

http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.2.157

JIIBC 2013-2-21

주성분 분석과 Blob 군집화를 이용한 열화상 사람 검출 시스템의 성능 향상

Performance Improvement of Human Detection in Thermal Images using Principal Component Analysis and Blob Clustering

조아라*, 박정식**, 서용호***, 장길진*

Ahra Jo, Jeong-Sik Park, Yong-Ho Seo, Gil-Jin Jang

요약 본 논문에서는 조명이 없는 야간 및 악천후 등 가시영상 카메라를 이용하여 사람 영역을 추정하기 힘든 환경에서의 대안으로 열화상 카메라를 이용한 사람검출 방법을 제안한다. 일반적인 열화상에서 사람은 주변 배경에 비해 밝게 표현되는 특징을 이용하여, 밝기 히스토그램 상의 사람의 열화상의 신뢰 구간을 계산해 1차적으로 사람 영역을 추정한 뒤, 가우시안 필터링 및 레이블링을 통해 불필요한 잡음을 제거한다. 그 이후에 Self-occlusion 등에 의해 분리된 사람 영역을 각 blob별 무게중심 및 분포정보를 이용하여 하나의 객체 영역을 추정한다. 최종적으로 추정 영역에 대한 가로와 세로의 비율 및 크기 정보와 주성분분석(PCA; principal component analysis)를 이용하여 추정된 영역에 대하여 사람인지 여부를 결정한다. 실험결과를 통하여, 제안된 방법은 가시영상에서 검출하기 힘든 환경들에 대하여 좋은 성능을 나타내는 것을 알 수 있었다.

Abstract In this paper, we propose a human detection technique using thermal imaging camera. The proposed method is useful at night or rainy weather where a visible light imaging cameras is not able to detect human activities. Under the observation that a human is usually brighter than the background in the thermal images, we estimate the preliminary human regions using the statistical confidence measures in the gray-level, brightness histogram. Afterwards, we applied Gaussian filtering and blob labeling techniques to remove the unwanted noise, and gather the scattered of the pixel distributions and the center of gravities of the blobs. In the final step, we exploit the aspect ratio and the area on the unified object region as well as a number of the principal components extracted from the object region images to determine if the detected object is a human. The experimental results show that the proposed method is effective in environments where visible light cameras are not applicable.

Key Words : Thermal Imaging, Surveillance System, Human Detection, Night Vision

1. 서 론

현재까지의 감시 시스템은 카메라 비용의 문제로 인

하여 쉽게 접근이 가능한 가시 영상을 이용한 연구가 주를 이루고 있다^[1]. 그러나 각종 범죄들이 나날이 늘어나고 있는 현재 상황에서의 범죄 예방을 위하여, 사건이

*준회원, 울산과학기술대학교 전기전자컴퓨터공학부

**정회원, 목원대학교 지능로봇공학과

***중신회원, 목원대학교 지능로봇공학과 (교신저자)

접수일자 2013년 1월 28일, 수정완료 2013년 3월 2일
게재확정일자 2013년 4월 12일

Received: 28 January 2013 / Revised: 2 March 2013 /

Accepted: 12 April 2013

***Corresponding Author: yhseo@mokwon.ac.kr

Dept. of Intelligent Robot Eng., Mokwon University, Korea

주로 발생하는 어둡고 인적이 드문 장소에 적합한 기술의 필요성이 대두되고 있으며, 이러한 환경에서의 가시 영상을 이용한 기술은 좋은 성능을 내기 힘들다는 문제가 있다. 따라서 각종 범죄 예방을 위하여 다소 비용이 들더라도 현 문제를 보완할 기술의 필요성이 증가 하고 있다.

