

경계선 강도 허프 변환에서 직선 왜곡의 최소화 방안

우영운* · 허경용** · 박충식***

*동의대학교 멀티미디어공학과

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

***영동대학교 컴퓨터공학과

Resolving Line Distortions in Edge Strength Hough Transform

Young Woon Woo* · Gyeongyong Heo** · Choong-Shik Park***

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

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

***Dept. of Computer Eng., Youngdong University

E-mail : hgycap@hotmail.com, 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. 이러한 잡음 민감성은 검출되는 직선의 개수뿐만 아니라 검출된 직선의 품질에도 영향을 미칠 수 있다. 즉, 실제 직선에서 벗어난 직선이 검출되거나 하나의 실제 직선에 대해 여러 개의 직선이 검출되는 등의 직선 왜곡이 발생할 수 있다. 이러한 직선 왜곡은 잡음 이외에도 허프 공간의 설정, 특히 각 해상도의 설정에 영향을 받는다. 이 논문에서는 기존의 허프 변환에서 발생하는 이러한 직선 왜곡을 분석하고, 잡음 민감성을 줄이기 위해 제안된 경계선 강도 허프 변환(Edge Strength Hough Transform, ESHT)에서 이러한 왜곡이 적게 발생함을 보인다. 또한 ESHT에서만 발생할 수 있는 왜곡을 분석하고 해결 방안을 제시한다. 제시한 방법에 의해 직선의 왜곡이 감소하는 것은 실험 결과를 통해 확인할 수 있다.

키워드

경계선 강도 허프 변환, 허프 공간, 잡음 민감성, 직선 왜곡

1. 서 론

디지털 영상에서 기하학적인 요소들을 검출하는 것은 컴퓨터 비전 분야에서 기본적인 작업 중 하나이다. 이 때 기하학적인 요소는 그 형태를 정의하는 몇 가지 파라미터로 나타내지며, 디지털 영상에서 기하학적인 요소를 검출하는 작업은 영상의 정보를 이용하여 검출하고자 하는 기하학적인 요소의 파라미터 값을 추출하는 것으로 볼 수 있다. 기하학적 형태를 검출하기 위한 기법들 중의 하나로 널리 사용되는 허프 변환(Hough transform)은 영상의 픽셀과 기하학적인 형태를 나타내는 파라미터의 대응 관계를 이용하여 기하학적 형태를 검출하는 기법이다. 허프 변환은 직선을 검출하기 위한 기법으로 허프(Hough)에 의해 제안되었지만[1], 이후 다양한 형태의 도형을 검출하기 위한 방법으로 확장되었다[2-4]. 허프 변환은 많은 연구를 통해 부분적으로 변형되거나 개선된 기법들이 제안되고 활용되어 왔지만[5, 6], 잡음(noise)이 많은 영상에

서는 직관적으로 판단할 수 있는 실제 기하학적인 요소들 이외에 잡음에 의한 부적절한 기하학적 요소들이 함께 검출되는 문제점이 있다. 또한 하나의 직선에 대해 여러 개의 직선이 검출되거나 검출된 직선이 실제 직선의 위치에서 벗어나는 등의 문제점이 있다.

허프 변환은 디지털 영상과 기하학적인 요소를 묘사하는 파라미터들 사이의 대응 관계를 이용하여 디지털 영상에서 기하학적인 요소를 찾아내는 방법이므로, 파라미터 공간(parameter space) 또는 허프 공간(Hough space)의 설정에 따라 찾아낼 수 있는 기하학적인 요소들의 품질이 달라진다. 하지만 일반적으로 허프 공간은 변환 이전에 정해진 값으로 설정되므로 주어진 허프 공간에서 실제 직선과 가장 근접한 찾아내는 방법이 필요하다. 또한 잡음에 의한 픽셀도 실제 경계선 픽셀과 동일한 효과를 허프 공간에 미치므로 잡음이 많은 영상에서는 잡음의 영향이 커지게 된다. 따라서 잡음에 의한 픽셀이 허프 공간에 최소의 영향을 미치도록 하

는 방법이 필요하다.

