2000年度 第13回 信號處理合同學術大會 論文集 第13卷 1號

광 Hough 변환을 이용한 원호의 반지름과 중심각 및 위치 추출

*조규보, *김종윤, *박세준, **배장근, ***박상국, *김수중
*경북대학교 전자공학과, **구미1대학 전자정보과, ***포항산업과학연구소

Extracting Radius, Center Angle and Position of the Arc using Optical Hough Transform

*Kyu-Bo Cho, *Jong-Yun Kim, *Se-Joon Park, **Jang-Keun Bae,
***Sang-Gug Park, *Soo-Joong Kim

*Dept. of Electronic Eng., Kyungpook National University
**Dept. of Electronic Information, Kumi College
***Research Institute of Industrial Science & Technology

Abstract

입력영상의 Hough 변환(Hough Transform; HT) 영상으로부터 입력영상인 원호의 중심각의 크기, 반지름의 길이 및 양 끝점의 위치 정보를 구하는 방법을 제안하였다. HT 영역에서 포락선의 정보로부터 원호영상의 외접사각형의 가로 및 세로 길이와 회전 각도를 구한 다음 이로부터 원호영상 정보를 계산하였다.

1. 서 론

Hough Transform(HT)은 영상 내에 직선과 곡선을 검출함에 있어서 유용한 방법으로 자동 항법 시스템 등의 패턴인식 분야에서 널리 이용되어 왔다. 이제까지 HT를 이용하여 직선이나, 원·타원 등의 폐곡선에 대한 정보추출법과 이의 응용에 대해 많이 연구되어 왔다.

본 논문에서는 HT영역에서 포락선의 정보를 이용하여 원호의 길이와 위치를 구하는 방법을 제안하였다. 변수영역의 포락선의 최소너비와 최소너비가 나타나는 각도에서 90° 가감된 위치에서의 너비에서 입력영상에 외접하는 직사각형의 세로길이 및 가로길이를 구한 후 이를 이용하여 기하학적인 방법으로 입력영상의 중심각의 크기 및 반지름을 구하였고, 포락선 상의 특정점들의 좌표로부터 입력패턴의 양 끝점의 좌표를 구하였다. 다양한 길이와 회전 각도를 가진 원호 영상에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안한 방법의 타당성을 확인하였다

2. HT에서의 영상 특징점 추출

1) Hough 변환

입력 좌표계 (x, y)의 HT 좌표계 (θ, ρ)로의 변환은

$$\rho = x\cos\theta + y\sin\theta \quad (1)$$

와 같다. 그래서 그림 1에서와 같이 입력영역에서의 한 점은 HT 영역에서는 하나의 정현 곡선으로 정합되고, 입력영역에서 하나의 직선은 첨두치 (θ_0, ρ_0)로 정합되어진다. 여기서 ρ_0는 원점에서부터 직선까지의 최단거리이고, θ_0는 원점에서부터 ρ_0가 x축과 이루는 각도를 나타낸다.

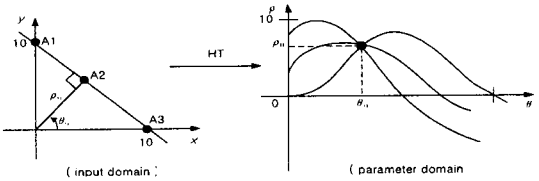


그림 2. HT에서 입력영역과 변수영역간의 사상

2) 동일 외접사각형을 가지는 영상의 HT

동일한 외접사각형을 가지는 영상과 이의 회전한 영상의 Hough 변환영상에서 포락선의 너비를 관찰하였다. 컴퓨터 모의실험에 사용한 입력영상과 이들의 Hough 변환영상은 그림 2에서와 같다. 여기서 그림 2(a)와 2(c)는 40×20의 크기인 동일한 형태의 외접사각형을 가지고, 그림 2(e)와 2(g)는 외접사각형이 시계방향으로 45° 회전된 형태이다. 그림 2(b), (d), (f) 및 (h)에서 화살표로 표시된 지점은 포락선의 너비가 최소가 되는 지점과 그 최소지점에서 90° 떨어진 곳이다. 각 영상의 Hough 변환 영상에서 포락선의 너비가 최소 및 최대가 되는 지점과 최소 포락선의 너비를 가지는 지점에서 90° 떨어지는 지점에서의 각도와 길이는 표 1에 나타내었다. 표 1에서 보면 직사각형 내에 접하는 입력영상의 HT에서 포락선의 최소 너비는 외접직사각형의 세로길이와 같고, 최소포락선의 너비가 나타난 곳에서 90° 떨어진 곳에서의 포락선의 너비가 외접직사각형의 가로길이와 같음을 알 수 있다. 따라서 임의의 영상의 외접 직사각형의 세로길이 및 가로길이는 이의 Hough 변환된 영상에서 포락선의 최소너비와 이 지점에서 90° 떨어진 지점에서 너비로부터 구할 수 있고, 영상의 회전된 각도는 최소너비가 나타나는 지점에서의 각도로부터 구할 수 있다.

