

형태 묘사자와 주성분에 의한 밀리미터파 영상 은닉물체의 기하학적 특징 추출

염석원[°], 손정영^{*}

Geometrical Feature Extraction of Hidden Objects with Millimeter Wave Imaging by Shape Descriptors and Principal Components

Seokwon Yeom[°], Jung-young Son^{*}

요약

밀리미터파(Millimeter Wave)는 의복을 투과하는 성질이 있기 때문에 은닉된 무기를 검출하는 보안 분야에 활용도가 높다. 본 논문에서 수동형 밀리미터파 영상의 은닉된 물체를 분할하고 기하학적 특징을 추출한다. 은닉 물체의 영역의 분할은 몸체에 해당하는 관심영역을 분할한 후 관심영역에서 표적을 분할하는 다단계 분할방법을 이용한다. 분할된 표적 영역의 형태 묘사자(Shape Descriptor)인 경계의 둘레, 영역의 크기, 장축과 단축의 길이와 주성분(Principal Component)의 고유값을 구한다. 기하학적 특징은 크기, 회전, 이동에 변이가 없는 다짐도, 직사각형과의 형태유사도, 타원 이심률, 주성분 이심률로 구성한다. 실험에서는 3개의 금속물체(나이프, 권총, 손도끼)와 1개의 비금속 물체(액체를 담은 플라스틱 로션 통)를 은닉한 사람으로부터 획득한 수동형 밀리미터파 영상을 이용하여 표적을 분할하고 기하학적인 특징을 추출한다. 기하학적 특징은 표적의 실측모델로부터 추출한 특징과 비교하여 금속물체에서 91%, 비금속 물체는 87% 이상의 정확성을 보였다.

Key Words : Millimeter Wave Image, Image Segmentation, Geometric Feature Extraction, Shape Descriptor, Gaussian Mixture Model, Concealed Object

ABSTRACT

Millimeter wave (MMW) imaging has found rapid adoption in security applications such as concealed object detection because of its penetrating property to clothing. This study addresses the concealed object segmentation and geometric feature extraction with passive MMW imaging. The multi-level segmentation extracts the body area at the first level and the object area from the body area at the second level. Shape descriptors such as perimeter, size, major and minor axes, and the eigenvalues of the principal components are calculated from the segmented object area. Scale, rotation, and translation invariant features are composed of compactness, rectangularity, ellipse eccentricity, and principal component eccentricity. In the experiments, three metallic objects (gun, knife, hand-axe) and one non-metallic objects (plastic lotion bottle containing liquid) concealed under clothing are captured by the passive MMW imaging system. The geometric features extracted from the segmented areas and the binary models of the real objects are compared showing more than 91% accuracy for metallic objects and 87% for a non metallic object.

※ 이 논문은 대구대학교 학술연구비지원에 의한 논문임

◆[°] First and Corresponding Author : Daegu University, School of Computer and Communication Engineering, yeom@daegu.ac.kr, 정회원

* Konyang University, Department of Biomedical Engineering, sjy4271@gmail.com, 정회원

논문번호 : KICS2017-08-006, Received August 9, 2017; Revised September 4, 2017; Accepted September 4, 2017

I. 서론

수동형(Passive) 밀리미터파 영상시스템은 대기에 의한 감쇄도가 낮고 의복을 투과하는 성질이 있어서 항공관제 또는 은닉물체를 검출하는 보안 분야에 활용도가 높다¹⁻⁵. 그러나 일반 카메라로 획득하는 가시광선(Visible Light) 영상과 비교하여 공간 분해능(Spatial Resolution Limit)이 낮고 잡음의 영향이 크다는 단점이 있다¹¹. 일반적으로 수동형 밀리미터파 영상시스템은 대기 중의 감쇄도가 낮은 3 mm와 8 mm 파장 영역을 이용한다. 레일리 기준(Rayleigh Criterion)으로 결정되는 각 분해능(Angular Resolution Limit)은 개구(Aperture)의 크기에 비례하므로 고해상도 영상을 얻기 위하여 큰 직경의 안테나 또는 렌즈가 요구된다. 흑체복사(Blackbody Radiation)의 성질을 이용하는 수동형 밀리미터파 영상 시스템은 외부 밀리미터파 광원이 필요 없으므로 능동형(Active) 시스템에 비하여 간결한 구성이 가능하다. 그러나 영상의 대비(Contrast Resolution)를 결정하는 온도 분해능은 집적 시간(Integration Time)과 시스템의 대역폭(Band Width)에 영향을 받는다⁶.

