta(\phi_{k-1} < \theta(i, j) \leq \phi_k), k = 1, \dots, n_\theta \quad (4)$$

$\delta(x)$ 는 x 가 true일 때 1의 값을 갖고, false일 때 0을 반환하는 함수이다.

식 (4)를 구하는 과정은 영상에서 HOG를 적용하고자 하는 부분인 cell에서 수행된다. Cell을 c 로 나타내면, 특징 벡터는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_1(c, k) = \sum_{(i, j) \in c} V(i, j, k) \quad (5)$$

지면 투과 레이더의 전자기파는 땅 속으로 진행하면서 세기가 지수 함수적으로 감쇠하는 특성을 갖고 있다. 이러한 특성에 대해 강인한 성능을 내기 위하여 식 (5)에서 구한 특징 벡터를 정규화(normalization)하여 나타낸 식은 다음과 같다.

$$H(c,k) = \frac{H_1(c,k)}{\sum_{c_i \in \mathcal{N}(c)} \sqrt{\|H_1(c_i)\|_2^2 + \epsilon^2}} \quad (6)$$

식 (6)에서 $H_1(c)$ 는 $[H_1(c,1), H_1(c,2), \dots, H_1(c, n_\theta)]^T$ 를 나타낸다. 최종적으로 하나의 영역에서 추출된 HOG 기술자 벡터의 차원은 bin 개수가 된다.

Peter A. Torrione가 제안한 HOG를 이용한 지뢰 탐지 시스템^[4]은 지뢰인지 아닌지 확인해야 할 위치(탐지 좌표)에서의 2차원 신호를 활용하여 특징을 추출하고, 탐지 좌표에서 지뢰의 존재유무를 판단한다. 이 과정은 세 단계로 구성된다. 첫째, 전처리 단계에서는 탐지 좌표에서의 후보 영역을 검출하기 위하여 A-scan을 에너지 신호로 변환한다. 에너지 신호에 가우시안 필터링(Gaussian filtering)을 수행하여 신호의 잡음을 제거한다. 전처리 단계의 최종 결과로 그림 4의 (c)와 같은 신호를 얻는다. 둘째, 특징 추출 단계에서는 전처리를 거친 신호에서 피크(peak)가 나타나는 지점들을 지뢰인지 아닌지 판단해야 할 후보로 정한다. 이러한 지점들을 중심으로 영역의 특징 추출을 위해, B-scan상에서 윈도우를 설정한다. 설정된 영역을 정사각형 cell로 나눈 뒤, 각 cell안에서 HOG 기술자를 추출한다. 추출된 기술자는 정규화 된 후, 특징 벡터로 사용된다. 따라서 cell 개수 x bin 개수의 길이를 가지는 특징 벡터가 생성된다. 최종 분류 단계에서는 분류기를 통하여 추출된 특징 벡터가 지뢰인지 아닌지를 판별한다.

그림 5는 제안하는 시스템의 흐름도이다. 기존 시스



그림 5. [4]에서 제안한 시스템 및 제안하는 지뢰탐지 시스템 흐름도

Fig 5. System flow of proposed landmine detection system.

템이 전처리 단계를 거쳐 고정 크기의 윈도우로 특징을 추출하는 반면, 제안하는 시스템은 윈도우의 크기를 신호에 따라 적응적으로 선택한다. 이를 위해 2단계의 처리 과정이 추가된다. 먼저, 전처리를 마친 B-scan 영상에서 탐지 좌표와 탐지 좌표 주위의 신호를 고려하여 지뢰 종류를 추정한다. 그 후, 추정된 지뢰의 종류에 따라 윈도우 크기를 결정하고, 특징 추출 단계에 적용한다. 제안된 시스템은 특징 추출을 위한 윈도우 크기를 지뢰의 신호에 따라 가변적으로 사용하기 때문에, 다양한 크기의 지뢰에 대해서도 일관성 있는 특징을 추출할 수 있다.

