

Hough 변환에 의해 나타나는 누적분포 면적을 이용한 원형물체의 검출

전 호 민, 최 우 영
명지대학교 전자공학과
전화 : 031-337-2155 / 핸드폰 : 011-9973-7712

Circular Object Detection by the Hough Transform using an Area of Cumulated Points

Ho-Min Jeon, Woo-Young Choi
Dept. of Electronics, Myongji University
E-mail : jeonhm@wh.myongji.ac.kr

Abstract

In this paper, a technique to estimate the circular object's center and radius under noisy condition is described. The technique is based on Davies' Hough transform approach to circular object location but more robust to noise and faster to estimate the circle by using an area of cumulated points.

I. 서론

방사선 사진이나 세포 사진을 이용하는 의료 영상 분야, 컴퓨터비전을 이용하는 자동화 시스템 분야 등에서는 영상 내에 존재하는 원형 물체를 추출하여 그 중심과 반지름을 알아내기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 일반적으로 원형 물체를 추출하기 위한 방법 중 Hough 변환을 응용한 방법이 많이 사용되고 있으며 이에 대한 대표적인 예로는 경계 방향을 이용하는 방법[1-5]과 수직이동분선을 이용하는 방법[6,7]이 있다. 이 중 경계 방향을 이용하는 방법은 원과 배경간의 경계점에서 그 점에서의 접선에 수직인 경계 방향을 구해 그것이 가리키는 방향으로 직선을 그을 경우가 직선 상에 원의 중심점이 존재한다는 것을 이용해 원을 추출해 내는 방법이다. 경계 방향을 이용한 방법을 사용해 원을 추출할 경우 원의 중심점을 찾기 위한

연산이 간단한 반면 원의 테두리에 존재하는 잡음에 의해 원의 중심값의 정확도가 영향을 많이 받는다는 단점이 있다.

이러한 경계 방향을 이용한 방법의 단점을 보완하기 위해 본 논문에서는 경계 방향을 이용한 Hough 변환을 수행한 후 그 결과로 나타나는 누적된 인수들의 분포 면적을 이용해 원의 중심점과 반지름을 구하는 방법을 제안한다. 이 방법은 Davies의 Hough 변환[1]에 비해 검출하고자 하는 원의 반지름을 모르는 경우 반지름에 대한 추정속도가 빠르며 중심점 검출의 정확도를 높일 수 있다.

II. 경계 방향을 이용한 원형물체의 검출

2.1 원형물체 검출을 위한 Davies의 Hough 변환

영상에 존재하는 물체와 배경사이, 물체와 물체 사이에는 경계가 존재하게 되며 이러한 경계를 구하기 위해서는 일반적으로 그래디언트 에지 연산자(gradient edge operator)를 사용한다.

경계가 원의 테두리 상에 존재한다면 경계점의 접선에 수직인 방향을 경계 방향(edge direction)으로 정의하고, 이 경계 방향을 따라 직선을 그을 경우 직선은 원의 중심을 지나게된다. 만일 검출하고자 하는 원의

반지름을 알고있다면 그림 1과 같이 식 (1), (2)를 이용해 원의 중심 (x_c, y_c) 를 찾을 수 있다.

$$x_c = x - R \frac{|g_x|}{|g|} \quad (1)$$

$$y_c = y - R \frac{|g_y|}{|g|} \quad (2)$$

여기서 x, y 는 경계점의 x 좌표와 y 좌표이고 R 은 원의 반지름, $|g|$ 는 경계점에서의 경계의 크기, $|g_x|$ 와 $|g_y|$ 는 각각 경계의 x 축 방향으로의 크기와 y 축 방향으로의 크기, x_c 와 y_c 는 후보 중심점의 x 좌표와 y 좌표이다.

