

네트워크 카메라를 이용한 물체 감시와 비정상행위 판단

김진균*, 김종선, 주영훈*, 박진배**
 군산대학교 제어로봇공학*, 연세대학교 전기전자공학과**

Object surveillance and unusual-behavior judgment using Network Camera

Jin Gyu Kim*, Jong Sun Kim*, Young Hoon Joo*, Jin Bae Park**
 Kunsan National University*, Yonsei University**

Abstract - 본 논문에서는 네트워크 카메라를 이용한 물체 감시 및 비정상 행위의 판단을 위한 실시간 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 먼저 물체의 감시를 위해 SIFT 알고리즘에 기반으로 감시 물체의 특징 정보를 DB화 하고, 히스토그램(Histogram)기법을 활용하여 감시지역을 설정한다. 또한 인간의 행동 및 비정상 행위를 판단하기 위하여, 가상 인간 스펙트럼 모델을 이용하여 입력된 영상에서의 인간의 특징점을 추출한다. 추출된 특징점을 바탕으로 PCA(Principal Component Analysis)를 이용하여 인간의 움직임보다 정확하게 표현할 수 있는 특징벡터를 생성하였다. 생성된 특징벡터를 기반으로 퍼지분류기를 이용하여 인간의 행동을 분류하고, 생성된 특징벡터와 특정물체의 거리를 기반으로 인간의 비정상행위를 판단한다. 제안된 방법은 실험을 통해 시스템의 응용 가능성을 증명한다.

1. 서 론

최근 지능형 영상 감시 시스템에 대한 관심이 보안과 감시 시스템 업체를 중심으로 급격히 증가하고 있다. 지난 2001년 미국에서 발생한 911 테러 이후 보안과 감시 상황에 대해 신속하고 정확하게 대처할 수 있는 지능화 기술 개발에 많은 노력을 기하고 있다. 이에 단순한 수동적인 카메라를 이용한 보안 체계에서 네트워크 카메라를 이용한 능동적인 보안 체계로 변화하고 있다. 일반적인 보안 감시 시스템의 종류 중에서도 실내/외 도난 감시 및 방지에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 현재 개발되고 있는 대부분의 감시 시스템들은 실생활의 환경 변화를 인식하고 스스로 상황을 판단 및 분석 하기위해 인간-컴퓨터(Human-Computer Interaction : HCI)간 상호작용 기술을 적용하고 있다[1]. 카메라를 통해 입력되는 연속적인 영상으로부터 움직이는 물체를 감시하여 비정상 행위(범죄의도)를 파악하여 그 상황에 맞는 대처를 수행하기 위함이다. 최근 감시 및 인간의 행동분류 기술에 대한 연구들을 살펴보면, 입력 영상과 기준 영상에서 밝기와 색 성분을 이용하여 배경 제거하는 방법[2], Gaussian 모델을 이용하여 전경을 추출하는 방법[3]과 Stella-X 와 Boy-kov 등이 제안한 그래프 분할 방법과 그래프 컷 방법[4],과 다수의 카메라를 이용하여 인간 특징 정보를 추출하는 방법, 광학적 마커를 이용하여 인간 특징 정보를 추출 하는 방법 등이 있다[5]. 위와 같이 이동 물체의 영역 추출 및 추적에 위해 여러 가지 방법들이 제안 되었으나 다양한 조명 환경 및 복잡한 배경을 가지는 환경에서는 사용하기 어려운 제한을 가진다. 따라서 본 논문에서는 특정 물체에 대한 감시 및 도난 등의 비정상행위를 인식 하기위해 네트워크 카메라를 기반으로 SIFT 알고리즘과 히스토그램기법을 활용하여 특정물체를 감시하며, 인간의 행동 및 비정상행위를 판단하기 위하여 가상 인간 스펙트럼 모델을 이용하여 입력된 영상에서의 인간의 특징점을 추출한다. 추출된 특징점을 바탕으로 PCA(Principal Component Analysis)를 이용하여 인간의 움직임을 보다 정확하게 표현할 수 있는 특징벡터를 생성하였다. 생성된 특징벡터를 기반으로 퍼지분류기를 이용하여 인간의 행동을 분류하고, 생성된 특징벡터와 특정물체의 거리를 기반으로 인간의 비정상행위를 판단한다. 마지막으로, 제안된 방법은 실험을 통하여 그 유용성을 증명한다.

