

은닉 물체 검출을 위한 실시간 수동형 밀리미터파 영상 분할

정회원 이 동 수*, 종신회원 염 석 원*, 정회원 이 문 교**, 준회원 정 상 원**, 정회원 장 유 신**

Real-time passive millimeter wave image segmentation for concealed object detection

Dong-Su Lee* *Regular Member*, Seokwon Yeom* *Lifelong Member*, Mun-Kyo Lee** *Regular Member*
Sang-Won Jung** *Associate Member*, YuShin Chang** *Regular Member*

요 약

밀리미터파 영상시스템은 의복을 투과하는 성질이 뛰어나서 의복 속에 숨겨둔 은닉 물체를 탐지하는 분야에 활용된다. 더불어 수동형 밀리미터파 영상 시스템은 능동형 시스템과 달리 실내외의 개방된 공간에서 움직이는 대상자들의 탐지가 가능하다. 그러나 수동형 밀리미터파 영상은 일반적으로 회절의 제한과 낮은 신호 레벨로 해상도가 낮으며 잡음의 영향이 크다. 그러므로 영상을 효과적으로 처리하기 위한 신호의 모델링과 통계적 분석이 요구된다. 본 논문에서 은닉 물체 검출을 수행하는 밀리미터파 영상 분할 알고리즘을 C++로 구현하여 실시간으로 처리한다. 영상의 분석을 위하여 밀리미터파 영상의 히스토그램을 혼합 가우시안 모델로 추정하고 은닉 물체를 다단계 영상 분할 방법으로 추출한다. 다단계 분할은 배경에서 물체를 분리하는 전역분할과 은닉물체를 물체에서 분리하는 국소분할로 이루어진다. 각 분할단계는 k -means, EM 추정, 판정단계로 구성되어 있다. 실험에서 실외에서 획득한 수동형 밀리미터파 영상을 분석하여 은닉 물체를 실시간으로 검출할 수 있음을 확인한다.

Key Words : passive millimeter wave, segmentation, real-time, concealed-object detection, Open-CV, clustering

ABSTRACT

Millimeter wave (MMW) readily penetrates fabrics, thus it can be used to detect objects concealed under clothing. A passive MMW imaging system can operate as a stand-off type sensor that scans people in both indoors and outdoors. However, because of the diffraction limit and low signal level, the imaging system often suffers from low image quality. Therefore, suitable statistical analysis and computational processing would be required for automatic analysis of the images. In this paper, a real-time concealed object detection is addressed by means of the multi-level segmentation. The histogram of the image is modeled with a Gaussian mixture distribution, and hidden object areas are segmented by a multi-level scheme involving k -means, the expectation-maximization algorithm, and a decision rule. The complete algorithm has been implemented in C++ environments on a standard computer for a real-time process. Experimental and simulation results confirm that the implemented system can achieve the real-time detection of concealed objects.

I. 서 론

밀리미터파 영상은 섬유 및 의복을 투과하는 성질이

※ 본 연구는 삼성탈레스 및 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0027695)

* 대구대학교 정보통신공학부, (yeom@daegu.ac.kr), (°교신저자) ** 삼성탈레스

논문번호 : KICS2011-11-572, 접수일자 : 2011년11월30일, 최종논문접수일자 : 2012년 2월 12일

뛰어나서 은닉물체 검출과 같은 보안 및 군사 응용 분야에서 많이 활용되고 있다^[6]. 또한 수동형 밀리미터 파 영상 시스템은 안개, 비, 먼지, 구름, 모래폭풍으로 시야가 제한된 상태에서도 표적을 확인할 수 있는 영상을 획득한다. 그러나 수동형 밀리미터파 영상 시스템은 회절의 제한과 낮은 신호 대 잡음비(SNR)로 인하여 가지 영상과 비교하여 해상도가 현저히 낮고 잡음의 영향이 크다^[7]. 일반적으로 수동형 밀리미터파 영상 시스템은 개구의 크기와 공간 해상도(spatial resolution)의 trade-off로 인하여 고해상도 영상을 얻기 위하여 시스템의 크기가 커져야 한다. 그리고 수동형 밀리미터파 영상 시스템의 온도 분해능(temperature resolution)은 집적 시간(integration time)과 시스템의 대역폭(bandwidth)에 영향을 받는다.

