

경계선 강도 허프 변환에서 감쇄 파라미터의 결정

우영운* · 허경용** · 김광백***

*동의대학교 멀티미디어공학과

**Dept. of Computer and Information Sci. and Eng., University of Florida

***신라대학교 컴퓨터정보공학부

Decreasing Parameter Decision in Edge Strength Hough Transform

Young Woon Woo* · Gyeongyong Heo** · Kwang-Baek Kim***

*Dept. of Multimedia Eng., Dong-Eui University

**Dept. of Computer and Information Sci. and Eng., University of Florida

***Division of Computer Info. and Eng., Silla University

E-mail : ywwoo@deu.ac.kr

요 약

허프 변환(Hough transform)은 영상에서 몇 개의 파라미터로 표현되는 기하학적 요소 추출을 위해 널리 사용되고 있는 방법 중 하나이다. 하지만 허프 변환은 영상의 한 픽셀이 허프 공간(Hough space)의 한 방정식에 대응되는 일대다 특성으로 인해 잡음에 민감한 특성을 갖는다. 이를 개선하기 위해 경계선의 강도를 이용한 허프 변환(edge strength Hough transform)이 제안되었고, 제안된 방법은 잡음 민감성이 감소됨이 증명되었다. 하지만 허프 변환은 변환된 허프 공간과 영상의 크기에 따라 잡음의 영향이 달라지므로 필요한 파라미터 값들을 실험적으로 결정해야 하는 단점이 있다. 이 논문에서는 경계선 강도 허프 변환에서 중요한 역할을 하는 감쇄 파라미터(decreasing parameter) 값을 결정하는 방법을 유도한다. 제시된 방법은 사전에 정해지는 허프 공간의 크기와 영상의 크기만을 이용하여 파라미터 값을 결정하므로, 주어진 조건에 맞는 최적의 파라미터를 자동적으로 찾아낼 수 있다.

ABSTRACT

Though the Hough transform is a well-known method for detecting analytical shape represented by a number of free parameters, the basic property of the Hough transform, the one-to-many mapping from an image space to a Hough space, causes the innate problem, the sensitivity to noise. To remedy this problem, Edge Strength Hough Transform (ESHT) was proposed and proved to reduce the noise sensitivity. However the performance of ESHT depends on the size of a Hough space and image and some other parameters, which play an important role in ESHT and should be decided experimentally. In this paper, we derived a formula to decide decreasing parameter. Using the derived formulae, the decreasing parameter value can be decided only with the pre-determined values, the size of a Hough space and an image, which make it possible to decide them automatically.

키워드

경계선 강도 허프 변환, 잡음 민감성, 감쇄 파라미터

1. 서 론

기하학적 형태를 검출하기 위한 기법들 중의 하나인 허프 변환(Hough transform)은 영상의 픽셀과 기하학적인 형태를 나타내는 파라미터의 대응 관계를 이용하여 기하학적 형태를 검출하는 기법

으로 널리 사용되고 있다[1]. 허프 변환은 직선을 검출하기 위한 기법으로 허프(Hough)에 의해 제안되었지만, 이후 다양한 형태의 기하학적인 요소를 검출하거나[2], 임의의 형태를 추출하기 위한 방법[3], 명암 대비값(contrast)이 낮은 영상에서 직선을 추출하기 위한 방법 등으로 발전되어 왔다[4].

이처럼 허프 변환은 많은 연구를 통해 부분적으로 변형되거나 개선된 기법들이 제안되고 활용되어 왔지만, 잡음(noise)이 많은 영상에서는 직관적으로 판단할 수 있는 실제 기하학적인 요소들이 외에 잡음에 의한 부적절한 기하학적 요소들이 함께 검출되는 근본적인 문제점을 안고 있다. 이는 영상 공간과 허프 공간의 일대다 대응이라는 허프 변환의 기본 특성에 따른 것이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 이 논문의 저자는 경계선 강도(edge strength)를 이용하여 잡음이 많은 영상에서 기존의 허프 변환보다 잡음에 강한 방법, 즉 실제 기하학적인 요소와 잡음에 의한 기하학적인 요소를 구별해 낼 수 있는, 경계선 강도 허프 변환(edge strength Hough transform)을 제안하였고 제안한 방법은 기존 허프 변환에 비해 잡음 민감성이 줄어드는 것을 증명하였다[5].