수동형 밀리미터파 영상을 분석하여 의미 있는 정보를 추출하는 여러 연구가 수행되어 왔다. 테라헤르츠(THz) 영상을 이용하여 다단계 문턱치 방법에 의한 은닉물체 검출 방법과 다양한 확률 분포 모델을 이용하여 금속물체를 검출하는 방법이 [7]과 [8]에서 각각 제안되었다. 가우시안 혼합 모델(Gaussian Mixture Model, GMM)을 이용하는 추정(expectation)-최대화(Maximization) (EM) 알고리즘으로 은닉된 물체를 검출하는 방법이 [9]에서 제안되었다. 근거리에서 위치한 표적과 은닉된 무기의 인식에 관한 연구가 [10]과 [11]에서 각각 수행되었다. 형태에 기반을 둔 표적의 인식이 [12]에서 연구되었고 [13,14]에서 밀리미터파 영상의 기하학적 특징이 추출되었다.

본 논문에서는 수동형 밀리미터파 영상 시스템에서 획득한 영상으로부터 은닉된 물체를 분할하여 검출한 후 기하학적 특징을 추출하는 연구를 수행한다. 수동형 밀리미터파 영상시스템은 3 mm 파장 영역에서 동작하고 50 cm의 접시(Dish) 안테나로 구성된다¹⁴. 은닉물체의 분할을 위하여 밀리미터파 영상의 히스토그램을 가우시안 혼합모델로 가정하고 다단계 분할 방법으로 추출한다⁹. 다단계 분할은 각 단계에서 가우시안 혼합분포의 파라미터인 평균, 분산, 가중치를 초기화하는 *k*-means 클러스터링, 파라미터를 추정하는 EM 알고리즘, 각 화소의 클러스터를 결정하는 판정 과정으로

구성된다. 첫 번째 단계에서 관심영역(Region of Interest: ROI)인 몸체부분을 분할하고 두 번째 단계에서 몸체로부터 은닉된 물체를 분할한다.

밀리미터파 영상은 일반 카메라 영상에 비하여 해상도가 낮고 잡음의 영향이 크다. 또한 질감(Texture)과 색상 정보를 얻기가 어렵다. 이러한 저해상도 표적에서 크기(Scale), 회전(Rotation), 이동(Translation)에 대한 불변성, 잡음과 변형에 대한 강인성, 빠른 계산 과정을 갖는 기하학적 특징을 추출하기 위하여 물체영역의 형태 묘사자(Shape Descriptor)¹⁵⁻¹⁷와 주성분(Principal Components 또는 Principal Axes)의 고유값(Eigenvalue)^{16,17}을 구한다. 형태 묘사자는 경계의 둘레(Perimeter), 영역의 크기(Size), 기본 직사각형(Basic Rectangle)의 장축(Major Axis)과 단축(Minor Axis)의 길이로 구성된다. 형태 묘사자와 주성분 고유값으로부터 다짐도(Compactness), 직각사각형과의 형태유사도(Rectangularity), 타원 이심률(Eccentricity)과 주성분 이심률을 추출한다.

실험에서는 3개의 금속물체(나이프, 권총, 손도끼)와 1개의 비금속 물체(액체를 담은 플라스틱 로션 통)의 수동형 밀리미터파 영상을 분할하여 표적을 검출하고 기하학적인 특징을 추출한다. 각 표적의 실측모델로부터 구한 기하학적 특징과 상대오차는 금속물체에서 91%, 비금속 물체는 87% 이상의 정확성을 보였다. 또한 표적 영상과 다른 실측모델 특징과 비교하여 제안한 방법이 저해상도 영상의 특징 추출에 효과적임을 보인다.

II장의 1절에서는 수동형 밀리미터파 영상시스템을 2절에서는 다단계 분할을 3절에서는 기하학적 특징추출을 설명하고 III장에서 실험결과를 보여주며 IV장에서 결론으로 끝을 맺는다.

