

경계선 강도 허프 변환에서 최적 파라미터의 결정

Optimal Parameter Selection in Edge Strength Hough Transform

허경용* · 우영운** · 김광백***

Gyeongyong Heo*, Young Woon Woo** and Kwang-Baek Kim***

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

** 동의대학교 멀티미디어공학과

*** 신라대학교 컴퓨터정보공학부

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 허프 공간과 영상의 크기, 잡음의 정도에 따라 검출된 요소의 품질이 달라지므로 필요한 파라미터 값들을 실험적으로 결정해야 하는 단점이 있다. 이 논문에서는 경계선 강도 허프 변환에서 중요한 역할을 하는 두 개의 파라미터, 감쇄 파라미터(decreasing parameter)와 확장 파라미터(broadening parameter) 값을 결정하는 방법을 유도한다. 제시된 방법은 사진에 정해지는 허프 공간의 크기와 영상의 크기만을 이용하여 파라미터 값을 결정하므로, 주어진 조건에 맞는 최적의 파라미터를 자동적으로 찾아낼 수 있다. 유도한 방법의 유효성은 서로 다른 파라미터 값을 이용한 실험을 통해서 확인할 수 있었다.

키워드 : 경계선 강도 허프 변환, 경계선 강도, 잡음 민감성, 감쇄 파라미터, 확장 파라미터

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 should be decided experimentally. In this paper, we derived formulae to decide 2 parameter values; decreasing parameter and broadening parameter, which play an important role in ESHT. Using the derived formulae, 2 parameter values 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. The experiments with different parameter values also support the result.

Key Words : Edge Strength Hough Transform, Edge Strength, Noise Sensitivity, Decreasing Parameter, Broadening Parameter

1. 서 론

디지털 영상으로부터 기하학적인 요소들을 검출하는 것은 컴퓨터 비전 분야에서 기본적인 작업 중 하나이다. 이 때 기하학적인 요소는 그 형태를 정의하는 몇 가지 파라미터로 정의되며, 디지털 영상으로부터 기하학적인 요소의 검출은 영상의 정보를 이용하여 파라미터 값을 추출하는 것으로 볼 수 있다.

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

형태를 검출하는 기법으로 널리 사용되고 있다[1, 2]. 허프 변환은 직선을 검출하기 위한 기법으로 허프(Hough)에 의해 제안되었지만, 이후 다양한 형태의 기하학적인 요소를 검출하거나[3, 4], 임의의 형태를 추출하기 위한 방법[5], 명암 대비값(contrast)이 낮은 영상에서 직선을 추출하기 위한 방법 등으로 발전되어 왔다[6, 7].

이처럼 허프 변환은 많은 연구를 통해 부분적으로 변형되거나 개선된 기법들이 제안되고 활용되어 왔지만, 잡음(noise)이 많은 영상에서는 직관적으로 판단할 수 있는 실제 기하학적인 요소들 이외에 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 위한 방법으로 경계선 강도

접수일자 : 2007년 5월 5일
완료일자 : 2007년 10월 10일

(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, ESHT)이 제안되었고[8] 제안한 방법은 기존 허프 변환에 비해 잡음 민감성이 줄어드는 것이 증명되었다. ESHT와 유사한 연구로는 gray scale 영상에서 임의의 두께의 직선을 찾아내는 *Gray-scale Hough Transform*(GSHT)[9]과 *Vector-Gradient Hough Transform*(VGHT)[10], 그라디언트(gradient)를 가중치로 사용하는 *Gradient Weighted Hough Transform* (GWHT)[11] 등이 있다. GSHT는 임의의 두께를 갖는 직선이 균일한 픽셀값을 갖는 것으로 가정하고 직선을 4개의 파라미터로 묘사한다. 즉, 기본적으로 대상과 그 목적이 ESHT와 다르다. VGHT는 GSHT에서와 유사한 형태를 찾아내기 위한 방법이지만 균일한 픽셀값을 가정하지 않는다. GWHT는 ESHT와 유사한 목적을 가지고 그라디언트의 강도와 방향을 이용하지만, 1 픽셀 두께의 경계선을 사용한다.