본 논문에서는, 물체가 발산하는 적외선 방사를 측정하여 야간 및 악천후 환경에서 객체 확인에 강인한 적외선 열화상 카메라를 이용한 효과적인 사람 검출 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 적외선 열화상의 특징에 대하여 설명하고, 3장에서는 제안한 알고리즘에 대하여 기술한 뒤, 4장에서는 제안한 방법의 실험 결과를 소개하였고, 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 적외선 열화상의 특징

적외선 열화상이란 물체가 발산하는 적외선 방사를 측정하여 표면온도의 2차원 화상을 0에서 255사이의 값으로 이미지화한 온도 기반 이미지로 외부 조명 등에 의한 간섭이 적을수록 배경과 객체를 뚜렷하게 구분할 수 있다^[2,3].

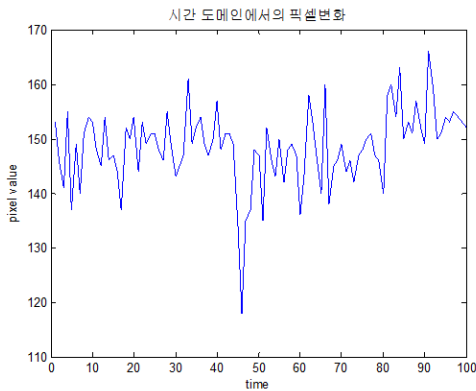


그림 1. 시간 영역에서의 픽셀 변화
Fig. 1. Pixel value change in time domain

원거리 객체 정보를 획득할 경우 공기의 영향에 의해 그림 1과 같이 프레임마다 픽셀 변화가 빈번히 발생한다. 따라서 가시영상에서의 객체 분리에 주로 사용하는 차영상(image subtraction) 기법만으로는 배경과 객체의

분리가 어렵다는 것을 알 수 있다^[2,4].

저녁 및 악천후 환경에서는 주변 온도가 낮기 때문에, 사람 영역에 대한 열화상 카메라의 측정값은 보통 255에 가깝게 나타나게 되며, 그 예는 그림 2와 같다.

3장에서는 이러한 특징을 이용한 객체 추출 방법에 대하여 서술한다.

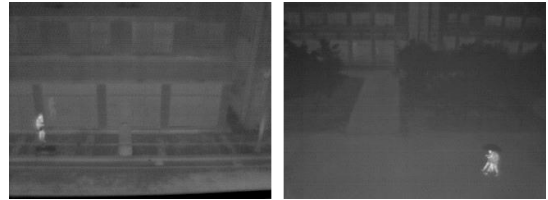


그림 2. 저녁 및 비가 오는 환경에서의 열화상
Fig. 2. Thermal camera images at night and rain

III. 객체 추출 및 사람 판별 알고리즘

본 연구의 전체 알고리즘은 그림 3과 같이 사람 추정 영역 픽셀 추출, 1차 잡음 제거, 가까운 blob 그룹화 및 사람여부 판별 순으로 진행된다.

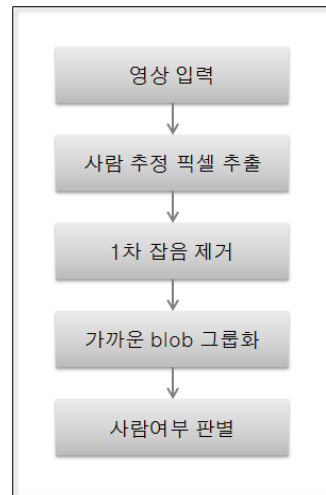


그림 3. 전체 알고리즘
Fig. 3. Overall algorithm

1. 사람 추정 픽셀 추출

전체 및 사람 영역의 히스토그램 분석 결과, 그림 4와 같이 온도를 가진 객체가 전체 확률분포도에서 신뢰구

간(Confidence interval) 95% 바깥영역 중 상위구간의 히스토그램 영역에서 주로 분포되는 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 이 구간을 1차적인 사람/사물 후보 영역으로 추정한다.