II. 본론

2.1 수동형 밀리미터파 영상 시스템

본 연구에서 3 mm 영역의 밀리미터파 영상을 획득할 수 있는 수동형 밀리미터파 시스템을 이용하여 은닉물체의 영상을 획득한다. 그림 1(a)에서 보이듯이 50 cm의 Cassegrain형 접시 안테나를 사용하므로 레일리 기준에 따른 각 분해능은 7.32 mrad (=0.42°)고 실험 대상자가 위치한 1.4 m 거리에서 공간 분해능은 약 1.1 cm 이다. 피드 혼(Feed Horn) 안테나는 안테나의 초점 평면에 설치되어 있고 기계적 구동에 의한 래스터 스캐닝으로 영상의 각 화소를 획득한다. 피드 혼 안테나에 연결된 수신 단은 Dicke 변조기, 유전체 도파관, Low Noise Amplifier (LNA)역할을 하는 3개의

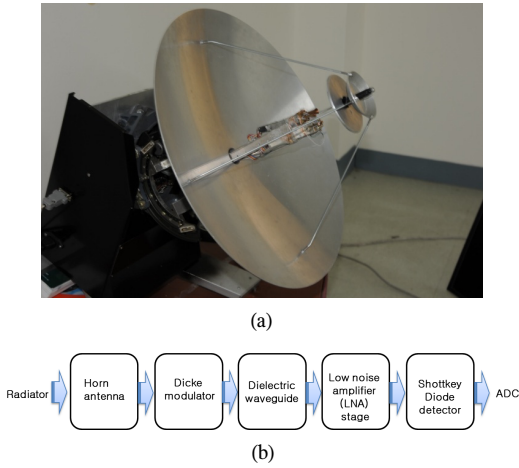


그림 1. (a) 수동형 밀리미터파 영상시스템, (b) 신호 흐름도
Fig. 1. (a) passive MMW imaging system, (b) signal flow.

MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit), Schottky 다이오드 검지기로 구성된다. 그림 1(b)는 수신 신호의 흐름도를 보여준다.

2.2 다단계 영상분할에 의한 은닉물체 검출

영상분할은 의미 있는 영역의 화소 위치를 추출하는 과정이다^{18,19)}. 다단계 영상분할은 그림 2에서와 같이 관심영역 분할 단계와 표적분할 단계로 구성된다. 각 단계는 *k*-means 클러스터링, EM 알고리즘, 사후확률 판정과정을 수행한다⁹⁾.

다단계의 분할 과정에서 밀리미터파 영상의 히스토그램을 가우시안 혼합 분포로 모델링한다. 즉, 각 화소값(Intensity)은 다음과 같은 가우시안 혼합 모델의 확률밀도함수(Probability Density Function, PDF)를 따른다고 가정한다.

$$p(i_j) = \sum_{k=1}^{n_k} w_{kj} \mathcal{N}(i_j | \mu_k, \sigma_k^2), \quad j = 1, \dots, n_p \quad (1)$$

위의 식에서 \mathcal{N} 은 가우시안 PDF를 나타내고 i_j 는 j

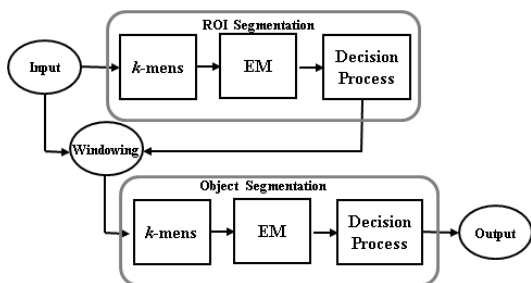


그림 2. 다단계 영상 분할 흐름도
Fig. 2. Block diagram of multi-level segmentation.

번째 화소값이며 μ_k 와 σ_k^2 는 각각 k 번째 클러스터의 평균과 분산이다. w_{kj} 는 j 번째 화소가 k 번째 클러스터에 속하는 확률을 나타내고 n_k 는 클러스터의 수이며 n_p 는 화소 수이다. *k*-means 클러스터링 알고리즘은 $\mu_k, \sigma_k^2, w_{kj}$ 의 초기값을 추정하고 EM 알고리즘은 위의 값들이 수렴에 도달할 때까지 반복적으로 추정한다^[20,21].

판정 규칙은 각 화소를 사후 확률밀도함수의 비레값을 이용하여 다음 식과 같이 두 개의 클러스터 G_1 과 G_2 중의 하나로 할당한다.

$$\begin{matrix} G_1 \\ w_{1j} \mathcal{N}(i_j | \mu_1, \sigma_1^2) > \\ < \\ G_2 \end{matrix} w_{2j} \mathcal{N}(i_j | \mu_2, \sigma_2^2), \quad j = 1, \dots, n_p \quad (2)$$

첫 번째 단계인 관심영역 분할에서 G_1 과 G_2 는 각각 배경과 물체를 나타내며 두 번째 단계 표적 분할에서 G_1 과 G_2 는 각각 은닉 물체와 물체 영역을 나타낸다.