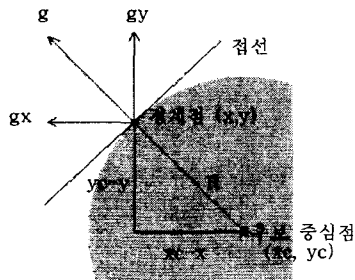


그림 1. 경계방향을 이용한 원의 중심점 검출

식 (1), (2)를 모든 경계점들에 대해 적용하여 구한 후보 중심점 (x_c, y_c) 에 해당하는 좌표를 누적시킨다. 그 결과를 그림 2에 도시하였으며, 밝은 부분일수록 누적값이 큰 부분으로 검출할 원의 중심점에 해당한다.

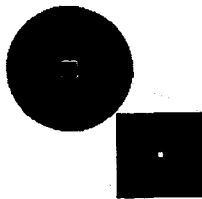


그림 2. Hough 변환에 의한 누적결과

식 (1),(2)는 검출하려는 원의 반지름을 알고있는 경우에 적용할 수 있는 방법이다. 일반적으로 영상 내에 존재하는 원은 다양한 크기의 반지름을 갖고있으며 검출하고자 하는 원의 반지름을 모르는 경우가 많다. 만일 검출하려는 원의 반지름을 모르는 경우 식 (1), (2)를 적용하여 원을 검출하려면 우선 검출하고자 하는 원의 반지름이 가질 수 있는 범위를 설정해야 한다. 설정한 후보 반지름의 범위를 $[r_1, r_n]$ 이라 하면, 반지름을 r_1 에서 r_n 까지 순차적으로 증가시키면서 식 (1), (2)를 이용해 Hough 변환을 수행한다. 각각의 경우에 Hough 변환 결과 나타나는 누적값 중 최대치만을 비교해 보면 Hough 변환 시 사용한 반지름의 크기가 검

출하고자 하는 원의 실제 반지름 크기에 가까워질수록 최대치는 커지게 된다. 그러므로 누적값의 최대치가 가장 큰 경우의 반지름이 검출할 원의 반지름이 되고 그 때 최대치를 갖는 누적점의 좌표가 원의 중심점 좌표가 된다.

이러한 경계 방향을 이용한 Davies의 Hough 변환은 변환 결과로 나타나는 누적값의 크기만을 이용하기 때문에 검출하고자 하는 원의 테두리에 잡음이 존재하는 경우 다음과 같은 단점을 갖는다.

첫째, Davies의 Hough 변환에서는 원의 테두리에 잡음이 존재할 경우, 그림 3과 같이 실제 원의 중심에서 벗어난 위치에 후보 중심점을 설정하게 된다. 잡음이 심해질수록 원의 중심에서 벗어나는 후보 중심점의 수가 늘어나게 되어 원의 중심에 대한 누적값은 작아지게 된다. 그러므로 원의 중심점을 찾기 위해 누적값을 갖는 점들 중 임계치 이상의 점들을 선택한 후 선택한 점들에 대한 좌표값의 평균을 구해 원의 중심점의 좌표로 삼는데 이럴 경우 검출하고자 하는 원의 실제 중심점에서 벗어난 위치가 중심점으로 설정된다.

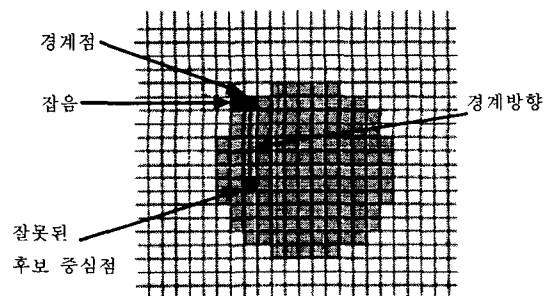
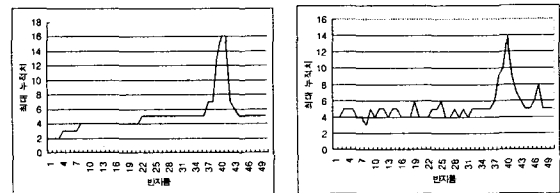


