

Confirmation Method of Target Detection for Vehicle Mounted Metal Detector

Byung-Min Jung*, Beom-Su Shin**, YuShin Chang***, DongWon Yang****

Abstract

In this paper, the confirmation method of target detection for the vehicle mounted metal detector (MD) has been described. The vehicle mounted MD with the arrayed 6 coils to detect the width of 2.4 m was demonstrated. It is important and necessary to inform the location of the objects detected by the MD. The confirmation method of target detection was verified by using the MD GUI and the analysis of the receive signal processing. The receive signal processing is performed by comparing the threshold and the difference of the signal calibrated at initial location and the signal detected at present location.

▶ Keyword : Vehicle Mounted Mine Detector, Confirmation Method of Target Detection, Received Signal Processing

I. Introduction

자기장을 이용하여 금속의 유무를 판단하는 금속탐지기는 휴대용 및 차량용 등 용도에 따라 구분되고 탐지 방식에 따라 구분되기도 한다. 일반적으로 크기가 작고 매설 깊이가 작은 금속 대인 지뢰는 휴대용 금속탐지기를 이용하여 탐지하고 크기가 크고 깊이 매설되어 있는 금속 대전차 지뢰는 차량용 금속탐지기를 이용하여 탐지한다. 휴대용 금속탐지기는 탐지 깊이, 탐지 범위 및 탐지 속도 등의 제한이 있기 때문에 본 연구팀은 핵심기술 연구개발 과제를 통하여 깊은 탐지심도와 넓은 탐지 영역을 고속으로 탐지할 수 있는 차량용 금속탐지장치를 개발하였다. 차량용 금속탐지장치는 핵심기술 연구개발 과제로 수행한 초광대역/중성자 복합센서 기반 지뢰탐지 시스템 (LDS ; Landmine Detecting System)의 금속탐지 센서이다.

본 논문에서는 연구개발을 통해 구현한 차량용 금속탐지장치의 표적 탐지 확인 방법에 대하여 논하였다. 표적이 없는 위치에서의 기준 수신 신호와 현재 위치에서의 수신 신호를 측정

하고 기준 수신 신호와 현재 수신 신호의 차이 값이 문턱 값 (threshold) 이상인 경우는 탐지, 이하인 경우는 미탐지가 되는 수신 신호처리 방법을 이용하였다. II장에서는 금속탐지기의 원리 및 6배열 탐지코일로 구성된 차량용 금속탐지기에 대하여 기술한다. III장에서는 전자제어 3축 스캐너가 구비된 지뢰탐지 실내시험장에서의 지뢰탐지 시험 결과를 이용하여 표적의 탐지 확인 방법에 대하여 나타낸다. 마지막으로 IV장에서는 결론을 맺는다.

II. Vehicle Mounted Metal Detector

펄스 유도 (Pulse Induction ; PI) 방식의 금속탐지기는 모노 코일을 이용하여 자기장의 송수신을 수행하고 시간적으로 송신과 수신을 구분하여 금속 표적을 탐지하는 원리를 이용한다

• First Author: Byung-Min Jung, Corresponding Author: Byung-Min Jung

*Byung-Min Jung(byungmin75.jung@hanwha.com), SW Team(Radar), HanWha Systems

**Beom-Su Shin(beomsu.shin@hanwha.com), SW Team(Radar), HanWha Systems

***YuShin Chang(yushin.chang@hanwha.com), Mechatronics Team, HanWha Systems

****DongWon Yang(dwYang@add.re.kr), Unmanned Technology Directorate, Agency for Defense Development

• Received: 2016. 07. 26, Revised: 2016. 08. 23, Accepted: 2016. 10. 25.

• This work was supported by the Defence Acquisition Program Administration (DAPA) Grant under contract number UC120055ID.

[1-4]. 코일에 전류가 흐르도록 하여 코일 자기장을 유도하고 이렇게 유도된 자기장은 금속 표적 표면에 전류를 발생시키고 금속 표적 표면에 흐르는 전류는 다시 자기장을 유도하고 코일을 이용하여 금속으로부터 유도된 표적 자기장을 탐지하는 원리를 이용한다.