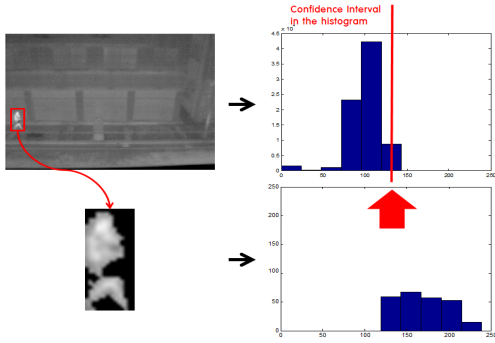


그림 4. 야간 및 악천후 환경에서의 전체 입력이미지 히스토그램 분포 및 사람 추정 영역의 히스토그램 분포 비교

Fig. 4. Histogram comparison between whole region and estimated human area at night and in bad weather

신뢰구간을 구하는 식은 다음과 같다.

$$CI(x, y) = \begin{cases} 1, & I(x, y) > \mu + 1.96 * \sigma \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

μ : 이미지의 전체 픽셀의 평균

σ : 이미지의 전체 픽셀의 표준편차

2. 1차 잡음 제거

사람 추정 픽셀 추출이 픽셀단위 연산이므로 필연적으로 잡음들이 존재한다. 또한, 하나의 그룹이 여러개의 작은 그룹으로 분리되는 경우도 빈번하다. 따라서 이러한 현상들을 아래의 식과 같이 가우시안 필터링을 통해 미세하게 떨어진 부분들은 다시 그룹화해주고, 레이블링(Labeling)을 이용해 일정 크기 이하의 blob들은 제외하여 잡음을 1차적으로 제거하였다.

$$h_g(x, y) = e^{-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

$$h(x, y) = \frac{h_g(x, y)}{\sum_x \sum_y h_g} \quad (3)$$

3. 가까운 blob 그룹화

사람 영역 내에서도 착용한 옷의 두께, 가방, 우산 등 사람이 지니고 있는 각종 물체들에 의해 사람의 체온이 차단되어 사람의 신체가 하나의 blob으로 나타나지 않는 경우가 빈번히 발생한다^[5]. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위하여 각 blob별 픽셀들의 무게중심과 그 분포를 이용하여 아래와 같이 blob 그룹화를 수행하였다.

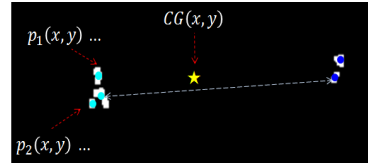


그림 5. blob 그룹화 과정

Fig. 5. blob-grouping process

① 각 blob의 무게중심 계산

$$p_i(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{L=i}, y_{L=i}) \quad (4)$$

② ①의 무게중심 계산

$$CG(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i(x, y) \quad (5)$$

③ $CG(x, y)$ 와 $p_i(x, y)$ 사이의 거리 측정

$$D_i = (x_i - x_{cg}) + (y_i - y_{cg}) \quad (6)$$

④ D 에 따라 Negative 그룹과 Positive 그룹으로 나눔

$$NN = \{D | D_i < 0\} \quad (7)$$

$$PN = \{D | D_i \geq 0\} \quad (8)$$

⑤ $p_{\max}(NN)$ 와 $p_{\min}(PN)$ 사이의 거리가 미리 주어진 허용치 이내 이면 하나의 그룹으로 가정

$$D_{squ} = (x_{p_{\max}(NN)} - x_{p_{\min}(PN)})^2 + (y_{p_{\max}(NN)} - y_{p_{\min}(PN)})^2 \quad (9)$$

$$D_{NNPN} = \frac{D_{squ}}{\sigma_{p_{\max}(NN)}} + \frac{D_{squ}}{\sigma_{p_{\min}(PN)}} \quad (10)$$

⑥ 더 이상 그룹화가 이루어지지 않을 때 까지 ①~

⑤를 반복

4. 사람 여부 판별

앞 단계에서 검출된 객체에 대하여 가로와 세로의 비율 및 주성분분석(PCA; principal component analysis)를 이용하여 사람인지 여부를 판단한다. 사람 여부 판별 알고리즘은 그림 6과 같다.

