

## 스테레오 3mm 밀리미터파 영상을 이용한 은닉물체의 거리추정에 관한 연구

염석원<sup>1</sup>

<sup>1</sup>대구대학교 정보통신공학부

### Stereo 3 mm Millimeter Wave Imaging for Distance Estimation to Concealed Objects

Seokwon Yeom<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Computer and Communication Engineering, Daegu University

**요 약** 밀리미터파 영상시스템은 위험한 은닉 물체를 탐지하는 분야에 활용되고 있다. 능동형 시스템은 외부 RF 신호원이 필요하지만 수동형은 인체와 물체의 온도차에 의한 흑체복사 성질을 이용하므로 실내외에서 사용이 가능하다. 그러나 일반적으로 수동형 밀리미터파 영상은 온도분해능과 신호레벨이 낮고 잡음의 영향이 크다. 본 논문에서 은닉 물체까지의 거리 추정을 위한 수동형 스테레오 3mm 밀리미터파 영상에 관한 연구를 수행한다. 수평, 수직 편광 밀리미터파 영상시스템에서 획득한 두 쌍의 스테레오 영상을 이용하여 은닉물체를 k-means 클러스터링 알고리즘으로 몸체영역과 분할하고 물체의 중심 위치를 이용하여 거리를 추정한다. 실험에서 성공적으로 거리를 추정할 수 있음을 확인한다.

• 주제어 : 수동형 밀리미터파 영상, 은닉물체 검출, 거리추출, 영상분할, 스테레오 영상.

**Abstract** Passive millimeter wave (MMW) imaging penetrates clothing to detect concealed objects. The distances extraction to the concealed objects is critical for the security and defense. In this paper, we address a passive stereo 3 mm MMW imaging system to extract the longitudinal distance to the concealed object. The concealed object area is segmented and extracted by the k-means clustering algorithm with splitting initialization. The distance to the concealed object is estimated by the corresponding centers of the segmented objects. In the experimental two pairs (each pair for horizontal and vertical polarization) of stereo MMW images are obtained to estimate distances to concealed objects.

• Key Words : Passive Millimeter Wave Imaging, Concealed Object Detection, Distance Extraction, Image Segmentation, Stereo Imaging.

Received 01 April 2017, Revised 11 May 2017, Accepted 31 May 2017

\* Corresponding Author Seokwon Yeom, School of Computer and Communication Engineering, Daegu University, 201, Daegudae-ro, Gyeongsan-si, Gyeongbuk-do, Korea. E-mail: yeom@daegu.ac.kr

## I. 서론

위험한 은닉물체 검출을 위한 밀리미터파 영상 시스템의 활용이 증가하고 있다[1]. 특히 수동형 밀리미터파 영상시스템은 인체에 무해하고 실내외에서 이동하는 다수의 사람을 대상으로 위험물질 소지의 탐지가 가능하다. 그러나 일반적으로 밀리미터파 영상은 회절의 제한으로 해상도가 낮고 수동형 영상시스템은 능동형에 비하여 온도 분해능과 신호 대 잡음 비(SNR)가 낮다는 단점이 있다[2-4]. 이와 같은 어려움을 극복하기 위한 여러 가지 연구가 수행되어 왔다. [5]에서는 테라헤르츠(THz) 영상을 이용하여 다단계 문턱치 방법에 의한 은닉물체 검출 방법이 연구되었고 [6]에서는 다양한 확률 분포 모델을 이용하여 금속 물체를 검출하는 방법이 제안되었다. 은닉물체 검출을 위한 가우시안 혼합 모델(Gaussian mixture model)을 이용하는 방법이 제안 되었다[7]. [8]에서는 스테레오 수동형 밀리미터파 영상획득 방법으로 거리를 추정하여 원거리 Depth map을 구성하였고 [9]에서는 은닉물체까지의 거리추정에 대한 연구가 수행되었다.

본 논문에서는 수동형 스테레오 밀리미터파 영상을 이용하여 은닉된 물체를 분할하여 검출하고 매칭 점을 이용한 거리추정 기술을 소개한다. [9]에서는 8 mm영역 스테레오 영상을 대상으로 거리를 추정한 연구가 수행되었지만 본 논문에서는 3 mm 영역의 수평과 수직 편광 영상을 이용하여 거리추정이 가능함을 보인다. 3 mm 밀리미터파 영상은 레일리 기준(Rayleigh Criterion)에 따라 8 mm 영상보다 공간해상도가 높지만 감쇄가 크다. 그러므로 은닉물체가 단 거리에 위치한 경우에 적합하다. 은닉물체의 분할은 k-means 클러스터링(Clustering) 알고리즘으로 수행되며 은닉물체의 중심을 대응점으로 하여 스테레오 매칭기법을 통하여 은닉물체까지의 거리를 추정한다. 실험에서는 의복 속에 은닉된 도끼의 지니고 있는 대상자로 부터 획득한 수평, 수직방향 편광방향 스테레오 밀리미터파 영상을 분할하여 물체를 검출하고 거리를 추정한다. 그림 1은 시스템의 전체 구성도이다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II절에서는 k-means 클러스터링 알고리즘과 거리추정 방법을 제시한다. III절에서는 실험결과를 보여주고 IV절에서

는 결론을 제시한다.