이 논문에서는 기존의 허프 변환에서 발생할 수 있는 문제점을 해결하기 위해 제안된 경계선 강도 허프 변환[7]에서 경계선 강도 설정에 의해 발생할 수 있는 직선의 왜곡을 해결하기 위한 방법을 제안하고 실험을 통하여 직선의 왜곡이 적게 발생함을 보인다. 또한 경계선 강도 허프 변환에서만 발생할 수 있는 왜곡을 분석하고 해결 방안을 제시한다.

II. 경계선 강도 허프 변환

경계선 강도 허프 변환(Edge Strength Hough Transform, ESHT)은 기존의 허프 변환(Hough Transform, HT)이 1 픽셀 두께의 경계선을 사용하고 모든 경계선 픽셀들이 동일한 값을 가지는 것과 달리, 1 픽셀 두께의 경계선을 임의의 폭을 갖는 경계선으로 확장하고 확장된 경계선 픽셀에 경계선의 강도, 즉 실제 경계선에 속할 정도를 할당함으로써 HT의 잡음 민감성을 완화시키기 위해 제시된 방법이다. ESHT의 확장된 경계선과 경계선 강도의 사용은 HT의 근본적인 문제점인 잡음 민감성을 완화시키는 것으로 증명되었으며[7], ESHT에서 기본적으로 결정되어야 할 경계선의 폭과 강도 설정을 위한 방법이 제안되어 있다[8].

ESHT는 HT에 비해 잡음 민감성이 적지만 디지털화된 이미지의 특성으로 인해 실제 영상에 존재하는 직선과 정확하게 일치하는 직선을 찾아내지는 못하는 경우가 여전히 있다. 이처럼 검출하고자 하는 직선과 실제 검출된 직선의 차이를 직선 왜곡(line distortion)이라고 한다. 그림 1에 나타난 바와 같이 허프 변환에 의해 검출된 직선은 실제로 찾고자 하는 직선 위에 놓일 수도 있지만 여러 가지 요인에 의해 실제 직선의 주변에 놓일 수 있으며, 이때 실제 직선에서 벗어난 정도를 검출된 직선의 편차(deviation)라 한다. 또한 하나의 실제 직선에 대해서 여러 개의 직선을 검출할 수 있으며 이를 다중 직선 검출(multiple line detection)이라 한다. 이처럼 실제 직선에서 벗어난 직선이 검출되는 편차와 하나의 실제 직선에 대해 여러 개의 직선이 검출되는 다중 직선 검출을 통틀어 이 논문에서는 직선 왜곡이라고 지칭한다.

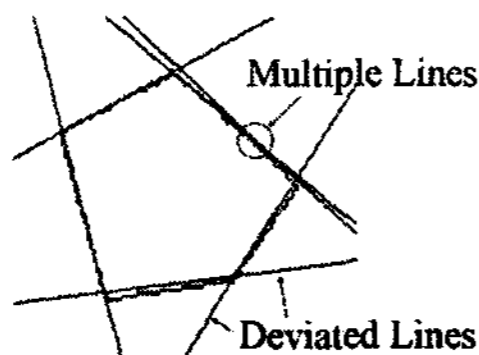


그림 1. 허프 변환에서 발생하는 직선의 왜곡

III. 허프 변환에서의 직선 왜곡

디지털 영상에서 직선을 검출하고자 할 때 검출하고자 하는 직선과 실제 검출된 직선의 차이를 직

선 왜곡(line distortion)이라고 앞 장에서 정의하였다. 해상도가 높은 디지털 영상의 경우 직선의 조각에 할당되는 픽셀은 해상도가 낮은 경우에 비해 실제 직선의 위치와의 차이가 작음이 명백하다. 즉, 직선의 편차는 해상도에 반비례한다[9]. 하지만 이 논문에서는 영상의 디지털화 과정을 다루지는 않으므로 영상의 해상도에 따른 직선의 편차는 고려하지 않는다. 디지털화 과정을 제외하고도 허프 변환 과정에서 직선의 왜곡이 발생할 수 있는 경우는 잡음에 의한 경우와 허프 공간의 설정에 따른 두 가지의 경우가 있을 수 있다.