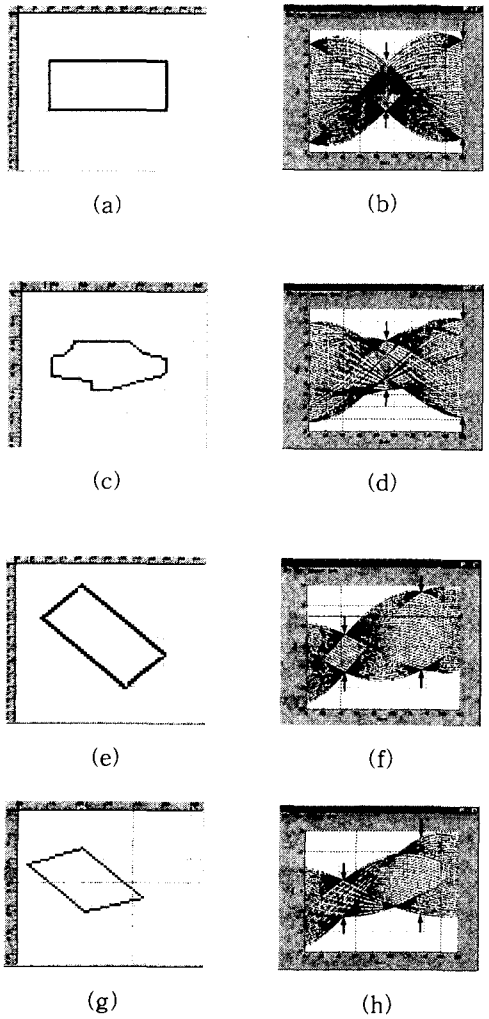


그림 2. 임의 영상의 Hough 변환

표 1. 그림 2의 HT 영상에서 특정점의 정보

	Input Images		HT Images		
	Position	Length	Position	Angle	length
3.(a)	Height	20.000	WEmin	90°	20.000
	Length	40.000	WEmin+90°	153.28°	40.000
	Diagonal	47.721	WEmax	180°	47.721
3.(b)	OH	20.000	WEmin	90°	20.000
	OL	40.000	WEmin+90°	180°	40.000
	Pmax	40.793	WEmax	163.125°	40.445
3.(d)	Height	20.000	WEmin	45°	20.183
	Length	40.000	WEmin+90°	135°	40.103
	Diagonal	44.721	WEmax	161.016°	44.828
3.(e)	OH	20.000	WEmin	45°	20.183
	OL	40.000	WEmin+90°	135°	40.103
	Pmax	44.721	WEmax	161.016°	44.828

*WEmin : minimum Width of The Envelope
*WEmax : maximum Width of The Envelope
*Pmax : The Longest Projection of The Rectangle
*OH : height of the osculating Rectangle
*OL : Length of the osculating Rectangle

3. 제안한 원호 정보추출

원호영상과 이의 HT영상은 그림 3에서와 같다. 여기서 l과 h는 각각 원호의 외접 사각형의 가로 및 세로 길이를 나타내며, HT영상에서 포락선의 최소 너비와 이로부터 90° 떨어진 지점의 너비로부터 구할 수 있다. β는 원호의 중심에서의 법선이 x축과 이루는 각도를 나타내며 최소너비가 나타나는 지점에서의 각도로 구할 수 있다. 그리고 원호의 외접사각형의 길이 l과 h로써 구한 원호를 포함하는 가상원의 반지름의 길이 r은

$$r=\frac{h^2+\frac{1}{4}l^2}{2h} \tag{2}$$

와 같고, 중심각의 크기는

$$\alpha = 2\gamma = 2\sin^{-1}\frac{lh}{h^2+\frac{1}{4}l^2} \tag{3}$$

와 같다.