위와 같은 어려움을 극복하기 위하여 [8]에서는 테라헤르츠(THz) 영상을 이용하여 다단계 문턱치 방법에 의한 은닉물체 검출 방법이 연구되었고 [9]에서는 다양한 확률 분포 모델을 이용하여 금속 물체 검출 방법이 제안되었다. 최근에는 가우시안 혼합 모델(Gaussian mixture model, GMM)을 이용하여 은닉 물체검출 다단계 추정(expectation)-최대화(maximization) (EM)로 하는 방법이 제안 되었다^[10].

본 논문에서는 실시간 수동형 밀리미터파 영상 시스템에서 획득한 영상을 이용하여 은닉된 물체를 분할하여 검출하는 알고리즘을 소개한다^[11]. 다단계 분할은 크게 전역 분할과 국소 분할로 구성된다. 전역 분할은 배경 영역에서 몸체 영역을 분할하고 국소 분할에서는 몸체 영역에서 은닉된 물체 영역을 추출한다. 전역 분할과 국소 분할은 각각 k -means, EM 알고리즘, Bayesian 판정 과정으로 구성된다. k -means 알고리즘은 GMM의 초기 파라미터 설정 값을 위하여 사용되고 EM 알고리즘은 GMM의 파라미터인 평균, 분산, 가중치를 추정한다. Bayesian 판정 과정으로 각 화소의 클러스터(cluster)를 결정한다.

본 논문의 수동형 밀리미터파 영상 시스템은 1초에 하나의 프레임을 생성한다. 그러므로 각 프레임을 실시간 자동 분석하기 위하여 허용된 시간은 수십 밀리초에 불과하다. 따라서 다단계 영상 분할을 C++ 프로그램을 이용하여 구현한다. 실험에서는 의복 속에 금속판을 은닉하고 수동형 밀리미터파 영상 시스템으로 영상을 획득한다. 구현된 C++ 프로그램은 획득된 영상을 이용하여 은닉 물체 검출을 수행한다. 영상 분할의 성능은 평균 확률 에러

(average probability error)와 수행 시간(computational time)으로 평가한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 본문에서는 실시간 밀리미터파 영상 시스템과 은닉 물체 검출을 위한 영상 분할 방법을 소개한다. 실험에서는 제안된 방법을 이용한 실시간 처리 결과를 보여주고 결론으로 끝을 맺는다.

II. 본 론

2.1. 수동형 밀리미터파 영상 시스템

수동형 밀리미터파 영상 시스템은 지름 50 cm의 폴리에틸렌 렌즈, 반사판, 30채널 1차원 수신기 어레이, 수신기 구동장치로 구성된다^[12]. 렌즈의 초점 길이와 시야각(field of view)은 각각 500 mm와 $17 \times 17^\circ$ 이다. 그러므로 30채널 1차원 수신기 어레이는 17° 범위에 30 화소로 대응한다. 각 수신기는 유전체 봉 안테나(dielectric rod antenna), 4개의 저잡음 증폭기, 탐지기로 구성한다. 본 논문의 시스템은 10 mrad 공간 해상도와 1.5 K 온도 분해능을 가진다. 채널 하나의 집적 시간은 10 msec이고 프레임 생성 속도는 1 Hz이다. 그림 1은 수동형 밀리미터파 영상 시스템을 나타낸다.



그림 1. 수동형 밀리미터파 영상 시스템
Fig. 1. Passive millimeter wave imaging system.

2.2. 은닉물체 검출을 위한 영상 분할

2.2.1. 다단계 영상 분할 방법

다단계 영상 분할은 그림 2에서와 같이 전처리 과정(pre-processing), 전역 분할(global segmentation), 국소 분할(local segmentation), 몸체 영역의 침식(erosion) 과정으로 구성한다. 그리고 각 분할 단계는 k -means 과정^[13], EM 알고리즘^[14], 사후 확률(posterior probability) 판정 과정으로 구성된다.

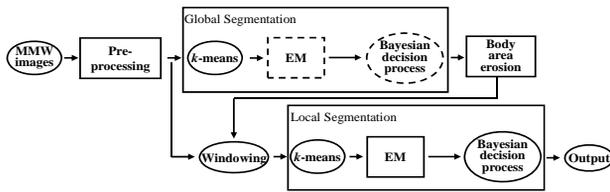


그림 2. 다단계 영상 분할 흐름도
Fig. 2. Block diagram of the multi-level segmentation.