ESHT는 전통적인 HT에 비해 잡음 민감성이 줄어들지만, 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 중요한 역할을 하는 두 개의 파라미터, 확장 파라미터(broadening parameter)와 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

허경용 등[8]이 제안된 경계선 강도 허프 변환의 처리 과정은 그림 1과 같다.

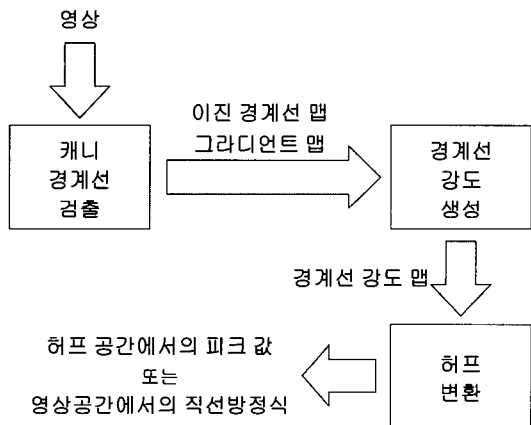


그림 1. 경계선 강도 허프 변환의 처리 과정
Fig. 1. The process of edge strength Hough transform

먼저 입력 영상에 캐니 경계선 검출기(Canny edge detector)[12]를 적용하여 경계선 맵과 그라디언트(gradient) 맵을 얻으며, 이 두 가지 맵을 이용하여 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 두께의 경계선과 그라디언트를 활용하여 임의의 두께를 갖는 경계선을 얻은 것으로, 이 때 추가된 경계선 픽셀에서의 강도는 기하급수적으로 감소하도록 설정되었다. 이 때 확장된 $(2n+1)$ -픽셀 두께의 경계선은 잡음에 의해 생성되는 직선 성분을 억제하는 역할을 한다. 즉, 그림 2에 나타난 것과 같이 확장된 경계선을 사용함으로써 허프 공간에서 국부 최대값(local maxima)이 실제 직선에 해당하는 파라미터 값 주위에 하나만 생성되는 확률을 높일 수 있다. 그림 2의 허프 변환에서 두 직선은 각각 국부 최대값이 될 수 있지만, 경계선 강도 허프 변환에서는 둘 중 하나만이 최대값이 될 확률이 커지게 된다.

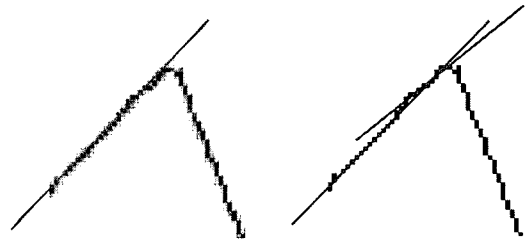


그림 2. 국부 최대값 억제 효과 (왼쪽 : 경계선 강도 허프 변환, 오른쪽 : 허프 변환)

Fig. 2. Local maxima suppression (left : edge strength Hough transform, right : Hough transform)

허프 변환을 위해서는 먼저 변환을 위한 각 해상도(angle resolution)와 길이 해상도(length resolution)를 결정하고 그에 따른 허프 공간을 설정해야 한다. 각 해상도(r_θ)를 크게 설정할 경우에는 그림 3에 나타나 있는 것처럼 실제 직선과 검출된 직선의 차이, 즉 직선 편차(line deviation)가 크게 발생하고, 각 해상도를 작게 설정할 경우에는 하나의 경계선에 대해 여러 개의 직선이 검출되는 문제가 발생한다. 따라서

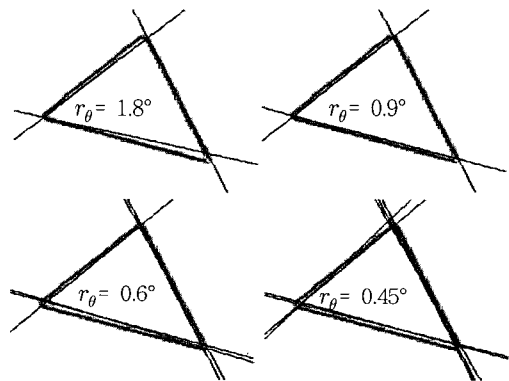


그림 3. 각 해상도에 따른 직선 왜곡
Fig. 3. Line distortion according to angle resolution

일반적으로 각 해상도는 1.0°로 설정하여 허프 변환을 구현하고 있으며 이 논문에서도 각 해상도를 1.0°로 설정하여 실험하였다. 길이 해상도는 검출할 수 있는 직선의 위치를 제한하는 것으로 검출되는 직선의 식에는 영향을 미치지 않으며, 이 논문에서는 영상의 대각선 길이로 설정하였다.