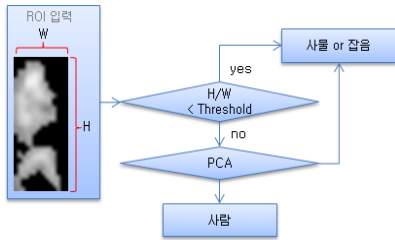


그림 6. 객체 분류 알고리즘
Fig. 6. Object classification algorithm

가. 가로와 세로의 비율 및 크기를 이용한 사람 여부 결정

blob 그룹화 과정을 통해 추출된 ROI (region of interest) 영역의 크기를 이용하여 잡음인지 객체인지 여부를 판별한다. 그 후에, 사람은 직립 보행한다는 점을 이용하여 입력된 ROI 영역의 가로와 세로의 비율이 임계값 보다 작을 경우 사람이 아닌 것으로 판단하고, 임계값보다 클 경우에는 미리 학습 되어있는 PCA 분류기를 통해 최종 판별한다.

나. PCA를 이용한 사람 판별

아직 판별되지 않은 추정 영역은 미리 등록되어있는 사람의 영상과 입력영상 사이의 유클리디안 거리 (Euclidean distance)를 계산하여 일정 임계값 보다 작을 경우에는 사람, 그렇지 않은 경우에는 사람이 아닌 것으로 최종 판단한다. 그 과정은 다음과 같다^[6].

- ① 학습 자료를 PCA에 입력



그림 7. 학습자료의 예
Fig. 7. Training data examples

- ② 빛과 배경에 의하여 발생하는 오류를 줄이기 위하여 미리 설정된 평균과 분산을 이용하여 입력 영상 정규화
- ③ 전체 2차원 학습영상을 1차원 벡터로 나타내고 이에 대한 평균 벡터 계산

$$\Psi = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M \Gamma_n \quad (11)$$



그림 8. 사람 영역의 평균 영상
Fig. 8. Average human image

- ④ 각 인식후보 휴먼 벡터와 평균 휴먼 벡터의 차 벡터 (Φ_i) 계산

$$\Phi_i = \Gamma_i - \Psi \quad (12)$$

- ⑤ $N^2 \times 1$ 벡터 Φ_i 에서 공분산 행렬(C) 계산

$$C = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M \Phi_n \Phi_n^T = AA^T \quad (13)$$

- ⑥ 공분산 행렬(C)의 고유값 및 변환 행렬계산
- ⑦ 주성분 선택

$$u_l = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M \lambda_{lk} \Phi_k \quad (l = 1, 2, \dots, M) \quad (14)$$

- ⑧ 판별하고자 하는 입력 데이터에 대하여 학습자료와 마찬가지로 방법으로 정규화

- ⑨ 입력된 영상에 대한 각 고유 가중치(ω_i) 계산

$$\omega_k = u_k^T (\Gamma - \Psi) \quad (k = 1, 2, \dots, M') \quad (15)$$

- ⑩ 고유 성분 벡터(Ω) 계산

$$\Omega^T = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{M'}] \quad (16)$$

- ⑪ 입력 영상재구성

$$\hat{\Phi} = \sum_{i=1}^K \omega_i u_i \quad (17)$$

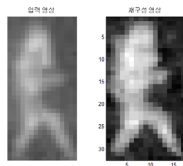


그림 9. 입력 영상 재구성 결과
Fig. 9. Reconstruction result for input images

⑫ 후보 데이터와 재구성 영상 사이의 유클리디안 거리를 계산하여 가장 작은 값이 임계값 이하이면 사람으로 판별

$$\epsilon_k = \|\Omega - \Omega_k\|^2 \quad (18)$$

IV. 실험 및 결과

사람/사물 후보 영역 추출을 위한 단계별 실험 결과는 그림 10으로, 첫 번째 이미지는 열화상 카메라로부터 입력받은 이미지이며, 두 번째는 히스토그램 신뢰구간을 이용한 사람 추정 영역, 세 번째는 가우시안 필터링과 레이블링을 이용한 1차 잡음 제거 결과, 그리고 마지막 이미지는 객체 그룹화 및 사람 추정 결과이다.