[금속표적 탐지 순서]

1. 탐지코일에 일정양의 전류 인가
2. 탐지코일에 흐르는 전류에 의해 코일 자기장 발생
3. 코일 자기장에 의해 금속 표적 표면에 표적 전류 생성
4. 금속 표적 표면에 흐르는 표적 전류에 의해 표적 자기장 발생
5. 표적 자기장에 의해 탐지코일에 수신 전압 생성
6. 수신 코일에 생성된 수신 전압의 신호처리를 통해 금속속도 유무 및 특성 탐지

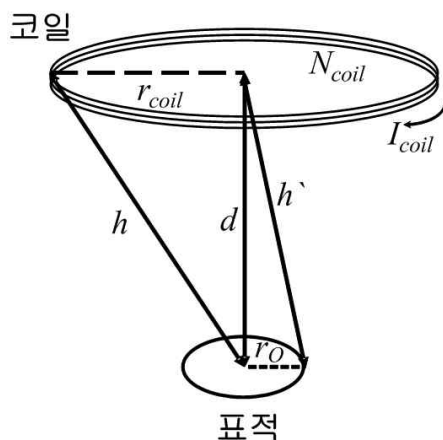


Fig. 1. Relation of the metal detector coil and the target.

그림 1은 금속탐지기 코일과 표적의 관계를 보이는 그림이다[2]. 코일 반지름이 r_{coil} 이고 코일 감은 수가 N_{coil} 인 코일과 코일 중심으로부터 d 만큼 떨어지고 표적 반지름이 r_o 인 표적의 구조를 보인다. 이 때, 코일로부터 발생하는 코일 자기장의 세기와 표적으로부터 발생하는 표적 자기장의 세기는 다음의 수식으로부터 계산할 수 있다.

$$B_{coil}(t) = \mu_0 \frac{N_{coil} I_{coil}(t)}{2} \frac{r_{coil}^2}{h^3} \quad (1)$$

식 (1)은 코일 중심으로부터 d 만큼 떨어진 위치에 야기되는 코일 자기장의 자속 밀도, $B_{coil}(t)$,를 설명하는 수식이다[2]. μ_0 는 공기 중에서의 투자율이고, $I_{coil}(t)$ 는 코일에 흐르는 전류이고 h 는 그림 1에서 볼 수 있듯이 코일 반지름, r_{coil} 과 코일 중심으로부터 d 만큼 떨어진 거리에 의해 형성되는 직

각 삼각형의 빗변이다. $B_{coil}(t)$ 는 코일 감은 수, 코일 전류 및

코일 반경의 제곱에 비례하고 h 의 3 제곱에 반비례하는 것을 알 수 있다.

$$B_o(t) = \mu_0 \frac{I_o(t)}{2} \frac{r_o^2}{h'^3} \quad (2)$$

식 (2)는 금속 표적에 흐르는 전류에 의해 표적 중심으로부터 d 만큼 떨어진 위치에 야기되는 표적 자기장의 자속 밀도, $B_o(t)$,를 설명하는 수식이다. $B_o(t)$ 는 표적 전류, $I_o(t)$ 및 표적 반경의 제곱에 비례하고 표적 반지름, r_o 과 표적 중심으로부터 거리, d ,가 이루는 빗변, h' ,의 3 제곱에 반비례하는 것을 알 수 있다[5].

식 (1)과 식 (2)에서 볼 수 있듯이 코일-표적 사이의 거리와 코일이 수신하는 표적 자기장 세기의 관계를 이용하여 금속 표적을 탐지할 수 있는 금속탐지기 코일 구조를 설계할 수 있다.

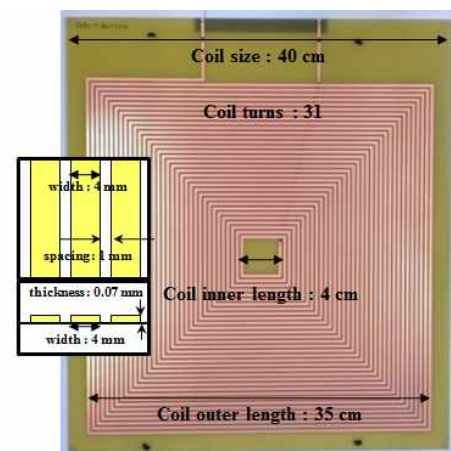


Fig. 2. Coil of the printed circuit board (PCB) type.