원호의 양 끝점의 좌표는 입력패턴의 외접사각형이 x축과 수직하거나 평행할 경우에는 Hough 변환 영역에서 0° 및 90° 지점의 ρ값으로부터 구할 수 있고, 그 외의 경우는 그림 4에서와 같이 4가지 경우로 나누어 구할 수 있다. 이 때 x_{min}, y_{min}, x_{max}, y_{max} 중에서 2 개의 값만 알 수 있고 나머지 좌표 값 x_1 과 y_1을 미지수로 두어 기하학적으로 알아내야 한다. x_{min}, x_{max}를 x_0로 y_{min}, y_{max}를 y_0라 두고 $\tan\beta$를 k라 두면

$$\begin{aligned} &\frac{y_1-y_0}{x_0-x_1}\tan\beta = -1 \\ &(x_0-x_1)^2 + (y_1-y_0)^2 = l^2 \end{aligned} \tag{4}$$

을 얻게 되고 이를 풀면

$$\begin{aligned} x_1 &= x_0 \pm k\sqrt{\frac{l^2}{k^2+1}}, \\ y_1 &= y_0 \pm \sqrt{\frac{l^2}{k^2+1}} \end{aligned} \tag{5}$$

와 같다. 따라서 경우에 따라서 양 끝점의 좌표를 나타내면 위와 같다.

case 1 : $0<\beta<90°$, $x_0 \rightarrow x_{min}$, $y_0 \rightarrow y_{min}$

$$\left(x_{min}+k\sqrt{\frac{l^2}{k^2+1}}, y_{min}\right), \left(x_{min}, y_{min}+\sqrt{\frac{l^2}{k^2+1}}\right)$$

case 2 : $0<\beta<90°$, $x_0 \rightarrow x_{max}$, $y_0 \rightarrow y_{max}$

$$\left(x_{max}+k\sqrt{\frac{l^2}{k^2+1}}, y_{max}\right), \left(x_{max}, y_{max}+\sqrt{\frac{l^2}{k^2+1}}\right)$$

case 3 : $90°<\beta<180°$, $x_0 \rightarrow x_{max}$, $y_0 \rightarrow y_{min}$

$$\left(x_{max}, y_{min}-\sqrt{\frac{l^2}{k^2+1}}\right), \left(x_{max}-k\sqrt{\frac{l^2}{k^2+1}}, y_{min}\right)$$

case 4 : $90°<\beta<180°$, $x_0 \rightarrow x_{min}$, $y_0 \rightarrow y_{max}$

$$\left(x_{min}, y_{max}-\sqrt{\frac{l^2}{k^2+1}}\right), \left(x_{min}-k\sqrt{\frac{l^2}{k^2+1}}, y_{max}\right)$$

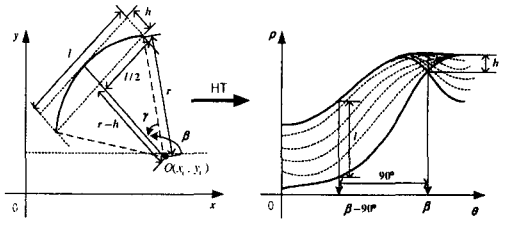


그림 3. 입력패턴의 외접사각형과 HT영역의 포락선과의 관계와 회전

뿐만 아니라 입력 패턴의 곡선의 양 끝점을 찾아내고 나면 이 곡선이 이루게 될 가상의 원의 중심점의 좌표도 찾아낼 수가 있다.

4. 컴퓨터 모의 실험

그림 5(a)와 같은 반원과 그림 5(c)와 같은 1/4 원을 입력 원호 영상으로 사용하였다. 이들의 Hough 변환된 영상은 각각 그림 5(b), 5(d)와 같고, 제안한 방법을 사용하여 이들로부터 구한 원호 정보는 표 2와 표 3에 나타내었다.

그림 6에서와 같은 광실험 구성을 사용하여 입력패턴의 형태와 위치를 광학적으로 구할 수 있다. 입력영상과 HT필터가 직렬 연결되어 있고, HT필터와 CCD카메라는 렌즈 L2의 전후 초점면에 위치해 있다. 입력영상에 입사된 Coherent한 빛은 렌즈에 의해 Fourier변환되어 CCD면에 HT된 영상이 재생된다.