2. 네트워크 카메라를 이용한 물체 감시와 비정상행위 판단

네트워크 카메라를 이용한 물체 감시와 비정상행위 판단을 하기 위하여 SIFT 알고리즘을 적용하여 감시 물체의 특징 정보를 DB화 하고, 히스토그램(Histogram)기법을 활용하여 감시지역을 설정한다. 또한 인간의 행동 및 비정상 행위를 판단하기 위하여, 가상 인간 스펙트럼 모델 및 PCA(Principal Component Analysis)를 이용하여 인간의 움직임을 특징 벡터로 생성하고, 생성된 특징벡터를 기반으로 퍼지분류기를 이용하여 인간의 행동을 분류 한다. 최종적으로 생성된 특징벡터와 감시물체의 거리를 기반으로 인간의 비정상행위를 판단한다.

2.1 물체 감시를 위한 영상처리

물체 감시를 위하여 먼저 SIFT(Scale Invariant Feature Transform) 알고리즘을 기반으로 감시물체의 특징 정보를 DB화 한다 SIFT 알고리즘은 영상의 변환, 크기 또는 회전에 대해 일정한 특징벡터의 추출이 가능한 장점을 갖는다. SIFT 알고리즘을 이용한 특징벡터 추출 방법은 아래와 같이 크게 4단계로 구성된다.

- 1단계 Scale-space extrema detection
 모든 스케일과 영상 위치에 대해 가우시안 차분을 수행하고 스케일과 방향에 대해 불변할 가능성이 있는 후보 점 들을 구한다.
- 2단계 Keypoint localization
 1 단계에서 구한 점들의 위치와 스케일, 명암에 대해 안정도 판단을 통해 키포인트들을 구한다.
- 3단계 Orientation assignment
 각 키포인트 위치에 국부 영상 특성에 준하여 방향을 구한다.
- 4단계 Keypoint descriptor
 각 키포인트 주위의 국부 영역에서 국부 영상 변화를 구한다.

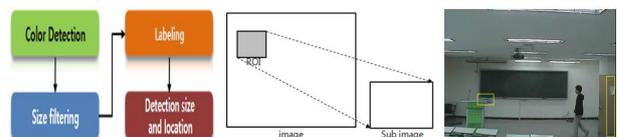
<그림 1>은 SIFT 알고리즘이 적용된 샘플 이미지의 특징벡터를 보여준다



<그림 1> SIFT를 적용한 샘플이미지

DB화된 특정 물체를 감시하기 위해 ROI(Region of Interest)를 설정한다. 먼저 ROI를 설정하기 위해 순차알고리즘을 이용한 레이블링 기법을 적용하여 영상에서의 이웃하는 화소들의 연결성을 분석한다. ROI의 크기와 위치는 입력된 이진 영상 $I[x, y]$ 의 정보를 사용한다. 크기와 위치는 식(1)과 같다. <그림 2>는 ROI 영역 설정과정 및 설정된 화면을 보여준다. 본 논문에서는 두 개의 ROI영역이 존재하며, 하나는 감시물체 주위에 다른 하나는 출입문 쪽에 지정하여 움직임물체를 탐지하도록 하였다.

$$Size = \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m I[x, y], \quad Position = \begin{cases} x = \frac{\sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m y \times I[x, y]}{Size} \\ y = \frac{\sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m x \times I[x, y]}{Size} \end{cases} \quad (1)$$



<그림 2> ROI 영역 설정과정 및 실제 환경

2.2 퍼지분류기를 이용한 인간의 행동분류

퍼지분류기를 이용한 인간의 행동 분류를 위하여 가상 인간스켈레톤 모델과 PCA(Principal Component Analysis)를 이용한다. 입력된 영상에서 인간의 스켈레톤 추출은 OpenCV(Open Source Computer Vision)에서 제공하는 얼굴 탐지 알고리즘을 이용하여 이미지로부터 찾아내고 얼굴의 크기로부터 인체의 비례 정보를 생성한다[6]. 입력된 연속적인 영상 정보를 시간 t에 대해서 식(1)와 같이 정의한다. 여기서, x, y 는 입력영상의 픽셀 정보, r, g, b 는 입력영상의 RGB 정보이고, $I_r(x, y, t), I_g(x, y, t), I_b(x, y, t)$ 은 시간 t에 대해서 입력 영상의 RGB 픽셀 정보이다.

$$I(x, y, t) = [I_r(x, y, t), I_g(x, y, t), I_b(x, y, t)]^T \quad (2)$$

공간상 정보와 시간상 정보는 다음 식(3)와 같이 계산된다.