그림 2는 본 연구를 통해 구현한 차량용 금속탐지장치의 탐지코일이다. 탐지 심도를 증가시키고 인접 코일간의 간섭을 최소화하기 위하여 참고문헌 [6]을 참조하여 PCB 기판의 탐지코일을 구현하였다. 크기가 40 cm 인 코일 6개를 배열로 구성함으로써 탐지 폭 방향으로의 분해능이 40 cm이며 탐지 폭이 2.4 m인 차량용 금속탐지장치가 구현되도록 하였다. 코일 크기를 작게 하고 배열 수를 증가시키면 탐지 폭 방향으로 더욱 정확하게 지뢰 위치를 구분할 수 있지만 탐지 심도가 감소한다. 반면 코일 크기를 증가시키고 배열 수를 감소시키면 탐지 심도는 증가하지만 탐지 폭 방향으로 지뢰탐지의 위치정확도가 감소하는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 탐지 심도, 탐지 폭 및 위치정확도를 고려하여 PCB 기판의 탐지코일 6개를 배열로 구현하였다.

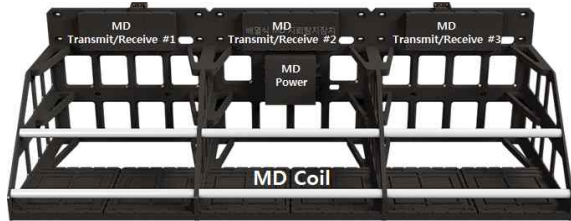


Fig. 3. Metal detector for vehicles.

그림 3은 차량용 금속탐지장치(MD)를 보이는 그림이다. 차량용 MD는 자기장을 송수신하는 MD 탐지코일부(MD coil part), 송신펄스 생성 및 수신신호처리를 위한 3개의 MD 송수신부(MD transmit/receive part), 금속탐지장치에 전원을 공급하는 MD 전원공급부(MD source power part), 수신데이터의 각종 잡음을 제거한 후 탐지정보를 생성하는 MD 신호처리부(MD signal process part), 각 모듈을 결합하는 기구/구조물로 구성된다.

MD 탐지코일부는 자기장을 송수신하는 6개의 탐지코일로 구현하였다. 차량용 금속탐지장치는 전진하며 2.4 m의 차량 폭을 탐지할 수 있어야 하는데 탐지 폭 내에 표적이 매설되어 있는 위치를 구분하기 위해 40 cm 코일 6개를 배열하여 구현하였다. MD 송수신부는 탐지 폭(0.8 m/1.6 m/2.4 m)에 따라 용도 변경이 용이하도록 3개로 구분하여 구현하였는데 각각의 송수신부는 송신펄스 생성 및 수신 신호처리를 위한 MD 송수신 모듈, MD 송수신부와 센서융합/처리장치 연동을 위한 신호처리 연동모듈, MD 송수신부에 안정적인 전류를 공급하는 MD 전원공급모듈로 구성된다. MD 전원공급부는 차량에 설치된 별도의 교류전원을 입력받아 MD 지뢰탐지장치를 운용하기 위해 3개의 MD 송수신부 각각에 직류 전원을 공급하는 역할을 수행하도록 구현하였다. MD 신호처리부는 MD 탐지코일로부터 받은 지뢰탐지 데이터를 처리할 수 있도록 구현하였다. 기구/구조물은 MD 성능에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 금속성분이 없는 절연체를 이용하여 구현하였다.

III. Test and Results

전기제어 3축 스캐너, 토양, 표적 등 차량용 지뢰탐지장치의 성능 시험을 수행할 수 있는 실내시험장을 구성하였다. 장작 플랫폼, 케이블, 노트북 등 시험장비를 활용하여 차량용 금속탐지장치의 기능 및 성능을 시험하였고 본 연구에서 개발한 GUI(graphic user interface)와 수신 신호처리 방식을 이용하여 그 결과를 분석하였다.

Table 1. Test environment.