2.3 은닉물체의 기하학적 특징추출

저해상도 영상표적의 기하학적 특징은 형태 묘사자와 주성분의 고유값을 이용하여 추출한다. 형태 묘사자는 경계의 둘레, 영역의 크기, 기본 직사각형의 장축과 단축의 길이이다. 경계의 둘레와 영역의 크기는 각각 표적영역의 경계로 구성된 화소와 물체 영역의 화소 수이다. 왼쪽의 실측모델인 그림 3에서 경계 화소는 ‘□’로 표시하고 영역의 화소는 ‘×’로 표시하였다. 장축의 길이는 경계선상에서 가장 멀리 떨어진 두 점 간의 유클리드 거리이며 단축의 길이는 장축에 수직하며 기본 직사각형의 한 변과 길이와 같다. 기본 직사각형은 장축과 단축에 평행한 변을 가지며 물체의 모든 영역을 포함하는 최소의 사각형이다¹⁵⁾.

주성분은 표적의 중심값(Centroid)을 원점으로 하는 서로 직교하는 두 개의 벡터고 서로 다른 주성분에 투

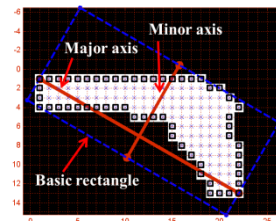


그림 3. 형태 묘사자 예시
Fig. 3. Illustration of geometrical descriptors.

영된 화소의 위치는 통계적으로 무상관하다. 주성분의 크기는 화소의 위치벡터의 공분산 행렬의 고유값의 제곱근에 정비례한다. 그러므로 고유값의 비(Ratio)는 물체의 크기, 회전, 이동에 불변성을 가지게 된다^[17]. 물체 영역에 대한 화소의 좌표를 2차원 열벡터 $\mathbf{x}_j = [x_j \ y_j]^t$ 로 구성하면 평균 벡터(\mathbf{m}_x)와 공분산 행렬(Σ_{xx})은 다음 식과 같다.

$$\mathbf{m}_x = \frac{1}{n_o} \sum_{j=1}^n \mathbf{x}_j \quad (3)$$

$$\Sigma_{xx} = \frac{1}{n_o} \sum_{j=1}^n (\mathbf{x}_j - \mathbf{m}_x)(\mathbf{x}_j - \mathbf{m}_x)^t \quad (4)$$

위의 식에서 x_j 와 y_j 는 각각 j 번째 화소의 x 와 y 축의 좌표 값이며 n_o 는 물체영역의 화소 수이고 t 는 전치 행렬을 나타낸다. 공분산 행렬의 고유값 행렬($\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix}, \lambda_1 > \lambda_2 > 0$)과 고유벡터(Eigenvector) 행렬($E = [\mathbf{u}_1 \ \mathbf{u}_2]$)은 다음 식으로부터 계산한다^[20].

$$\Lambda = E^t \Sigma_{xx} E \quad (5)$$

영상의 크기가 작은 경우에 올바른 고유값을 얻기가 어려우므로 실험에서는 모든 영상을 3배 확대하여 주성분의 고유값을 구하였다. 그림 4는 3배 확대한 권총의 실측모델에서 두 개의 주성분과 고유값의 제곱근 값을 나타낸 것이다.

기하학적 특징 벡터는 다짐도 또는 원형도(Circularity), 직사각형과의 형태유사도(Rectangularity), 타원 이심률(Eccentricity), 주성분 이심률로 구성한다. 다짐도는 형태의 복잡도를 나타내는 것으로 경계와 크기를 이용하여 다음 식과 같이 표현한다.

$$c = \frac{4\pi A}{T^2} \quad (6)$$

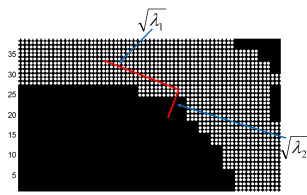


그림 4. 주성분과 고유값의 예시
Fig. 4. Illustration of principle components and eigenvalues.

