

강인한 특징 추출에 기반한 대상물체 검출

장석우¹, 허문행^{*}

¹안양대학교 디지털미디어학과

Target Object Detection Based on Robust Feature Extraction

Seok-Woo Jang¹, Moon-Haeng Huh^{*}

¹Department of Digital Media, Anyang University

요약 특정한 제한을 두지 않는 복잡한 자연환경에서 사용자가 원하는 목표 물체만을 정확하게 검출하는 작업은 컴퓨터 비전 및 영상처리 분야에서 중요하지만 매우 어려운 문제 중의 하나이다. 본 논문에서는 반사가 존재하는 여러 환경에서 목표하는 물체를 강인하게 검출하는 새로운 방법을 제안한다. 제안된 방법에서는 먼저 스테레오 카메라를 이용하여 목표 물체를 촬영한 다음, 물체를 가장 잘 표현하는 라인과 코너 특징들을 추출한다. 그런 다음, 촬영된 좌우 영상으로부터 호모그래픽 변환을 이용하여 실제로 존재하지 않는 반사된 특징들을 효과적으로 제거한다. 마지막으로, 반사된 특징들을 제거한 실제 특징들만을 군집화하여 대상 물체만을 강건하게 검출한다. 본 논문의 실험결과에서는 제안된 알고리즘이 기존의 알고리즘에 비해서 반사가 존재하는 자연 환경에서 목표 물체를 보다 강인하게 검출한다는 것을 보여준다.

Abstract Detecting target objects robustly in natural environments is a difficult problem in the computer vision and image processing areas. This paper suggests a method of robustly detecting target objects in the environments where reflection exists. The suggested algorithm first captures scenes with a stereo camera and extracts the line and corner features representing the target objects. This method then eliminates the reflected features among the extracted ones using a homographic transform. Subsequently, the method robustly detects the target objects by clustering only real features. The experimental results showed that the suggested algorithm effectively detects the target objects in reflection environments rather than existing algorithms.

Key Words : Edge Detection, Feature Extraction, Lines, Reflection, Target Objects

1. 서론

2차원 또는 3차원의 영상처리 및 컴퓨터 비전 관련 분야에서 사용자가 입력된 영상으로부터 찾고자 하는 대상(target) 물체만을 빠르고 정확하게 검출하는 작업은 기본적이면서도 매우 중요한 처리 과정 중의 하나이다[1].

이런 대상 물체 검출 기법에는 차영상을 이용한 방법, 모션정보를 이용한 방법, 모델에 기반한 방법, 예측을 이용한 방법 등의 여러 가지 기존의 방법들이 존재한다. 또한, 물체 검출 기법은 이동물체 추적, 교통량 분석, 보안, 감시(surveillance), 물체 모델링, 서비스 로봇 등과 같은 다양한 분야에서 현재 유용하게 사용되고 있다[2].

일반적으로, 대상 물체는 복잡한 클러터 환경(cluttered environment) 내에 존재하며, 이런 클러터 환경은 조명이나 반사 등의 외부적인 요인에 의해 영향을 많이 받는다[3]. 조명의 영향을 고려한 목표 물체 검출 방법들은 기존의 문헌에서 찾아볼 수 있다[4]. 그러나 반사가 있는 환경에서의 대상 물체 검출에 대한 연구는 찾아보기가 어렵다. 특히, 거울처럼 반사가 심한 벽면으로 구성되어 있는 환경에서는 사용자가 원하는 목표 물체를 정확하게 검출하는 것이 매우 어려운 문제로 알려져 왔으며, 현재까지 특별한 해결책이 제시되지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 반사가 존재하는 자연환경에서

^{*}Corresponding Author : Moon-Haeng Huh(Anyang Univ.)