	Contents	Remark
Location	Indoor testing ground	-
Soil	Sandy Loam	-
Platform	3-axis Scanner	x-y-z control
Target	Metal AT Landmine	TM46 mock-up

표 1은 차량용 MD의 성능시험을 위한 시험환경 구성이다. 지뢰탐지 실내시험장에는 국내 대표 토양인 사양토가 매설되어 있고 센서의 이동을 전기적으로 조절할 수 있는 전기제어 3축 스캐너가 설치되어 있다. 금속 대전차지뢰(TM46) 모의표적을 사양토 내에 매설하고 차량용 MD를 전기제어 3축 스캐너에 장착한 후, 3축 스캐너를 이동시키며 차량용 MD의 성능 시험을 수행하였다.



Fig. 4. Mock-up targets for the mine detecting test.

그림 4는 지뢰탐지 시험용 모의표적을 보이는 그림이다. 모의 표적은 차량용 MD의 탐지시험을 위해 재질은 금속이고 직경이 30 cm인 TM46 금속 대전차지뢰를 사용하였다.



Fig. 5. MD performance test using the electrical controlled 3-axis scanner.

그림 5는 지뢰탐지 실내시험장의 사양토에 금속 대전차지뢰(TM46) 모의 표적을 매설한 후, 3축 스캐너를 이용하여 차량에 장착되는 MD의 성능 시험을 수행하는 사진이다. 전기제어 3축 스캐너는 위치 이동이 가능하여 차량용 MD의 정확한 성능 측정에 활용할 수 있다.

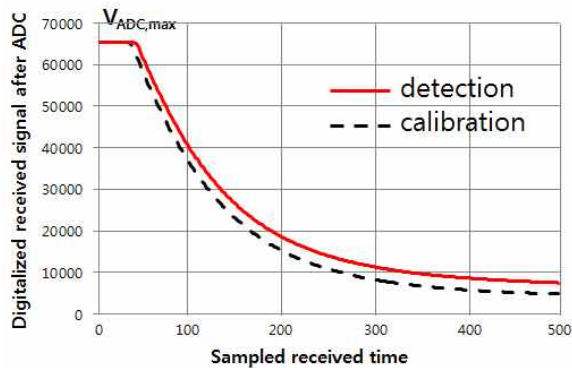


Fig. 6. The digitalized received signal after ADC as the increase of the sampled received time.

그림 6은 차량용 MD의 수신 시간 구간을 500개의 sample로 구분하고 수신 시간에 따른 수신 전압을 ADC (Analog to Digital Conversion) 변환한 수신 신호 측정값이다. PI 방식 MD의 수신 전압은 그림에서와 같이 수신 시간에 따라 감소한다. 리미터를 이용하여 $V_{ADC,max}$ 보다 작은 신호를 신호처리하도록 구현하였기 때문에 초기의 수신 신호는 $V_{ADC,max}$ 값을 갖는다. ADC 변환은 16비트 ($2^{16}=65536$)로 수행되었고 $V_{ADC,max}$ 값은 65535 이다. 점선 신호는 표적이 없는 위치에서 MD를 이용하여 측정한 기준 수신 신호(calibration)이고 실선 신호는 금속 표적이 매설된 위치에서 MD를 이용하여 측정한 탐지 수신 신호(detection)이다. 본 논문에서는 그림 6에서와 같이 표적이 없는 위치에서의 기준 수신 신호와 현재 위치에서의 수신 신호의 차이를 이용하여 금속 표적의 유무를 판단하였다. 문턱 값(threshold)을 정하고 기준 수신 신호와 현재 수신 신호의 차이 값이 문턱 값 이상인 경우는 탐지, 이하인 경우는 미탐지가 되도록 MD를 구현하였다.



Fig. 7. Vehicle mounted MD GUI.

그림 7은 지뢰표적의 탐지 및 지뢰 매설 위치를 확인할 수 있는 차량용 MD GUI 화면이다. 그림 2에서 보이는 크기가 40 cm 인 코일 6개를 탐지 폭 방향으로 배열하여 구성하였기 때문에 MD GUI의 채널 개수도 6개로 구현하였다. 채널 번호는 좌측부터 차례로 1번부터 6번까지로 정하였다. 그림 7은 그림