그림 3. 원의 테두리에 잡음이 존재하는 경우

둘째, 검출하고자 하는 원의 반지름을 모르는 경우 설정한 후보 반지름 범위 내에서 반지름을 순차적으로 증가시키며 Hough 변환의 수행 결과로 나타나는 누적값의 최대치를 살펴보면 실제 원의 반지름이 40일 때 검출할 원의 테두리에 잡음이 없는 경우는 그림 4 (a)와 같이 실제 반지름 값에 해당할 때 최대치를 갖는 형태로 나타난다. 잡음이 있는 경우는 그림 4 (b)와 같이 국부 최대치를 갖는 경우가 생기므로 실제 반지름



(a) 잡음이 없는 경우 (b) 잡음이 있는 경우

그림 4. 반지름 변화에 따른 최대 누적치

에 해당하는 전체에서의 최대치를 구하기 위해서는 후보 반지름 전 범위에 대해 Hough 변환을 수행해야 한다. 따라서 많은 연산시간을 필요로 한다.

2.2 제안한 방법

앞에서 경계 방향을 이용한 Davies의 Hough 변환은 결과로 나타나는 누적값의 크기만을 이용하기 때문에 테두리에 존재하는 잡음에 의한 영향을 많이 받는다는 것을 보았다. 이러한 Davies의 Hough 변환의 단점은 변환 결과로 나타나는 누적값의 크기 외에 누적값의 분포면적을 이용할 경우 개선될 수 있다.

검출할 원의 반지름을 모르는 경우 설정한 후보 반지름 범위에 속한 임의의 반지름을 선택하여 Davies의 Hough 변환을 수행할 경우 누적값의 분포는 그림 5 (a)와 같은 형태를 나타내게 된다. 여기서 임계치 이상의 누적값을 갖는 점들만을 선택해 그 점들을 감싸는 사각영역을 가정하면 그림 5 (b)와 같이 표시된다. 실제 반지름 값에 근접한 반지름들을 가정해 위의 과정을 반복하면 그림 5 (c), (d)와 같이 설정한 반지름이 실제 반지름에 가까울수록 사각영역의 면적이 줄어들 수 있다.

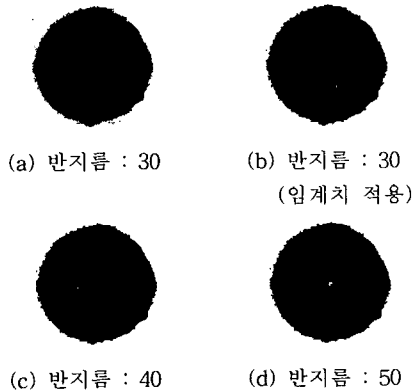


그림 5. 반지름 설정에 따른 Hough 변환에 의한 누적분포 형태 (실제 원의 반지름 : 50)

이러한 특성을 이용해 원의 반지름 추정 연산을 고속화하기 위해 분할정복(divide and conquer) 형태의 알고리즘을 사용한다.

[검출하려는 원의 반지름 추정을 위한 알고리즘]

step 1. 검출하고자 하는 원의 후보 반지름 범위가 $[r_1, r_N]$ 이라 가정할 때, 세 개의 초기 후보 반지름을 다음과 같이 설정한다.

$$RM(k) = (r_1 + r_j) / 2,$$

$$RL(k) = r_1,$$

$$RH(k) = r_j,$$

여기서 $i = 1, j = N, k = 0$ 이다.

A_R 을 반지름의 크기를 R 로 가정할 경우 임계치보다 큰 누적값을 갖는 점들을 감싸는 사각영역의 면적이라고 할 때, 설정한 세 반지름에 대해 $A_{RM(k)}(k), A_{RL(k)}(k), A_{RH(k)}(k)$ 를 구한다.

step 2. $i = j$ 이면 수행을 멈추고 그 외의 경우에는 구한 사각영역의 면적을 비교한다.

$A_{RL(k)}(k) < A_{RM(k)}(k)$ 이고 $A_{RL(k)}(k) < A_{RH(k)}(k)$ 이면 step 3을 수행한다.