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 그림 2에서와 같이 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 확장 이전의 직선에 해당하는 축적기(accumulator)의 값이 확장을 통해 생겨난 가상의 직선에 해당하는 축적기 값보다 큰 값을 가지도록 해야 하며, 이는 확장된 경계선 픽셀에 경계선 강도를 지속적으로 감소하도록 설정함으로써 해결할 수 있다.

그림 4는 캐니 경계선 검출기를 통해 얻어진 경계선을 n 픽셀만큼 좌우로 확장시킨 것으로 확장시킨 경계선 픽셀은 일정 비율($0 < \alpha < 1$)로 강도 값이 감소하도록 설정되었다.

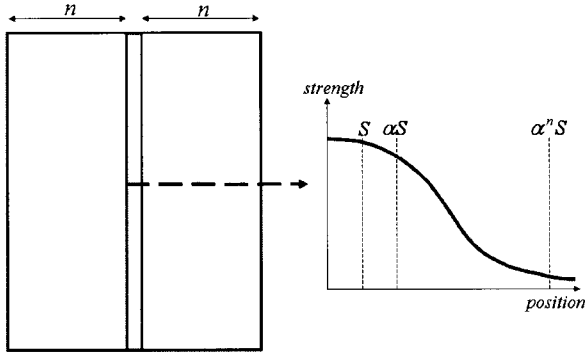


그림 4. 경계선의 확장 및 지속적으로 감소하는 경계선 강도
Fig. 4. Edge broadening and exponentially decreasing strength

그림 5는 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 그림에서와 같이 $2n$ 개의 가상의 직선이 생길 수 있다. (그림 5에서 대칭되는 n 개 직선은 나타내지 않았다.) 직선 l_0 의 경계선 픽셀 강도를 S , 감쇄 비율을 α , 직선의 길이를 L 이라고 하면, 직선 l_0 에 해당하는 축적기 상의 셀(cell)은 $Acc_0 = LS$ 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 최대값이 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 명백하므로 제외한다. 또한 직선 l_1, \dots, l_n 과 평행한 직선들도 축적된 값이 작음이 명백하다. 따라서 여기서는 그림 5에 나타난 n 개의 직선만을 고려한다.

먼저 직선 l_1 에 해당하는 축적기 상의 값을 계산해 보면, l_1 의 길이는 $L_1 = \sqrt{L^2 + 3^2}$ 이 되고, l_1 에 해당하는 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.

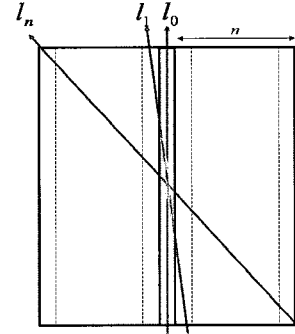


그림 5. 경계선 확장에 의해 발생하는 직선
Fig. 5. Redundant lines generated by edge broadening

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

이 식은 직선의 길이 비율 L_1/L , 감소 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)의 값이 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 조건을 만족하여야 하고, 이 경우 가장 짧은 직선의 길이는 3이 된다. 따라서 l_1 의 경우 길이 비 $L_{1,min}/L_{min}$ 은 $\sqrt{2}$ 의 값을 갖는다.

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

이 값을 이용하여 축적기의 비 값은 다음과 같이 간단히 나타낼 수 있다.

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

식 (5)의 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 경

우 축적기의 비 값을 계산해보면,

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

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

$$\leq \frac{\sqrt{2}}{5} (1 + 2\alpha + 2\alpha^2) \quad (6)$$

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 6에서 확인할 수 있다. 따라서 앞에서 Acc_1 에 대해 유도한 값($\alpha < 0.5607$)이 최소 감쇄 파라미터 값이며 이보다 작은 값으로 감쇄 파라미터를 설정함으로써 직선 편차를 줄일 수 있다.

