

## 컴퓨터 비전을 이용한 파이프 형상 검사시스템에 관한 연구

김형석\* (울산대 대학원 기계자동차공학부), 이병룡\*\* (울산대 기계자동차공학부),  
양순용\*\* (울산대 기계자동차공학부), 안경관\*\* (울산대 기계자동차공학부),  
오현옥\*\*\* (부국산업주식회사)

### A Study about Pipe Shape Inspection System for Computer Vision

Hyoung-Seog Kim(School of Mechanical and Automotive Engineering),  
Byung-Young Lee(School of Mechanical and Automotive Engineering),  
Soon-Yong Yang(School of Mechanical and Automotive Engineering),  
Kyoung-Kwan Ahn(School of Mechanical and Automotive Engineering),  
Hyun-Og OH(Boogook Industries Co. Ltd.)

#### ABSTRACT

In this paper, a computer-vision based pipe shape inspection algorithm is developed. The algorithm uses the modified Hough transformation and a line-scanning approach to identify the edge line and radius of the pipe image, from which the eccentricity and dimension of the pipe-end is calculated. Line and circle detection was performed using Laplace operator with input image, which are acquired from the front and side cameras.

In order to minimize the memory usage and the processing time, a clustering method with the modified Hough transformation for line detection. The dimension of inner and outer radius of pipe is calculated by proposed line-scanning method. The method scans several lines along the X and Y axes, calculating the eccentricity of inner and outer circle. by which pipes with wrong end-shape can be classified removed.

**Key Words** : Hough transform(허프 변환), Inspection(측정), Computer Vision(컴퓨터 비전)

#### 1. 서론

현대 산업 현장에서는 자동화 시스템으로 모든 제조 공정이 이루어진다고 해도 과언이 아니다. 하지만 산업로봇을 사용하는 자동화 시스템의 경우, 일반적으로 주변 치 공구가 노후화 되거나 물류 장치 등의 불안정으로 작업 대상물의 위치나 방향이 불규칙하게 변하면, 오 동작하게 되어 전체 시스템의 불안정 상태를 유발할 수 있고, 이는 곧 제품의 불량으로 나타난다.

이로 인한 불량 검출 방법으로는 과거에는 사람에 의존하던 검출 방법이 점차 컴퓨터 비전을 많이 사용하고 있다. 컴퓨터 비전은 컴퓨터 그래픽스, 로보틱스, 공정제어, 의학분야, 방위산업과 같은 분야에서의 목표확인, 추적, 제작공장에서 자동조립, 수습기 등에서의 위치 및 변위교정에 지대한 역할을 수행하고 있다.[1][2] 어떤 영상 내에서 특정한 형상의 것을 찾아내기 위해서는 그 형상의 특징을 검출 해야 하는데, 그 특징은 주로 윤곽선으로 이루어져 있다. 이러한 특징을 검출하는 방법중에서

Hough 변환은 직선 성분을 검출하는데 유용한 방법으로 알려져 있다.[3][4] 이러한 Hough 변환은 한꺼번에 화상 전체에 대한 특징을 추출하지 않고 각각의 물체에 대한 특징을 따로 처리해 나가기 때문에 템플릿 매칭(template matching)에 비해 빠르고,[4][5] 잡음에 강한 장점 때문에 많은 연구가 진행되고 있으며, 원, 타원, 포물선 같은 곡선 형태의 물체를 인식하는데도 적용되고 있다.[6][7][8] 그러나 Hough 변환 알고리즘은 함수 형태로 표현 가능한 물체들에 대해서만 제한적으로 사용되고 있다. 그리고, Hough Transform 이 가지는 최대 약점인 과도한 메모리 사용으로 인한 느린 처리속도를 들 수 있을 것이다.[3][9]

본 연구에서는 자동차용 oil 파이프 및 브레이크 oil 파이프의 검사공정에 컴퓨터 비전을 이용하는 방안에 대해서 알아본다. 검사 제품의 측면 영상에는 Hough 변환을 이용하여 직선 성분을 검출하여 제품의 불량 여부를 판정하고, 검사 제품의 정면 영상은 line-scanning method 를 이용하여 외경과

내경의 중심좌표, 직경 등을 검출하여 제품의 불량 여부를 판정하기로 한다.