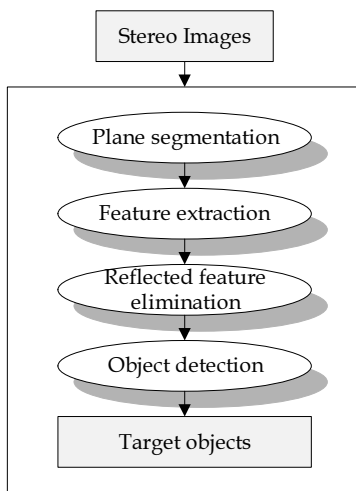
Tel: +82-31-467-0803 email: moonh@anyang.ac.kr

Received July 31, 2014

Revised (1st September 5, 2014, 2nd September 17, 2014)

Accepted December 11, 2014

목표 물체를 강인하게 검출하는 방법을 제안한다. Fig. 1은 본 논문에서 제안하는 거울 반사에 강인한 대상 물체 검출 방법의 전체적인 개요도를 보여준다. Fig. 1에서 확인할 수 있듯이 제안된 방법은 먼저 스테레오 입력영상을 받아들인 다음, 대상물체를 대표하는 주요한 특징들을 추출한다. 그런 다음, 추출된 특징 중에서 반사에 의해 형성된 특징들을 호모그래픽 변환(homographic transform)을 이용하여 제거한다. 마지막으로, 실제로 존재하는 특징들만을 이용하여 목표 물체를 강인하게 인식한다.



[Fig. 1] Overall flow of the suggested approach

2장에서는 물체를 대표하는 특징을 추출하는 방법에 대해 기술하고, 3장에서는 반사된 특징을 제거하는 기법에 대해 설명하며, 4장에서는 목표 물체를 검출하는 방법을 설명한다. 그리고 5장에서는 실험결과를 보이며, 6장에서는 결론 및 향후 연구방향을 제시한다.

2. 대표적인 특징 추출

본 논문에서는 대상 물체를 대표하는 중요한 특징으로 라인(line)과 코너(corner) 특징을 사용한다. 먼저, 본 논문에서는 캐니(Canny) 에지 기반의 2D 라인을 추출하여 물체 검출의 첫 번째 특징으로 사용한다[5]. 본 논문에서 사용하는 2D 라인 검출은 에지 검출 단계와 직선 검출 단계로 구성된다.

에지 검출은 최적의 에지 검출기로 알려진 캐니 에지를 이용한다. 일반적으로, 에지 연산자를 이용하여 생성된 에지영상은 스무딩(smoothing)의 정도에 따라서 매우 다른 결과를 보인다. 그리고 에지 크기에 적절한 임계값을 적용하여 만들어진 에지영상 역시 임계값의 크기에 따라서 매우 다른 모습을 보인다. 또한, 영역의 경계에서만 화소 두께의 에지 점들이 만들어지기를 원하지만 그렇지 않은 경우도 많다. 캐니 에지 연산자는 이런 문제를 보완하기 위해서 설계되었다.

본 논문에서 사용하는 캐니 에지 연산자는 잡음을 제거하는 가우시안 스무딩, 소벨(sobel) 연산자를 이용한 에지의 크기와 방향 계산, 이중 임계치를 이용하여 에지를 추적하면서 크기가 작은 에지를 제거하는 순으로 진행된다[6].

직선 검출은 먼저 에지를 연결(linking)하고 에지의 수가 적은 연결된 에지는 제거한다. 그리고 각각의 연결된 에지에 대해 시작 에지와 끝 에지를 연결한 직선으로부터 가장 멀리 떨어진 에지의 거리가 임계치를 초과하면 가장 멀리 떨어진 에지에서 연결 에지를 분할하는 과정을 반복 적용하여 최종적인 2D 라인을 검출한다. 보통, 캐니 에지 연산자는 임계값의 설정에 따라서 결과영상이 다르게 나타나는데, 반복적인 실험을 통해서 해당 도메인에 맞는 임계치를 결정해야 된다.

두 번째 특징으로 코너 특징을 사용한다. 보통 에지 검출이 컴퓨터 비전의 문제를 풀기 위해 자주 사용되는 방법이다. 그러나 에지에 대한 정의가 사실 모호하고, 완벽하게 에지를 검출할 수 있는 연산자의 개발이 쉽지 않다. 이에 비해, 코너 점은 비교적 분명하게 정의되므로 물체 검출 과정에서 매우 유용한 특징으로 정의된다[7].