3.1 잡음에 의해 발생하는 직선 왜곡

일반적인 허프 변환은 직선을 검출할 때, 그 직선에 놓이는 경계선 픽셀의 수에 의존한다. 따라서 잡음에 의해 발생하는 경계선 픽셀의 수가 충분히 크고 허프 공간 상에서 국부 최대값이 되는 경우 직선 왜곡이 발생할 수 있다. 이러한 경우는 경계선의 확장과 경계선 강도의 설정을 통해 일부분 해결할 수 있으며 그 예가 그림 2에 나타나 있다.



그림 2. 잡음에 의한 다중 직선의 검출

그림 2에서 볼 수 있듯이 허프 변환(HT)의 경우에는 2개의 직선이 검출된 반면 경계선 강도 허프 변환(ESHT)에서는 한 개의 직선만이 검출된 것을 볼 수 있다. HT의 경우 잡음에 의해 경계선 픽셀의 위치가 변한 경우 이 픽셀은 실제 직선의 위치에 해당하는 허프 공간의 축적기 값에 영향을 미치지 않는다. 하지만 ESHT의 경우에는 경계선을 확장하고 확장된 경계선 픽셀에도 지수적으로 감소하는 강도를 설정함으로써 잡음에 의해 위치가 변한 픽셀도 실제 직선에 해당하는 허프 공간의 축적기 값에 일부 영향을 미치게 된다. 이는 그림 3에서 나타나 있는 것처럼 허프 공간을 평탄화(smoothing)하는 효과를 가져 오며 허프 공간에서 잡음에 의한 국부 최대값이 발생할 확률을 줄여준다.

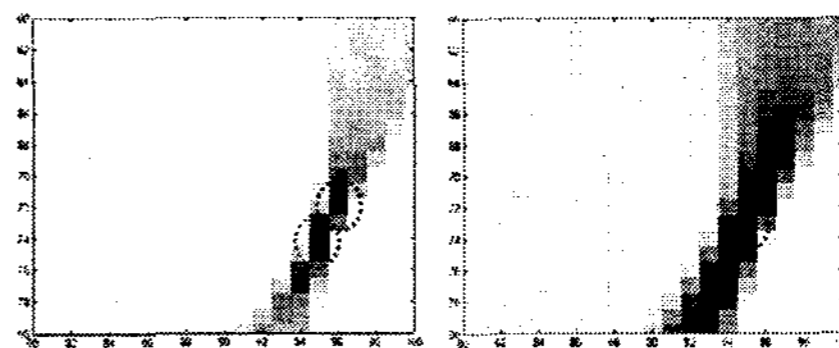


그림 3. HT와 ESHT의 허프 공간 영상

3.2 허프 공간 설정에 의해 발생하는 직선 왜곡

직선을 위한 허프 공간의 크기는 각 해상도와 길이 해상도에 의해 결정된다. 각 해상도는 직선의 기울기(θ)를 몇 단계로 이산화할 것인가와 관계된 값으로, $0^\circ \sim 180^\circ$ 의 전체 기울기를 L_θ 단계로 나타내는 경우 각 해상도 r_θ 는 $(180 / L_\theta)$ 으로 정의된다. 길이 해상도(r_l)는 직선이 위치할 수 있는 원점으로부터의 거리와 관계된 값으로 디지털 영상에서는 1 픽셀로 주어지며, 영상에서 찾아낼 수 있는 직선이 가질 수 있는 원점으로부터의 거리를 나타내는 L_l 의 최대값은 영상의 대각선 길이가 된다. 이 중 검출되는 직선의 품질에 영향을 미치는 요소는 각 해상도로, 검출하고자 하는 직선의 실제 기울기가 허프 공간에서 설정된 기울기와 일치하지 않는 경우 여러 직선이 검출되거나 직선이 검출되지 않는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 문제점은 경계선을 확장하여 직선의 실제 기울기가 허프 공간에서 표현 가능한 기울기에 하나씩 대응되도록 함으로써 일부 해결할 수 있다. 하지만 경계선의 확장은 경계선 픽셀의 수를 증가시켜 연산량의 증가를 가져오므로 경계선 확장을 최소화할 필요가 있으며, 이는 식 (1)과 같이 결정된다[8].