검사 공정은 파이프 성형 라인에 설치가 되어 성형 되어 나온 파이프를 바로 검사하기로 한다. 제품 성형은 4 초마다 한번씩 되므로 그 4 초안에 파이프 양끝단에서의 정면과 측면영상, 즉 4 개의 영상을 처리하여 불량 여부를 판정해야 하므로 영상처리속도가 중요하다. 그러므로 전통적인 Hough 변환을 이용하기보단 변형된 Hough 변환을 사용하였다.

## 2. Hough 변환

Hough 변환은 1962 년 P.V.C. Hough 에 의해 제안되었으며 기울기-절편 ( $a-b$ ) 좌표 계에서 직선을 추출하는 기본 방법이 처음 제안된 후, Duda 와 Hart 는 기울기-절편 좌표계에서 기울기와 절편이 무한대가 되는 것을 방지하고 검출 정도를 개선시킨 변위-각 ( $\rho-\theta$ ) 파라미터를 이용하는 방법을 제안하였다.[10]

Hough 변환은 입력된 영상 공간에서 직선, 원, 타원, 포물선 등의 형태를 추출해내기 위해서 누적 배열기(Accumulator Array)라고 명칭 되는 계수공간이 필요한 것이 특징이다.

### 2.1 변위-각 좌표계에서의 Hough 변환

변위-각 좌표계에서의 Hough 변환은 기본원리는 기울기-절편 좌표계와 같으나 기울기와 절편이 무한대로 가는 것을 방지하고 검출 정도를 높이기 위해서 R.O. Duda 와 P.E. Hart 가 제안하였다.  $x-y$  좌표계상의 직선을 변위-각 파라미터를 이용하여 그림 2.2 와 같이 표현할 수 있다. 여기서  $\rho$  는  $x-y$  좌표계상의 원점에서 직선을 그은 수선의 길이이며  $\theta$  는 이 수선과  $x$  축과 이루는 각을 나타낸다. 그러므로  $x-y$  좌표계상의 직선  $y = ax + b$  은 식 (2.1)으로 표현될 수 있고 다시 식 (2.1)식은 식 (2.2)식으로 나타낼 수 있다.[9]

$$y = -\frac{\cos\theta}{\sin\theta}x + \frac{\rho}{\sin\theta} \quad (2.1)$$

$$\rho = x \cos\theta + y \sin\theta \quad (2.2)$$

그림 (2.2)는 변위-각 좌표계에서의 Hough 변환을 잘 보여주고 있다.

$x-y$  좌표계상에서 동일한 직선 상에 위치하는 두점이 있을 때 각각의 점을 지나는 직선들은 무수히 많다. 하지만 이 두점을 동시에 지나는 직선은 단 하나만 존재하며 이 직선은 변위-각좌표계상에서 한 점으로 표현된다. 그러므로  $x-y$  좌표계상에서 동일한 직선 상에 위치한 점들에 의해 만들어지는 변위-각좌표계의 곡선들은 모두 하나의 점에서 만나게 된다.