본 논문에서는 코너 특징으로 해리스(Harris)가 제안한 해리스 코너 검출기를 사용한다[8]. 해리스 코너 검출기를 유도하는 기본 식은 식 (1)과 같다.

$$E(x, y; \Delta x, \Delta y) = \sum_{(u,v) \in w(x,y)} w(u,v) (f(u + \Delta x, v + \Delta y) - f(u, v))^2 \quad (1)$$

다시 말해, 영상을 x 방향으로 Δx 만큼, 그리고 y 방향으로 Δy 만큼 이동시키고, 원본 영상과의 화소 값의 차이의 합을 구한다. 이 때, 차이의 합은 비교적 작은 크기의 윈도우 함수 $w(x, y)$ 안에서만 구한다. 이제 코너 점을 찾는 문제는 윈도우를 이동시키면서 차이의 합을

계산하여, 차이의 합이 큰 값이 되는 윈도우의 위치를 코너 점으로 결정하는 문제로 해석될 수 있다. 본 논문에서 사용되는 윈도우는 식 (2)와 같은 작은 크기의 가우시안 윈도우를 사용한다.

$$w(u,v) = \exp\left(-\frac{(u-x)^2+(v-y)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

3. 반사된 특징 제거

좌우 스테레오 영상으로부터 추출된 2차원의 라인과 헤리스 코너 특징에는 거울반사로 인해 실제로 존재하지 않는 반사된 특징들도 많이 포함되어 있다. 따라서 본 논문에서는 호모그래피 변환(homographic transform) [8,9]을 이용하여 반사로 인해 생성된 가상의 특징들을 제거하고, 실제로 존재하는 특징만을 선택한다.

기본적으로 본 논문에서는 거울 반사된 특징을 효과적으로 제거하기 위해서 카메라와 대상 물체가 존재하는 평면 사이의 거리 정보를 활용한다. 즉, 스테레오 카메라와 추출된 임의의 특징 사이의 3차원 거리가 카메라와 물체 사이의 거리와 동일하다면 그 특징을 실제로 존재하는 특징이라고 판단하고, 그렇지 않을 경우에는 거울반사에 의해 생성된 가상의 특징이라고 판단한다.

본 논문에서는 먼저 물체가 존재하는 평면을 검출하기 위해서 체스보드 마커(chessboard marker)를 해당 평면에 부착한다. 그런 다음, 좌우 스테레오 영상에서 체스보드 마커에 존재하는 코너를 추출한 후, 추출된 코너의 좌우 정합을 통해서 3차원의 좌표를 추출한다. 추출된 3차원 좌표는 대상물체가 존재하는 평면의 방정식인 식 (3)의 해를 구하는데 사용된다.

$$ax + by + cz + d = 0 \quad (3)$$

식 (3)에서 a, b, c, d는 평면의 방정식을 구성하는 상수를 의미한다. 본 논문에서는 체스보드 마커 내에 존재하는 16개의 코너에 대한 좌표를 추출한 후, 특이값 분해(SVD: singular value decomposition)를 이용해 평면의 방정식을 계산한다.

물체가 존재하는 평면의 방정식이 구해지면, 평면과 좌우 스테레오 영상 사이에서 형성되는 평면 호모그래피

(planar homography)를 이용하여 거울반사에 의해 생성된 가상의 특징을 제거할 수 있다. 일반적으로, 호모그래피는 카메라 보정, 스테레오 정합, 3차원 영상 재구성 등에 많이 사용되는 방법으로, 3차원 공간의 동일한 평면 위에 존재하는 점들에 대한 2차원 영상에 원근 투영된 점들 사이의 대응관계는 3×3 호모그래피 행렬로 표현될 수 있다.

동일한 3차원 평면 π 위의 점들에 대한 2차원 스테레오 영상에 원근 투영된 점들 사이의 대응 관계는 식 (4)와 같이 표현된다. 식 (4)에서 x는 평면 π 위의 점 x_π가 좌측 영상에 투영된 점을 의미하고, x'는 우측 영상에 투영된 점을 의미한다. 그리고 H는 식 (4)를 만족시키는 두 영상 사이에 존재하는 호모그래피 행렬이다. 식 (4)로부터 좌표 x'은 호모그래피 H에 의한 x 좌표의 사상(mapping)이라는 것을 확인할 수 있다. 식 (4)에서 x와 x'는 동차좌표(homogeneous coordinate)로 표현된다.