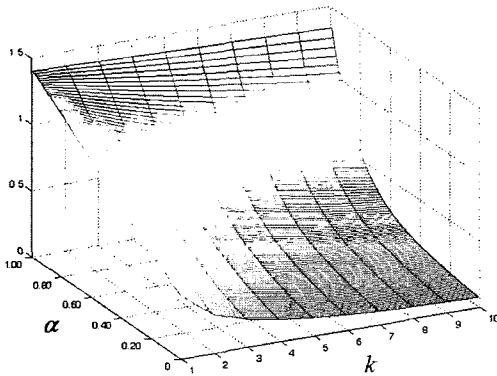


그림 6. Acc_k/Acc_0 값
Fig. 6. Value of Acc_k/Acc_0

그림 7은 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.

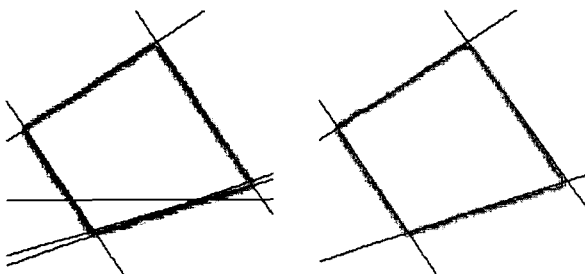


그림 7. 감쇄 파라미터 값에 따른 경계선 검출 결과
(왼쪽 : $\alpha = 0.8$, 오른쪽 : $\alpha = 0.4$)
Fig. 7. Detected lines with different decreasing parameter values (left : $\alpha = 0.8$, right : $\alpha = 0.4$)

위에서 유도한 α 값은 최대값이며 고립된 잡음은 고려하

지 않았다. 따라서 실제 최적의 결과를 나타내는 값은 0.5607보다 작은 값이며 영상에 따라 다른 값을 보였다. 하지만 모든 실험 영상에서는 $0.3 < \alpha < 0.5$ 에서 만족할 만한 결과를 보여주었다.

IV. 확장 파라미터(Broadening Parameter)

감쇄 파라미터 값을 앞에서 유도한 값으로 설정하는 경우 임의의 폭으로 확장된 경계선에서 잡음의 영향을 최소로 할 수 있지만, 확장 폭이 커지는 경우 고려해야 할 경계선 픽셀의 수가 증가함에 따라 계산량이 많아지게 된다. 또한 경계선의 지나친 확장은 잘못된 국부 최대값을 형성하게 함으로써 잡음 민감성을 증가시킨다. 이 장에서는 최소의 경계선 폭을 결정하는 방법을 유도한다.

확장 파라미터를 유도함에 있어 고려해야 할 사항은 이산화 단계로 허프 공간을 어떠한 해상도로 구성할 것인가 하는 점이다. 특히 각 해상도(angle resolution)가 확장 파라미터와 밀접한 관계가 있다. 그림 8은 그 전형적인 예로 실제 직선이 이산화된 두 직선의 사이에 놓이는 경우를 보여주고 있다.

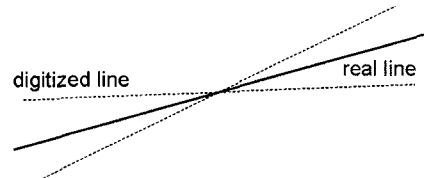


그림 8. 실제 직선과 이산화된 직선
Fig. 8. Real and digitized lines

이 경우 검출되는 직선은 각 해상도에 따라 여러 개의 직선이 검출되거나 전혀 검출되지 않을 수 있다. 이를 방지하기 위해서는 그림 9에서와 같이 연속하는 두 개의 이산화된 직선이 확장된 경계선에 포함되도록 확장 파라미터 값을 결정하면 된다. 즉, 허프 공간의 실제 직선 주위에 하나의 국부 최대값만 생기도록 함으로써 하나의 직선만이 검출되도록 하는 것이다.

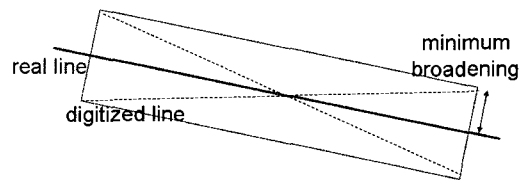


그림 9. 최소 확장 폭
Fig. 9. Minimum broadening width

최소 확장 파라미터 값은 영상의 크기 및 각 해상도의 함수이다. 이 중 각 해상도는 일반적으로 사용되는 $1^\circ (= \lambda)$ 를 따른다고 가정하면, 확장 파라미터는 영상의 크기에 의해 결정될 수 있다.