위의 식에서 A 는 영역의 크기를 T 는 경계의 둘레를 나타낸다. 그러므로 c 가 1이면 원이고 0에 가까우면 복잡한 도형을 나타낸다. 직사각형 형태유사도는 다음 식과 같다.

$$r = \frac{A}{A_R} \quad (7)$$

위의 식에서 A_R 은 기본 직사각형의 크기다. 표적이 사각형에 가까울수록 r 은 1에 접근한다. 타원 이심률은 찌그러진 정도를 나타내는 것으로 장축과 단축의 비를 이용하여 다음 식과 같이 구한다.

$$e = \frac{h}{w} \quad (8)$$

위의 식에서 w 는 장축의 길이이고 h 는 단축의 길이이다. e 가 1로 근접할수록 원의 모양에 가까워지고 0에 가까울수록 찌그러짐이 커진다. 주성분 이심률을 다음 식과 같이 고유값 비를 이용하여 정의되며 화소위치의 통계적 분포에 따라 달라진다.

$$f = \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^2} \quad (9)$$

III. 실험

실험에서는 금속물체인 나이프, 권총, 손도끼와 비금속 물체인 액체가 들어 있는 플라스틱 로션 통을 은닉한 대상자로부터 수동형 밀리미터파 영상을 획득하

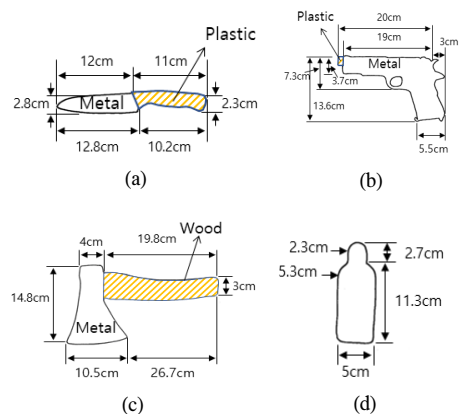


그림 5. 은닉물체 측정치, (a) 나이프, (b) 총, (c) 손도끼, (d) 로션 통
Fig. 5. Physical dimension of concealed objects, (a) knife, (b) gun, (c) hand-axe, (d) lotion bottle.

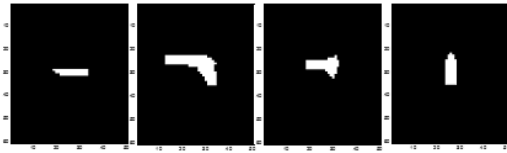


그림 6. 이진영상 모델, 왼쪽부터 총, 나이프, 손도끼, 로션 통
Fig. 6. Binary image model, knife, gun, hand-axe, lotion bottle from the left to right column.

었다¹⁴⁾. 그림 5는 물체의 실측값이고 그림 6은 실측값을 모델링한 이진영상이다. 나이프, 권총, 손도끼, 로션 통의 수평과 수직 방향의 화소 수는 각각 15×3, 22×13, 14×10, 5×14이다.

그림 7은 각각의 표적을 1.4 m 거리에 위치한 은닉한 대상자로부터 획득한 밀리미터파 영상이다.

그림 8은 나이프 영상의 다단계 분할 결과를 보여준다. 그림 8(a)는 그림 7(a)의 히스토그램과 관심영역 분할 후 가우시안 혼합분포의 PDF이다. 왼쪽 푸른 색 가우시안 분포 영역이 관심영역인 몸체에 해당하는 그림 8(b)의 검은 색 영역이고 오른쪽 붉은 색 가우시안 분포 영역은 배경에 해당하는 그림 8(b)의 하얀 색 영역이다. 그림 8(c)는 그림 8(b)의 몸체에 해당하는 화소의 히스토그램과 표적분할 후 가우시안 혼합분포의 PDF이다. 왼쪽의 푸른 색 가우시안 분포는 몸체로 그림 8(d)에서 회색 영역이며 오른쪽 붉은 색 가우시안

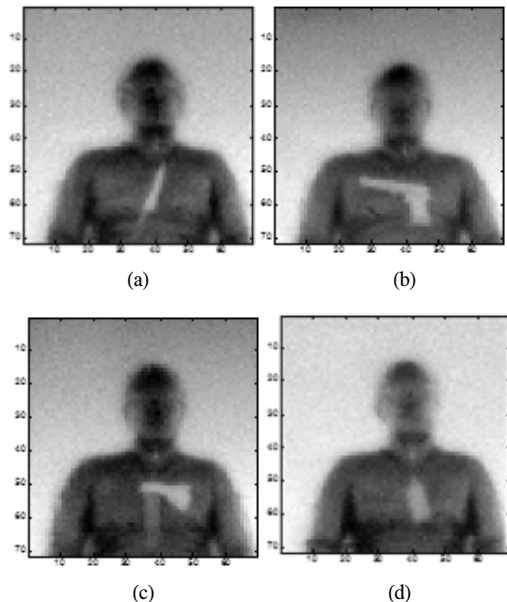


그림 7. 수동형 밀리미터파 영상, (a) 나이프 (b) 총, (c) 손도끼, (d) 로션 통
Fig. 7. Passive MMW images of a person hiding, (a) knife, (b) gun, (c) hand-axe, (d) lotion bottle.