2. 적응적 윈도우

지뢰는 크게 대인 지뢰(AP mine)와 대전차 지뢰(AT mine)로 나뉘고 이 두 지뢰는 크기가 다르다. 따라서 지뢰의 크기에 따라 그림 6과 같이 고정 크기의 윈도우를 사용할 경우, 특징을 추출할 영역 안의 포물선의 크기가 달라진다. [4]에서는 가장 큰 지뢰신호(대전차 지뢰)를 기준으로 윈도우 사이즈를 설정하였다. 따라서 지뢰신호가 작을 때(대인 지뢰), HOG 기술자가 지뢰의 포물선 형태를 정확히 표현할 수 없는 문제가 생긴다. 그림 7은 그림 6에 나타난 대전차 지뢰와 대인 지뢰의 HOG 기술자를 그림으로 표현한 것이다. 특징 추출할

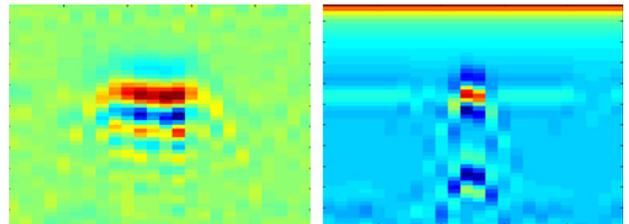


그림 6. 고정 크기 윈도우에서의 대전차 지뢰(좌)와 대인지뢰(우)의 GPR 신호

Fig. 6. GPR signal of AT mine(left) and AP mine(right) in fixed size window

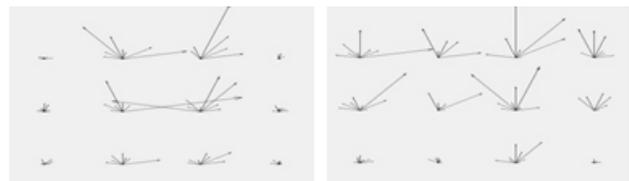


그림 7. 대전차 지뢰(좌)와 대인지뢰(우)의 HOG 기술자

Fig. 7. HOG descriptor of AT mine(left) and AP mine(right).

영역을 3x4 배열의 cell로 나누어 각 cell의 HOG 기술자를 나타내었다. 화살표의 길이는 magnitude, 화살표의 방향은 bin을 의미한다. 그림 7과 같이, 대전차 지뢰의 HOG 기술자는 좌우 대칭이며, 에지의 각이나 분포가 포물선을 나타내는 반면, 대인지뢰의 HOG 기술자는 그렇지 않다. 따라서 지뢰의 종류에 따라 윈도우의 크기를 다르게 설정해주어야 하며, 이를 위해서는 우선 탐지좌표가 대전차 지뢰의 후보 영역인지, 대인지뢰의 후보 영역인지를 추정해야 한다.

지뢰 종류 추정을 위해, 지뢰에서 나타나는 포물선 형태의 곡률을 활용한다. 즉, 대전차 지뢰의 신호는 곡률이 작은 포물선 형태이므로, 여러 픽셀에 걸쳐 포물선의 특징이 나타난다. 반면, 대인 지뢰의 신호는 곡률이 크므로 비교적 좁은 영역에서 특징이 나타난다. 따라서 탐지 좌표와 주변 좌표들의 A-scan 유사도를 통해 지뢰의 종류를 추정할 수 있다. 제안방법은 실시간 탐지를 위한 시스템이므로 시스템 속도를 위하여 많은 데이터를 사용하지 않고 탐지좌표의 좌우 두 지점을 이용하여 지뢰 종류를 추정한다. 그림 8은 윈도우의 가운데 지점(탐지 좌표)과 그 지점 좌우로 2 픽셀씩 떨어진 지점의 3개 A-scan 신호를 나타낸 것이다. 그림을 보면 대전차 지뢰의 A-scan 신호는 서로 진행이 유사한 반면, 대인지뢰의 A-scan 신호에서는 유사성을 찾을 수 없는 것을 알 수 있다. A-scan신호간의 관련 정도를 수치적으로 구하기 위하여 피어슨 상관 계수를 이용하였다. 첫 번째 A-scan 신호를 s_1 이라 하면 A-scan 신호가 이산신호이기 때문에 식 (7)과 같이 쓸 수 있다.