$$I_s = \left[\frac{\partial I}{\partial x}, \frac{\partial I}{\partial y} \right] = \|I_s\|, \quad I_t = \left[\frac{\partial I}{\partial t} \right] = \|I_t\| \quad (3)$$

이들 공간상 정보와 시간상 정보를 이용하여 식(3)와 같이 불록합하여 하이브리드 실루엣을 추출한다. 여기서 η 는 불록 합 파라미터이며, 이 파라미터 η 를 조절함으로써 대략적인 인간 몸의 실루엣을 얻는다.

$$\bar{I}_h = \eta \bar{I}_s(x, y) + (1 - \eta) \bar{I}_t(x, y) \quad 0 < \eta < 1 \quad (4)$$

가상 인간 스켈레톤 모델은 인간의 움직임을 중요한 관절의 위치만으로 표현한 특징 벡터 표현 방식이며 10명 인간 신체 DB를 이용하여 인간의 신체 구조적 비례 정보를 얻은 결과에서 신체의 비례 정보를 구하여 가상 인간 스켈레톤 모델을 생성하고, 정확한 손의 특징 점을 탐색하기 위해 peer의 색상 모델을 이용한다. 입력된 영상으로부터 가상 인간 스켈레톤 모델을 이용하여 특징 값을 추출하였다. 추상적인 단순 특징을 사용하면 너무 간단하여 복잡한 형상이나 동작을 표현하기 어렵기 때문에 복수다차원의 특징값을 추출하여 사용하였다. 본 논문에서 사용된 특징값은 머리 좌표, 무게중심 좌표, 손 좌표, 어깨 좌표, 발 좌표, 골반좌표 등으로 총 11개의 특징값을 사용하였다. 2차원 영상에서의 움직임을 알아야 행동분류가 가능하므로 식(5)을 이용하여 연속된 영상의 차분 정보를 계산한다.

$$I_t^{n+1} (1 \leq t \leq T-1, 0 \leq n \leq 7) \quad (5)$$

특정 값들은 수치적으로 동일한 단위를 가지고 있지 않기 때문에 정규화 과정을 거친후 저차원 벡터 공간을 생성하기 위하여 주성분 분석 방법을 사용하였다. 고유공간을 계산하기 위해서 먼저 모든 특징 벡터에서 평균벡터를 구하여 각 특징들과의 차를 구한다. 다음으로 공분산 행렬 Q에 대한 고유치 λ 와 고유벡터 e 를 구한다. 고유치분해를 위하여 특이치 분해를 이용한다[7].

$$m_i = [e_1, e_2, e_3, \dots, e_k]^T \quad (7)$$

얻어진 고유공간에 평균 벡터 c에서 λ 특징 집합 x를 모두 식 (7)을 이용하여 투영시킨다. 입력영상에서 행동이 바뀌는 프레임은 검출하여 모델을 구성하기 위하여 같은 행동에 속한 영상끼리 분류하는 작업을 위해 클러스터링 알고리즘인 다변량 분산분석법을 이용하였다[8]. 행동분류가능 동작은 좌우 걷기, 환 손 들고 내리기, 양팔 들고 내리기, 발 들고 내리기이다.

2.3 비정상행위 판단

비정상행위 탐지는 SIFT를 이용해 DB에 등록된 감시물체와 움직임 물체와의 거리, 감시물체와 움직임 물체와의 접촉여부, ROI지역 내/외의 물체이동 여부를 통하여 결정된다. 비정상행위 탐지는 4단계로 분류되며 이는 안전 단계, 주의 단계, 위험 단계, 최종적으로 경보단계로 나뉘어 판단한다. 비정상행위의 탐지는 감시물체와 움직임물체와의 거리는 감시물체의 위치좌표와 움직임물체의 무게중심점의 위치좌표를 기반으로 계산되어진다. 움직임 물체가 있더라도 ROI지역 외에 위치하고 있는 경우는 안전 단계로 판단한다. ROI 내에서 움직임물체와 감시물체의 거리가 줄어들수록 비정상행위의 주의 단계로 판단한다. 감시물체와 움직임물체와의 접촉여부는 가상 인간 스켈레톤의 손 영역의 특징 점과 감시물체의 특징 점의 겹침에 따른 빈도수를 체크하며, 감시물체의 특징 점과 움직임 물체의 손 영역의 특징점이 일정시간 겹침을 계속 유지되면 이는 비정상행위로 위험 단계로 판단한다. 또한 특징점간의 겹침이 계속유지하며 ROI지역 외로 이동할 경우 경보 단계로 판단한다. <그림 3>은 단계별 비정상행위 탐지의 예를 보여준다. 영상에서는 움직임 물체의 중심체적을 표시하며 각 비정상행위 판단의 단계는 감시물체의 ROI지역의 색상의 변화에 따라 각 단계를 표시한다.



