

### 다 해상도 기법에 의한 Hough 변환에 관한 연구

김한영, 윤세진, 우동민  
명지대학교 제어계측공학과

### A study on the Hough Transform by using Multi-Resolution technique

Hanyoung Kim, Seijin Youn, Dongmin Woo  
Dept. of Control & Inst. Eng., Myong-ji Univ.

**Abstract** - In this paper, we propose a new algorithm based on multi-resolution application of the parameter space to the Hough transform technique. The existing Hough transform technique employs mapping of fixed parameter space in order to extract straight lines from image. One of the difficulties of the existing Hough transform technique lies in the detection of multiple adjacent lines for only one line. Increasing the parameter space from the low level resolution to the high level resolution, our algorithm detects straight line in a stable and efficient fashion. Experimental results are included to verify the performance of proposed algorithm.

영상의 전처리 과정은 영상 처리의 가장 기본이 되는 과정으로 에지 추출 과정을 나타낸다. 여기서 에지는 영상에 존재하는 서로 다른 픽셀 값을 가진 지역의 경계를 나타낸다. 이 에지를 검출하기 위해 본 논문에서는 DoG(Difference of Gaussians)를 사용한다.

DoG는 center-surround와 Gaussian operator의 결합된 형태라 할 수 있다.

DoG 에지 추출 방법은 그림 1과 같이 임의의 표준편차( $\sigma$ )값의 2차 가우시안 마스크(mask)와 그림 2와 같은 임의의 표준편차( $\sigma$ )값에 1.6배한 2차 가우시안 마스크의 차로 그림 3과 같은 DoG 마스크가 만들어진다. 이 마스크를 영상에 컨볼루션 시킨다.

### 1. 서 론

Hough 변환(Hough transform)[1]은 영상에서 가장 간단한 특징 -직선, 원, 타원 등-을 검출해 내는데 유용하다[2]. 기존의 Hough 변환은 이러한 영상의 여러 특징을 검출해 내기 위해서 여러 가지 알고리즘들을 적용하여 왔다.

본 논문에서는 기존의 Hough 변환 알고리즘과는 다른 다 해상도 기법[3]을 이용하고 있다. 기존의 Hough 변환은 일정한 계수 영역(parameter space)에 변환을 하였는데, 본 논문에서는 계수 영역을 해상도가 가장 낮은 영역에서 시작해서 해상도가 가장 높은 영역까지 증가시켜서 변환을 하는 것이다.

기존의 Hough 변환은 한 직선이 계수 영역에서 인접한 여러 셀이 대응되므로 Hough 역 변환시 여러 인접한 직선으로 근사화 된다[4]. 하지만 다 해상도 기법을 사용할 경우 저 해상도에서는 단일직선은 하나의 직선으로 검출될 수 있으며 고 해상도로 가면서 다른 직선도 분리할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2.1절에서는 영상 처리의 전처리 과정인 에지 추출을 설명하고, 2.2절에서는 다 해상도 계수 영역으로의 Hough 변환 과정을 설명하고, 2.3절에서는 계수 영역을 Hough 역 변환 과정을 설명한다. 2장의 마지막인 2.4절에서는 실험 결과와 결과를 고찰한다. 3장에서는 본 논문에서 제안한 다 해상도 Hough 변환의 유용성과 앞으로의 연구 방향을 언급한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 전처리 과정(에지 추출)

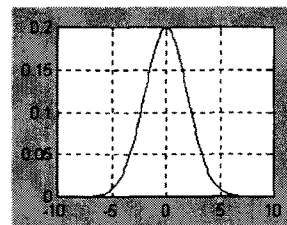


그림 1. 표준 편차( $\sigma$ ) 값의 가우시안 분포도

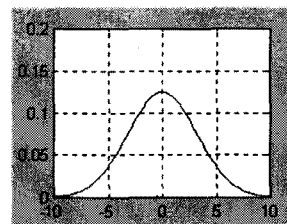


그림 2. 표준 편차( $\sigma$ )의 1.6배한 가우시안 분포

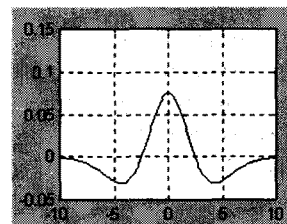


그림 3. DoG의 분포

하지만 이 경우 양과 음의 mask 값을 정규화(normalize) 시켜야 하고, gauss-weight를 쉽게 검출

하기 어렵기 때문에 다음과 같은 방법을 이용하면 똑같은 효과를 볼 수 있다.