$$S_1 = [s_{11}, s_{12}, \dots, s_{1n}] \quad (7)$$

이 때, 첫 번째 A-scan과 두 번째 A-scan의 상관도인 r_{12} 는 식 (8)로 계산된다.

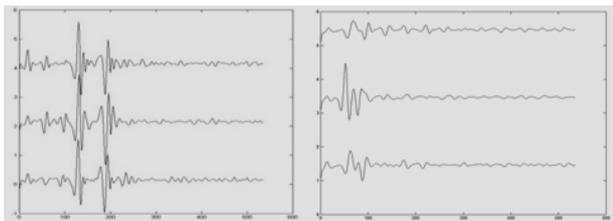


그림 8. 대전차 지뢰(좌)와 대인지뢰(우)영역의 A-scan
Fig. 8. A-scan signals of AT mine(left) and AP mine(right).

$$r_{12} = \frac{\sum_{i=1}^n (s_{1i} - \bar{s}_1)(s_{2i} - \bar{s}_2)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (s_{1i} - \bar{s}_1)^2 \sum_{i=1}^n (s_{2i} - \bar{s}_2)^2}} \quad (8)$$

위 식에서 \bar{s}_i 는 i 번째 A-scan의 평균을 나타낸다. 상관도가 높은 값일수록 두 신호가 비슷한 신호라고 말할 수 있다. 대전차 지뢰가 넓은 영역에 걸쳐 있기 때문에 대전차 지뢰가 있는 영역에서는 상관도가 높게 나타나고, 대인 지뢰는 좁은 영역에 있기 때문에 상관도가 작게 나타난다. 탐지 좌표에 대한 최종 상관도는 좌우로 떨어진 지점과 중심에서 구한 상관도들의 평균으로 구한다. 탐지 좌표의 상관도가 일정 값 이상이면 대전차 지뢰 후보 영역, 일정 값 이하이면 대인 지뢰 후보 영역으로 분류한다. 그 후, 추정된 지뢰 종류에 따라 다른 크기의 윈도우를 사용하여 특징을 추출하였다.

IV. 실험 결과

1. 데이터 생성

지뢰인지 아닌지를 최종적으로 판별하기 위해서는 분류기 학습을 위한 충분한 데이터를 필요로 한다. 하지만 지뢰 탐지 레이더로 획득된 데이터는 대다수가 공개되어 있지 않다. 따라서 분류기 학습을 위한 충분한 데이터를 얻기 위해, 지뢰 탐지 레이더 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 데이터를 생성하였다. 이를 활용하여 지뢰 탐지 레이더로 획득되는 데이터를 가상으로 모델링할 수 있다.

시뮬레이션을 위해서는 토양, 실험에 사용될 지뢰, 안테나의 사양 등을 필요로 한다. 먼저, 데이터 생성을 위해 사용한 지뢰는 현재 쓰이고 있거나, 과거 전시에 사용되어 묻혀 있을 것이라 추정되는 지뢰를 사용하였다

표 1. 실험에서 사용한 지뢰 종류

Table 1. A kind of landmines used in the experiment.