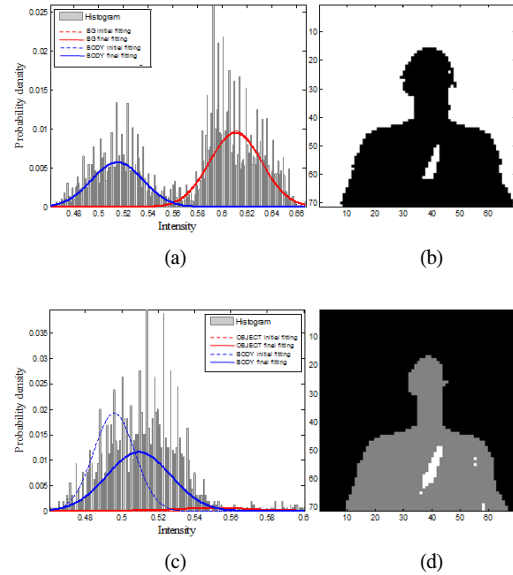


그림 8. 금속물체(나이프)의 분할결과, (a) 전체영상의 히스토그램과 관심영역 분할 후 가우시안 혼합분포, (b) 관심영역 분할 결과, (c) 관심영역의 히스토그램과 표적분할 후 가우시안 혼합분포, (d) 표적분할 결과
Fig. 8. Concealed metal object (knife) segmentation, (a) histogram and GMM of ROI segmentation, (b) ROI segmentation result, (c) histogram of ROI and GMM of target segmentation, (d) target segmentation result.

분포는 은닉물체로 그림 8(d)에서 하얀색 영역이다.

표 1은 분할영상과 실측모델의 이진영상으로부터 구한 형태 묘사자와 주성분의 고유값이다. 표 2는 분할영상과 실측모델의 상대오차(Relative Error)이다. 표 3은 분할영상과 실측모델의 이진영상으로부터 추출된 기하학적 특징이고 표 4는 분할영상과 실측모델의 기하학적 특징의 상대오차이다. 금속물체인 나이프, 권총, 손도끼의 평균 상대오차는 6.38%, 8.96%, 7.91%이나 비금속물체인 플라스틱 로션 통은 작은 크기의 입구부분에 기인한 영상 분할의 오차로 12.78%를 보였다.

표 1. 형태 묘사자와 주성분의 고유값

Table 1. Shape descriptors and eigenvalues of principal components.

	Knife		Gun		Hand-Axe		Lotion Bottle	
	Exp	Truth	Exp	Truth	Exp	Truth	Exp	Truth
T	30	30	53.9	57	35.28	35	25	30
A	45	41	100.84	137	74.91	72	53	62
w	15.232	14.142	22.85	24.187	14.99	13.342	10.77	13.15
h	3.414	3.536	10.42	11.163	8.08	9.294	5.385	5.474
λ_1	155.353	147.343	344.442	394.69	181.420	140.119	82.210	121.858
λ_2	8.385	6.428	54.018	55.528	34.303	30.845	18.954	17.246

표 2. 형태 묘사자와 주성분의 상대오차
Table 2. Relative error of shape descriptors and eigenvalues of principal components.

	Knife	Gun	Hand-Axe	Lotion Bottle
T	0	0.0544	0.0080	0.1667
A	0.0976	0.2639	0.0404	0.1452
w	0.0771	0.0553	0.1235	0.1810
h	0.0345	0.0666	0.1306	0.0163
λ_1	0.0544	0.1273	0.2948	0.3254
λ_2	0.3044	0.0272	0.1121	0.0990
AVG(%)	9.47	9.91	11.82	15.56

표 3. 실측모델과 실험결과의 기하학적 특징
Table 3. Geometric features of experimental results and real-world models.

	Knife		Gun		Hand-Axe		Lotion Bottle	
	Exp	Truth	Exp	Truth	Exp	Truth	Exp	Truth
c	0.628	0.573	0.436	0.530	0.756	0.739	1.066	0.866
r	0.865	0.820	0.424	0.508	0.619	0.584	0.914	0.861
e	0.224	0.250	0.456	0.462	0.539	0.697	0.5	0.416
f	0.9985	0.999	0.9876	0.9901	0.982	0.9755	0.9731	0.9899

표 4. 기하학적 특징의 상대오차
Table 4. Relative error of geometric features.