전처리 과정에서 bi-cubic 보간법으로 낮은 해상도의 밀리미터파 영상을 모자이크 현상 없이 확대 보상한다. 전역 분할 과정은 배경으로부터 몸체 영역을 추출하고 국소 분할 과정은 몸체 영역에서 은닉된 물체를 검출하기 위하여 수행된다. 각 단계의 사후 확률 판정 과정은 각 영역의 화소가 속한 클러스터를 판정한다. 몸체 영역의 침식과정은 전역 분할 과정에서 과분할(oversegmentation) 되는 몸체 경계 영역을 형태학적으로 침식 하여 축소한다. 다단계 영상 분할의 수행 시간을 단축하기 위한 고속 처리 방법은 그림 2에서와 같이 전역 분할 과정에서 실선으로 표시된 EM 알고리즘과 Bayesian 판정 과정을 제외하는 것으로 k-means 알고리즘만으로 배경영역에서 몸체영역을 분할한다.

다단계의 분할 과정에서 밀리미터파 영상의 히스토그램은 두 요소의 가우시안 혼합 분포(component or cluster)로 모델링된다. 즉, 각 화소들은 다음과 같은 가우시안 혼합 모델의 확률 밀도 함수(probability density function, PDF)로 가정한다.

$$p(\mathbf{x}_j) = \sum_{k=1}^{n_k} N(\mathbf{x}_j | \boldsymbol{\mu}_k, \Sigma_k) P(G_k), \quad j = 1, \dots, n_p \quad (1)$$

위의 식에서 $\boldsymbol{\mu}_k$ 와 Σ_k 는 각각 k 번째 정규분포의 평균과 공분산이다. G_k 는 k 번째 클러스터를 나타내고 n_k 는 클러스터의 수이다. n_p 는 화소 수이며 N 은 가우시안 확률 밀도 함수를 나타낸다. EM 알고리즘은 $\boldsymbol{\mu}_k, \Sigma_k, P(G_k)$ 을 수렴에 도달할 때까지 반복적으로 추정한다. 그림 3은 EM 알고리즘의 흐름도를 보여준다. ϵ 은 반복을 종료하는 값이고 로그 우도 L_i 는

$$L_i = \sum_{j=1}^{n_p} \log p_i(\mathbf{x}_j) \text{이다.}$$

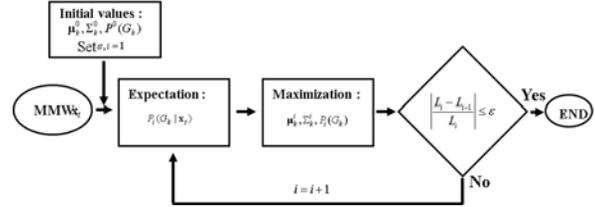


그림 3. EM 알고리즘의 흐름도
Fig. 3. Block diagram of the EM algorithm.

Bayesian 판정 규칙은 각 화소를 EM 알고리즘에서 획득한 사후확률 밀도 함수를 이용하여 식 (2)과 같이 두 영역 G_1 과 G_2 로 분리한다.

$$P(G_1 | \mathbf{x}_j) > P(G_2 | \mathbf{x}_j), \quad j = 1, \dots, n_p \quad (2)$$

즉, 전역 분할에서 G_1 과 G_2 는 각각 몸체와 배경을 나타내며 국소 분할에서 G_1 과 G_2 는 각각 은닉 물체와 몸체 영역을 의미한다.

2.2.2. 성능 평가(performance evaluation)

영상 분할의 성능은 평균 확률 에러(average probability error)를 이용하여 평가한다.

$$P_e = \frac{|F_o - F_s| + |F_s - F_o|}{|I|} \quad (3)$$

위의 식에서 F_o 와 F_s 는 각각 은닉 물체의 실제 영역(ground truth)과 다단계 영상 분할 방법에 의해서 분할 된 영역을 나타낸다. I 는 수동형 밀리미터파 영상의 전체 영역을 나타내고 $| \cdot |$ 는 영역 안의 픽셀 수를 나타낸다.

