

센트로이드(Centroid) 검출 기법을 통한 진자 운동 물체의 실시간 위치 추종

윤수진, 이재호, 박태동, 박기현
성균관대학교

Real-time position tracking of pendulum movement using the centroid detection method

Sujin Youn, Jea-Ho Lee, Tae-dong Park, Kiheon Park
Sungkyunkwan University

Abstract - 컴퓨터 비전을 이용한 이진 영상 데이터 처리는 사용자가 원하는 객체를 배경과 분리하여 추출하는 데에 유용하며 객체 위치 검출에는 테두리 검출(edge detection), 센트로이드 검출(centroid detection) 등 다양한 기법들이 사용되어 왔다. 연속해서 움직이는 객체의 위치를 테두리 검출 기법을 이용하여 추종 시, 조명과 환경, 잡음에 민감한 영상 데이터의 특성상 객체의 테두리 부분은 매 프레임마다 조금씩 차이가 있어 위치를 검출하는 데에 오차가 발생하기 쉽다. 그러나 센트로이드 기법으로 구할 경우 많은 픽셀의 무게중심을 구하는 것이므로 그 오차를 줄여 빠르고 정확한 위치 검출에 유용하다. 본 논문에서는 LabVIEW를 이용하여 진자운동하는 물체의 센트로이드 점을 구하여 실시간 위치 검출을 구현한다.

1. 서 론

자동화 감시 및 제품자동 정밀 검사의 필요성이 대두되는 가운데 카메라를 이용한 영상 데이터 처리의 중요성이 강조되고 있다. 자동화된 동영상 기반의 감시 시스템은 감시를 위한 값비싼 노동력을 대신할 수 있기 때문에 관심의 대상이 되어 왔다. 특히 적은 수의 카메라를 이용하여 보다 넓은 영역을 감시하기 위하여 수평 수직 방향으로 회전 가능한 팬틸트 유닛(pan-tilt unit)이 장착된 능동(active) 카메라를 사용하는 것이 가격 측면에서 유리하다[1].

이동 물체의 추적은 다양한 분야에서 연구되고 있다. 이동 물체 추적은 카메라와 물체 사이의 이동 관계에 따라 세 가지로 나눌 수 있는데 카메라는 고정되어 있고 물체가 이동하는 경우와 물체는 고정되어 있고 카메라가 움직이는 경우, 그리고 물체가 이동하고 카메라도 움직이는 경우이다[2]. 능동 카메라를 이용한 객체 추적 시 데이터의 용량과 그 처리 시간을 줄이기 위해 컬러 영상을 그레이스케일 영상으로, 그리고 그레이스케일 영상을 이진 영상으로 변환하여 처리한다. 그레이스케일 영상의 각 화소값을 문턱값(threshold)과 비교하여 이진 영상으로 변환한 후 이러한 특성을 이용하여 배경과 객체를 분리, 원하는 객체의 위치를 파악할 수 있다. 객체의 위치를 추종하기 위해서는 배경과 객체를 분리하여 객체의 픽셀 위치 정보를 정확히 얻어내야 하는데 이러한 객체의 픽셀 위치는 여러 가지 방법을 이용하여 얻어질 수 있다.

본 논문에서는 테두리 검출 기법과 센트로이드 검출 기법을 이용하여 각각 동영상과 실시간 입력으로 진자운동하는 객체의 위치 정보를 얻은 후 각 기법의 정확성과 외부 잡음에 대한 강인함을 실험적으로 확인하고자 한다.

2. 본 론

2.1 문턱값을 이용한 객체와 배경의 분리

일반적인 영상 데이터는 2차원적인 배열로 구성되어 있으며 각 영상의 종류와 크기, 해상도에 따라 특정한 밝기값(intensity value)을 갖는 픽셀들을 가지고 있다. 이는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$g(x, y) = k \quad (1)$$

픽셀 함수 g 는 (x, y) 위치에 있는 픽셀의 밝기값 k 를 가짐을 나타낸다. 이러한 픽셀함수를 이진함수로 바꾸는 식은 다음과 같다.