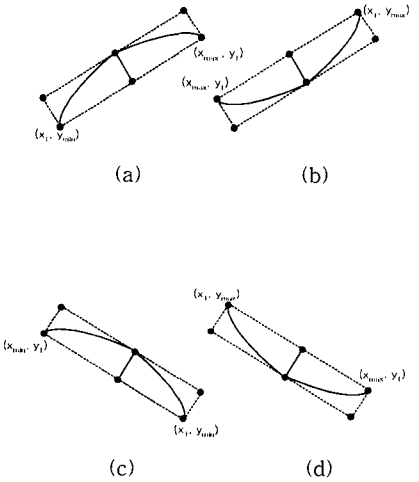
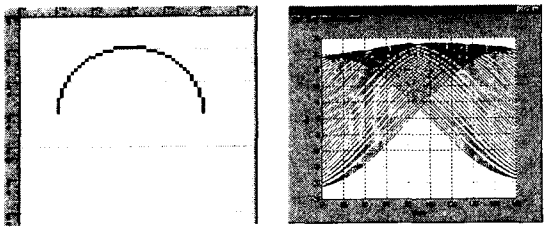
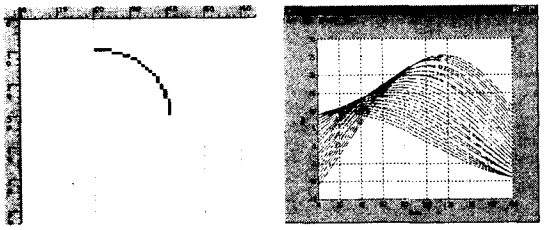


그림 4. 원호의 양끝점을 구하기 위한 도시
(a) case 1 (b) case 2 (c) case 3 (d) case 4



(a) (b)



(c) (d)

그림 5. HT영상에서 특정점을 이용하여
원호입력영상의 정보추출
(a) 반원 입력패턴 (b) 반원의 HT 결과
(c) 1/4 원 입력패턴 (d) 1/4원의 HT결과

표 2. 추출한 반원의 원호 정보

	Angle	Length (input)
WEmin	9 0°	20.0(20.0)
WEmin+90°	1 8 0°	40.0(40.0)
l	40. 0	
h	20. 0	
Radius	20.0(20.0)	
Center Angle	180° (180°)	

표 3. 추출한 1/4원의 원호 정보

	Angle	Length (input)
WEmin	1 3 5°	5.857(5.858)
WEmin+90°	4 5°	28.284(28.284)
l	28.284	
h	5.857	
Radius	20.002(20.000)	
Center Angle	89.989° (90°)	

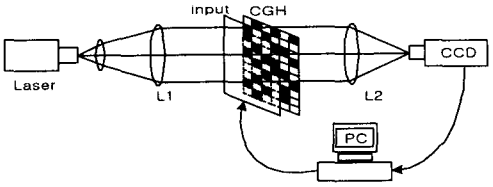


그림 6. 광학적 HT구성도

6. 결 론

본 논문에서는 HT된 영상으로부터 입력영상에 존재하는 원호의 반지름의 길이와 중심각 회전각도 및 입력패턴의 위치를 구하는 방법을 제안하였다.

여러 가지 패턴에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 제안된 방법의 타당성을 정량적인 분석을 하였다. 앞으로 이 제안한 방법을 자동 항법 시스템 등에 응용하는 방법을 연구 중이다.

참 고 문 헌

(1) Jeffery Richards and David P. Casasent, Extracting input-line position from Hough transform data, Applied Optics, vol. 30, no.20 pp. 2899-2905, 1991

(2) 김기정, 박상국, 김종윤, 박세준, 배장근, 김수중, Hough transform정보로부터 입력직선의 위치와 실제 길이정보추출, 대한전자공학회 하계종합 학술대회 논문집 제 22권, pp. 301-304, 1999.

(3) L. Feng and Y. Fainman, Detection of a general ellipse by an optical Hough transform, Applied Optics, vol. 31, no. 17, pp. 3259-3269, 1992.

(4) 박상국, 김성용, 김수중, 광학적 Hough 변환 결과로부터 직선과 타원의 실제 길이 추출, 전자공학과 논문지, 제 37권, SD편, 제3호, pp. 215-223, 2000.

(5) Sophie Laut, Fang Xu and Y. Fainman, A matrix of 64×64 CGH for optical Hough Transform processor, SPIE, vol, 3402, pp. 22-31, 1998.