임의의 표준편차 값의 2차 가우스 마스크와 임의의 표준편차에 1.6배한 2차 가우스 마스크를 각각 영상에 컨볼루션을 시켜서 영상의 차로 구할 수 있다.

이와 같은 이론을 수식으로 전개하면,

$$f(x, y) = \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_1^2}} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma_1^2}} \right) \times \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_2^2}} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma_2^2}} \right) \\ = \frac{1}{2\pi\sigma_1^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma_1^2}} \quad (1)$$

여기서  $f(x, y)$ 는 임의의 표준편차  $\sigma_1$ 의 2차 가우시안 마스크를 나타내고,

$$g(x, y) = \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_2^2}} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma_2^2}} \right) \times \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_1^2}} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma_1^2}} \right) \\ = \frac{1}{2\pi\sigma_2^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma_1^2}} \quad (2)$$

$g(x, y)$ 는 표준편차가  $\sigma_1$ 의 1.6배인  $\sigma_2$ 의 2차 가우시안 마스크를 나타낸다. ( $\sigma_2 = 1.6 \sigma_1$ )

$$u(x, y) = f(x, y) - g(x, y) \quad (3)$$

$DoG(x, y)$ 는 식(2)와 식(3)의 차로  $DoG$  가우시안 마스크를 나타내고,

$$Cov(x, y) = u(x, y) * img(x, y) \quad (4)$$

식(4)에서  $img(x, y)$ 는 입력 영상을 나타내며,  $Cov(x, y)$ 는 입력 영상에 가우시안 마스크를 컨볼루션시킨 것이다.

하지만, 이  $DoG$ 만으로는 에지를 구할 수 없다.  $DoG$  출력을 임의의 임계치(threshold)에 해당하는 영점 교차(Zero-crossing)영역을 에지로 선택한다.[6]

이  $DoG$ 는 연산 속도는 느리지만, 원하는 영상의 에지의 크기를 표준 편차( $\sigma$ )에 의해 조절할 수 있다.

## 2.2 Hough 변환(Hough trasform)

Hough 변환은 영상의 에지로부터 직선 성분을 검출해 내는 방법이다[5][6]. 본 논문에서는  $x-y$  영상 좌표계에서의 직선을 다음과 같이 표현한다.

$$x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta = \rho \quad (5)$$

식(5)[7]는  $x-y$  영상 좌표를  $\rho-\theta$  극 좌표로 나타낸 것으로 그림 4는 식(5)를 표현하고, 이를 Hough 변환하여 계수 영역으로 변환하는 과정을 보여준다.[6]

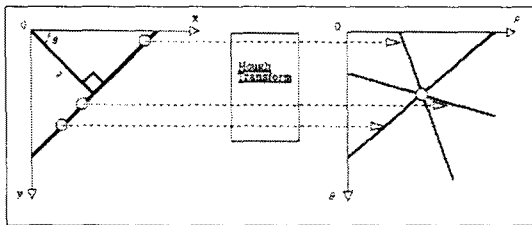


그림 4. Hough 변환으로 영상 대 계수 영역 mapping

계수 영역 즉,  $\rho-\theta$  극 좌표계 영역으로 변환 할 때 같은 직선 상의 모든 좌표는 계수 영역의 한 점에서 만나는 속성을 이용하여 만나는 에지가 임계치 이상이면 의미 있는 직선으로 판단한다.[6]

하지만, 위와 같은 경우는 임의의 고정된 계수 영역에 mapping을 하는 것이고, 본 논문에서는 계수 영역의 크기를 최소에서 최적의 크기까지 점차적으로 늘려 가면서 계수 영역에 mapping 한다. 여기서 최적의 크기라 함은 전처리된 입력 영상을 Hough 변환 후 다시 Hough 역 변환 했을 때 입·출력 영상이 같을 때의 크기를 나타낸다. 이 크기는 영상에 따라 실험적으로 적절

히 조절해야 한다. 그 과정은 다음과 같다.