이름	크기	종류
KM760	지름 101, 높이 135	AP
KM16	지름 101, 높이 200	AP
TM46	지름 302, 높이 85.8	AT
KM15	지름 334, 높이 124	AT
TMD-B	가로 320, 높이 140	AT
KM19	가로 335, 높이 95	AT

[9]. 사용된 지뢰는 표 1과 같다. 제안한 기법의 우수성을 보이기 위해, 다양한 크기의 지뢰를 사용하였고, 이는 2가지 종류의 대인 지뢰와 4가지 종류의 대전차 지뢰로 구성된다. 또한 시뮬레이션에 사용된 토양을 모델링하기 위해서는 토양의 비유전율을 알아야 한다. 토양의 구성 성분이나 수분 함유량에 따라 비유전율은 변하게 되는데, 기본적으로 토양은 3.5~6의 비유전율을 가진다.^[10~11] 토양의 비유전율을 하나의 값으로 모델링하면 매우 균일한 지뢰 탐지 레이더 신호가 얻어진다. 하지만 실제 토양에서는 비유전율이 불연속적인 지점이 존재하므로, 실험에서는 0.05(m)x0.05(m)의 영역마다 임의의 비유전율을 설정하여 토양을 모델링 하였다. 이와 같이 모델링 하여 얻어진 결과는 이상적인 영상이므로, 실제와 비슷한 환경을 만들기 위하여 다양한 분산을 가진 Gaussian white noise를 더해 데이터를 생성하였다. 이 때, 원 신호와 더해준 노이즈신호의 제곱의 합을 이용하여 구한 SNR의 범위는 약 18에서 32dB 정도이다.

2. 실험 결과

지뢰 탐지 시스템을 구축하기 위해, 분류기를 학습시켜야 한다. 이를 위해 지뢰 영역에서의 신호와 지뢰가 아닌 영역에서의 신호를 필요로 한다. 본 논문에서는 분류기 학습을 위해, 지뢰영역과 아닌 영역에 대해 각각 약 400여개의 데이터를 추출하였다. 추출된 영역에서 특징 벡터를 추출하여 분류기를 학습시켰으며, 분류기 학습을 위해서는 Support Vector Machine(SVM) 알고리즘^[8]을 사용하였다. 제안된 시스템은 적응적으로 윈도우 크기를 선택하기 위해 먼저 지뢰 종류를 판단한 후, 지뢰 영역인지 아닌지를 최종적으로 판단한다. 따라서 실험에서는 지뢰 종류 판별 성능과 최종적인 시스템

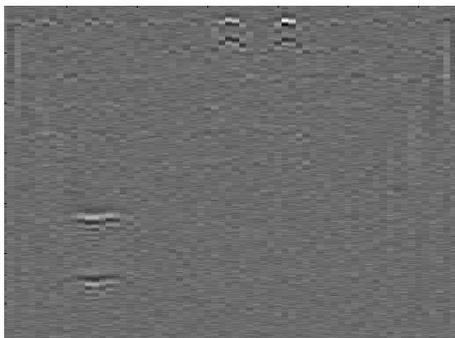


그림 9. 시뮬레이션 프로그램으로 생성된 데이터의 예
Fig. 9. An example of data.

의 성능을 평가하였다.

먼저, 대전차 지뢰와 대인 지뢰 영역에서 추출된 데이터들이 제안된 기법에 의해 어떤 지뢰로 분류되는지 실험하였다. 실험 결과, 그림 10과 같이 대인 지뢰 데이터는 모두 대인지뢰로 분류되었고, 대전차 지뢰 데이터는 약 80%가 대전차지뢰로 분류되었다. 그리고 지뢰가 아닌 배경영역에서 추출된 데이터 중, 약 90%는 대인지뢰, 10%는 대전차 지뢰로 분류되는 것을 볼 수 있었다. 이는 데이터에 추가한 노이즈 신호간의 상관도가 이론적으로 0이기 때문에 나온 결과이다.