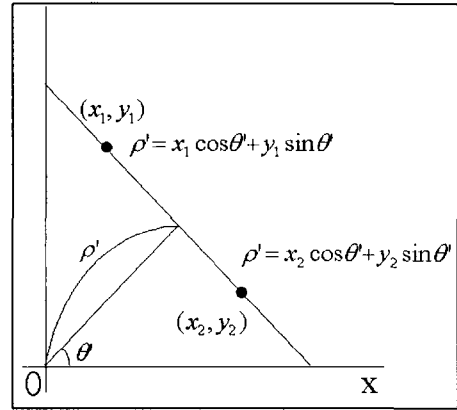


Fig. 2.1. Image space

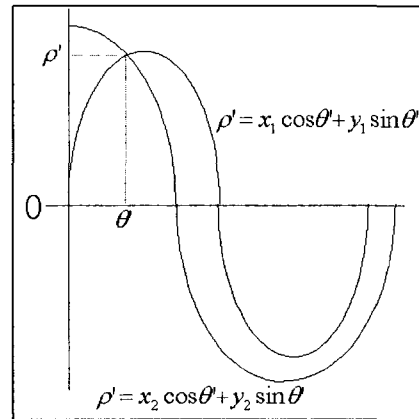


Fig. 2.2. Parameter space

### 2.2 변형 Hough 변환의 개념과 원리

Hough 가 제안한 방법의 경우  $N \times N$  영상에 대해 직선  $y = ax + b$  에서 파라미터  $a, b$  의 범위는  $-\infty < a < \infty, -\infty < b < \infty$  이다.  $a, b$  의 범위가 크기 때문에 많은 메모리량이 필요하고 파라미터 공간에서의 피크 값 검출에 많은 시간이 소요된다. 반면에 Duda 와 Hart 는 직선을 표현하는 식을  $y = ax + b$  대신  $\rho = x \cos\theta + y \sin\theta$  를 사용함으로써 파라미터  $\rho, \theta$  의 범위를 제한할 수 있었다. 파라미터 공간이 제한되어 있으므로 메모리량과 계산량을 효과적으로 감소시킬 수 있기 때문이다. 하지만 아직도 메모리량과 계산량이 많기 때문에 빠른 처리속도를 기대하기 어렵다.

Hough 변환의 또 다른 하나의 문제는, 노이즈의 영향으로, 본래 파라미터 공간의 하나의 셀을 지나야 하는 선이 반드시 하나의 셀을 지난다고 할 수 없고, 퍼져서 분포할 수 있다는 것이다. 즉, 각 셀이 아니라 어느 정도의 넓이를 가진 영역에서 많은 점이 모이는 곳을 찾아야 할 필요가 있다. 이것이 이른바 클러스터링(Clustering)이다.

본 연구에서는 노이즈가 없다는 가정과 직선의 파라미터 값을 안다는 가정 하에서 어느 정도 넓이를 지니는 영역을 지정하는 인위적인 클러스터링을 하였다.

### 3. 원 검출 알고리즘

Hough 변환을 이용한 원 검출 알고리즘으로는 크게 두 가지로 분류를 할 수 있다. 하나는 Ballard 에 의한 원 추출기이고, 또 하나는 Kimme 에 의한 원 추출기이다. Ballard 에 의한 원 추출기는 R.O. Duda 와 P.E. Hart 에 의해 제안 되고 D.H. Ballard 에 의해 보완되어진 것이다.[7] Kimme 에 의한 원 추출기는 C. Kimme 와 J. Sklansky 에 의해 제안된 원 추출기이다.[8]

하지만 Hough 변환을 이용하여 원을 검출하기엔 해결해야 할 많은 문제점을 안고있다. 제일 문제가 되는 것은 Hough 변환이 가지는 특징 중 하나인 누적 배열기(Accumulator Array)라고 명칭 되는 계수공간이 직선보다 많이 필요한 것이다.

이번 장에서는 Hough 변환을 이용한 원 검출 알고리즘의 개요와 문제점, 그리고 그에 따른 새로운 원 검출 알고리즘을 소개한다.

#### 3.1 Ballard의 원 추출기

원을 식 (3.1)과 같이 표현을 한다.

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2 \quad (3.1)$$

식(3.1)에서  $x$ 와  $y$ 는 변수이고,  $a$ 와  $b$ 는 중심을 의미하고,  $r$ 은 반지름을 의미하는 계수이다. 따라서 계수공간은  $a-b-r$  3 차원 공간이 된다. 이것이 누적 배열기가 되는 것이다.

$x-y$ 평면에서 한 점을  $a-b-r$ 공간으로 변환 하면 직각 원추(right circular cone)의 형태가 된다. 직선의 경우에서와 마찬가지로  $x-y$ 평면에서 원  $(x-a_0)^2 + (y-b_0)^2 = r_0^2$ 에 위치하는 점들은  $a-b-r$ 공간으로 변환하면 점  $(a_0, b_0, r_0)$ 를 공유하는 직각 원추들로 대응된다.