그러나 경계선 강도 허프 변환은 변환된 허프 공간과 영상의 크기에 따라 잡음의 영향이 달라져서, 추출된 직선 성분들이 본래 영상의 경계선과 일치하지 않거나 하나의 경계선에 대하여 여러 개의 직선 성분들이 추출되는 등의 문제가 여전히 존재한다. 또한 이러한 문제점들을 해결하기 위해서는 잡음의 영향 정도와 최적의 파라미터 값들을 실험적으로 결정해야 하는 단점이 있었다.

이 논문에서는 경계선 강도 허프 변환에서 감쇄 파라미터(decreasing parameter)의 값을 결정하는 방법을 유도한다. 제시된 방법은 사전에 정해지는 허프 공간의 크기와 영상의 크기만을 이용하여 파라미터 값을 결정하므로, 주어진 조건에 맞는 최적의 파라미터를 자동적으로 찾아낼 수 있는 장점을 가지고 있다.

II. 경계선 강도 허프 변환

기존의 연구 결과[5]에서 제안된 경계선 강도 허프 변환의 처리 과정은 그림 1과 같다.

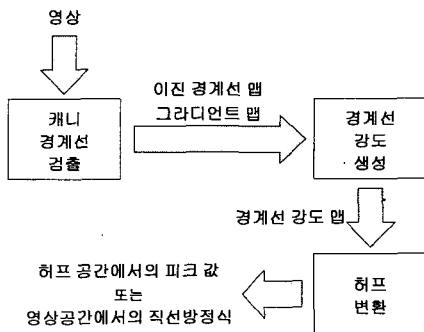


그림 1. 경계선 강도 허프 변환의 처리 과정

먼저 입력 영상에 캐니 경계선 검출기(Canny edge detector)를 적용하여 경계선 맵과 그라디언트(gradient) 맵을 얻으며, 이 두 가지 맵을 이용하

여 경계선 강도 맵을 생성한다. 이렇게 생성된 경계선 강도 맵을 허프 변환 과정을 거치게 되면 개선된 허프 공간에서의 피크 값 리스트나 영상 공간에서의 직선 방정식을 얻을 수 있다. 이 때 허프 변환 과정에서는 모든 픽셀이 축적기에 동일한 양을 증가시키는 기존 허프 변환과 달리, 경계선 강도만큼의 양을 증가시킨다.

경계선 강도 맵은 기존의 한 픽셀 두개의 경계선과 그라디언트를 활용하여 임의의 두께를 갖는 경계선을 얻은 것으로, 이 때 추가된 경계선 픽셀에서의 강도는 기하급수적으로 감소하도록 설정되었다. $(2n+1)$ -픽셀 두께의 경계선은 잡음에 의해 생성되는 직선 성분을 억제하는 역할을 하며, 그림 2에 나타난 것과 같이 $(2n+1)$ -픽셀 두께의 경계선을 사용함으로써 허프 공간에서 국부 최대값(local maxima)이 실제 직선에 해당하는 파라미터 값 주위에 하나만 생성되는 확률을 높일 수 있음을 의미한다. 즉, 그림 2의 허프 변환에서 두 직선은 각각이 국부적인 최대값이 될 수 있지만, 경계선 강도 허프 변환에서는 둘 중 하나만이 최대값이 될 확률이 커지게 된다. 경계선 강도 허프 변환에 대한 자세한 내용은 참고문헌 [5]를 참고하면 된다.