$A_{RH(k)}(k) < A_{RM(k)}(k)$ 이고 $A_{RH(k)}(k) < A_{RL(k)}(k)$ 이면 step 4를 수행한다.

$A_{RM(k)}(k) < A_{RL(k)}(k)$ 이고 $A_{RM(k)}(k) < A_{RH(k)}(k)$ 이면 step 5를 수행한다.

이외의 경우는 step 6을 수행한다.

step 3. $i = i, j = (i + j)/2, k = k + 1$ 로 설정.

$$RL(k) = RL(k-1), RH(k) = RM(k-1),$$

$$RM(k) = (r_1 + r_j)/2, A_{RL(k)}(k) = A_{RL(k-1)}(k-1),$$

$A_{RH(k)}(k) = A_{RM(k-1)}(k-1)$ 로 놓고 $A_{RM(k)}(k)$ 를 구한 후 step 2를 수행한다.

step 4. $j = j, i = (i + j)/2, k = k + 1$ 로 설정.

$$RL(k) = RM(k-1), RH(k) = RH(k-1),$$

$$RM(k) = (r_1 + r_j)/2, A_{RL(k)}(k) = A_{RM(k-1)}(k-1),$$

$A_{RH(k)}(k) = A_{RH(k-1)}(k-1)$ 로 놓고 $A_{RM(k)}(k)$ 를 구한 후 step 2를 수행한다.

step 5. $l = i + (j - i)/4, r = j - (j - i)/4$ 로 놓고 r_l 과 r_r 에 대한 A_r 과 A_{rr} 을 구한다.

$A_r < A_{rr}$ 이면 step 3을 수행한다.

$A_r > A_{rr}$ 이면 step 4를 수행한다.

step 6. $i = i + 1, j = j - 1, k = k + 1$ 로 설정

$$RL(k) = r_l, RH(k) = r_r, RM(k) = RM(k-1),$$

$A_{RM(k)}(k) = A_{RM(k-1)}(k-1)$ 로 놓고 $A_{RL(k)}(k)$ 와 $A_{RH(k)}(k)$ 를 구한 후 step 2를 수행한다.

위의 단계가 수행 종료된 후 $RM(k)$ 가 갖는 값이 검출하고자 하는 대상 원의 반지름 크기가 되며 이 때 나타나는 사각영역의 중심점이 검출할 원의 중심점이 된다.

III. 실험결과

실험을 위해서 사용한 PC는 Pentium III-450기종이며 사용한 영상은 256x256 크기의 회색조(gray scale) 영상이다. 원의 후보 반지름 범위는 [10, 50]으로 설정하였으며 실험을 위한 원은 원의 중심좌표와 반지름을 선택해 원의 공식을 이용하여 만들었다.

먼저 검출할 원의 반지름을 모르는 경우 반지름을 추정하기 위해 걸리는 시간을 측정하였다. 원의 반지름을 후보 반지름 범위 내에서 순차적으로 증가시켜 가며 원을 생성한 후 각각의 경우에 대해 Davies의 Hough 변환 방법과 본 논문에서 제안하는 방법을 사용해 반지름을 추정하는 데 소요되는 시간을 측정하였다. 그 결과는 그림 6에 도시하였다.

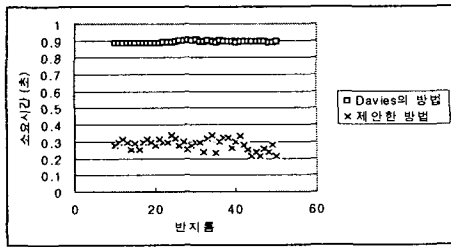


그림 6. 원의 반지름 추정 시 소요시간

그림 6에서 보듯이 Davies의 Hough 변환 방법은 대상 원의 반지름에 관계없이 검출하고자 하는 원의 후보 반지름 설정 범위에 따라 반지름 검출 소요시간이 결정됨을 알 수 있다. 그에 반해 본 논문에서 제안하는 방법은 대상 원의 반지름 크기에 따라 약간씩 반지름 검출 소요시간에 차이가 있으나 Davies의 Hough 변환 방법에 비해 반지름 검출까지의 소요시간이 짧음을 알 수 있다.