III. 실험

실험에서는 금속판과 권총을 각각 의복 속에 은닉하여 1 Hz 프레임 생성율로 10초 동안 10개의 밀리미터파 영상을 획득하였다. 그림 4(a)와 4(b)는 의복 속에 금속판을 은닉한 상태의 영상과 실제 금속판의 영상이다. 그림 4(c)는 수동형 밀리미터파 영상이다. 그림 5(a)와 5(b)는 의복 속에 권총을 은닉한 상태의 영상과 실제 권총의 영상이다. 그림 5(c)는 수동형 밀리미터파 영상이다. 수동형 밀리미터파 영상은 bi-cubic 보간법을 이용하여 3배로 확대한다. 확대 후 밀리미터파 영상은 72×90 화소이다.

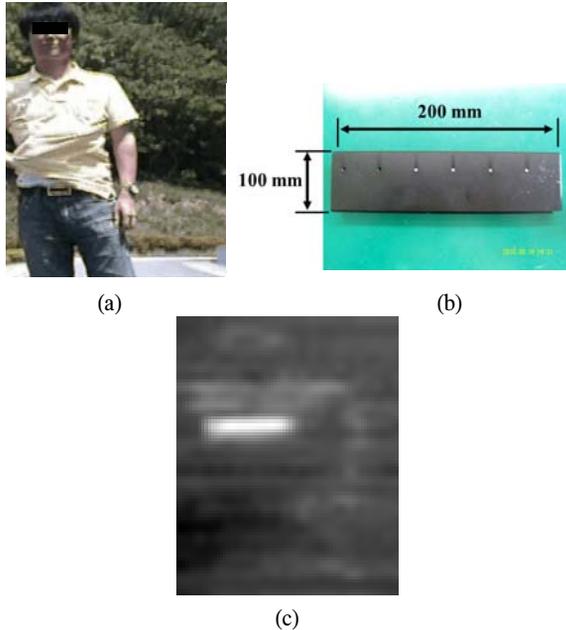


그림 4. (a) 금속판을 의복 속에 숨긴 형태, (b) 은닉된 금속판, (c) 수동형 밀리미터파 영상
 Fig. 4. (a) human subject hiding a metal plate (b) concealed metal plate, (c) passive millimeter wave image.

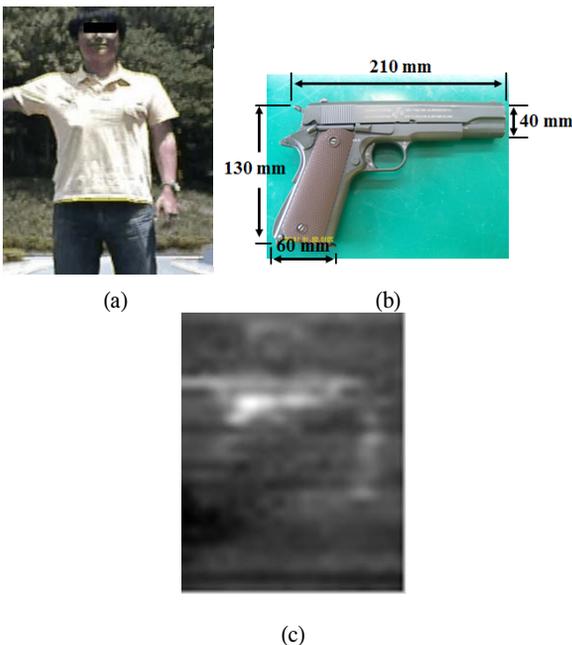


그림 5. (a) 권총을 의복 속에 숨긴 형태, (b) 은닉된 권총, (c) 수동형 밀리미터파 영상
 Fig. 5. (a) human subject hiding a gun (b) concealed gun, (c) passive millimeter wave image.

그림 6(a)와 6(c)는 그림 4(c) 영상을 정상 처리에서 각각 전역 분할과 국소 분할 후 구해진 GMM과 히스토그램의 정합(fitting) 결과를 나타내고 그림 6(b)와 6(d)는 전역 분할과 국소 분할 후 영상이다. 그림 7(a)와 7(c)는 그림 5(c) 영상을 고속 처리에서 각각 전역 분할과 국소 분할 후 구해진 GMM과 히스토그램의

정합(fitting) 결과를 나타내고 그림 7(b)와 7(d)는 전역 분할과 국소 분할 후 영상이다.