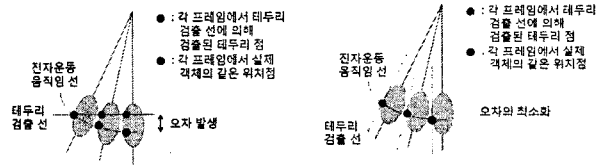
$$b(x, y) = \begin{cases} 1 & g(x, y) \geq T \\ 0 & g(x, y) < T \end{cases} \quad (2)$$

이진화 픽셀함수 b 는 (x, y) 위치에 있는 픽셀의 이진화된 밝기값을 나타내며 T 는 사용자가 지정한 문턱값이다.

2.1.1 테두리 검출 기법을 이용한 위치값

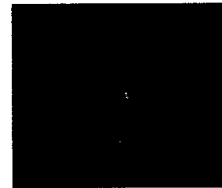
이진 영상의 경우 객체 영역의 픽셀은 1값을, 배경 영역의 픽셀은 0값을 갖도록 문턱값을 정한다. 이때 객체 영역에 있는 1값 중 가장 테두리에 있는 픽셀의 위치 정보를 얻어내어 객체의 위치 정보로서 이용한다. 테두리는 경우에 따라 객체 영역 가장자리 좌우상하에 위치하는 픽셀의 좌표값을 얻어 그 위치를 알 수 있다. 본 논문에서는 1값을 갖는 객체 영역의 가장 좌

측에 위치하는 좌표값을 테두리 검출 기법으로 구한 위치값으로 한다. 일반적인 테두리 검출 기법의 경우, 원점에서 혹은 주어진 점에서부터 이미지의 좌표계와 평행 또는 수직인 직선을 그어 객체와의 교차점을 구한 뒤 이 중 최초 혹은 최후의 교차점을 그 테두리 점으로 구할 수 있다(그림 1의 왼쪽). 하지만 진자 운동하는 물체의 경우 직선이 아닌 곡선 운동을 하기 때문에 본 논문에서는 좌표계와 평행 또는 수직하는 선이 아닌 물체의 기울어짐에 따른 직선을 구하여 그 직선과의 교차점을 테두리로 검출한다(그림1의 오른쪽).



〈그림 1〉 진자운동물체의 테두리 검출 기법, 고정테두리 검출선 사용(좌), 객체 수직선 테두리 검출선 사용(우)

이 테두리 검출선은 매 프레임마다 사용자가 지정한 영역 내에서 등간격으로 이루어져 있는 좌표계의 x축에 평행하는 수많은 직선을 통해 각 평행선이 객체와 처음 교차하는 점을 구하여 이 중 가장 좌측에 있는 두 개의 점을 연결, 확장하여 테두리 검출을 위한 검출선으로 사용한다. 때문에 검출 점은 두 개 혹은 그 이상이 나오게 되는데 본 논문에서는 상위의 검출 점을 객체의 위치 좌표로 한다.



〈그림 2〉 이진화된 실제 화면 상의 테두리 검출선

2.1.2 센트로이드 검출 기법을 이용한 위치값

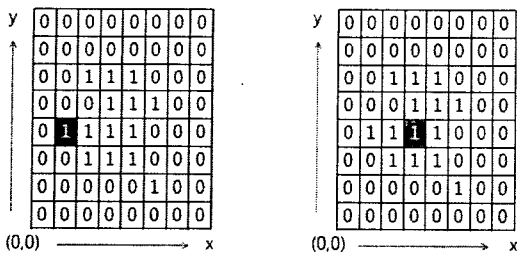
센트로이드 검출 기법은 이진 영상에서 밝기값 1을 갖는 객체 영역의 무게 중심점을 구하여 그 좌표를 객체의 위치값으로 구하는 방법을 뜻한다. $m \times n$ 의 픽셀 넓이를 갖는 객체 영역의 센트로이드 좌표 (x_c, y_c) 는 식 (3)에 의해서 구해진다.