이 방법은 모든 특징 화소들이  $a-b-r$  3 차원공간에서 원추의 모양을 이루게 되어 많은 계산 시간을 필요로 하게 되므로 비효율적이 된다

#### 3.2 새로운 원 추출 알고리즘

앞에서 알아봤듯이 Ballard 의 원 추출기는 과도한 누적 배열기로 인한 계산 효율이 떨어진다라는 치명적인 문제점이 있다. 또한 실제 영상에서는 조명에 의한 노이즈가 심하기 때문에 정확한 원을 검출하기엔 적합하지 않다. 그렇기에 여기 새로운 원 검출 알고리즘을 제안한다.

본 연구에서 제안하는 방법은 Hough 변환 같은 함수를 사용하는 방법이 아닌 line-scanning method

를 제시한다. 현(chord)의 수직이등분선은 반드시 원의 중심을 지난다는 원의 원리를 이용하여 전처리 된 입력 영상에서 윤곽선(edge)을 추출하여 각 점들간의 상호 관계를 조사하는 방식이다. 그림 (3.1)에서 보듯이 직선  $ab$ 는 원 위의 임의의 두 점  $a, b$ 를 연결한 현을 나타내게 되고, 직선  $EF$ 는 현  $ab$ 를 수직이등분한 직선이 된다. 이때 직선  $EF$ 는 반드시 원의 중심  $C$ 를 지나게 된다. 즉, 윤곽선을 검출한 이진 영상에서 원의 중심을 찾기 위해서  $x$ 방향과  $y$ 방향으로 한 라인씩 검사 하여 검출된 좌표 값으로써 원의 중심 좌표와 반지름의 길이를 계산하게 된다.

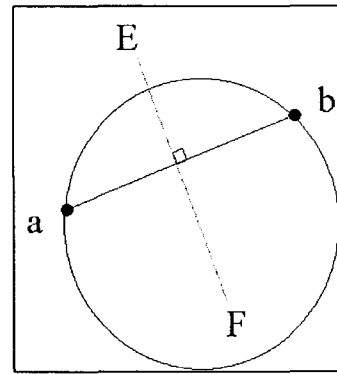


Fig. 3.1 Vertical bisection between circle to chord

그림 (3.2)은  $x$  방향으로 검사하여 원 중심의  $x$  좌표를 구하는 방법을 보여준다. 그러나 실제 영상에서는 조명에 의한 노이즈가 심하므로 각 라인에서 구한 중심 좌표들의 평균값을 취하여 그 정확도를 향상시켰다.

실제 실험상 만족할 만한 수준의 정확한 원 검출과 빠른 처리속도를 보여주었다.

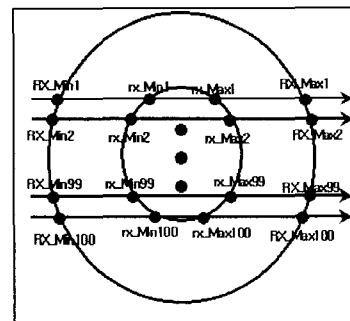


Fig. 3.2 line-scanning method

## 4. 실험

이 장에서는 본 연구에서 제시한 알고리즘이 파이프 검사 성능을 확인하기 위하여 파이프의 정면

과 측면의 영상을 입력 받아 파이프 검사에 필요한 외경, 내경, 편심량 등을 측정한다. 영상 포착을 위한 CCD Camera 는 Teli 의 CS8420 을 사용하였고, Frame grabber 는 DT-3152 를 사용하였다. 실험에 사용된 영상의 크기는  $640 \times 480$  이고, 256 개의 명암도를 지닌다. 측면 영상을 처리하는 알고리즘은 앞에서 제시한 변형 Hough 변환을 사용하였고, 정면 영상 처리를 위한 알고리즘은 line-scanning method 를 사용하였다.

#### 4.1 파이프 측면 영상에서의 검사

그림 (4.1)은 파이프의 측면 영상을 보여주고 있다. 이 영상(Image)를 가지고 제안 한 알고리즘의 성능을 확인하기로 한다.

먼저 전처리와 윤곽선 검출 알고리즘을 적용하여 이진화 영상을 얻었다. 그리고 제시한 알고리즘을 적용시켜서 편심량과 각도를 측정할 직선 성분을 검출한 것을 그림(4.2)에서 보여 주고있다. 편심량을 측정하기 위해서 그림(4.2)에서 검출된 기울어진 직선들의 방정식을 구하여 그 직선들의 교점의 좌표를 검출하여, 수직선에 가까운 직선 두개의 이등분점을 구하여 비교를 하였다.