<그림 3> 단계별 비정상행위 탐지

3. 실험 및 결과 고찰

본 논문에서 실험에 사용된 영상은 네트워크카메라로부터 얻은 704x480크기의 41만 화소 영상이며, 프레임 속도는 10frame/sec이다. 실험에 사용된 영상은 약 30초 정도의 분량이다.(30 x 10frame/ 1sec = 300frame). 영상은 강의실에서 비정상행위를 인위적으로 연출하여 획득하였다. 제약조건은 단일 이미지를 이용하며, 빛이 없는 환경을 고려하지 않았으며, 감시물체 및 사람은 하나만을 대상으로 한다. 단계별 프레임 수는 총 4개의 실험영상 촬영 시 평균적으로 나타난 프레임 수를 나타낸다. 표 1의 I은 안전단계, II는 주의단계 III은 위험단계, IV경보단계를 각각 나타낸다. 전체 프레임 수는 300frame이며, 실제 프레임 수는 총 영상에서 각 단계에 해당하는 프레임 수이다. 평균 추출률이 89%로 본 시스템의 비정상행위의 판단 가능함을 보였다. 하지만 II영상의 추출률은 79%로 특정 점의 겹침에 따라 발생하는 순간적인 오류 등은 해결해야할 과제로 보여진다.

<표 1> 입력 영상에 따른 비정상행위 판단률

프레임 수 단계	전체 프레임 수	단계별 프레임 수	단계별 판단 프레임 수	평균 판단률
I	300	92	86	93.4%
II	300	34	27	79%
III	300	30	27	90%
IV	300	144	135	93.75%
평균 추출률				89.04%

4. 결 론

본 논문에서는 네트워크 카메라를 이용한 특정물체 감시 및 비정상행위의 판단을 위한 실시간 시스템을 제안한다. 실제 환경에서의 실험을 통해 제안된 시스템이 안정적으로 동작함을 보였다. 제안된 SIFT 알고리즘에 기반 물체 감시와 가상 인간 스켈레톤 모델과 PCA(Principal Component Analysis)를 기반으로 생성된 특징벡터를 이용하여 거리 기반으로 인간의 비정상행위를 판단의 가능성을 실험 결과를 통해 확인하였다. 향후, 여러 사람이 존재하는 경우 또는 배경 화면의 복잡한 환경에 따른 문제들을 해결 하여 시스템의 신뢰성을 보다 높일 수 있는 연구가 추가적으로 필요하다.

감사의 글: 본 연구는 2011년 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단 지역혁신인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

[참 고 문 헌]

- [1] D.M. Gavrila, L.S. Davis, "Towards 3D model based tracking and recognition of human movement: a multi view approach", Int Workshop on Face and Gesture Recognition, Vol 162479, pp. 272-277, 1995.
- [2] P. Blauensteiner, H. Wildenauer, A. Hanbury, and M. Kampel, "On Colour Spaces for Change Detection and Shadow Suppression" Computer Vision Winter Workshop, pp. 117-123, 2006. 2.
- [3] C. Stauffer and W. Grimson, "Learning Patterns of Activity Using Real Time Tracking", IEEE Trans. Pattern Analysis and machine Intelligence, vol 22, no.8, pp.747-767, 2000.8.
- [4] Stella X. Yu, R. Gross and J. Shi, "Concurrent object recognition and segmentation by graph partitioning." Proc, Neural Information Processing Systems(NIPS'02), pp.1380-1390, 2002
- [5] R. Hoshino, S. Yonemoto, D. Arita, and R. Taniguchi. "Real Time Motion Capture System Based-on Silhouette Contour Analysis and Inverse Kinematics,"7th Korea-Japan Joint Workshop on Computer Vision, Vol.7, Feb, pp.157-163, 2001.
- [6] <http://opencvlibrary.sourceforge.net>
- [7]이용재, 이철우, "외관 기반의 파라메트릭 고유 공간을 이용한 물체 인식", 정보과학회, 1999
- [8]김진규, 주영훈, "퍼지분류기를 이용한 인간의 행동분류", 대한전기학회논문지 Vol. 59, No. 12, pp2314-2318, 2010. 10