그림 10에서와 같이 크기 ($w \times h$)인 영상에서 이산화된 두 직선 y_2 와 y_3 사이의 거리가 최대인 경우를 생각해 보자. 필요로 하는 최소 확장 폭은 주어진 영상에서 두 이산화된 직선의 최대 거리보다 커야한다. 이 때 $\lambda' = \lambda/2 = 0.5^\circ$ 이고

두 직선 y_1 와 y_2 의 방정식은 (8)과 같다.

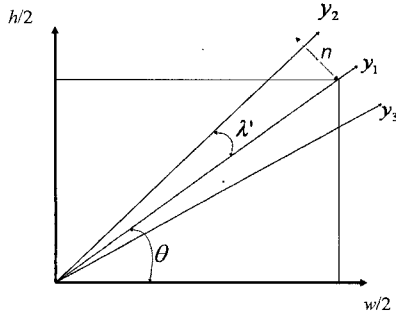


그림 10. 이산화된 직선 사이의 최대 거리
Fig. 10. Maximum distance between two consecutive digitized lines

$$y_1 = \frac{h}{w}x$$

$$y_2 = \tan(\theta + \lambda')x = \beta x$$

$$\beta = \tan(\theta + \lambda') = \frac{\tan\theta + \tan\lambda'}{1 - \tan\theta \cdot \tan\lambda'} \quad (8)$$

최소 확장 파라미터 값은 두 직선 y_1 와 y_2 의 최대 거리보다 커야 하므로 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$\left| \frac{\frac{w}{2}\beta - \frac{h}{2}}{\sqrt{\beta^2 + 1}} \right| \leq n \quad (9)$$

이 값은 앞에서 언급한 바와 같이 영상의 크기(w, h)와 각 해상도로 결정되는 값이며, 동일한 각 해상도를 사용하는 경우 확장 파라미터 값은 영상의 크기에 따라 증가한다. 이는 이산화된 두 직선 사이의 최대 거리가 영상의 크기에 따라 증가함에 따른 것이다.

100×100 영상에서 확장 파라미터 값을 구해보면 다음과 같다.

$$\tan\lambda' \approx 0.0087, \beta \approx 1.0176, d \approx 0.617 \leq n \quad (10)$$

확장 파라미터 값은 감쇄 파라미터와 달리 정수값을 가지므로 이 경우 최소 확장 파라미터 값은 1이 되며, 그림 11에 그 결과를 나타내었다.

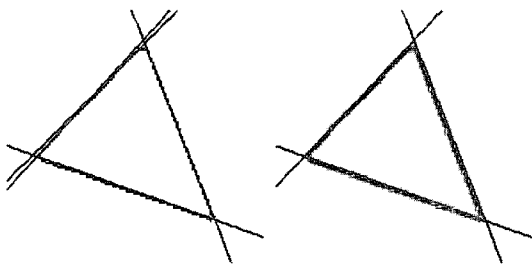


그림 11. 확장 파라미터 값에 따른 직선 검출 결과
(왼쪽 : $n = 0$, 오른쪽 : $n = 1$)

Fig. 11. Detected lines with different broadening parameter values (left : $n = 0$, right : $n = 1$)

V. 실험 및 결과

제안한 파라미터 결정 방법의 유효성을 보이기 위해 2가지 실험을 수행하였다. 그림 12는 가우시안 잡음을 첨가한 사각형 영상에서 감쇄 파라미터의 값에 따라 검출되는 직선의 개수를 나타낸 것이다. 실험 영상의 크기는 100×100이며 확장 파라미터의 값(n)은 식 (10)에 따라 1로 설정되었다. 직선의 개수는 100회 실험을 평균한 값을 나타낸다.