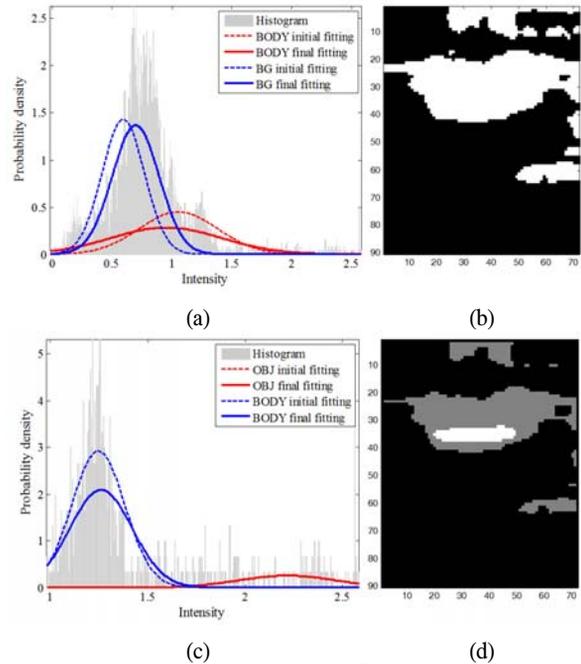


그림 6. 정상 처리, (a) 전역 분할 후 GMM의 fitting 결과, (b) 전역 분할 후 영상, (c) 국소 분할 후 GMM의 fitting 결과, (d) 국소 분할 후 영상

Fig. 6. Standard process, (a) GMM fitting result after global segmentation, (b) segmented image after global segmentation, (c) GMM fitting result after local segmentation, (d) segmented image after local segmentation.

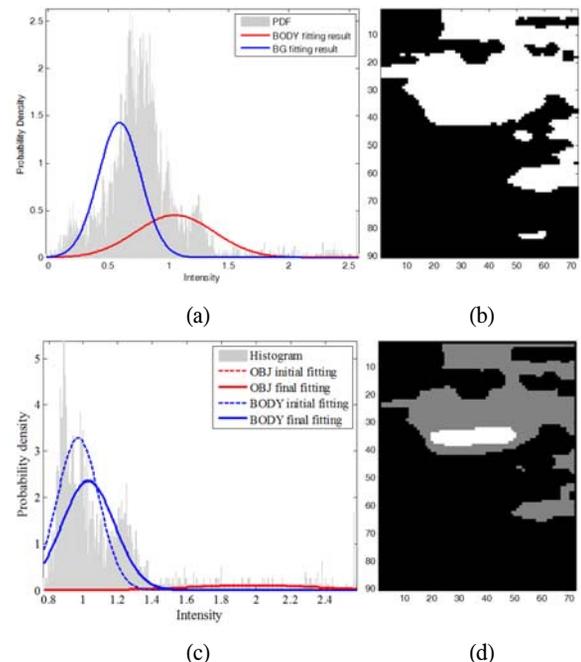
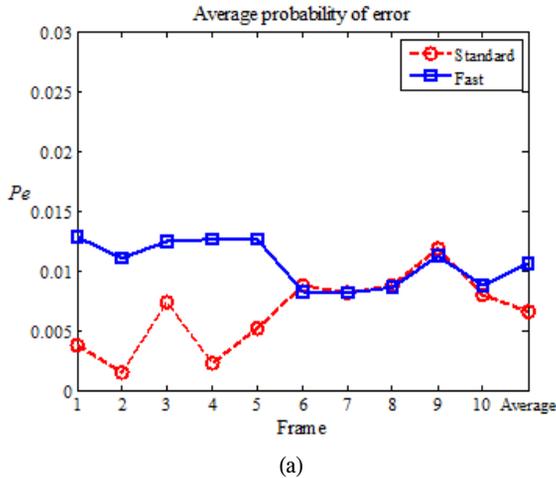