$$x' = Hx \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix}$$

식 (4)에서 3×3 호모그래피 행렬 H는 식 (5)와 같이 표현된다. 식 (5)에서 K와 K'는 각각 좌측과 우측 카메라의 보정행렬을 나타낸다. R은 좌우측 카메라 사이의 회전(rotation) 정도를 나타내는 3×3 회전 행렬이다. T는 좌우측 카메라 사이의 이동 정도를 나타내는 3×1 이동행렬로서, 본 논문에서는 x축 방향으로만 기선(base line) t_x만큼 떨어진 스테레오 카메라를 사용한다. n은 3차원 평면 π의 법선벡터(normal vector)를 의미하고, v는 카메라로부터 평면 π까지의 거리를 의미한다.

$$H = K' \left(R - \frac{T \times n^T}{v} \right) K^{-1} \quad (5)$$

$$\text{where } \begin{cases} K = K' = \begin{bmatrix} f & 0 & p_x \\ 0 & f & p_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, T = \begin{bmatrix} t_x \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ n = [a \ b \ c] \\ v = \frac{|d|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \end{cases}$$

호모그래피 행렬 H 가 구해지면 식 (4)를 이용하여 좌측 영상에서 추출된 라인과 코너 특징을 우측 영상으로 사상시킨 후, 사상 비유사도 함수(mapping dissimilarity function) Φ 를 이용하여 정의된 식 (8)와 (9)를 이용하여 거울반사에 의해 생성된 가상의 특징을 제거한다.

$$IF (\Phi(L'_{left}, L_{right}) \leq TH_{line}) THEN \quad (6)$$

L_{left} and L_{right} are real

ELSE L_{left} and L_{right} are virtual

$$IF (\Phi(P'_{left}, P_{right}) \leq TH_{corner}) THEN \quad (7)$$

P_{left} and P_{right} are real

ELSE P_{left} and P_{right} are virtual

$$\Phi(L'_{left}, L_{right}) = \sqrt{(x'_l - x_r)^2 + (y'_l - y_r)^2} \quad (8)$$

$$+ \sqrt{(x'_l - x_r)^2 + (y'_l - y_r)^2}$$

$$\Phi(P'_{left}, P_{right}) = \sqrt{(x'_l - x_r)^2 + (y'_l - y_r)^2} \quad (9)$$

식 (8)은 좌측 영상에서 추출한 라인 L_{left} 의 우측 영상으로 사상된 라인 L'_{left} 와 우측 영상에서 추출한 라인 L_{right} 사이의 비유사도 함수이다.

그리고 식 (9)는 좌측 영상에서 추출한 코너 P_{left} 의 우측 영상으로 사상된 코너 P'_{left} 와 우측 영상에서 추출한 코너 P_{right} 사이의 사상 비유사도 함수이다. 식 (6)과 식 (7)의 TH_{line} 과 TH_{corner} 는 라인과 코너에 대한 사상 비유사도 함수에 적용되는 임계치(threshold)로, 본 논문에서는 실험적으로 결정한다.

4. 군집화를 통한 대상물체의 검출

본 논문에서는 평면 호모그래피를 이용하여 거울반사로 생성된 가상의 특징들을 제거하고, 실제로 존재하는 라인과 코너 특징만을 이용하여 목표 물체를 강건하게 검출하기 위해 군집화(clustering) 알고리즘을 적용한다 [11, 12].

군집화 알고리즘으로는 군집의 개수를 사전에 알지

못하더라도 그룹핑을 수행할 수 있는 비감독 분류(unsupervised classification) 기법 중의 하나인 아이소데이터(ISODATA) 군집화 알고리즘을 사용한다. 그리고 아이소데이터 군집화 알고리즘의 입력으로는 실제로 존재한다고 판단되는 물체의 특징인 라인 특징과 코너 특징들이 된다.