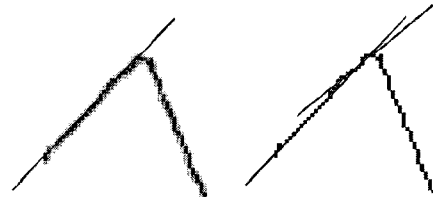


그림 2. 경계선 확장에 의한 국부적인 최대값 억제 효과

허프 변환을 위해서는 먼저 변환을 위한 각 해상도(angle resolution)와 길이 해상도(length resolution)를 결정하고 그에 따른 허프 공간을 설정해야 한다. 만약 각 해상도를 크게 설정할 경우에는 직선 편차(line deviation)가 크게 발생하고, 각 해상도를 작게 설정할 경우에는 하나의 경계선에 대해 여러 개의 직선이 검출되는 문제가 발생한다. 따라서 일반적으로 각 해상도는 1.0° 로 설정하여 허프 변환을 구현하고 있으며 이 논문에서도 각 해상도를 1.0° 로 설정하여 실험하였다.

III. 감쇄 파라미터(Decreasing Parameter)

캐니 경계선 검출기를 통해 나온 경계선은 1 픽셀의 폭을 갖는다. 이를 팽창(dilation)을 통해 $(2n + 1)$ 픽셀 폭으로 확장하는 것은 불필요한 경계선이 검출되지 않도록 하기 위해서이지만, 확장 과정에서 새로운 경계선 픽셀(edge pixel)이 생성됨으로 인해 원하지 않는 경계선이 검출될 가능성이 있다. 이를 방지하기 위해서는 원래의 경계선에 해당하는 축적기(accumulator)의 값이 확장을 통해 생

거난 가상의 경계선에 해당하는 축적기 값보다 큰 값을 가지도록 해야 하며, 이는 확장된 경계선 픽셀에 경계선 강도를 지수적으로 감소하도록 설정함으로써 해결할 수 있다.

그림 3은 캐니 경계선 검출기를 통해 얻어진 경계선을 n 픽셀만큼 좌우로 확장(broadening) 시킨 것으로 확장시킨 경계선 픽셀은 일정 비율($0 < \alpha < 1$)로 강도 값이 감소되는 것으로 가정한다.

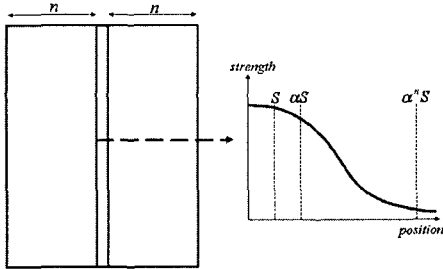


그림 3. 경계선의 확장 및 지수적으로 감소하는 경계선 강도

그림 4는 경계선 확장을 통해 생길 수 있는 가상의 직선을 나타낸 것이다. 검출하여야 할 직선이 l_0 라고 할 때 $(2n+1)$ -픽셀 두께로 경계선을 확장하는 경우 $2n$ 개의 가상의 직선이 생길 수 있다. 직선 l_0 의 경계선 픽셀 강도를 S , 감쇄 비율을 α , 직선의 길이를 L 이라고 하면, 직선 l_0 에 해당하는 축적기의 값은 $Acc_0 = LS$ 의 값을 갖는다. 경계선 확장에 의해 생기는 직선에 의한 축적기의 값을 Acc_k ($k = 1, \dots, m$)라고 하면 이들 직선이 검출되지 않도록 하기 위한 조건은 이들 직선에 의한 축적기 상의 값이 국부 최대가 되지 않도록 하는 것이다. 즉, $Acc_0 > Acc_k$ ($k = 1, \dots, m$)의 조건을 만족하는 경우 경계선의 확장에 의해 다른 직선이 검출되지 않음을 보장할 수 있다. l_0 와 평행한 직선들에 의한 축적기의 값은 감쇄 상수의 조건($0 < \alpha < 1$)에 의해 Acc_0 보다 작은 것이 명백함으로 제외한다. 따라서 그림 4에 나타난 n 개의 직선만을 고려한다.