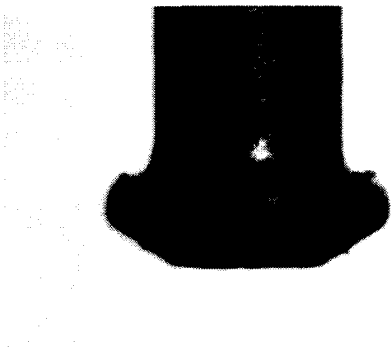


Fig. 4.1. Side image

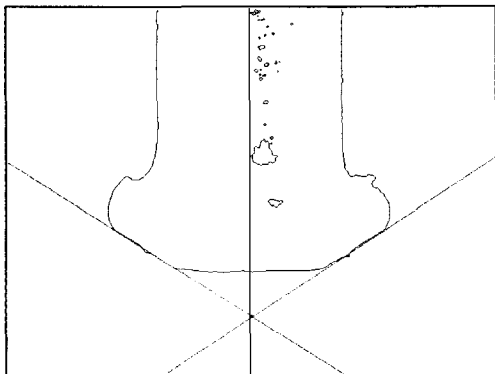


Fig. 4.2. Side image of proposed algorithm

이때 검출된 좌표는 표(4.1)에 나타내었다.

Table 4.1. The result of detection coordinate line image

기울기를 가지는 직선의 교점(X 좌표)	수직선의 이등분점(X 좌표)	
320.318334	317.386162	2.932172

제안한 알고리즘의 속도를 측정하기 위하여 위의 처리순서를 100 번 반복 실행한 결과를 표 (4.2)에 표기 하였다.

Table 4.2. The result of time span of line image

실험회수	100 회 연속 실험 시간	1 회당 평균 시간
1	97.12 sec	972 ms
2	98.06 sec	980 ms
3	97.09 sec	970 ms

#### 4.2 파이프 정면 영상에서의 검사

그림 (4.3)은 파이프의 정면 영상을 보여주고 있다. 이 영상(Image)를 가지고 제안 한 알고리즘의 성능을 확인하기로 한다.

먼저 전처리와 윤곽선 검출 알고리즘을 적용하여 이진화 영상을 얻었다. 그리고 제시한 알고리즘을 적용시켜서 안쪽 원과 바깥쪽 원의 중심좌표와 각각의 반지름을 측정한 것을 그림(4.4)에서 보여 주고있다. 편심량을 측정하기 위해서 검출된 각각 원의 중심좌표와 반지름을 이용하여 중심들간의 편심률과 반지름간의 상호 관계로서 불량률의 판정 기준으로 하였다. 이때 각각 원의 중심좌표와 반지름은 표(4.3)에 나타내었다.

제안한 알고리즘의 속도를 측정하기 위하여 위의 처리순서를 100 번 반복 실행한 결과를 표 (4.4)에 표기 하였다.

Table 4.3. Table 4.1. The result of detection coordinate circle image

	안쪽 원	바깥쪽 원
중심의 X 좌표	339	339
중심의 Y 좌표	223	224
X 방향의 반지름 길이	86	192
Y 방향의 반지름 길이	83	186

Table 4.4. The result of time span of circle image

실험회 수	100 회 연속 실험 시간	1 회당 평균 시간
1	86.03 sec	861 ms
2	83.84 sec	839 ms
3	83.59 sec	836 ms

