

이진 영상에서 원의 정보 추출에 관한 연구

김 영 미*, 조 동 섭

이화여자대학교 전자계산학과 대학원

ALGORITHM FOR FINDING THE ATTRIBUTE OF CIRCULAR FIDUCIALS

Youngmi Kim*, Dongsu Cho

Department of Computer Science, Ewha University

ABSTRACT

In this paper, a technique to reduce the computational effort of Hough Transform used to recognize digital circles is proposed. The technique, which is a version of the Hough Transform uses bisectors of circles chords to estimate the center of circles.

This system which is implemented in this paper gets center, radius, thickness of circular fiducials regardless of input form.

This system uses fuzzy set theory which deals with 'ambiguousness', in order to recognize imprecise circular fiducial.

I. 서론

영상의 인식은 인공지능 연구 및 실용적인 요구가 많기 때문에 지금까지 많은 연구가 이루어져 왔다. 초기의 손으로 쓴 숫자의 독해에서부터 생산 공정의 측정, 검사, 선별, 조립, 원거리 탐지(remote sensing) 영상의 분석, 손으로 쓴 문자의 취득, 실험 데이터의 정량화, 인간과의 대체, 자동 설계, 로봇의 눈으로서의 영상 이해 등에 이르기까지 많은 분야에 응용되고 있다.

컴퓨터에 의한 영상 인식의 특징 추출 과정에서 하나의 영상이 윤곽선 점들이나 영역들의 집합으로 처리되어질 경우 경계 영역의 형태나 방정식을 결정할 수 있는 것이 매우 중요하다[7]. 이러한 영상 인식에 있어서 직선, 원형, 곡선 등을 찾는 방법으로 Hough Transform이 널리 연구, 사용되고 있다[4-10].

Hough Transform의 기본 개념은 영상의 각각의 점에 대해 그 점을 통과하는 찾고자 하는 곡선이나 직선의 위치를 계산하고, 계산된 파라미터 값에 대해 누적 영역

(accumulator array)에 대응되는 셀(cell)들의 값을 하나씩 증가시키는 것이다[4]. 즉 영상 영역으로부터 파라미터 영역(parameter space)으로의 변환(transform)이다. 그리고 나서 누적 영역에서 다른 셀들보다 누적된 값이 가장 큰 셀의 파라미터(parameter) 값을 찾고자 하는 방정식으로 선택한다[4].

영상 인식에 사용되는 Hough Transform에는 몇가지 문제점이 있다.

하나는 한정된 픽셀(pixel)의 갯수에 대해 하나의 픽셀에 대응되는 가능한 방정식의 갯수는 무한대이므로 연산 속도와 기억 장소가 많이 소요된다[7]. 또한 Hough Transform의 complexity는 주어진 함수 표현에서의 좌표와 계수의 갯수에 영향을 받는다. 그리고 Hough Transform의 정확도는 파라미터 평면상에서 분할된 갯수에 의해, 즉 파라미터 영역을 이산화하는 것에 좌우된다[10].

Hough Transform의 또다른 문제점은 누적 영역에서 최대값을 그 원의 해당 정보로 선택하는 데에서 발생한다. 많은 오류의 근원이 되는 것들이 파라미터 벡터 값들을 계산하는데 작용하므로 이상적인 값 대신에 그 인접 부근의 누적 영역값들이 증가하게 된다. 이러한 문제의 해결 방안으로 다음과 같은 방법들이 제시되어 왔다. 하나는 누적 영역의 값 증가 단계에서 규칙적인 오류 모델을 사용하는 것이다. 이 모델에서는 하나의 점 대신에 인접 점들의 집합을 정의한다. 따라서 여러 점들의 집합을 하나의 셀로 가정하고 그 집합에 속하는 값이 결과로 나올 때 1씩 증가시키는 방법이다. 다른 해결 방안은 증가 단계 후에 누적된 값들을 그 값들과 인접 값들의 함수로 대체시키는 것이다. 이 방법을 사용하면 누적 영역을 완만하게 만들 수 있다[5].