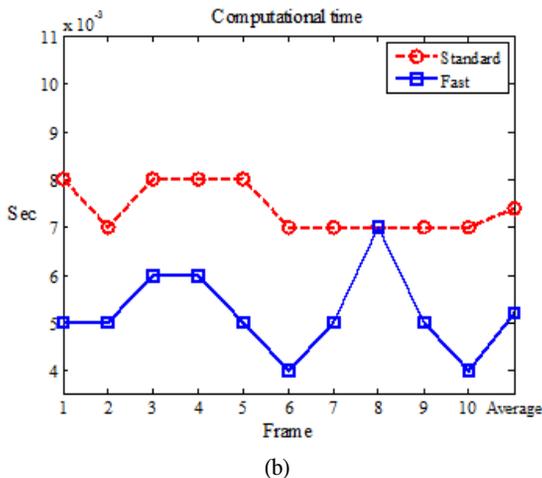
그림 7. 고속 처리, (a) 전역 분할 후 GMM의 fitting 결과, (b) 전역 분할 후 영상, (c) 국소 분할 후 GMM의 fitting 결과, (d) 국소 분할 후 영상

Fig. 7. Fast process, (a) GMM fitting result after global segmentation, (b) segmented image after global segmentation, (c) GMM fitting result after local segmentation, (d) segmented image after local segmentation.

실험에 사용된 컴퓨터 사양은 듀얼 코어 2.66 GHz CPU이고 Visual studio 2010 C++ 개발 환경을 이용하여 구현하였다. 그림 8(a)과 8(b)는 금속판 영상의 각 프레임 별 평균 확률 에러와 수행 시간을 보여주고 그림 9(a)와 9(b)는 권총 영상의 각 프레임 별 평균 확률 에러와 수행 시간을 보여준다. 정상 처리의 평균 수행 시간은 각각 7.4 msec와 7.2 msec이고 고속 처리의 평균 수행 시간은 각각 5.2 msec와 4.3 msec으로 실시간 은닉 물체 자동 검출 처리 과정으로 적합함을 보인다.

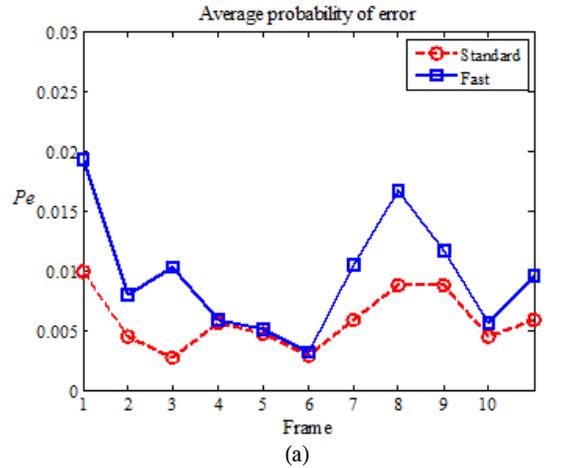


(a)

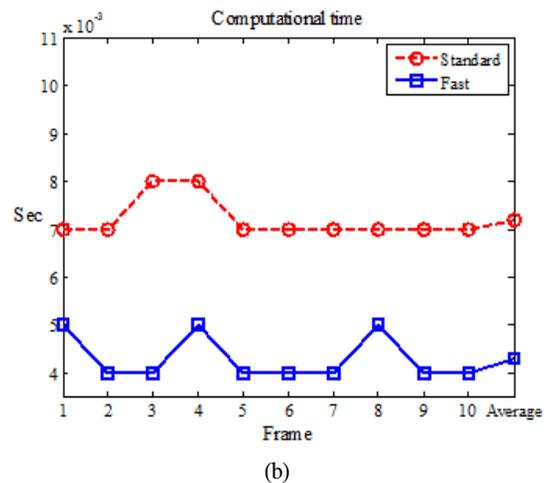


(b)

그림 8. 금속판, (a) 평균 확률 에러, (b) 수행 시간
Fig. 8. Metal plate, (a) average probability of error, (b) computational time.



(a)



(b)

그림 9. 권총, (a) 평균 확률 에러, (b) 수행 시간
Fig. 9. Gun, (a) average probability of error, (b) computational time.