다음으로 원의 테두리에 잡음이 존재하는 경우에 있어서 중심점 검출의 정확도를 측정하기 위해 원의 테두리에 대해 잡음 성분을 추가시켰다. 실제 원과 잡음이 첨가된 원과의 오차비는 다음과 같이 정의한다.

$$\text{오차비} = \frac{\text{실제 원에서 벗어난 경계점의 수}}{\text{실제 원의 경계점의 수}} \quad (3)$$

생성한 여러 원에 대해 Davies의 Hough 변환 방법과 본 논문에서 제안하는 방법을 사용해 원의 중심점을 검출하였을 때 실제 중심값과 실험에 의한 중심값 간의 차이를 MSE (mean square error)로 계산하였다. 그림 7은 검출 대상 원의 반지름이 20일 때 오차비를 변경시키면서 잡음을 첨가한 각 경우에 대해 실제 원의 중심값과 실험에 의한 중심값 간의 차이가 어느 정도인지를 나타낸 것이다.

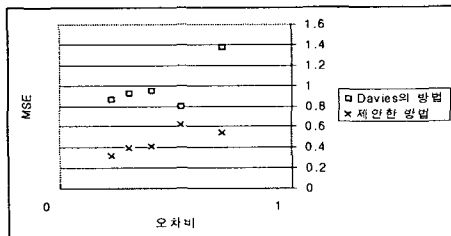


그림 7. 원의 중심점 검출 시 평균 오차값

그림 7에서 나타나듯이 검출할 원의 테두리에 잡음이 존재할 경우 Davies의 Hough 변환 방법보다 본 논문에서 제안한 방법이 좀 더 정확하게 원의 중심점을 검출해 낸다는 것을 알 수 있다.

IV. 결론

영상 내에 존재하는 원형물체를 정확하고 빠르게 검출하는 것은 컴퓨터비전 분야에서 매우 중요한 과제 중 하나이다.

본 논문에서는 Davies의 원형물체 검출 방법에서 Hough 변환에 의해 누적되는 중심점들의 면적을 이용함으로써 반지름 추정 연산을 고속화하는 알고리즘을 제안하였고 실험에 의해 반지름 검출 속도가 빠르다는 것을 증명하였다. 또한 잡음이 첨가된 원의 중심점 검출에 있어서도 정확도를 높일 수 있다는 것을 실험적으로 증명하였다.

본 논문에서 제안한 방법은 빠른 속도로 원형물체 검출해야 하는 여러 영상 분야에 적용할 수 있을 것이다.

참고문헌(또는 Reference)

- [1] E. R. Davies, "A high speed algorithm for circular object location," Pattern Recognition Letters, Vol. 6, no.5, pp.323-333, 1987.
- [2] E. R. Davies, "A modified Hough scheme for general circle location," Pattern Recognition Letters, Vol. 7, no.1, pp.37-43, 1988.
- [3] E. R. Davies, "The effect of noise on edge orientation computations," Pattern Recognition Letters, Vol. 6, no.5, pp. 315-322, 1987
- [4] A. F. Laine, "Circle recognition through a 2D Hough Transform and radius histogramming," Image and Vision Computing 17, pp.15-26, 1999.
- [5] D. J. Kerbuson, "Size invariant circle detection" Image and Vision Computing 17, pp.795-803, 1999
- [6] I. Amir, "Algorithms for Finding the Center of Circular Fiducials," Computer Vision, Graphics, and Image Processing 49, pp.398-406, 1990
- [7] R. K. Yip, P. K. S. Tam, D. N. K. Leung, "Modification of Hough Transform for circles and ellipses detection using a 2-dimensional array," Pattern Recognition, Vol. 25, pp.1007-1022, 1992.