본 논문에서는 Hough Transform의 연산 속도를 줄이기 위해 원의 현의 수직이등분선이 원의 중심점을 지난다는 수학의 정리를 이용해서 원의 정보를 추출하는 방법을 제시한다. 그리고 파라미터 영역으로부터 원의 해당 정보를 선

택하는 과정에서 퍼지 이론(fuzzy theory)을 사용한다. 여러 개의 링에 대해 각각의 파라미터 영역을 산출하고 하나의 링에 의해 얻어지는 파라미터 영역을 하나의 퍼지 집합으로 간주하여 교집합 처리를 실행하여 원의 정보를 추출한다.

본 논문의 구성을 살펴 보면 I 장의 서론에 이어 II 장에서 Hough Transform을 이용해서 원을 인식하는 방법과 현을 사용해서 원의 중심을 찾는 방법에 대해 상세히 서술하고 III 장에서는 퍼지 이론과 패턴 인식에 대해 설명한다. 그리고 IV 장에서는 앞에서 서술한 방법으로 구현된 시스템을 실행한 결과를 보이고 마지막으로 V 장에서 결론과 함께 앞으로의 연구 방향을 제시한다.

II. 원의 인식

본 장에서는 원을 인식하는 두 가지 방법에 관하여 서술한다. Hough Transform을 이용해서 원을 인식하는 방법과 본 논문에서 제안하는 현의 수직이등분선을 사용해 원을 인식하는 방법에 관하여 서술한다.

1. Hough Transform을 이용한 원의 인식

Hough Transform을 이용해서 원을 인식하는 과정에 관하여 서술해보면 다음과 같다.

모든 원은 다음과 같은 형태의 방정식을 갖는다.

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 - r^2 = 0 \quad (1)$$

(x, y)는 영상에서의 한 점이고 (a, b, r)은 파라미터 벡터값이다. 각각의 파라미터 벡터는 특정 중심점과 반지름을 갖는 원을 나타낸다. 윤곽선 상에 놓여 있는 영상 점 (x₁, y₁)에 대해 (x₁, y₁)을 통과하는 원의 개수는 무한대이다. 그리고 이러한 모든 원들에 대해 파라미터는 다음 식을 만족한다.

$$(x_1 - a_1)^2 + (y_1 - b_1)^2 - r_1^2 = 0 \quad (2)$$

H(x₁, y₁)을 식 (2)를 만족하는 모든 (a, b, r) 점을 포함하는 R³(파라미터 영역)의 부분집합이라고 하자. P(R³)이 R³의 모든 부분집합을 나타낸다면

$$H(x_1, y_1) = \{(a, b, r) \in R^3 : (1) \text{을 만족한다}\}$$

에 의해 Hough Transform은 다음과 같은 사상(map)으로 볼 수 있다.

$$H : R^2 \rightarrow P(R^3)$$

원형

$$(x - a_1)^2 + (y - b_1)^2 - r_1^2 = 0 \quad (3)$$

상에 n개의 윤곽선 점 (x¹, y¹), ..., (xⁿ, yⁿ)이 주어졌다고 하자. 그러면,

$$\bigcap_{i=1}^n H(x^i, y^i) = \{(a_1, b_1, r_1)\} \quad (4)$$

식 (4)에 원형상에 간격이 고르게 놓여진 점들이 제공된다. 식 (4)는 Hough Transform의 기본식이다.

파라미터 영역은 셀로 나뉘어 이산화되고 처리 중인 영상에서의 각각의 윤곽선 점 (x, y)는 H에 의해 파라미터 (a, b, r)-영역으로 사상된다. 파라미터 (a, b, r)-영역에서 각각의 이산화된 셀은 H(x, y)가 해당 셀을 통과할 때마다 1씩 증가하는 누적기(accumulator)와 연관된다.

윤곽선 점이 이와같은 방법으로 계속 처리되어 파라미터 (a, b, r)-영역의 각 셀과 연관된 누적 수치는 영상에서 원들에 대응하는 점 (a, b, r)에서 최대값을 만드는 함수를 형성한다. 위의 예에서 최대값은 (a₁, b₁, r₁)에서 발생한다[7].

2. 현을 이용한 원의 인식

원의 중심을 찾기 위해 현을 이용하는 방법은 Hough transform의 연산 속도를 줄이기 위해 미리 정해진 거리에 의해 분리된 두 개의 윤곽선 지점 사이의 현을 사용하는데 방법은 다음과 같다.