일반적으로, 아이소데이터 알고리즘은 k-means 군집화 방법을 개선한 방법이다. 아이소데이터 군집화 방법과 k-means 군집화 방법의 유사한 특성은 가장 가까이 있는 클러스터에 샘플들을 할당하여 거리 에러를 최소화 시킨다는 것이다. 그리고 상이한 점은 k-means 군집화 방법을 이용할 경우에는 고정된 수의 클러스터들이 생성되지만, 아이소데이터 군집화 방법을 이용할 경우에는 사용자에게 의해 지정되는 클러스터의 개수를 포함하는 범위까지 클러스터들이 생성될 수 있다는 것이다. 만일, 클러스터의 개수가 너무 많아지거나, 클러스터가 너무 근접해 있게 되면 그 클러스터들은 병합(merge)된다. 그리고 클러스터들의 개수가 너무 적거나 클러스터가 아주 다른 종류의 샘플들을 포함하고 있다면 그 클러스터는 분리(split)된다.

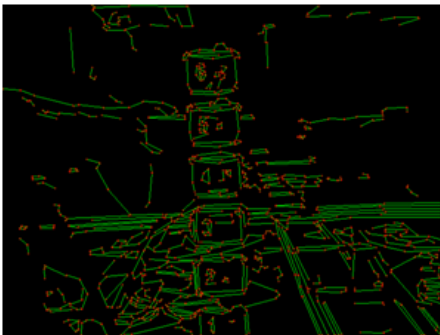
아이소데이터 알고리즘

- | 아이소데이터 알고리즘 |
|---|
| (Step 1) 일정 개수(N)의 샘플들을 각 클러스터의 중심으로 초기화한다. |
| (Step 2) 각 샘플로부터 가장 근접한 클러스터에 해당 샘플을 할당한다. |
| (Step 3) 변화가 있는 클러스터의 중심을 다시 계산한다. |
| (Step 4) 만일, 클러스터가 허용하는 샘플의 최소 개수보다 적은 샘플을 가진다면 그 클러스터는 삭제한다. |
| (Step 5) 만일, 클러스터의 개수가 $N \times 2$ 보다 크거나 같고, 또는 반복이 짝수 번째라면 (Step 6)을 실행한다. 그렇지 않으면 (Step 7)을 실행한다. |
| (Step 6) 만일, 두 클러스터 사이의 거리가 허용되는 최소 거리보다 작다면 두 클러스터를 병합하고, 중심을 다시 계산한다. |
| (Step 7) 만일, 클러스터의 개수가 $N \times 2$ 보다 작거나 같고, 또는 반복이 홀수 번째라면 (Step 8)을 수행한다. 그렇지 않으면 (Step 9)를 수행한다. |
| (Step 8) (클러스터 분리 파라미터 \times 클러스터 표준편차)를 초과하는 표준편차를 가지는 클러스터를 찾은 후, 분리한다. 만약 없으면 (Step 9)를 수행한다. |
| (Step 9) 반복이 허용된 최대횟수만큼 반복되었거나, 클러스터에 변화가 발생하지 않았다면 반복을 멈춘다. 그렇지 않으면 (Step 2)를 수행한다. |

5. 실험결과

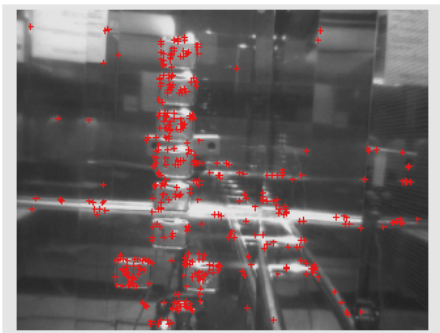
본 논문에서 제안된 대상물체 검출 알고리즘의 성능을 비교 평가하기 위한 실험 영상으로는 반사가 많이 존재하며, 특정한 제약조건(constraint)이 주어지지 않은 일반적인 환경에서 범블비(Bumblebee) 스테레오 카메라로 여러 장면을 촬영하여 활용하였다. 특히, 거울 반사가 많이 존재하는 철제 벽면으로 구성된 엘리베이터 안을 촬영하여 실험영상으로 사용하였다.

그림 2와 그림 3은 촬영된 입력영상으로부터 라인 특징과 헤리스 코너 특징을 추출한 실험결과를 각각 보여주고 있다.