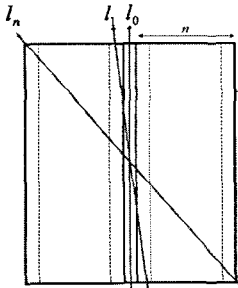


그림 4. 경계선 확장에 의해 발생하는 직선

먼저 직선 l_1 에 해당하는 축적기 상의 값을 계산해 보자. l_1 의 길이는 $L_1 = \sqrt{L^2 + 3^2}$ 이 되고, 축적기 상의 값은 식 (1)과 같다.

$$Acc_1 = \frac{1}{3}L_1S + \frac{2}{3}L_1\alpha S \quad (1)$$

축적기 상에서 $Acc_0 > Acc_1$ 을 보장하기 위해서는 다음 조건을 만족하면 된다.

$$\frac{Acc_1}{Acc_0} = \frac{\frac{1}{3}L_1S + \frac{2}{3}L_1\alpha S}{LS} = \frac{1}{3} \frac{L_1}{L} (1 + 2\alpha) < 1 \quad (2)$$

이 식은 직선의 길이 비율 L_1/L , 감쇄 비율 α 에 대한 함수이다. 이 중 직선의 길이 비율 L_1/L 은 L 값이 커짐에 따라 감소한다. 식 (3)은 직선의 길이가 L_{min} 보다 커질 때 길이의 비율을 나타낸 것으로 β 는 늘어난 길이 비율을 나타내는 상수이며 항상 1보다 큰 값을 갖는다.

$$\frac{\sqrt{(\beta L_{min})^2 + 3^2}}{\beta L_{min}} = \frac{\sqrt{L_{min}^2 + (3/\beta)^2}}{L_{min}} < \frac{\sqrt{L_{min}^2 + 3^2}}{L_{min}} \quad (3)$$

따라서 식 (2)가 가장 짧은 직선의 길이 L_{min} 에서 만족하는 경우 그보다 긴 모든 직선에서 만족함을 알 수 있다. 일반적으로 팽창시킨 직선의 폭은 직선의 길이보다 클 수 없으므로 $(2n+1 \leq L)$ 의 경우 가장 짧은 직선의 길이는 3이 되며, l_1 의 경우 길이 비 $L_{1,min}/L_{min}$ 은 $\sqrt{2}$ 의 값을 갖는다.

$$\frac{L_{1,min}}{L_{min}} = \frac{\sqrt{3^2 + 3^2}}{3} = \sqrt{2} \quad (4)$$

따라서 축적기의 비 값은 다음과 같이 간단히 나타낼 수 있다.

$$\frac{Acc_1}{Acc_0} = \frac{1}{3} \frac{L_1}{L} (1 + 2\alpha) \leq \frac{\sqrt{2}}{3} (1 + 2\alpha) \quad (5)$$

이 값이 1보다 작은 값을 갖도록 하는 α 값(≈ 0.56)을 감쇄 비율로 정하면 축적기 상에서 Acc_0 은 Acc_1 보다 항상 큰 값을 가지게 되고, Acc_0 와 Acc_1 값은 축적기 상에서 이웃하게 놓이므로, 편차가 발생한 직선이 아닌 원래의 직선을 찾아낼 수 있음을 보장할 수 있다. 이와 유사하게 l_2 의 경우 축적기의 비 값을 계산해보면,

$$Acc_2 = \frac{1}{5}L_2S + \frac{2}{5}L_2\alpha S + \frac{2}{5}L_2\alpha^2 S$$

$$\frac{Acc_2}{Acc_0} = \frac{1}{5} \frac{L_2}{L} (1+2\alpha+2\alpha^2) \leq \frac{\sqrt{2}}{5} (1+2\alpha+2\alpha^2) \quad (6)$$

이 되고, 일반적으로 다음의 값을 갖는다.

$$\frac{Acc_k}{Acc_0} \leq \frac{\sqrt{2}}{2k+1} \left(1+2\sum_{i=1}^k \alpha^i \right) \quad (7)$$

식 (7)은 k 와 α 에 대한 함수로, k 에 반비례하고 α 에 비례하는 값을 가지며, 이는 그림 5에서 확인할 수 있다.