$$x_c = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^{m-1} x_i \quad (3)$$

$$y_c = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} y_i$$

밝기값 1을 갖는 픽셀의 x, y 좌표를 구하여 모두 더한 후 객체 영역의 총 픽셀 수로 나누어 무게중심 점을 구하는 것이다. 센트로이드는 객체의 영역 내에 존재하게 되며 서로 다른 객체가 다른 영역에 존재하게 될 때 센트로이드를 구하면 각 영역의 픽셀 수와 좌표값에 따라 그 무게중심을 구하므로 반드시 객체의 영역에 위치하지는 않는다. 때문에 동시에 여러 객체의 센트로이드를 구할 때에는 영역 분할, 관심 영역(Region of Interest) 지정 방법 등의 알고리즘을 추가적으로 적용해야 한다.

테두리 검출 기법과 센트로이드 검출 기법 각각을 이용하여 같은 객체 영역의 위치를 구하게 될 때는 그림 3과 같은 관점의 차이를 가지며 두 기법 모두 객체의 위치 정보로서 활용될 수 있다. 단, 조명의 변화로 인한 명암의 차이는 전체적으로 일어나기 때문에 센트로이드 검출 기법에 의해 계산할 경우 오차를 줄일 수 있지만 부분별 센트로이드는 모두 다르게 나타나게 되므로 반드시 객체는 카메라의 시각 범위 내에서 진자 운동할 수 있도록 그 위치를 조절하도록 한다.

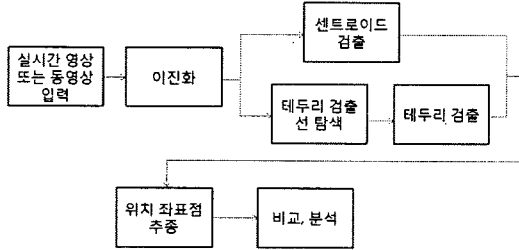


〈그림 3〉 이진영상의 위치 좌표 검출 기법, 테두리 검출 기법(좌), 센트로이드 검출 기법(우)

2.2 실험

위치를 추종하고자 하는 객체를 매 실험 같은 속도로 진자운동하게 하기 위해서 줄로 고정된 객체의 자유낙하운동을 이용하여 실험을 진행한다. 일정한 조명과 외부 환경을 유지한 상태에서 객체의 진자운동 시작 위치와 끈에 의해 고정된 위치 및 카메라와의 거리가 동일할 때 진자 운동을 실험한다. 실험은 동일한 조건 하에서 비교하기 위해 동영상으로 촬영하여 각 기법으로 위치를 추종한 후 실시간 처리 성능을 확인하기 위해 카메라로 직접 입력받으면서 처리하였다. 10번의 진자운동을 하는 동안 변하는 객체 위치를 테두리 검출과 센트로이드 검출 기법 각각을 이용하여 추종, 그 위치 정보의 변화 추이를 얻는다. 그 후 다시 같은 위치에서 객체를 낙하시킨 후 5번째 진자 운동 시 조명의 변화를 주어 외부 잡음(noise)을 발생시킨다. 이때의 외부 잡음은 움직이는 물체 위로 그림자를 만들어 조명의 변화를 준 뒤 다시 원래의 잡음이 없는 상태로 만들어 진자 운동을 반복하도록 한다. 문턱값은 고정된 상태로 잡음이 없을 때의 결과와 비교하여 조명 변화에 대해 각 기법이 얼마나 강한 특성을 보이는지 확인한다.