5와 같이 금속 모의지뢰를 토양에 매설 후 3축 스캐너에 장착된 차량용 MD를 차량 진행방향으로 이동시키며 지뢰탐지 시험을 수행하였을 때, 표적의 탐지결과를 보인다. 표적으로부터 입력되는 자기장 신호를 6개의 탐지코일 각각이 수신하는데 표적이 없는 위치에서의 기준 수신 신호를 측정하고 3축 스캐너를 이동시키며 각 채널의 수신신호와 기준 수신 신호의 차이가 문턱 값 이상인 경우, 색이 변경되도록 하여 육안으로 표적의 탐지 유무를 알 수 있도록 하였다. 그리고 가장 큰 수신신호가 입력된 채널이 대표 색(빨강색)으로 변경되도록 함으로써 탐지 폭 방향으로의 표적 위치를 알 수 있도록 구현하였다. 그림 7에서는 3번 채널의 색이 빨강색으로 변경되었고 2번과 4번 채널의 색이 노랑색으로 변경되었고 나머지 채널의 색은 변경되지 않았음을 볼 수 있다. 그림에서 보듯이 채널의 색이 변경되었기 때문에 토양에 매설된 표적에 대한 탐지결과와 MD가 표적을 탐지 하였고 표적은 3번 채널의 위치에 있음을 알 수 있다. 따라서 차량용 MD GUI를 통해서 금속 표적의 탐지유무 및 탐지 폭 방향으로의 표적 위치를 알 수 있었다. 또한 수신신호가 문턱 값 이상인 경우, 소리가 발생하도록 함으로써 육안 및 청음으로 금속 표적의 탐지 유무를 알 수 있도록 구현하였다.

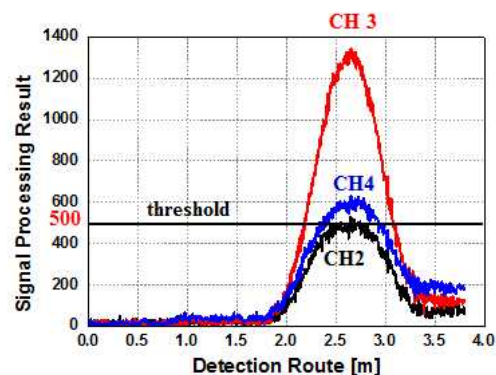


Fig. 8. The processing results of the received signal as the detection route variation.

그림 8은 그림 7에서의 MD GUI 탐지결과에 대한 수신신호 처리결과를 보인다.

$$D = \sqrt{\frac{(\alpha_1 - \beta_1)^2 + (\alpha_2 - \beta_2)^2 + \dots + (\alpha_n - \beta_n)^2}{n}} \quad (3)$$

식 (3)은 차량용 MD로부터 얻은 수신 신호를 이용하여 처리 결과 계산 값, D ,을 얻는 수식이다. α 는 현재 위치에서의 ADC 변환된 수신 신호이고, β 는 표적이 없는 위치에서의 ADC 변환된 기준 수신 신호이고 n 은 MD의 수신 시간 구간을 sample로 구분한 값이다. 본 논문에서는 그림 6에서 보듯이 500으로 설정하였다. 그림 8은 차량용 MD가 차량 진행 방향으로 이동함에 따라 2번, 3번, 4번 채널의 수신 신호처리 결과가

다. 식 (3)을 이용하여 표적이 없는 위치에서의 500개 기준 수신 신호와 현재 위치에서의 500개 수신 신호와의 차이를 계산하여 경로에 따른 결과 값을 나타내었다. 문턱 값은 500으로 설정하였다. 그림 7에서의 결과와 마찬가지로 3번 채널의 수신 신호 최대 값이 2번과 4번 채널의 수신 신호 최대 값보다 큰 것을 볼 수 있다. 3개 채널 모두 0 m 지점부터 1.8 m 지점까지는 신호 세기가 작고 1.8 m 지점부터 2.6 m 지점까지는 신호 세기가 증가하고 그 이후 3.4 m 지점까지 다시 감소하는 것을 볼 수 있다. 그리고 3번 채널의 수신신호 경우 2.2 m 지점부터 3.1 m 지점까지는 신호처리 결과가 문턱 값 이상이기 때문에 이 간격동안은 그림 7에서의 MD GUI에 표적 탐지 알람이 동작되는 것을 볼 수 있었다. 따라서 표적은 차량 진행 방향을 따라 약 2.6 m 지점과 탐지 폭 방향으로 차량용 MD의 3번 채널 위치에 매설되어 있는 것을 알 수 있었다. 차량용 MD GUI와 수신 신호처리 분석의 표적 탐지 확인 방법을 통하여 표적의 매설 위치를 알 수 있었다.