지뢰 종류에 따른 최적의 윈도우의 크기를 결정하기 위해, 다양한 윈도우의 크기에 대해 탐지율을 측정하였다. 윈도우의 크기는 12픽셀에서 24픽셀까지 너비를 변화시켰다. 본 논문에서 제안된 시스템의 윈도우는 3x4 배열의 cell로 구성되어 있다. 예를 들어, 3픽셀의 cell 너비를 가지게 되면 관심 영역 윈도우의 전체 크기는 9x12(픽셀)가 된다. 제안된 기법의 우수성을 보이기 위해, 고정 윈도우를 이용한 시스템의 성능 또한 평가하였다. 이를 위해, 대전차와 대인지뢰에 대하여 3,4,5,6 픽셀의 cell 너비로 적절한 윈도우의 크기를 찾았다.

그림 11은 기존의 고정 윈도우 기법과 제안된 기법에서 시스템의 탐지율을 나타낸다. 고정 윈도우를 사용하였을 때의 최고 성능은 86.94%로 크기 6의 윈도우를 선택하였을 때 도출되었다. 이것은 크기 6의 윈도우를 선택하였을 때, 가장 큰 지뢰의 포물선 신호까지 포함할 수 있기 때문이다. 적응적 윈도우를 이용할 때에는 대전차 지뢰 윈도우 cell의 너비가 5픽셀, 대인 지뢰

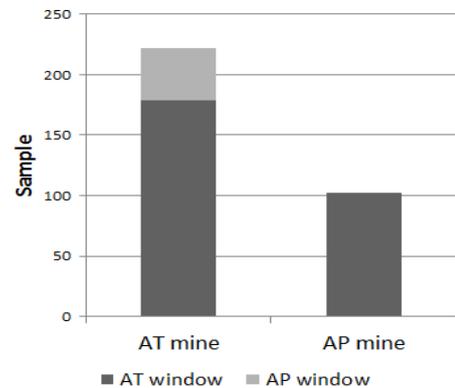


그림 10. 대전차 지뢰 데이터와 대인지뢰 데이터의 윈도우 분류

Fig. 10. Window size selection of AP mine data and AT mine data.

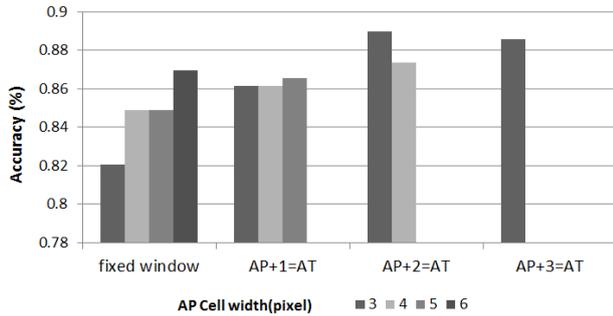


그림 11. 관심영역(cell)의 크기변화에 따른 정확도 변화
Fig. 11. Accuracy with varying window(cell) size.

윈도우 cell의 너비가 3픽셀일 때 88.98%로 고정된 윈도우 시스템의 최고 성능보다 약 2%가량 높은 정확도를 보였다.

V. 결 론

본 논문에서는 지뢰 탐지 시스템 성능 향상을 위한 적응적 윈도우 선택 기법을 제안하였다. 이를 위해, 먼저 지뢰의 종류를 추정하는 기법을 제안하였고, 종류에 따른 최적의 윈도우 크기를 실험적으로 결정하였다. 그 결과, 탐지 영역에서 일관성 있는 지뢰의 특징을 추출할 수 있었으며, 고정 크기의 윈도우를 이용하는 기존의 시스템에 비해 좋은 성능을 나타냄을 확인하였다. 또한 실험을 위해, 실제 사용되는 지뢰 및 토양의 환경을 고려하여 데이터를 생성하였다. 향후 과제로 정확한 지뢰 후보 영역을 탐지하는 것이 필요하며, 탐지된 후보 영역에 대해 전체적 포물선 형태를 탐지하여 관심 윈도우 크기 설정을 좀 더 적응적으로 하는 것이 필요하다.