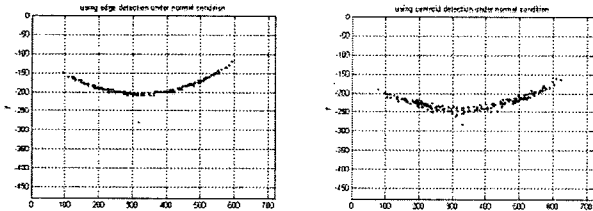
사용된 카메라는 DFK 31BF03-Z로 IEEE 1394로 컴퓨터와 연결되어 영상 데이터를 받아들인다. 그리고 NI의 LabVIEW vision software를 이용하여 영상을 처리하며 그림은 720X480 pixels의 해상도를 갖는다. 객체는 이미지 프레임의 가운데 영역에서 진자 운동하도록 하였고 객체 영역 픽셀의 크기는 89X105 pixels이며 제안된 기법의 흐름도는 그림 4와 같다.



〈그림 4〉 제안된 기법의 흐름도

2.2.1 외부 잡음이 없는 상태에서의 진자 운동 객체의 위치 추종

외부 잡음이 없을 때의 결과는 그림 5와 같다. 결과 그래프 상 테두리 검출 기법으로 위치 추종을 한 경우가 더 일관성 있게 나오는 것 같지만 실제로 LabVIEW 프로그램을 이용하여 수직 테두리 검출 블록을 사용하였을 경우 테두리 검출 선을 찾는 과정에서 일정한 기술을 갖는 직선으로 추종할 수 있는 선의 여유값 설정으로 인해 위치값이 자동으로 반올림되어 소수점 이하에 거의 변화가 없기 때문으로 생각된다. 테두리 검출 기법으로 추종한 위치의 x좌표는 1픽셀, y좌표는 5픽셀 간격으로만 검출이 되어 정확한 비교를 위해서는 오차가 큰 y좌표보다 x좌표의 위치 변화 궤도를 살펴보는 것이 더 올바르다고 할 수 있다. 센트로이드 검출기법은 실시간 처리가 가능하였지만 테두리 검출 기법의 경우 매 프레임 새로운 테두리 검출 선을 찾아야 하는 과정이 추가되기 때문에 물체의 위치를 놓치는 경우가 발생하였다.

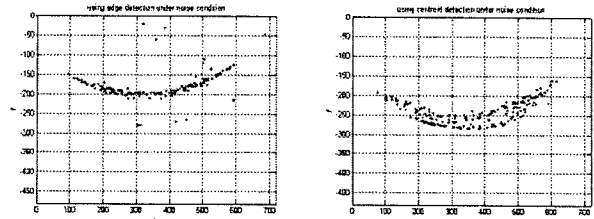


〈그림 5〉 외부 잡음이 없을 때 추종된 객체의 위치, 테두리 검출 기법(좌), 센트로이드 검출 기법(우)

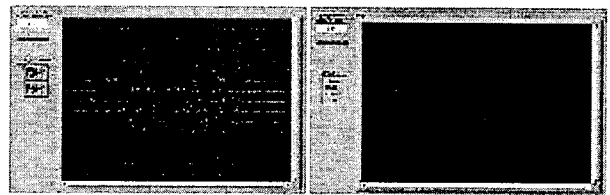
2.2.1 외부 잡음이 있을 때 진자 운동 객체의 위치 추종

외부 잡음이 발생하기 전의 위치 추종은 이전의 실험과 거의 같은 유형으로 나타나지만 외부 잡음이 발생한 5번째의 진자 운동부터는 두 기법 모

두 이전과는 약간의 추종오차를 보이기 시작한다. 이것은 그림 6의 그래프에서 확인할 수 있다. 다만 센트로이드 검출 기법의 경우는 Y축 좌표가 더 밀로 떨어져서 그 위치를 추종하는 대신 진자운동의 유형은 그대로 확인할 수 있었다. 테두리 검출의 경우 역시 잡음이 발생하지 않을 때는 위치를 잘 추종하고 있었지만 잡음이 발생했을 때에는 현재 객체의 위치와는 전혀 다른 곳으로 그 위치를 추종하며 잡음이 발생하는 구간에서는 진자 운동 궤도를 확인할 수 없었다. 가장 오차가 심했을 때는 객체의 위치를 원점(0,0)으로까지 추종하는 것을 확인할 수 있었으며 실제 실험 화면은 그림 7과 같다.