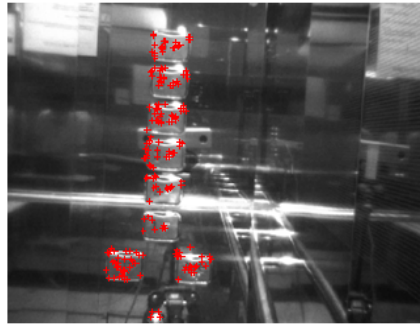
[Fig. 2] Line features

그림 4는 그림 3과 같이 추출된 코너 특징으로부터 평면 호모그래피 변환을 이용하여 반사된 코너 특징을 효과적으로 제거한 결과 영상을 보여준다. 그림 3과 4에서 십자가 모양으로 표시된 부분들이 추출된 헤리스 코너 특징점들을 나타낸다. 그림 3에서 엘리베이터 버튼이 있는 부분 이외의 영역에서도 반사로 인해 코너 특징점들이 많이 추출된 것을 확인할 수 있다. 이에 비해, 그림 4



[Fig. 3] Corner features

에서는 반사로 인해 생성된 가상의 코너 특징들을 상당수 제거했으므로 헤리스 코너 특징들이 엘리베이터 버튼이 존재하는 영역 주위에 주로 존재하는 것을 확인할 수 있다.

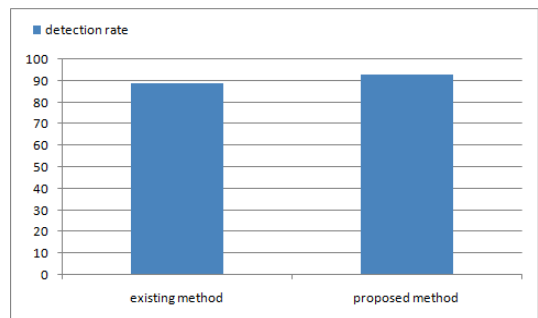


[Fig. 4] Elimination of reflected features

본 논문에서는 그림 4와 같이 획득한 실제 존재하는 특징들만을 군집화하여 물체 단위로 분할한다. 본 논문에서는 제안된 반사에 강인한 대상물체 검출 알고리즘의 성능을 정량적으로 측정하기 위해서 식 (10)과 같은 정확도 척도(measure)를 사용하였다. 식 (10)에서 척도 D_{rate} 은 정확하게 검출된 대상 물체의 개수와 영상에 존재하는 대상 물체의 전체 개수와의 비율을 백분율로 표시한다.

$$D_{rate} = \frac{NO_{detected-objects}}{NO_{total-objects}} \times 100 (\%) \quad (10)$$

그림 5는 식 (10)의 정확도 척도를 이용하여 반사된 특징을 제거하지 않은 기존의 특징 군집화 알고리즘 기반의 물체 검출 알고리즘과 제안한 반사된 특징을 제거한 검출 알고리즘의 성능 측정 결과를 그래프로 비교하여 보여준다.



[Fig. 5] Detection accuracy

그림 5의 성능평가에서 확인할 수 있듯이, 기존의 알고리즘은 반사된 특징을 제거하지 않고 대상 물체 검출을 시도하므로 정확도 측정 결과가 제안된 방법에 비해 상대적으로 낮다. 이에 비해, 본 논문에서 제안한 알고리즘은 실제로 존재하지 않는 거울 반사된 특징을 제거한 후 대상물체 검출을 시도하므로 비교적 신뢰성 있게 대상 물체를 검출한다는 것을 확인할 수 있었다.

6. 결론

복잡한 클러터 환경 내에 존재하는 다양한 종류의 목표 물체를 빠르고 강건하게 검출하는 기술은 영상처리 및 컴퓨터 비전 분야에서 가장 어려운 문제 중의 하나로 알려져 있다.

본 논문에서는 거울 반사가 존재하는 자연 환경에서 사용자가 원하는 대상 물체만을 강인하게 검출하는 알고리즘을 새롭게 제안하였다. 제안된 알고리즘은 먼저 스테레오 카메라를 이용하여 대상 물체를 촬영한 후, 대상 물체를 대표하는 특징을 추출하였다. 그런 다음, 호모그래픽 변환을 이용하여 거울반사에 의해 형성된 가상의 특징들을 제거하고 실제로 존재하는 특징만을 선택하였다. 마지막으로, 실제 존재하는 특징들만을 군집화하여 목표물체를 강인하게 검출하였다. 실험에서는 제안된 방법이 반사된 특징을 제거하지 않는 기존의 방법에 비해 보다 정확하게 물체를 검출한다는 것을 보여주었다.