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

이 때 w, h 는 영상의 폭과 높이를 나타낸다. β 는 $\tan(\theta + \lambda')$ 로 정의되며, λ' 는 $r_\theta/2$ 값을 가지고 $\theta = \tan^{-1}(w/h)$ 로 주어진다. 즉, 영상의 크기와 각 해상도로 n 값이 결정된다. 그림 4는 경계선의 확장에 따라 다중 직선 검출이 줄어드는 예를 나타낸 것이다.



그림 4. 경계선 확장에 따른 직선 검출 (왼쪽 : 확장 폭 0, 오른쪽 : 확장 폭 1)

IV. 경계선 강도 허프 변환에서의 직선 왜곡

앞 장에서 언급한 직선 왜곡들은 일반적인 허프 변환(HT)에서 발생하는 왜곡들로, 이들은 경계선을 확장하고 지수적으로 감소하는 강도를 설정함으로써 해결할 수 있음을 보였다. 하지만 경계선을 확장함으로써 인해 새로운 직선이 검출되는 경우가 발생할 수 있다. 그림 5는 경계선의 확장에 따라

발생할 수 있는 가상의 직선 중 일부를 보여주고 있다. 이와 같이 경계선 확장을 통해 발생하는 직선 왜곡은 확장된 경계선에 경계선 강도를 지수적으로 감소하도록 설정함으로써 해결할 수 있다. 이상적인 영상의 경우 경계선 강도의 감쇄 정도가 0.5607보다 작은 경우 가상의 직선이 검출되지 않지만, 이 값은 가상의 직선이 검출되지 않을 최대값으로 실제 영상에서는 이보다 작은 0.3에서 0.5 사이의 값에서 최적의 결과를 보여주었다[8].

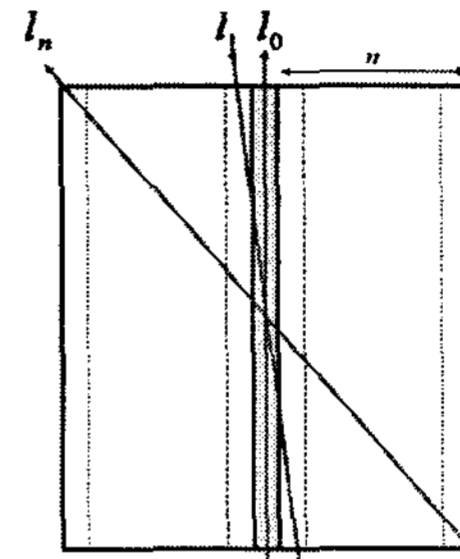


그림 5. 경계선 확장에 의해 발생하는 직선

경계선 강도 허프 변환(ESHT)에서 직선의 왜곡이 발생하는 또 다른 경우는 그림 6과 같이 실제 직선 주위에 큰 강도 값을 가지는 잡음 픽셀이 존재하는 경우이다.