	Knife	Gun	Hand-Axe	Lotion Bottle
c	0.096	0.177	0.023	0.231
r	0.0549	0.165	0.0599	0.0616
e	0.104	0.013	0.2267	0.2019
f	0.0051	0.0025	0.0067	0.0170
AVG(%)	6.38	8.96	7.91	12.78

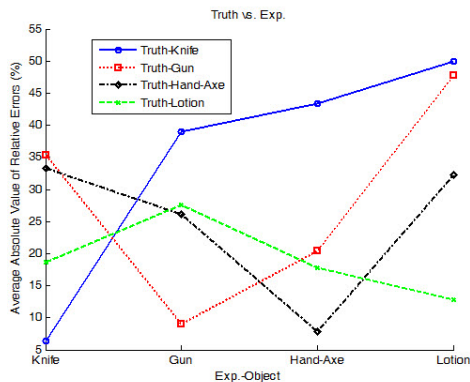


그림 9. 분할영상과 실측모델 특징의 평균 상대오차
Fig. 9. Average relative errors (%) between segmented objects and truths.

그림 9는 각 분할영상과 실측모델로부터 추출한 기하학적 특징의 평균 상대오차를 구한 결과이다. 분할영상과 실측모델이 동일한 표적인 경우 가장 적음을 알 수 있다. 나이프 실측모델은 동일한 종류의 분할영상과 평균오차가 가장 작고 다른 물체와 40%이상의 큰 차를 보였다. 그러나 비금속 물체인 플라스틱 로션 통은 분할영상으로부터 추출된 특징의 정확도가 낮음을 보였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 위험물체를 소지한 대상으로 부터 수동형 다중채널 밀리미터파 영상을 획득하여 은닉된 물체를 분할하고 기하학적 특징을 추출하는 연구를 수행하였다. 저해상도 잡음영상의 표적을 다단계 분할하고 형태묘사자와 주성분으로부터 구한 기하학적 특징 추출 후 실측모델의 특징과 비교하여 제안한 방법이 효과적임을 보였다. 그러나 기하학적 특징추출 방법은 일 반카메라의 고해상도로 표현되는 표적의 특징추출에는 한계가 있을 수 있다. 향후 다채널 영상을 이용하여 다변량(Multivariate) 가우시안을 활용한 분할^[22]에 따른 기하학적 특징의 추출과 추출된 특징을 학습하여 은닉된 표적을 자동으로 인식하는 연구를 계획하고 있다.

References

- [1] H.-M. Chen, S. Lee, R. M. Rao, M.-A. Slamani, and P. K. Varshney, "Imaging for concealed weapon detection: A tutorial overview of development in imaging sensors and processing," *IEEE Sign. Process. Mag.*, vol. 22, no. 2, pp. 52-61, Mar. 2005.
- [2] R. Appleby and R. N. Anderton, "Millimeter-wave and submillimeter-wave imaging for security and surveillance," in *Proc. the IEEE*, vol. 95, no. 8, pp. 1683-1690, Oct. 2007.
- [3] D. Lee, S. Yeom, M. Lee, S. J, and Y. Chang, "Real-time passive millimeter wave image segmentation for concealed object detection," *J. KICS*, vol. 37, no. 2, pp. 181-187, 2012.
- [4] H. Lee, D. Lee, S. Yeom, J. Son, V. P. Guchin, and S. Kim, "Image registration and fusion between passive millimeter wave images and visual images," *J. KICS*, vol. 36, no. 6, pp.