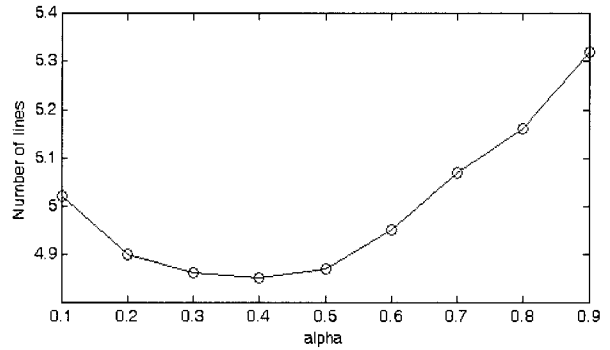


그림 12. 감쇄 파라미터에 따라 검출되는 직선의 수
Fig. 12. Number of detected lines with respect to the value of decreasing parameter

그림 12에서 알 수 있듯이, 3장에서 계산된 α 값은 최대 값이며 실제로는 그보다 작은 $0.3 < \alpha < 0.5$ 에서 가장 적은 개수의 직선이 검출되고 있음을 알 수 있다, 즉 잡음의 영향이 가장 적다. 감쇄 파라미터의 값이 너무 작은 경우에는 확장된 영역의 강도값이 0에 가까워져서 잡음 민감성이 증가함을 알 수 있다. 또한 감쇄 파라미터 값이 큰 경우에는 확장된 픽셀들에 의해 잘못된 국부 최대값이 형성됨으로 인해 잘못된 직선이 찾아지고 있음을 알 수 있다. 최적의 α 값은 여러 요인에 영향을 받지만, 다른 실험 영상에 대한 실험에서도 그림 12와 유사한 결과를 보여주었다.

그림 13은 가우시안 잡음을 첨가한 그림 11의 영상에서 확장 파라미터 값에 따라 검출된 직선의 개수를 나타낸 것이다. 실험 영상의 크기는 400×400이며 감쇄 파라미터는 0.4로 설정되었다. 직선의 개수는 100회 실험을 평균한 값을 나타낸다.

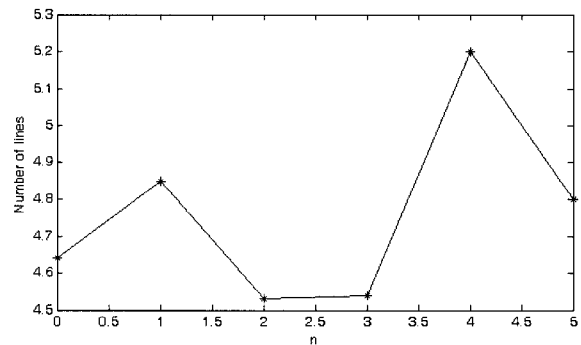


그림 13. 확장 파라미터에 따라 검출되는 직선의 수
Fig. 13. Number of detected lines with respect to the value of broadening parameter

실험 영상에서 식 (9)를 통해 계산된 최소 확장 파라미터는 3이며, 그림 13에서 알 수 있듯이 n 이 2인 경우 잡음의 영향이 가장 적지만 3인 경우에도 이와 비슷한 결과를 보임을 알 수 있다. 다른 실험 영상의 결과 역시 식 (9)에 의한 n 값이나 $(n-1)$ 값에서 최적의 결과를 보여주었다. 일련의 실험에서 $\max(n-1, 1)$ 값이 최적의 결과를 보였다. 이는 실험 영상에 존재하는 직선이 4장에서 가장한 바와 같이 최대 길이로 존재하지 않기 때문으로 n 값이 커짐에 따라 확장된 경계선 부분에서 국부 최대값을 형성할 가능성이 커짐에 따른 것이다.

VI. 결 론

이 논문에서는 경계선 강도 허프 변환에서 중요한 역할을 하는 두 개의 파라미터, 감쇄 파라미터와 확장 파라미터의 값을 결정하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 사전에 주어지는 영상과 허프 공간의 크기만을 사용하여 파라미터 값을 결정할 수 있으며, 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 계산된 값이 주어진 영상에서 최적의 결과를 보여주지 못할 수도 있다. 하지만 이러한 경우에도 계산된 파라미터 값은 최적화를 위한 좋은 시작점으로 사용될 수 있으며, 일련의 실험에서 감쇄 파라미터는 $\alpha = 0.4$, 확장 파라미터는 $\max(n-1, 1)$ 에서 최적의 결과를 보여주었다.