이진화된 영상에서 찾아진 모든 윤곽선 지점을 중심으로 원의 주위에 찾고자 하는 원의 반경과 일반적으로 다른 반경 R_n인 원을 그림 2-2 처럼 겹쳐 그린다. 이 원을 링(ring)이라 하고 원주상에 있는 링의 중심과 원과 링이 만나는 점을 이은 선분을 현이라고 한다.

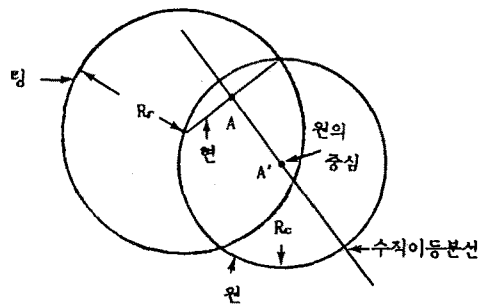


그림 2-2 원과 링 그리고 현

링과 만나는 모든 원의 윤곽선 지점에 대한 현의 수직 이등분선(그림 2-2의 선분 A-A')의 계수들을 계산한다. 원의 N개 현에 대해 다음과 같은 형태의 N개의 방정식을 얻는다.

$$y = A_i x + B_i, \quad i=1, 2, \dots, N \quad (5)$$

방정식의 모든 가능한 조합으로 각기 하나의 해답 (x₁, y₁)을 구하는데 모두 N(N-1)/2 개의 해답이 구해진다. 누적 영역은 방정식의 모든 해답 x₁와 y₁에 대해서 영상 평면과 같은 범위를 가지며 (x₁, y₁)가 결과값으로 계산

되어질 때마다 누적 영역의 대응되는 지점(x_i, y_i)의 내용을 1씩 증가시킨다. 이진화시 오류를 고려하지 않으면 원의 중심점, x₀, y₀ 에 대응하는 셀에 모든 가능한 N(N-1)/2 개의 해답이 누적된다.

본 논문에서는 이러한 과정을 모두 거친 누적 영역으로부터 원하는 정보를 다음 장에서 설명하는 퍼지 집합론을 사용하여 추출한다.

Ⅲ. 퍼지와 패턴 인식

패턴(pattern)이란 패턴 인식에서 처리하게 되는 대상을 말한다. 즉 인간의 보는 것, 듣는 것을 시초로 한 인식 대상을 패턴이라 부른다. 따라서 패턴이란 visual 패턴만을 가리키는 것이 아니라 speech 패턴도 패턴의 일종이다. 그리고 인간을 둘러싼 환경으로부터 감각기를 통해서 입력된 정보가 의식의 단계에 도달할 때 이들의 정보는 "패턴화"된다고 말한다.

영상 인식의 각 단계에 대하여 지금까지 많은 연구가 행하여졌으나 복잡한 영상의 이해, 국면과 불규칙 형상의 물체 인식, 확실하지 않은 영상의 인식, 고도의 특징 추출, 의미론적인 추론과 형상 등의 문제는 거의 다루어지지 못하고 있다. 그만큼 영상 인식의 문제는 어렵기 때문에 퍼지 이론을 포함하여 여러가지 방식으로 접근하는 것이 중요하다.

퍼지 영상 인식의 현상에 대해 서술하면 다음과 같다. 영상 정보는 대상이 명확한 것이라도 많은 잡상에 의해 흩어지고 있기 때문에 경계선의 탐지에 퍼지가 사용되는 예가 많다. 그 대표적인 것으로 퍼지 클러스터링에 의한 화소의 클래스 나누기이다. 화소가 완전히 같은 것은 없기 때문에 애매한 클러스터링이 필요한 것이다. 또한 손으로 쓴 문자와 음성의 인식 등 표준 패턴에 대해서 흩어짐이 있는 패턴의 분류에도 같은 수법이 사용되고 있다. 경계선을 탐지하는 경우에 잡상이 문제가 되는데 이것은 필터로 제거할 수 없고 또 빠진 부분을 보충하기 위한 추론도 필요하다. 그리고 영상 이해 과정으로 갈수록 고도의 애매한 패턴 매칭의 문제가 일어나는데 이는 형상의 매칭만이 아니라 의미의 매칭이 필요하기 때문이다. 따라서 이러한 영상 인식 분야에 퍼지 기법이 연구 사용되고 있다.