- 349-354, 2011.
- [5] W.-H. Kim, N.-W. Moon, H.-K. Kim, and Y.-H. Kim, "Linear polarization sum imaging in passive millimeter-wave imaging system for target recognition," *Progress in Electromagnetics Res.*, vol. 136, pp. 175-193, 2013.
- [6] H. Sato, K. Sawaya, K. Mizuno, J. Uemura, M. Takeda, J. Takahashi, K. Yamada, K. Morichika, T. Hasegawa, H. Hirai, H. Nikura, T. Matsuzaki, S. Kato, and J. Nakada, "Passive millimeter-wave imaging for security and safety applications," in *Proc. SPIE 7671*, Orlando, Florida, United States, Apr. 2010.
- [7] X. Shen, C. R. Dietlein, E. Grossman, Z. Popovic, and F. G. Meyer, "Detection and segmentation of concealed objects in terahertz images," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 17, no. 12, pp. 2465-2475, Dec. 2008.
- [8] C. D. Haworth, Y. De Saint-Pern, D. Clark, E. Trucco, and Y. R. Petillot, "Detection and tracking of multiple metallic objects in millimeter-wave images," *Int. J. Computer Vision*, vol. 71, no. 2, pp. 183-196, Feb. 2007.
- [9] S. Yeom, D.-S. Lee, J.-Y. Son, M.-K. Jung, Y. Jang, S.-W. Jung, and S.-J. Lee, "Real-time outdoor concealed-object detection with passive millimeter wave imaging," *Opt. Express*, vol. 19, no. 3, pp. 2530-2536, 2011.
- [10] L. C. Li, J. Y. Yang, G. L. Cui, Z. M. Jiang, and X. Zheng, "Method of passive MMW image detection and identification for close target," *J. Infrared, Millimeter Terahertz Waves*, vol. 32, no. 1, pp. 102-115, Jan. 2011.
- [11] E. L. Jacobs and O. Fuxhi, "Target identification and navigation performance modeling of a passive millimeter wave imager," *Appl. Opt.*, vol. 49, no. 19, pp. E94-E105, 2010.
- [12] S. Belongie, J. Malik, and J. Puzicha, "Shape matching and object recognition using shape contexts," *IEEE Trans. PAMI*, vol. 24, no. 4, pp. 509-521, Apr. 2002.
- [13] S. Yeom, D. Lee, Y. Jang, M. Lee, and S. Jung, "Real-time concealed-object detection and recognition with passive millimeter wave imaging," *Opt. Express*, vol. 20, no. 9, pp. 9371-9381, 2012.
- [14] S. Yeom, D. Lee, and J. Y. Son, "Shape feature analysis of concealed objects with passive millimeter wave imaging," *PIER Lett.*, vol. 57, pp. 131-137, 2015.
- [15] I. Pitas, *Digital image processing algorithms and applications*, John Wiley and Sons, Inc., 2000.
- [16] R. C. Gonzalez and R. E Woods, *Digital Image Processing 2/E*, Prentice Hall, 2003.
- [17] Y. Mingqiang, K. Kidiyo1, and R. Joseph, *A Survey of Shape Feature Extraction Techniques, Pattern Recognition Techniques, Technology and Applications*, Peng-Yeng Yin (Ed.), pp. 43-90, I-Tech, 2008.
- [18] S. Kim and B.-J. Park, "Image segmentation algorithm based on weight information," *J. Korea Inst. Inf., Electron., Commun. Technol.*, vol. 9, no. 5, pp. 472-477, 2016.
- [19] S.-M. Jung, "Image magnification technique using improved surface characteristics estimation method," *J. Korea Inst. Inf., Electron., Commun. Technol.*, vol. 10, no. 1, pp. 95-101, 2017.
- [20] R. O. Duda, P. E. Hart, and D. G. Stork, *Pattern Classification*, John Wiley & Sons, 2001.
- [21] C. M. Bishop, *Neural Networks for Pattern Recognition*, Oxford, 1995.
- [22] S. Yeom, D.-S. Lee, and J.-Y. Son, "Vector clustering of passive millimeter wave images with linear polarization for concealed object detection," *PIER Lett.*, vol. 39, pp. 169-180, 2013.

염 석 원 (Seokwon Yeom)



1997년 : 한국전력 사원
1999년 : 고려대학교 전자공학과 석사
2006년 : 코네티컷대학교 전자공학과 박사
2006~2007년 : 코네티컷 대학교 박사 후 연구원

2014년 : 메릴랜드대학교 방문교수
2007년~현재 : 대구대학교 정보통신공학부 교수
<관심분야> 신호 및 영상처리, 광정보처리, 패턴인식, 다중표적 추적

손 정 영 (Jung-Young Son)



1973년 : 한국항공대학교 전자공학과 졸업
1982년 : 테네시대학교 전자공학과 석사
1985년 : 테네시대학교 응용광학과 박사
1985년~1989년 : 테네시대학교

박사 후 Space Institute 선임연구원
1989년~2002년 : 한국과학기술연구소 책임 연구원
2002년~2006년 : 한양대학교 연구교수
2004년~현재 SPIE Fellow
2006년~2011년 : 대구대학교 정보통신공학부 석좌교수
2011년~현재 : 건양대학교 의공학부 석좌교수
<관심분야> 3차원 영상, 전자 홀로그래피, 레이저 기반 광학 측정