① 계수 영역의 크기는  $\rho-\theta$  극 좌표계 영역에서  $\rho$  와  $\theta$ 를 동시에 최소 크기에서 최적 크기까지 2의 배수 픽셀씩 증가시키면서 mapping 한다.(여기서는 8픽셀에서 64픽셀까지 증가시킨다.)

② 각각의 계수 영역을 누적 계수 영역(accumulator)으로 정의하고, 모든 영역을 초기화한다.

③ 영상 좌표의 각 포인트에 적용되는 누적 계수 영역에 값을 증가시킨다.

④ 각 누적 계수 영역의 부분적 최대값(local maxima)를 찾는다.

## 2.3 Hough 역 변환

각 단계로 Hough 변환된 계수 영역을  $x-y$  영상 좌표로 복원하는 과정이다. Hough 역 변환은  $\rho-\theta$  극 좌표계 영역에서 임계치 이상의 영역만을 선택해서 그 영역에 해당하는 선소를 에지와 투영해서 근사화 한다. 다 해상도 기법에서도 같은 방법을 사용한다.[6]

하지만 최소 크기의 계수 영역에서 시작해서 단계적으로 최적 크기의 계수 영역까지 각각을 에지와 투영해서 하나의  $x-y$  영상 좌표계에 직선으로 근사화 한다. 단,  $\rho-\theta$  극 좌표계 영역에서 임계치 이하의 선소들은 제거한다.

이 때  $x-y$  영상 좌표에 복원시 각각의 계수 영역의 값을  $x-y$  영상 좌표에 계속 누적 시켜서 누적 계수 값이 임계치 이상의 값을 선택하여야 하나 이미 계수 영역에서 임계치 이상만을 선택하였으므로 임계치를 선택 할 필요가 없다.

## 2.4 실험 결과 및 고찰

본 실험은 임의의 입력 영상(Lena image)을  $DoG$ 로 에지를 추출하고 에지 추출 영상을 기존의 Hough 변환과 다 해상도 기법에 의한 방법으로 계수 영역에 Hough 변환하고, 그 결과를 각각 Hough 역 변환을 하여 비교하였다.

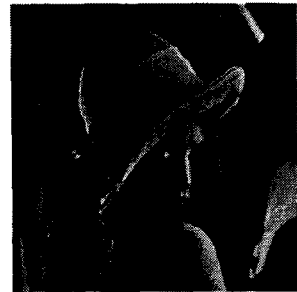


그림 5. 입력 영상



그림 6. 에지 영상

그림 5는 입력 영상을 나타내고, 그림 6는 입력 영상을  $DoG$ 와 영점 교차후의 에지를 나타낸다.

그림 7의 (a)는 기존의 방법으로  $\rho-6$  극 좌표계 영역에  $64 \times 64$ 의 크기로 Hough 변환한 것이고, (b)는 (a)를  $x-y$  영상 좌표의 선소로 표현한 것이다.

그림 8은 다 해상도 기법에 의한 Hough 변환한 것을  $8 \times 8$ 에서  $64 \times 64$  픽셀의 크기까지 각 해상도 별로 나타낸 것이고, 그림 9는 그림 8을 Hough 역 변환한 것이다.

기존의 방법과 다 해상도 기법에 의한 방법을 서로 비교해 보면, 기존의 방법과 다 해상도 기법의  $\rho-6$  극 좌표계 영역의 크기가 같은  $64 \times 64$  픽셀에 mapping을 시켰는데, -단, 여기서 다 해상도 기법은  $8 \times 8$ 에서  $64 \times 64$  픽셀까지 2의 배수로 픽셀을 증가 시켰다. - Hough 역 변환시 그림 7의 (b)와 그림 9처럼 기존의 방법과 다 해상도 기법의 확연한 복원력의 차이를 볼 수 있었다.