Ⅳ. 구현 및 결과

1. 구현 환경

구현에 사용된 인식 시스템은 IBM PC 386 상에서 C 언어로 작성되었으며 SeeEye-256 영상 처리 보드를 사용하였다.

SeeEye-256 영상 처리 보드는 IBM PC/XT, AT 및 그 호환 기종의 메인 보드에 장착하는 카드형 보드로서 CCD 카메라나 비디오 카메라로 입력한 텔레비전 영상 신호를 256 계조도(Gray Level)로 디지털(Digital)화하여 영상 메모리에 저장하고, 영상 메모리에 저장된 영상 데이터를 아날로그(Analog) 값으로 변환하여 텔레비전 모니터에 출력하는 장치이다. SeeEye-256은 수평 256 픽셀, 수직 256 픽셀 그리고 8 비트 계조도로 하나의 화면을 구성한다.

2. 원의 중심, 반경, 두께 추출

본 논문에서는 시스템의 성능을 보이기 위해 처리 대상을 분류하여 실행하였다. 인식의 대상을 컴퓨터가 그린 원형과 손으로 그려서 카메라로 입력한 원형으로 구분하였다. 그리고 각 입력 유형에서 원과 호로 나누어 실험해 보았다.

인식 대상의 예가 그림 4-1에 나와 있다. (a)는 C의 내장함수를 이용해 중심이 (100,100)이고 반경은 50인 원이고 (b)는 호를 손으로 그려서 카메라로 읽어들이 모니터에 출력한 것이다.

본 논문에서 구현한 시스템은 위의 그림들과 같은 입력의 형태에 대해 무관하게 원의 중심을 구한다. 그리고 반경은 구해진 중심으로부터 얻어낸다. 또한 링을 그려가면서 원의 두께를 측정하는게 가능하다.

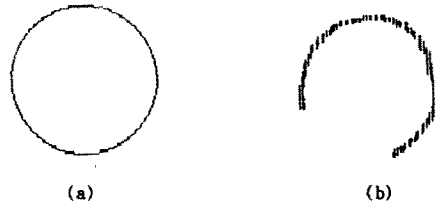


그림 4-1 인식 대상의 예

3. 적절한 링의 반경

최적의 링 반경은 두 가지 오류에 영향을 받는다. 하나는 이등분선의 각도의 부정확함에 기인하는 것으로 이등분선과 원의 중심점 사이의 거리에서 오류를 발생시킨다. 픽셀의 반 크기인 이진 오류를 가정하면 그림 4-2 (a)에서 최대 오류를 유추할 수 있다.

$$E_{max} \approx \frac{R_c \cos(\theta)}{R_r} = \frac{R_c}{R_r} \sqrt{1 - (R_r/2R_c)^2} \quad (1)$$

위의 방정식으로부터 최소 오류는 링 반경이 원의 직경과 같을 때 발생한다. 그리고 링 반경이 원의 직경을 초과하지 않는 한 링 반경과 원 반경의 비율이 클수록 최소 오류이고 비율이 작을 수록 최대 오류가 된다.

링 반경이 크면 그림 4-2 (b)와 같이 두 개의 윤곽선 지점에서만 링이 겹쳐지는 게 아니라 여러 개의 윤곽선 지점에서 이진화된 링과 겹친다. 링과 겹쳐지는 이러한 윤곽선 점들은 원의 중심점을 통과하지 않는 이동본선을 만들 수 있고 중심점 위치를 찾는데 공헌을 하지 못한다. 따라서 링의 크기는 원의 직경보다 작아야 한다. 한편 원의 직경보다 훨씬 큰 반경을 갖는 링은 원과 전혀 겹치지 않고 따라서 원은 발견되지 못한다.