IV. Conclusions

본 논문에서는 대전차 지뢰를 탐지하는 차량용 금속탐지장치를 설계 및 구현하였고 표적 탐지 확인 방법에 대하여 논하였다. 2.4 m의 차량 폭 내에 매설된 표적의 정확한 위치 확인을 위해 폭 방향으로 탐지코일이 6배열 되도록 구현하였다. 금속 대전차 모의지뢰를 실내시험장의 사양도에 매설하고 차량용 MD를 전기 제어 3축 스캐너에 장착하여 이동시키며 표적을 탐지하는 시험을 수행하였다. 6배열된 탐지코일과 연동되는 MD GUI를 통해 탐지 폭 방향으로의 매설 표적의 위치를 알 수 있었고 수신 신호처리 분석을 통해 차량 진행 방향으로의 매설 표적 위치를 알 수 있었다. MD GUI와 수신 신호처리 분석과 같은 표적 탐지 확인 방법을 통해 차량 진행 방향 및 폭 방향에 대한 금속표적의 매설위치를 알 수 있었다.

REFERENCES

- [1] Carl V. Nelson et al, "Wide Bandwidth Time-Domain Electromagnetic Sensor for Metal Target Classification," IEEE Transaction on geoscience and remote sensing, vol. 39, no. 6, pp. 1129-1138, June 2001.
- [2] Claudio Bruschini, "A Multidisciplinary Analysis of Frequency Domain Metal Detectors for Humanitarian Demining," Thesis of Ph.D degree, Brussel University, 2002.
- [3] Waymond R. Scott, "Broadband Array of Electromagnetic Induction Sensors for Detecting Buried Landmines," IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, vol. 2, 2008.
- [4] Bobae Kim, Jungwon Yoon, Seung-eui Lee, Seung-hoon Han, and Kangwook Kim, "Pulse induction metal detector with time-domain bucking circuit for landmine detection," IET Electronics Letters, vol. 51, no. 2, pp. 159-161, Jan. 2015.
- [5] Byung-Min Jung, Yu-Shin Chang and Seung-Hoon Han, "Coil Design of Pulse Induction Metal Detector," The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, 26(4), pp. 389-396, Apr. 2015.
- [6] Martin Misakian, "Equations for the Magnetic Field Produced by One or More Rectangular Loops of Wire in the Same Plane," Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, vol. 105, no. 4, pp. 557-564, July 2000.

Authors



Byung-Min Jung received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Electronic Engineering from Soong-Sil University, Korea, in 2000, 2002 and 2007, respectively.

Dr. Jung joined the SW Team(Radar) in HanWha Systems, Yongin, Korea in 2010. He is interested in Active Electronically Scanned Array (AESA) Radar Systems, Vehicle-Mounted Mine Detecting (VMMD) Systems and Infra-Red Scene Generator Software.



Beom Su Shin received the B.S. degree in Computer Engineering from Chung-Ang University, Korea, in 2000. Mr. Shin joined the SW Team(Radar) in HanWha Systems, Yongin, Korea in 2013.

He is interested in Vehicle-Mounted Mine Detecting (VMMD) Systems and Infra-Red Scene Generator Software.



YuShin Chang received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Mechatronical Engineering from Pu-San University, Korea, in 1996, 1998 and 2006, respectively.

Dr. Chang joined the Mechatronics Team HanWha Systems, Yongin, Korea in 2006. He is interested in Vehicle-Mounted Mine Detecting (VMMD) Systems, Hand-Held Mine Detectors, Robot-Type Mine Detecting Systems and Penetrating Radar Systems.



DongWon Yang received the B.S., M.S. degrees in Electrical Engineering from Seoul National University in 2001 and 2003 respectively and Ph.D. degree in Electrical Engineering from KAIST, Korea, in 2016.

Dr. Yang joined the Unmanned Technology Directorate of Agency for Defense Development (ADD), Daejeon, Korea, in 2003. He is interested in Penetrating Radar Systems, Image Processing, Image Segmentation and Object Recognition.