IV. 결론

본 논문에서는 개방된 실내외 환경에서 실시간 수동형 밀리미터파 영상을 획득하여 은닉 물체를 분할하고 검출하는 시스템을 소개하였다. 은닉 물체 검출을 위하여 *k*-means, EM 알고리즘, Bayesian 판정 규칙으로 구성된 다단계 영상 분할을 개발하였다. 다단계 영상 분할은 Open-CV 라이브러리를 이용한 C++ 프로그램으로 구현하였다. 향후 검출된 은닉 물체를 이용하여 인식 및 위험 분류를 수행하는 기술을 개발할 계획이다.

참고 문헌

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

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

[3] 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," *Signal Processing Magazine, IEEE* 22(2), pp. 52-61, March, 2005.

[4] 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.

[5] 이형, 이동수, 염석원, 손정영, 블라드미르 구신, 김신환, "수동형 밀리미터파 영상과 가시 영상과의 정합 및 융합에 관한 연구," *한국통신학회논문지*, 36(6), pp. 349-354, 6월, 2011.

[6] 박공만, 김기식, 박원남, 이영성, 이상주, 김이환, "차간거리 경보시스템의 Millimeter Wave 레이더 개발," *한국통신학회논문지*, 21(2), pp. 397-400, 1월, 1998.

[7] K. B. Cooper, R. J. Dengler, N. Llombart, T. Bryllert, G. Chattopadhyay, I. Mehdi, and P. H. Siegel, "An approach for sub-second imaging of concealed objects using terahertz (THz) radar," *J. Infrared, Milli. Terahz Waves* 30, pp. 1297-1307, December, 2009.

[8] 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), pp. 2465-2475, December, 2008.

[9] 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," *International Journal of Computer Vision* 71(2), pp. 183-196, February, 2007.

[10] S. Yeom, D.-S Lee, J. Son, and M.-K Jun, Y. Jang, S.-W Jung, and S.-J Lee, "Real-time outdoor concealed-object detection with passive millimeter wave imaging," *Opt. Express* 19(3), pp. 2530-2536, January, 2011.

[11] D.-S Lee, S. Yeom, M.-K Lee, S.-W Jung, and Y. Chang, "Real-time computational processing and implementation for concealed object detection," *Optical Engineering*, under review.

[12] M.-K Jung, Y.-S Chang, S.-H Kim, W.-G Kim, and Y.-H Kim, "Development of passive millimeter wave imaging system at W-band," in *Proceedings of the 34th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, IRMMW-THz 2009*, pp. 1-2, September, 2009.

[13] A. Gersho and R. M. Gray, *Vector Quantization and Signal Compression* (Kluwer Academic Publishers, Boston, MA., 1992).

[14] C. M. Bishop, *Neural Networks for Pattern Recognition* (Oxford, 1995), Chap. 2.

이동수 (Dong-Su Lee)



정회원

2007년 대구대학교 정보통신공학부 졸업
2009년 대구대학교 정보통신공학부 석사
2009년~현재 대구대학교 정보통신공학부 박사과정

<관심분야> 신호 및 영상처리, 통신공학

염석원 (Seok Won Yeom)



중신회원

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

2007년~현재 대구대학교 정보통신공학부 조교수

2009년~현재 Marquis Who's Who in America

<관심분야> 신호 및 영상처리, 광정보처리, 패턴인식, Target tracking

이 문 교 (Mun-Kyo Lee)

정회원



2001년 동국대학교 전자공학과 석사
2009년 동국대학교 전자공학과 박사
2009년~현재 삼성탈레스(주) 레이더연구소 전문연구원
<관심분야> 초고주파 및 밀리미터파 회로, 라디오미터,

레이더시스템

장 유 신 (YuShin Chang)

정회원



1996년 부산대학교 제어기계공학과 학사
1998년 부산대학교 정밀기계공학과 석사
2006년 부산대학교 지능기계공학과 박사
2006년~현재 삼성탈레스 용인 종합연구소 전문연구원

<관심분야> 시스템구명, 강인제어, 무인제어, 서보추적제어 및 밀리미터파 라디오미터와 레이더 영상 시스템

정 상 원 (Sang-Won Jung)

정회원



2006년 영남대학교 전자공학과 학사
2009년 영남대학교 전자공학과 석사
2009년~현재 삼성탈레스 용인 종합연구소 선임연구원

<관심분야> 레이더 신호처리, 라디오미터 영상 신호처리 및 시스템