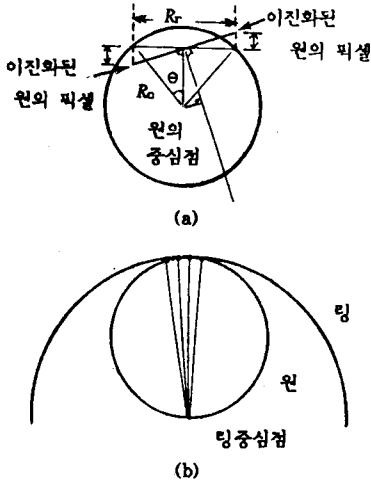


그림 4-2 (a) 각도로 인한 오류
(b) 링 반경이 원의 직경과 같을 때

4. 인식 가능한 호의 각도

내각이 110도 이상인 호에서는 링 반경과 무관하게 원의 중심을 구할 수 있었다. 그 이하의 호에서는 작은 링 반경에 대해서만 중심이 구해지며 50도 이하의 호에서는 원의 중심을 구할 수 없었다.

5. 퍼지 적용 여부에 따른 결과 비교

실험 결과 중 임의의 링의 결과값이 다른 링에 의해 얻어진 결과와 많은 차이가 났다. 이는 중심점을 고를 때 누적 영역에서 최대값을 갖는 파라미터 값을 선택함으로써 인한 오류이다. 따라서 파라미터 값 선택시 다른 방법을 고려해 봐야 한다. 본 논문에서는 퍼지들을 적용하여 이 문제들을 해결하고자 한다.

즉 누적 영역 각각의 셀값을 전체 누적된 값들에 대한 백분율로 계산하여 해당 파라미터 값이 원하는 이상적인 정보의 집합이 될 수 있는 지를 계산한다. 그리고 이 값을 퍼지 집합(fuzzy set)의 멤버십 정도(membership degree)로 사용한다. 그리고 나서 여러번의 실험을 통해 얻어진 퍼지 집합들, 즉 파라미터 영역에 대해 교집합 처리를 통해 얻고자 하는 원의 해당 정보를 추출한다. 이때 0.01-level 이상

의 멤버십 정도를 갖는 원소들 대상으로 수행한다.

V. 결론

본 논문에서는 원의 원의 수직이등분선을 이용하여 원의 중심을 찾는 방법을 제안하고 구현하였다. 이 방법은 Hough Transform을 변형한 것으로 입력 형태에 무관하게 수행됨을 보여주었다.

본 논문에서 구현된 시스템의 입력 유형은 정형화된 원과 호, 손으로 그린 원과 호를 구분하여 인식의 대상으로 삼았다. 정형화된 원과 호에 대해서 정확한 중심점과 반경을 찾았으며 잡음이 내재된, 손으로 그려 카메라로 읽어 들인 불완전한 원과 호에 대해서도 중심점과 반경을 찾아내었다. 정형의 호에 대해서 호각이 110도 이상인 경우 링 크기에 무관하게 중심점과 반경을 얻을 수 있었다.

손으로 그린 불완전한 원형의 경우 정확성을 기하기 위해 퍼지 이론을 사용하여 원의 정보를 추출하였다.

본 시스템의 연산 속도는 영상에서 얻어지는 원의 갯수에 좌우된다. 즉 원의 경우는 원의 반지름 크기에, 호인 경우는 호각 크기에 따라 속도가 좌우된다. 따라서 본 시스템에서는 모든 윤곽선 상의 점에 대해서 현을 구하고 그 현의 수직이등분선을 계산하였는데, 연산 속도를 증가시키기 위해 정확성에 영향을 미치지 않으면서 현의 갯수를 줄이는 방법의 연구가 계속되어야 할 것이다.

참고 문헌

1. 퍼지 이론 정리와 C 언어에 의한 구현, PC 저널.
2. 박민용, 퍼지 제어 시스템, 대영사.
3. 박민용, 퍼지 시스템의 응용 입문, 대영사.
4. Israel Amir, Algorithm for Finding the Center of Circular Fiducials, *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 49,1990,398-406.
5. D. H. Ballard, Generalizing the Hough Transform to Detect Arbitrary Shapes, *Pattern Recog.* 13, No.2, 1981, 111-222.
6. D. H. Ballard, and C. M. Brown, *Computer Vision*.
7. S. P. Banks, *Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, Prentice-Hall.
8. C. M. Brown, Inherent Bias and Noise in the Hough Transform, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intelligence*, PAMI-5, No. 5, 1983.
9. M. Cohen and G. T. Toussaint, On the Detection of Structure in Noisy Pictures, *Pattern Recog.* 9, 1977, 95-98.
10. R. C. Gonzalez and P. Wintz, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley Publishing Company.