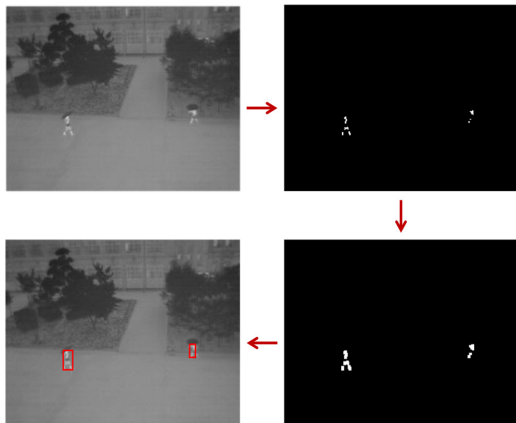


그림 10. 각 단계별 실험 결과
Fig. 10. Result of each step

야간 및 비가 오는 환경에서의 실험 결과는 OSU DB에 적용해본 결과 그림 11과 같이 사람 영역을 잘 찾는 것을 확인 할 수 있었다.

표 1. 컨퓨전 행렬

Table 1. Confusion Matrix

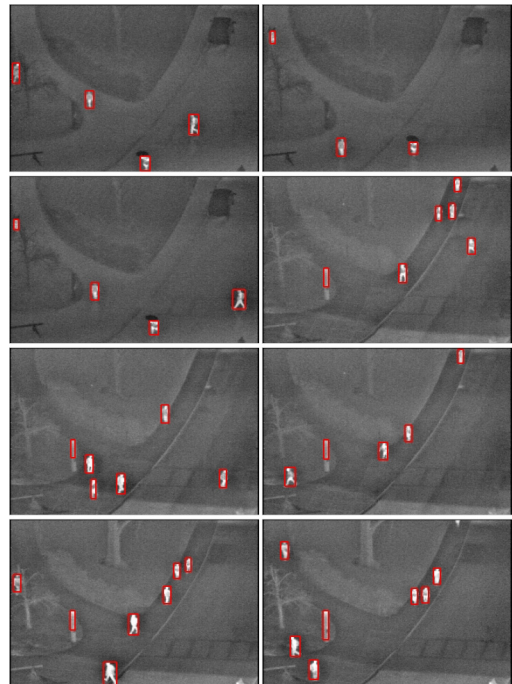
		Actual	
		Positive	Negative
Predicted	Positive	(a) 380	(b) 17
	Negative	(c) 55	(d) 55
Accuracy		0.8607	
Precision		0.9582	

표 1은 OSU DB 중 제안된 알고리즘의 환경에 맞는 DB들만을 선별하여 실험한 결과이다.

표 1의 Accuracy와 Precision은 다음과 같다.

$$Accuracy = \frac{(a) + (d)}{(a) + (b) + (c) + (d)} \quad (19)$$

$$Precision = \frac{(a)}{(a) + (b)} \quad (20)$$



- (a): 실제 사람 영역을 사람으로 예측한 수
- (b): 실제 사물 영역을 사람으로 예측한 수
- (c): 실제 사람 영역을 사물로 예측한 수
- (d): 실제 사물 영역을 사물로 예측한 수

그림 11. 최종 실험 결과 (OSU DB)
Fig. 11. Final results (OSU DB)

V. 결론

본 논문에서는 열화상 이미지의 특성과 PCA를 이용한 사람 영역 추정 알고리즘을 제안하였다. 그 결과 가시 영역 이미지에서 구분하기 힘든 조명이 없는 환경 및 비가 오는 환경에서 좋은 성능을 나타내었다.

열화상은 객체와 배경간의 온도차이가 클수록 이미지 상에서도 확연하게 구분이 되는 특징을 가지고 있어 햇빛의 영향을 받지 않는 저녁과 안개, 비, 눈 등에 의해 주변 온도가 낮아졌을 경우, 그리고 전반적으로 온도가 낮은 겨울에 더 좋은 효과를 기대할 수 있다.