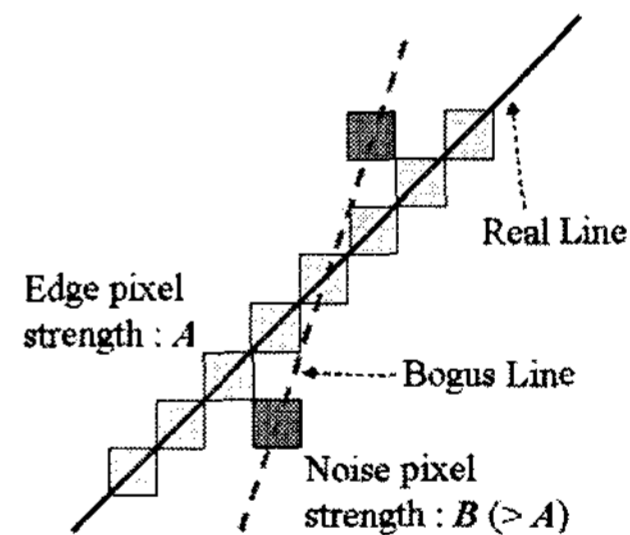


그림 6. 잡음에 의해 발생하는 다중 직선

허프 변환(HT)에서는 직선 위에 놓이는 경계선 픽셀의 수만을 고려하므로 그림 6의 경우에도 실제 직선 하나만을 찾을 가능성이 크다. 하지만 ESHT의 경우에는 잡음에 의해 검출된 경계선 픽셀에도 강도가 설정되고, 특히 이 값이 큰 경우 임계치를 넘는 국부 최대값을 형성할 가능성이 커진다.

잡음에 의한 직선의 발생을 억제하기 위해서는 잡음에 의한 경계선 픽셀의 강도가 작아지도록 경계선 강도를 재할당해 줄 필요가 있다. 잡음에 의해 발생하는 경계선 픽셀은 고립된 픽셀로 나타나는 것이 일반적이므로, 윈도우를 사용하여 경계선 픽셀의 강도를 주변 경계선 픽셀들을 고려하여 평균하는 방법이 사용될 수 있다. 그림 6과 같은 경우 윈도우를 이용한 평균을 취하면, 잡음에 의한

픽셀의 강도는 감소하고 큰 강도 값을 가지는 잡음에 인접한 경계선 픽셀의 강도는 증가한다. 따라서 실제 직선 하나만을 검출할 확률이 커지게 된다. 경계선 강도 재할당에서 한 가지 더 고려할 수 있는 사항은 잡음 픽셀을 제거하는 것으로, 경계선 강도의 평균을 취할 때 자신의 강도, 즉 윈도우의 중앙에 놓이는 픽셀의 강도는 제외하는 것이다. 이는 잡음이 많은 영상의 경우에 연산량을 줄이고 잡음에 의한 국부 최대값 발생을 억제하는데 효과적이다. 이 두 가지를 고려하여 $\gamma \times \gamma$ 윈도우를 사용하는 경우 재할당된 픽셀의 강도는 식 (2)와 같이 정의된다.

$$S'(x,y) = N \cdot \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=-(\gamma-1)/2}^{(\gamma-1)/2} \sum_{j=-(\gamma-1)/2}^{(\gamma-1)/2} S(x+i,y+j) \delta(i \neq 0, j \neq 0) \quad (2)$$

이 때 $S(x, y)$ 는 (x, y) 위치에서의 경계선 강도를 나타내고, γ 는 윈도우의 크기를 나타내며, $\delta(i \neq 0, j \neq 0)$ 는 중심 픽셀을 제외하기 위해 사용되었다. N 는 윈도우 내에 존재하는 경계선 픽셀의 수를 나타내며 식 (3)과 같이 정의될 수 있다.

$$N = \sum_{i=-(\gamma-1)/2}^{(\gamma-1)/2} \sum_{j=-(\gamma-1)/2}^{(\gamma-1)/2} \delta(S(x+i,y+j) > 0) \delta(i \neq 0, j \neq 0) \quad (3)$$

식 (2)에서 N 을 곱한 것은 주변에 위치하는 경계선 픽셀의 수에 따라 픽셀의 강도에 가중치를 준 것이며 N 으로 나눈 것은 윈도우 내에 존재하는 경계선 픽셀의 강도에 따라 평균값을 취한 것이다. 따라서 식 (2)는 식 (4)와 같이 윈도우 내의 경계선 픽셀의 강도를 합한 값으로 간단히 표현될 수 있다.

$$S'(x,y) = \sum_{i=-(\gamma-1)/2}^{(\gamma-1)/2} \sum_{j=-(\gamma-1)/2}^{(\gamma-1)/2} S(x+i,y+j) \delta(i \neq 0, j \neq 0) \quad (4)$$

그림 7은 경계선 강도 재할당을 통해 다중 직선의 검출이 줄어드는 것을 보인 것이다.