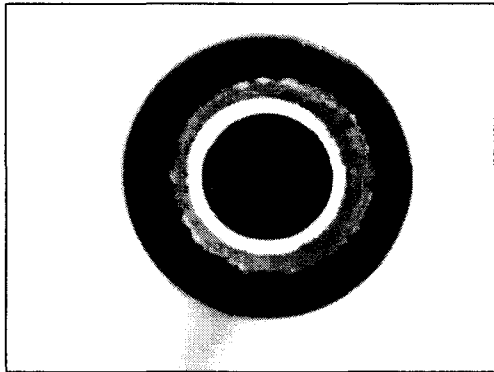


Fig. 4.3. Front image

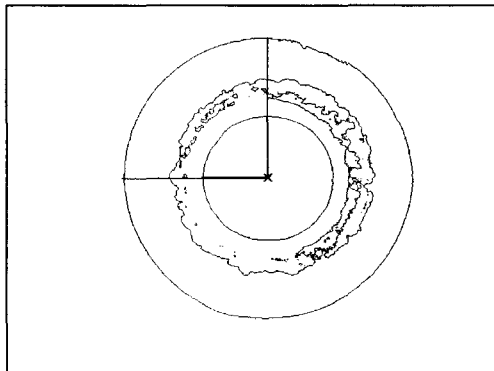


Fig. 4.4. Front image of proposed algorithm

### 5. 결론

Hough 변환은 영상의 특징을 추출하는 방법 중에서도 비교적 잡음에 강하고, 특징을 잘 추출한다. 하지만 Hough 변환은 많은 기억용량을 필요로 하고, 또한 영상이 겹쳐 있거나 내포된 경우에는 인식이 떨어지는 단점이 있어 일반 Hough 변환, 표준 Hough 변환 등 많은 연구가 이루어져 왔다.

본 연구에서 사용된 변형 Hough 변환과 line-scanning method 를 이용하여 실험한 결과를 보면 1 Cycle 시간인 4 초 동안 4 개의 영상을 충분히 검사할 수 있음을 알 수 있다. 정확도 또한 만족스러운 성능을 보인다.

하지만 line-scanning method 를 이용하는 원의 좌표 검출에서는 조명의 세기에 따라 내부에 있는 원

의 형태가 검출이 안 되는 경우도 발생 되기도 하여, 조명에 대한 연구도 수반되어야 함을 알 수가 있었다.

그러므로 실제 공장에 배치 될 때 조명의 세기에 대한 고찰이나, 불량품을 제거할 장치에 대한 연구도 필요하다고 생각한다.

### 후 기

본 연구는 한국 과학재단 지정 울산대학교 기계 부품 및 소재 특성 평가 연구센터의 지원에 의한 것입니다. 그리고 도움을 주신 부국산업주식회사 관계자 여러분께 감사 드립니다.

### 참고문헌

1. H. Maitre, "Contribution to the prediction of performance of the Hough transform" *IEEE Trans. on Pattern Anal. And Machine Intel.*, PAMI-8(5), 1986.
2. J. Illingworth and J. Kittler, "A survey of the Hough transform" *Comput. Vision Graphics Image Process.*, vol. 44, pp.87-116, 1988.
3. J. L. Turney, T. N. Mudge, and R. A. Volz, "Recognizing partially occluded parts" *IEEE Trans. on Pattern Anal. And Machine Intel.*, PAMI-7(4), pp.410-421, 1985.
4. G. Stockman, S. Kopstein and S. Benett, "Matching images to models for registration and object dection via clustering," *IEEE Trans. on Pattern Anal. And Machine Intel.*, PAMI-4, pp.229-241, 1982.
5. B. Bhanu and O. D. Faugeras, "Shape matching pf. Two-dimensional objects," *IEEE Trans. on Pattern Anal. And Machine Intel.*, PAMI-6(2), pp.137-155, 1986.
6. C. K. Chan and M. B. Sandler, "A complete shape recognition system using the Hough transform and Neural Network," *IAPR*, 11th, pp.21-24, 1992.
7. D. H. Ballard, "Generalizing Hough transform to detect arbitrary shapes," *Pattern Recognition.*, vol. 13, pp.111-122, 1981.
8. C. Kimme, D. H. Ballard and J. Sklansky, "Finding Circles by an Array of Accumulators," *Comm. Of ACM.*, vol. 18, pp.111-122, 1981.
9. M. W. Koch and R. L. Kashyap, "Using polygons to recognition and locate partially occluded objects," *IEEE Trans. on Pattern Anal. And Machine Intel.*, PAMI-9(4), 1987.
10. Wen-Yen Wu and J. W. Mao-Juin, "Elliptical ob jection by using its geometric properties." *Pattern Recognition.*, vol. 26(10), pp.1499-1509, 1993.