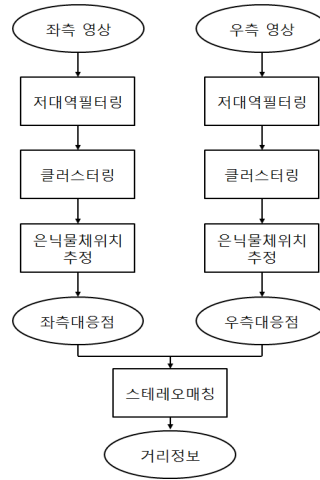


Fig. 1. Distance information extraction with passive stereo millimeter wave imaging.

## II. 본 론

밀리미터파 영상은 일반적인 가시광선 영역의 영상과 비교하여 저해상도이며 SNR이 낮다. 본 논문에서는 k-means 클러스터링으로 배경에서 몸체와 은닉된 물체를 분할한다. 그림 2는 분할 초기화(Splitting Initialization)를 이용한 k-means 알고리즘의 순서도이다.

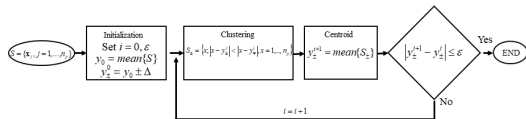


Fig. 2. k-means Clustering Algorithm with Splitting Initialization.

위의 그림에서  $x_i$ 는  $i$ 번째 화소의 세기 값이며  $\Delta$ 는 초기값을 나눈다(Splitting).  $n_p$ 는 전체 화소 수이며  $S_+$ 와  $S_-$ 는 각각 분할된 두 개의 클러스터이다. 한 쌍의 스테레오 밀리미터파 영상에서 분할된 은닉물체의 중심이 두 영상 간의 대응점이 된다. 스테레오 영상의 대응점간의 물리적 거리는 다음과 같다 [9].

$$\Delta_x = l \cdot \alpha \cdot \Delta_p \quad (1)$$

여기서  $l$ 은 영상의 초점거리,  $\alpha$ 는 영상시스템의 스캐닝 각도,  $\Delta_p$ 는 대응점간의 화소차이다. 은닉물체까지의 거리는 다음 식을 이용하여 구한다.

$$d = \frac{l \cdot b}{\Delta_x} = \frac{b}{\alpha \cdot \Delta_p} \quad (2)$$

여기서  $b$ 는 Baseline 거리이다.

### III. 실험 및 결과

실험에서는 도끼를 의복 속에 은닉하여 3 mm 스테레오 밀리미터파 영상시스템을 이용하여 획득하였다. 대상자는 시스템과 1.4 m 거리에 위치하였고  $l$ 과  $b$ 는 각각 0.05 m,  $\alpha$ 는 0.007 rad이다. 그림 3과 4는 수평, 수직 방향의 편광 시스템에서 획득한 한 쌍의 스테레오 밀리미터파 영상이다. 그림 5와 6은 각각 그림 3과 4를 k-means 클러스터링 알고리즘을 이용하여 분할한 영상이며 그림 3과 4의 \*표는 분할된 은닉물체의 중심이다. 그림 5(a)와 5(b)의 중심점의  $x$ 축 좌표는 각각 29와 34이고 그림 6(a)와 6(b)의 중심점의  $x$ 축 좌표는 각각 38과 43이다. 그림 7은 식 (2)를 이용하여 얻은 화소 차이에 따른 거리 분해능이다. 거리 분해능은 이산적인 화소 차의 역수에 비례하므로 이산적인 값을 갖는다. 실험 결과  $\Delta_p$ 는 5화소이고 은닉물체까지의 거리는 1.43 m로 실제의 거리 값인 1.4 m와 매우 근접함을 알 수 있다.

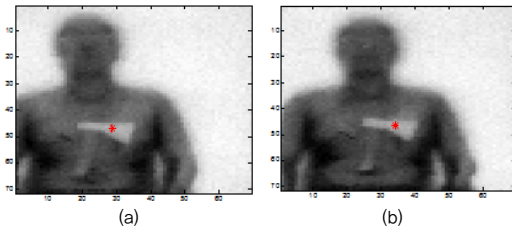


Fig. 3. Horizontal direction polarization stereo 3 mm MMW image, (a) left, (b) right.