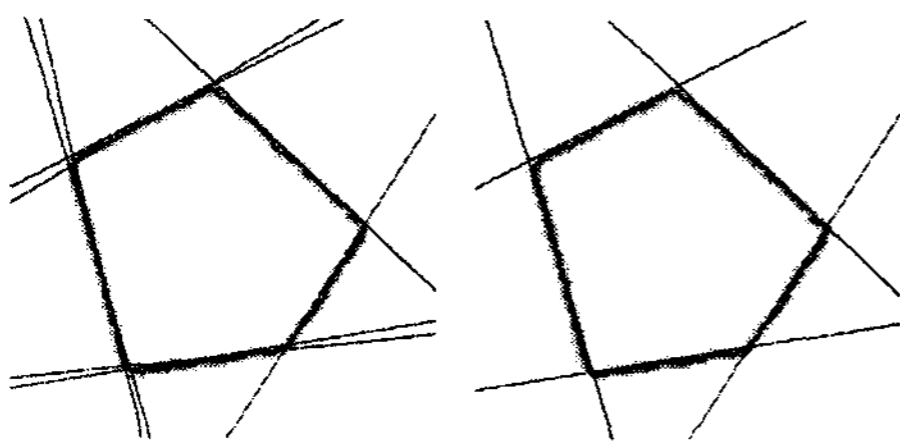


그림 7. 경계선 강도 재할당을 통한 왜곡의 감소 (왼쪽 : 재할당 전, 오른쪽 : 재할당 후)

IV. 결 론

디지털 영상의 특성으로 인해 허프 변환(HT)에서는 잡음이나 허프 공간의 설정에 따라 검출된 직선이 실제 직선의 위치에서 벗어나는 편차나 하나의 직선에 대해 여러 개의 직선이 검출되는 다중 직선 검출 등의 왜곡이 발생할 수 있다. 이 논문에서는 허프 변환 및 허프 변환의 잡음 민감성을 줄이기 위해 제안된 경계선 강도 허프 변환(ESHT)에서 발생할 수 있는 직선 왜곡을 해결하기 위한 기법을 제안하였다.

하지만 확장된 경계선의 사용은 처리하여야 할 픽셀의 수를 증가시킴으로 인해 연산량을 증가시키는 단점이 있다. 현재 이러한 연산량의 부담을 줄이는 방법과 원이나 타원과 같이 컴퓨터 비전 분야에서 많이 사용되는 2차 곡선을 검출할 수 있는 ESHT의 확장에 관해 연구 중에 있다.

참고문헌

- [1] P. V. C. Hough, "Method and Means for Recognizing Complex Patterns," U.S. Patent 3069654, 1962.
- [2] Yiwu Lei and Kok Cheong Wong, "Ellipse detection based on symmetry," Pattern Recognition Letters, 20, pp. 41-47, 1999.
- [3] N. Guil and E. L. Zapata, "Lower Order Circle and Ellipse Hough Transform," Pattern Recognition, 30(10), pp. 1729-1744, 1997.
- [4] Si-Cheng Zhang and Zhi-Qiang Liu, "A robust, real-time ellipse detector," Pattern Recognition, 38, pp. 273-287, 2005.
- [5] J. Illingworth and J. Kittler, "A Survey of the Hough Transform," CVGIP Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 43, pp. 221-238, 1998.
- [6] V. F. Leavers, "Survey: Which Hough Transform?" CVGIP: Image Understanding, 58(2), pp. 250-264, 1993
- [7] 허경용, 이광의, 우영운, "경계선 강도를 이용한 허프 변환의 개선," 한국 해양 정보통신학회 논문지, 제10권, 제11호, pp. 2055-2061, 2006.
- [8] 허경용, 우영운, 김광백, "경계선 강도 허프 변환에서 최적 파라미터의 결정," 한국 퍼지 및 지능시스템 학회지 투고, 2007.
- [9] Linfeng Guo and Opas Ghutatape, "Influence of discretization in image space on Hough transform," Pattern Recognition, 32, pp. 635-644, 1999.