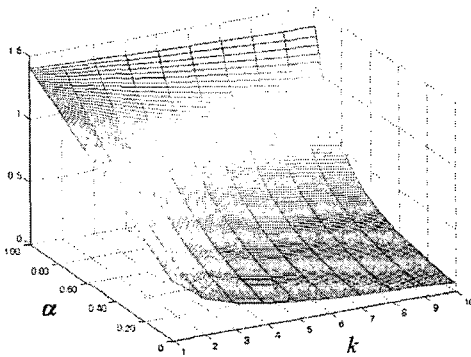


그림 5. $\frac{Acc_k}{Acc_0}$ 값

따라서 앞에서 Acc_1 에 대해 유도한 값($\alpha < 0.5607$)이 최소 감쇄 파라미터 값이며 이 값으로 감쇄 파라미터를 설정함으로써 직선 편차가 발생하지 않음을 보장할 수 있다.

그림 6은 다른 값들을 동일하게 설정하고 감쇄 파라미터를 달리했을 때 검출되는 직선을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 감쇄 파라미터를 작게 설정한 경우 확장된 경계선에서 직선이 검출될 가능성은 줄어든다. 하지만 감쇄 파라미터를 너무 작게 설정하면 경계선을 확장하지 않은 것과 동일하게 되며 잡음의 영향을 크게 받게 된다.

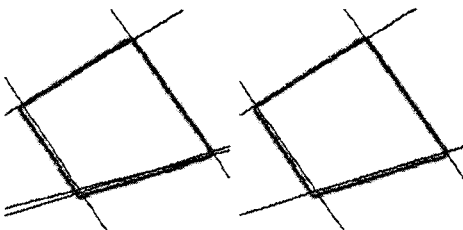


그림 6. 감쇄 파라미터 값에 따른 직선 검출 결과 (왼쪽 $\alpha = 0.8$, 오른쪽 $\alpha = 0.6$)

한 가지 주목할 점은 실험에서 사용된 값 0.6은 위에서 유도한 값보다 큰 값이라는 점이다. 최소 감쇄 파라미터의 유도 과정에서는 길이 3 이상인 모든 직선에 대해 만족할 수 있는 값을 유도하였지만, 실제 영상에서 길이 3인 직선을 다루는 일은 거의 없다. 따라서 유도한 값보다 큰 값에서도 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다.

V. 결론

이 논문에서는 경계선 강도 허프 변환에서 중요한 역할을 하는 감쇄 파라미터의 값을 결정하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 사전에 주어지는 영상과 허프 공간의 크기만을 사용하여 파라미터 값을 결정하므로 실험적으로 그 값들을 결정할 필요가 없으며 이는 실험 영상의 결과에서도 확인할 수 있었다. 또한 계산된 값들은 실험을 통해 결정된 최적값과 유사한 값을 가짐을 알 수 있었다.

한 가지 유의할 점은 허프 변환 과정에 영향을 미치는 요인들이 유도한 파라미터들 값 이외에도 존재한다는 점이다. 또한 파라미터 값을 유도하는 과정에서 이상적인 영상을 가정하였으므로 계산한 값이 주어진 영상에서 최적의 결과를 보여주지 못할 수도 있다. 하지만 이러한 경우에도 계산된 파라미터 값은 최적화를 위한 좋은 시작점으로 사용될 수 있다.

참고문헌

- [1] P. V. C. Hough, "Method and Means for Recognizing Complex Patterns," U.S. Patent 3069654, 1962
- [2] A. S. Aguado, M. E. Montiel and M. S. Nixon, "On using directional information for parameter space decomposition in ellipse detection," *Pattern Recognition*, 29(3), pp. 359-381, 1996
- [3] D. H. Ballard, "Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes," *IEEE Trans. on PAMI*, 13(2), pp. 111-122, 1981
- [4] R. Gonzalez and R. Woods, *Digital Image Processing*, 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, pp. 587-591, 2002
- [5] 허경용, 이광의, 우영운, "경계선 강도를 이용한 허프 변환의 개선," *한국해양정보통신학회논문지*, 제10권, 제11호, pp. 2055-2061, 2006