이러한 장점은 가시영상으로 확인하기 힘든 시간을 대체하여 활용함으로써 강력한 범죄 예방 감시 시스템을 구축하는데 도움이 될 것으로 기대된다. 또한, 추후 배경과 사람간의 온도가 비슷한 경우에 대한 추가적인 연구를 통하여 가시 영상을 대체할 만한 감시 시스템 개발에 기여할 수 있을 것으로 보인다.

참 고 문 헌

[1] Tae-Woo Han and Yong-Ho Seo, "Emergency

Situation Detection using Images from Surveillance Camera and Mobile Robot Tracking System", Journal of IWIT, Vol.9, No.5, pp. 101-107, 2009

[2] James W. Davis and Vinay Shama, "Robust background-Subtraction for Person Detection in Thermal Imagery", IEEE Workshop on Object Tracking and Classification Beyond the Visible Spectrum, 2004.

[3] James W. Davis and Mark A. Keck, "A Two-Stage Template Approach to Person Detection in Thermal Imagery", IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, 2005.

[4] Ju Han and Bir Bhanu, "Human Activity Recognition in Thermal Infrared Imagery", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005.

[5] Harsh Nanda and Larry Davis, "Probabilistic Template Based Pedestrian Detection in Infrared Videos", IEEE Intelligent Vehicle Symposium, vol.1 pp.15-20, June 2002.

[6] Lindsay I Smith, "A tutorial on Principal Components Analysis", Feb 2002.

※ 이 논문은 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 2012년도 기초연구사업(No. 2011-0013776) 및 기초기술연구회의 국가사회적 문제해결 연구사업(NAP)의 지원으로 수행된 연구임

저자 소개

조 아 라(Ahra Jo)



- 2010년 : 안양대학교 디지털미디어공학과(공학사)
- 2010년 ~ 현재 : 울산과학기술대학교 석박사통합과정

<관심분야 : 컴퓨터비전, 패턴인식, 휴먼-컴퓨터 인터랙션>

박 정 식(Jeong-Sik Park)



- 2001년 : 아주대학교 정보및컴퓨터공학부(공학사)
- 2003년 : KAIST 전자전산학과(공학석사)
- 2010년 : KAIST 전산학과(공학박사)
- 2010년 ~ 2012년 : KAIST 전산학과 박사후연구원
- 2012년 ~ 현재 : 목원대학교 지능로봇공학과 조교수

<관심분야 : 음성정보처리, 감정인식, 휴먼-로봇인터랙션>

서 용 호(Yong-Ho Seo)



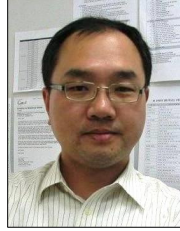
- 1999년 : KAIST 전산학과(공학사)
- 2001년 : KAIST 전자전산학과(공학 석사)
- 2007년 : KAIST 전자전산학과(공학 박사)
- 2007년 : 미국 MS 로보틱스그룹 인턴 연구원

• 2008년 : 미국 쉐일 과장

• 2010년 ~ 현재 : 목원대학교 지능로봇공학과 조교수

<관심분야 : 지능로봇, 로봇비전, 휴머노이드, 임베디드시스템>

장 길 진(Gil-Jin Jang)



- 1997년 : KAIST 전산학과(공학사)
- 1999년 : KAIST 전자전산학과(공학 석사)
- 2004년 : KAIST 전자전산학과(공학 박사)
- 2004년 ~ 2006년 : 삼성종합기술원 전문연구원

• 2006년 ~ 2007년 : 미국 Softmax, 연구원

• 2008년 ~ 2009년 : 미국 UCSD, 박사후연구원

• 2009년 ~ 현재 : 울산과학기술대학교 조교수

<관심분야 : 음성신호처리, 패턴인식, 컴퓨터비전, 의료영상처리>