REFERENCES

[1] P. Gader, M. Mystkowski, and Y. Zhao, "Landmine detection with ground penetrating radar using hidden markov models," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 39, pp. 1231 - 1244, 2001.

[2] H. Frigui and P. Gader, "Detection and discrimination of land mines in ground-penetrating radar based on edge histogram descriptors and a possibilistic k-nearest neighbor classifier," *Fuzzy Systems, IEEE Trans. on*, vol. 17, pp. 185-199, 2001.

[3] K. C. Ho, P. D. Gader, J. N. Wilson and T. Glenn, "Landmine detection using frequency domain features from GPR measurements and their fusion with time domain features," *Proc. SPIE Conf. Detection and Remediation Technologies for Mines and Mine like Targets*, 2005.

[4] Peter A. Torrione, Kenneth D. Morton, Jr, Rayn Sakaguchi, Leslie M. Collins, "Histograms of Oriented Gradients for Landmine Detection in Ground-Penetrating Radar Data", *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Trans. on*. Vol. 52, No.3 pp1539-1550. 2013.

[5] N. Dalal, B. Triggs, "Histogram of oriented gradient for human detection.", *CVPR* 2005.

[6] Haejung Kong, Seong Dae Kim, Minju Kim, Seung Hoon Han, "A Preprocessing Method for Ground-Penetrating-Radar based Land-mine Detection System", *Journal of The Institute of Electronics Engineering of Korea*, Vol. 50, No. 4, pp. 931-941, April, 2013.

[7] David J. Daniels, *Ground Penetrating Radar*, The Institution of Engineering and Technology, 726pages, 2004.

[8] C. C. Chang, C. J. Lin, "*LIBSVM: A Library for Support Vector Machines*", Technical report, Department of Computer Science, National Taiwan University, pp.1-39, 2001.

[9] 고려화공, <http://kpyro.com/>

[10] Jackie E. Hipp, "Soil Electromagnetic Parameters as Functions of Frequency, Soil Density, and Soil Moisture", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 62, No.1, pp.98-103

[11] Waymond R. Scott. Jr, Glenn S. Smith, "Measured Electrical Constitutive Parameters of Soil as Functions of Frequency and Moisture Content" *Geoscience and Remote Sensing IEEE Trans. On*. Vol. 30, No.3. 1992.

— 저 자 소 개 —



김민주(학생회원)
 2012년 한국과학기술원
 전기및전자공학과
 학사 졸업.
 2014년 한국과학기술원
 전기및전자공학과
 석사 졸업.

<주관심분야 : 패턴인식, 기계학습, 컴퓨터비전>



김성대(정회원)-교신저자
 1977년 서울대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1979년 한국과학기술원
 전기및전자공학과
 석사 졸업.
 1983년 프랑스 ENSEEIHT
 전자공학과 박사졸업

2011년 대한전자공학회 회장
 2012년~현재 한국공학 한림원 회원
 1984년~현재 한국과학기술원
 전기및전자공학과 교수

<주관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전>



팽경현(학생회원)
 2011년 한국과학기술원
 전기및전자공학과
 학사 졸업.
 2011년~현재 한국과학기술원
 전기및전자공학과
 석박통합과정.

<주관심분야 : 컴퓨터 비전, 기계학습>



함종현(학생회원)
 2013년 한국과학기술원
 전기및전자공학과
 학사 졸업.

<주관심분야 : 패턴인식, 기계학습, 컴퓨터비전>



한승훈(정회원)
 1999년 경희대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2001년 경희대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 2001년~현재 삼성탈레스(주)
 연구원

<주관심분야 : 투과레이더 신호처리>



이승연(정회원)
 2006년 고려대학교
 전파통신공학과
 학사 졸업
 2009년 한국과학기술원
 전기및전자공학과
 석사 졸업

2009년~현재 삼성탈레스(주) 선임연구원
 <주관심분야 : 패턴인식, 기계학습, 신호처리>