경계선 강도 허프 변환 자체에도 개선할 점이 남아있다. 그 중 하나는 잡음에 의해 실제 경계선이 아닌 점에서의 강도 즉, 그라디언트 값이 크게 나타나는 경우로, 이로 인해 검출되는 직선이 실제 위치에서 벗어나는 경우가 발생한다. 이를 해결하기 위한 하나의 방법으로는, 잡음이 고립되어 발생하는 일반적인 영상의 특성을 고려하여 주변의 경계선 픽셀을 고려하여 강도를 재설정해주는 방법이 있을 수 있다. 현재 이를 포함하여 직선의 편차(deviation)를 줄이는 방법, 그리고 파라미터 값에 미치는 영상의 여러 요소 및 이를 정량적으로 평가하는 방법들에 관해 연구 중에 있다.

참 고 문 헌

- [1] P. V. C. Hough, "Method and Means for Recognizing Complex Patterns," *U.S. Patent 3069654*, 1962.
- [2] Richard O. Duda and Peter E. Hart, "Use of the Hough Transformation To Detect Lines and Curves in Pictures," *Communications of the ACM*, Vol. 15, pp. 11-15, 1972.
- [3] A. S. Aguado, M. E. Montiel and M. S. Nixon, "On using directional information for parameter space decomposition in ellipse detection," *Pattern Recognition*, Vol. 29, No. 3, pp. 359-381, 1996.
- [4] Si-Cheng Zhang and Zhi-Qiang Liu, "A robust, real-time ellipse detector," *Pattern Recognition*, Vol. 38, pp. 273-287, 2005.
- [5] D. H. Ballard, "Generalizing the Hough transform

to detect arbitrary shapes," *IEEE Trans. on PAMI*, Vol. 13, No. 2, pp. 111-122, 1981.

- [6] R. Gonzalez and R. Woods, *Digital Image Processing*, 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, pp. 587-591, 2002.
- [7] V. F. Leavers, "Survey: Which Hough Transform?" *CVGIP: Image Understanding*, 58(2), pp. 250-264, 1993
- [8] 허경용, 이광의, 우영운, "경계선 강도를 이용한 허프 변환의 개선," *한국해양정보통신학회논문지*, 제 10권, 제11호, pp. 2055-2061, 2006.
- [9] Rong-Chin Lo and Wen-Hsiang Tsai, "Gray-scale Hough transform for thick line detection in gray-scale images," *Pattern Recognition*, Vol. 28, No. 5, pp. 647-661, 1995.
- [10] Rita Cucchiara and Fabio Filicori, "The Vector-Gradient Hough Transform," *IEEE Trans. on PAMI*, Vol. 20, No.7, pp. 746-750, 1998.
- [11] T. M. Vanveen and F. C. Groen, "Discretization errors in the Hough transform," *Pattern Recognition*, Vol. 14, pp. 137-145, 1981.
- [12] J Canny, "A computational approach to edge detection," *IEEE Trans. on PAMI*, Vol. 8, No. 6, pp. 679-698, 1986.

저 자 소 개



허경용(Gyeongyong Heo)

1994년: 연세대학교 전자공학과(학사)

1996년: 연세대학교 전자공학과(석사)

2004년~현재: Dept. of Computer and Info. Sci. and Eng., Univ. of Florida

관심분야 : Bayesian Networks, Machine Learning, 영상처리

E-mail : hgycap@hotmail.com



우영운(Young Woon Woo)

1989년: 연세대학교 전자공학과(학사)

1991년: 연세대학교 전자공학과(석사)

1997년: 연세대학교 전자공학과(박사)

1997년~현재: 동의대학교 멀티미디어공학
과 교수

관심분야 : Fuzzy Logic, Bayesian Networks, 영상처리,
의료정보

E-mail : ywwoo@deu.ac.kr



김 광백 (Kwang-Baek Kim)

1999년 : 부산대학교 전자계산학과(이학박
사)

1997년 ~ 현재 : 신라대학교 컴퓨터공학과
부교수

2003년 ~ 현재 : 한국퍼지및지능시스템학회
기획이사 및 논문지 편집위
원

2005년 ~ 현재 : 한국지능정보시스템학회 이사 및 논문지 편
집위원

관심분야 : Neural Networks, Image Processing, Fuzzy
Logic, Medical Imaging and Biomedical
System, Support Vector Machines

E-mail : gbkim@silla.ac.kr