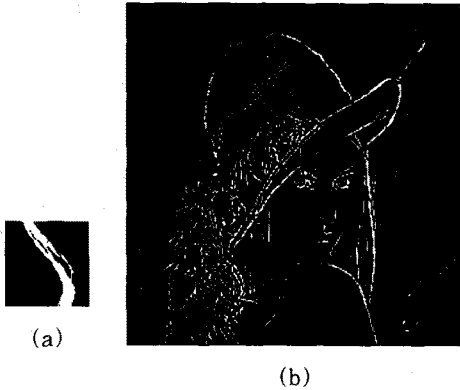


그림 7. 기존의 방법을 이용한  
(a)Hough 변환( $\rho-6$  극좌표계)  
(b)Hough 역 변환( $x-y$  영상 좌표)

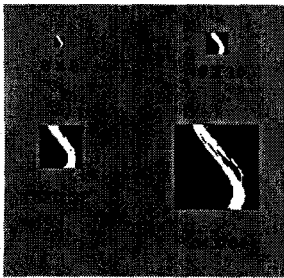


그림 8. 각 해상도 별로  
Hough 변환한  
 $\rho-6$  좌표계



그림 9. 다 해상도 기법을  
이용한 Hough 역 변환

그에 반해, 기존의 방법은 고정된 크기의 계수 영역에 mapping을 하고 다시 복원을 하지만, 다 해상도 기법은 각 해상도 별로 계수 영역에 mapping을 하고 다시 Hough 역 변환을 해야 하기 때문에 연산량이 많아지고 수행 속도도 그만큼 느려진다.

하지만, Hough 역 변환 이후의 영상이 기존 방법일 때와 다 해상도 방법일 때가 같다면 다 해상도 기법이 기존 방법보다 빠르게 나타났다. 뿐만 아니라, 기존 방법과는 달리 주변의 계수 영역의 값이 임계치 이하이면 단일 직선으로 근사화 해서 영상의 선소가 뚜렷하고, 정확한 직선을 검출하고 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 Hough 변환시 계수 영역 즉  $\rho-6$  극 좌표계를 저해상도에서 고해상도로 증가시키며 보다 정확한 직선을 검출하는 직선 검출 알고리즘을 구성하였다.

기존의 Hough 변환은 일정한 크기의 계수 영역에 mapping 하기 때문에 계수 영역의 크기에 의해 하나의 직선이 여러 인접한 직선으로 나타나게 될 수도 있었다. 하지만, 다 해상도 기법은 해상도가 변화해 가면서 정확한 직선을 검출해 낸다.

그리고 해상도가 증가하면서 매우 세밀한 직선도 검출하게 되는데 이것이 가장 큰 단점이 될 수 있다. Hough 변환의 가장 큰 특징이 영상에서 간단한 모양의 특징을 검출해 내는 것인데 너무 세밀해지면 영상의 특징뿐만 아니라 다른 노이즈(noise)들도 함께 검출하게 된다. 또 입력 영상이 변하면 최대 해상도의 크기와 임계치 그리고 에지 검출 시 표준 편차( $\sigma$ )의 값들을 새로운 입력 영상에 맞게 수정하여야 한다.

따라서, 이 알고리즘은 계수 영역의 크기를 얼마나 증가시킬 것인가와 임계치를 얼마나 줄 것인가가 가장 중요한 관건이 된다.

하지만, 기존의 Hough 변환에 비해 다 해상도 기법은 처리 속도와 신뢰성이 높다.

### (참 고 문 헌)

- [1] P. V. C. Hough, "Methods and means for recognising complex patterns," U.S. Patent 3 069 654, Dec 1962.
- [2] J. Illingworth and J. Kittler, "A Survey of the Hough transform.", Computer vision, Graphics, and Image Processing., Vol 44, pp. 87-116, 1988
- [3] John Princen, John Illingworth, and Josef Kittler, "A hierarchical approach to line extraction based on the Hough transform.", Computer Vision, Graphics, and Image Processing, Vol. 52, pp. 57-77, 1990.
- [4] Risse, T., "Hough transform for line recognition: Complexity of evidence accumulation and cluster detection.", Computer vision, Graphics, and Image Processing., Vol 46, pp. 327-349, 1989
- [5] Ioannis Pitas, "Digital Image Processing Algorithms", Prentice Hall, Vol 1, pp. 231-239, 1993
- [6] 이병도, "Hough 변환을 이용한 차량 윤곽의 검출", 명지대 제어측정공학과 석사논문, 1998
- [7] Dyer, C.R., "Gauge Inspection Using Hough Transforms.", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol PAMI-5, NO.6, pp.621-623, 1983