향후에는 기존에 사용하는 특징들 이외의 다른 특징들을 복합적으로 적용하여 대상물체 검출의 정확도를 보다 향상하기 위한 시도를 수행할 예정이다. 또한, 검출을 시도하는 대상 물체의 종류를 다양화 할 계획이다.

References

- [1] C.-H. Chuang, S.-C. Cheng, C.-C. Chang, Y.-P. Phoebe Chen, "Model-based Approach to Spatial-Temporal Sampling of Video Clips for Video Object Detection by Classification," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, Vol. 25, Issue 5, pp. 1018-1030, July 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvcir.2014.02.014>
- [2] M.-C. Yeh, C.-F. Hsu, and C.-J. Lu, "Fast Salient Object Detection through Efficient Subwindow Search," *Pattern Recognition Letters*, Vol. 46, pp. 60-66, September 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.patrec.2014.05.006>
- [3] J. M. Choi, H. J. Chang, Y. J. Yoo, and J. Y. Choi, "Robust Moving Object Detection against Fast Illumination Change," *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 116, Issue 2, pp. 179-193, February 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cviu.2011.10.007>
- [4] D. Muselet and L. Macaire, "Combining Color and Spatial Information for Object Recognition across Illumination Changes," *Pattern Recognition Letters*, Vol. 28, Issue 10, pp. 1176-1185, July 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.patrec.2007.02.001>
- [5] H. Zhao, G. Qin, and X. Wang, "Improvement of Canny Algorithm Based on Pavement Edge Detection," *In Proc. of the International Congress on Image and Signal Processing (CISP)*, Vol. 2, pp. 964-967, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/CISP.2010.5646923>
- [6] G. Sun, Q. Liu, Q. Liu, C. Ji, and X. Li, "A Novel Approach for Edge Detection based on the Theory of Universal Gravity," *Pattern Recognition*, Vol. 40, Issue 10, pp. 2766-2775, October 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.patcog.2007.01.006>
- [7] H.-I. Choi, *Computer Vision*, Hongrung Publishing Company, pp. 96-104, November 2012.
- [8] L. Chen, W. Lu, J. Ni, W. Sun, and J. Huang, "Region Duplication Detection Based on Harris Corner Points and Step Sector Statistics," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, Vol. 24, Issue 3, pp. 244-254, April 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvcir.2013.01.008>
- [9] B. Zhang and Y. F. Li, "An Efficient Method for Dynamic Calibration and 3D Reconstruction Using Homographic Transformation," *Sensors and Actuators A: Physical*, Vol. 119, Issue 2, pp. 349-357, April 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sna.2004.10.013>
- [10] R. Hartley and A. Ziserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge University Press, Second Edition, 2006.
- [11] M.-H. Jo, "A Study on the Extraction of a River from the RapidEye Image Using ISODATA Algorithm," *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 15, No. 4, pp. 1-14, October 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.11108/kagis.2012.15.4.001>
- [12] Q. Liu, Z. Zhao, Y.-X. Li, and Y. Li, "Feature Selection Based on Sensitivity Analysis of Fuzzy ISODATA," *Neurocomputing*, Vol. 85, pp. 29-37, May 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neucom.2012.01.005>

장 석 우(Seok-Woo Jang)

[정회원]



- 1995년 2월 : 숭실대학교 전자계학과 (공학사)
- 1997년 2월 : 숭실대학교 컴퓨터학과 (공학석사)
- 2000년 8월 : 숭실대학교 컴퓨터학과 (공학박사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 안양대학교 디지털미디어학과 교수

<관심분야>

로봇비전, 증강현실, HCI, 비디오 색인 및 검색, 등

허 문 행(Moon-Haeng Huh)

[정회원]



- 1979년 2월 : 숭실대학교 전자계학과 (공학사)
- 1989년 2월 : 연세대학교 전자계산학과 (공학석사)
- 2003년 8월 : 충북대학교 전자계산학과 (공학박사)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 안양대학교 디지털미디어학과 교수

<관심분야>

디지털콘텐츠, 유비쿼터스, 미디어 컨버전스 등