〈그림 6〉 외부 잡음이 있을 때 추종된 객체의 위치, 테두리 검출 기법(좌), 센트로이드 검출 기법(우)



〈그림 7〉 실제 화면상의 진자운동 객체의 위치 추종

3. 결 론

외부 잡음이 없을 경우 객체 위치 추종의 정확성에 있어서는 테두리 검출 기법과 센트로이드 검출 기법이 큰 성능 차이를 보이지는 않았다. 그러나 인간의 눈으로 보는 것과는 달리 조명과 기타 잡음 및 환경 변화에 민감한 영상 데이터의 특성상 객체와 배경을 문턱값에 의해 분리할 경우 작은 조명의 변화에도 그 테두리는 매 프레임마다 약간의 오차가 발생할 수 밖에 없으며, 이것은 서로 다른 프레임을 비교하지 않더라도 실제로 객체의 정확한 테두리를 찾아내는 것에는 많은 어려움이 있다. 하지만 센트로이드 기법을 이용할 경우 외부 잡음에 의한 픽셀의 오차가 발생하더라도 전체 객체 영역의 평균값을 구하기 때문에 그 오차의 영향이 상대적으로 작아지게 된다. 이것은 정확한 문턱값을 지정하지 못하여 실제로 객체가 아닌 배경의 영역에서 1값을 갖는 픽셀들이 검출되더라도 그 위치를 객체로 잘못 판단하기보다 더 무거운 무게중심을 갖게 되는 실제 객체의 영역을 그 위치로 판단하는 것을 알 수 있었으며 발생하게 되는 위치의 오차도 테두리 검출에 비해 많이 줄어든 것을 발견할 수 있었다. 무엇보다 알고리즘이 단순하고 처리 시간이 오래 걸리지 않아 움직이는 물체를 실시간으로 검출하는데 탁월한 성능을 보인다.

테두리 검출 기법은 물체의 위치 검출뿐만 아니라 이미지 검색 템플릿 생성 및 영상의 특징(면적과 크기 등)을 쉽게 파악할 수 있는 등 다양한 분야에 사용되고 있기 때문에 어떤 기법이 절대적으로 뛰어난 성능을 가진다고 할 수는 없다. 다만 외부의 잡음이 영상에 영향을 줄 때에도 객체의 정확하고 빠른 위치 분석이 요구되는 영상 처리 분야에서는 본 논문에서 제시한 센트로이드 기법을 이용하는 것이 정확성에 있어서 더 강한 성능을 발휘하는 것을 실험적으로 알 수 있다.

LabVIEW 소프트웨어를 이용할 경우 이미 개발된 다양한 알고리즘을 블록으로 제공하고 있기 때문에 기존의 소프트웨어에 비해 더 쉽고 빠르게 영상처리에 적용할 수 있다는 장점이 있다. 본 논문은 실내에서 실험했기 때문에 일부러 외부 잡음을 생성하기 전에는 객체의 위치 추종에 큰 영향을 줄만한 환경 변화는 일어나지 않았던 것으로 생각된다. 때문에 향후의 실험에서는 실외에서 다양한 환경 변화의 요소들을 감안하여 객체와 배경을 완벽하게 분리하여 배경 보정을 할 수 있는지, 그리고 규칙적이지 않은 움직임을 보이는 객체의 경우에도 위치 추종이 가능하지에 대해 더 연구해 보아야 할 것이다.

〈참 고 문 헌〉

- [1] 강동구, 나종범, "객체 추적 카메라 제어를 위한 고속의 움직임 검출 및 추적 알고리즘", 방송공학회논문지, 제 7 권 제 2 호, 181~191, 2002
- [2] 설성욱, 이희봉, 김효성, 남기근, 이철현, "히스토그램 프로젝션을 이용한 움직임은 이 카메라로부터의 이동물체 추적 알고리즘", 한국신호처리시스템학회논문지, 제 2 권 4 호, 38~45, 2001.10