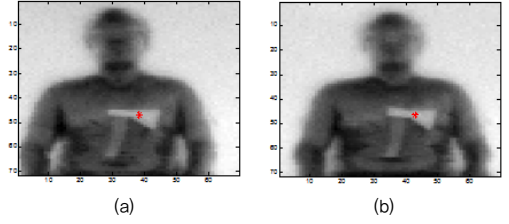


Fig. 4. Vertical direction polarization stereo 3 mm MMW image, (a) left, (b) right.

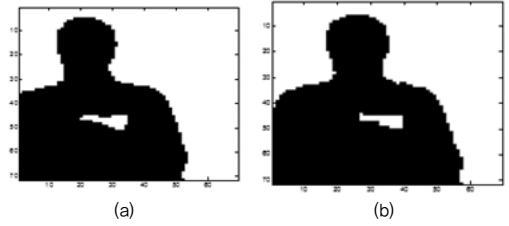


Fig. 5. k-means segmentation of (a) Fig. 3(a), (b) Fig. 3(b).

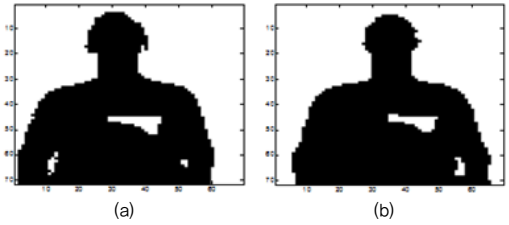


Fig. 6. k-means segmentation of (a) Fig. 4(a), (b) Fig. 4(b).

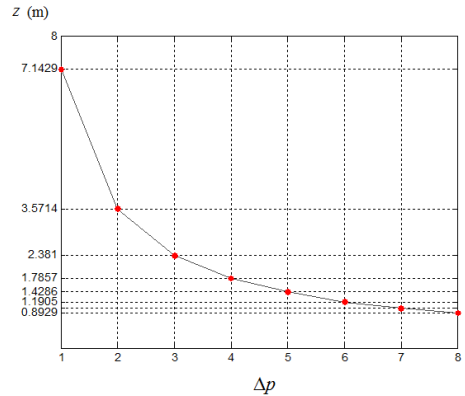


Fig. 7. Distance extraction vs. pixel disparities.

## V. 결론

본 논문에서는 위험물체를 소지한 대상으로부터 수동형 스테레오 밀리미터파 영상을 획득하여 은닉 물체를 분할하고 거리를 추정하는 시스템을 연구하였다. 은닉물체의 분할은 k-means 클러스터링 알고리즘을 이용하였고 이산적인 거리 값을 구할 수 있었다. 향후 밀리미터파 영상 화질의 개선에 대한 연구를 계획하고 있다.

## REFERENCES

[1] <http://www.tsa.gov/traveler-information/advanced-imaging-technology-ait>

[2] L. Yujiri, M. Shoucri, and P. Moffa, "Passive millimeter-wave imaging," *IEEE Microw. Mag.* 4(3), 39-50 (2003).

[2] Hua-Mei Chen, Seungsin Lee, Rao, R. M., Slamani, M.-A., and Varshney, P. K., "Imaging for concealed weapon detection: a tutorial overview of development in imaging sensors and processing," *IEEE Signal Process. Mag.* 22(2), 52-61 (2005).

[3] National Research Council, "Assessment of millimeter-wave and terahertz technology for detection and identification of concealed explosives and weapons," The National Academies Press, Washington, D.C. (2007).

[4] R. Appleby, and R. N. Anderton, "Millimeter-wave and submillimeter-wave imaging for security and surveillance," *Proc. the IEEE* 95(8) 1683-1690 (2007).

[5] 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.* 17(12), 2465-2475 (2008).

[6] 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. Comput. Vis.* 71(2), 183-196 (2007).

[7] T. Lüthi and C. Mätzler, "Stereoscopic Passive Millimeter-Wave Imaging and Ranging," *IEEE*

*Trans. on Microwave theory and techniques*, 53(8), 2594-2599 (2005).

[8] S. Yeom, D. Lee, Y. Jang, M. Lee, and S. Jung, "Real-time outdoor concealed object detection with passive millimeter wave imaging", *Optics Express*, 19(3), 2530-2536 (2011).

[9] S. Yeom, D. Lee, H. Lee, J. Son, and V. P. Guschin, "Distance estimation of concealed objects with stereoscopic millimeter wave imaging", *Progress In Electromagnetics Research*, 115, 399-407 (2011).

## 저자소개



### 염 석 원 (Seo-kwon Yeom)

2007년 3월~현재 대구대학교 정보통신공학부 교수  
 2014년 메릴랜드 대학교 방문교수  
 2006년 코네티컷대학교 전자컴퓨터 공학과 박사  
 ※관심분야: 지능 영상처리, 광 정보 처리, 다중표적추적