

영상 공간에서의 연결성 기반 가중치 누적을 통한 코너점 검출: 이차원 바코드 검출에의 응용

論文

56-10-27

Detection of Junctions via Accumulation of Connectivity-based Weight in Image Space : Applications for Locating 2D Barcode

金廷泰[†] · 宋振永^{*}
(Jeongtae Kim · Jinyoung Song)

Abstract – We propose a novel corner detection algorithm for locating 2D Data Matrix barcode in an image. The proposed method accumulates weight for each cross point defined by every combination of edge points in the image, and detects the corner point of the barcode L-pattern by determining the location of the highest accumulated weight. By designing the weight considering the connectivity of two lines around the cross point, we were able to detect the corner of L-pattern even for the cases that the lines of L-patterns are short. In the experiments, the proposed method showed improved performance compared with the conventional Hough transform based method in terms of detectability and computation time.

Key Words : Corner, Edge, Connectivity, Hough, Barcode

1. 서 론

영상에서 두 직선이 만나는 코너점의 검출은 특징점 (feature point) 의 검출, 관심 물체의 위치 확인 [1] 등에 널리 사용되는 유용한 기법이다. 예를들면, Data Matrix 규격의 2차원 바코드 복호시 바코드 영역을 정의하는 L-패턴의 코너점을 검출하면 복호의 유용한 기준으로 삼을 수 있게 된다 [2]. 본 논문에서는 2차원 Data Matrix 규격 바코드의 효율적인 위치 검출을 위한 새로운 코너점 검출 방법을 제안한다.

현재까지 연구되어온 코너점 검출 방법은 크게 영상 밝기 기반 방법과 에지점 기반 방법으로 나누어진다 [1]. 영상 밝기 기반 방법은 코너점 근처에서의 영상의 밝기 차이 특성을 반영한 template 을 정의한 후 이와 유사한 형태의 밝기 패턴을 matching 을 통해서 탐색하는 방법이다. 이 방법은 template 의 크기가 커지면 탐색에 많은 시간이 걸리게 되고, 실제 패턴이 template 형태로부터 변형이 있는 경우 성능이 떨어지게 된다는 단점이 있어서 [3] 빠른 처리 속도를 요구하면서도 L-패턴이 잡음, 흡집등으로 인하여 손상이 된 경우가 발생하는 바코드 신호에의 응용은 힘들게된다.

에지점 기반 방법은 영상에서 우선 에지를 검출하고 이 에지들로 이루어지는 직선들을 영상 공간 (image space), 허프 공간 (Hough space) 등의 누적 공간 (accumulation space) 상에서 검출한 후 검출된 직선들의 교차점들 중 직선들이 실제로 만나는 연결성 정도를 시험하여 코너점을 검출하는 방법이다

[3-4]. 에지기반 방법중 특히 허프공간 기반 방법은 에지점의 손실, 직선상의 갭 (gap) 등에 강인하다는 장점이 있다. 그러나, 허프변환에 많은 연산이 필요할뿐만 아니라 영상에 많은 직선이 존재하는 경우 후보 코너점, 즉 교차점의 개수가 늘어나서 연산시간이 증가한다는 단점이 있다 [3]. 또한, 허프공간에서 직선 검출시 짧은 직선이 잘 검출되지 않아서 [5], 짧은 직선들이 잘 연결된 코너점을 검출하지 못하는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 generalized Hough 변환을 사용하는 방법 [3], modified Hough 변환을 사용하는 방법 [4] 등이 제안되었으나 영상의 모든 점들에 대해서 코너점 여부를 변형된 허프변환을 반복해서 수행하여 검증하므로 연산시간이 많이 걸린다는 단점이 있다.

본 논문에서는 에지점의 손실에 강인하고, 빠른 L-패턴 검출을 위하여 연결성을 고려한 영상 공간상에서의 가중치 누적을 통하여 코너점을 검출하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 에지점들의 조합이 정의하는 교차점에 연결성을 고려한 가중치를 누적하는 과정을 모든 에지점의 조합에 대하여 수행한후 가중치가 큰 위치들을 코너점으로 검출하여, 잘 연결된 직선이 만나는 코너점을 보다 잘 검출할 수 있도록 하였다. 또한, 허프변환을 수행하지 않고, 연결성 고려로 코너 후보점을 최소화하여 빠른 연산을 가능하게 하였다.

2. 제안하는 방법

영상 공간에서 직선은 극좌표 (polar coordinate) 를 사용하여 다음 식 (1)과 같이 인수화된다.

$$\rho_i = x_i \cos \theta_i + y_i \sin \theta_i, \quad (1)$$

여기서 (x_i, y_i) 는 직선상에 존재하는 점의 좌표이고, ρ_i

[†] 교신 저자, 正會員: 梨花女子大學 電子情報通信學科 助教授 · 工博

E-mail : jtkim@ewha.ac.kr

* 非會員 : (주) 두비시스 研究員

接受日字 : 2007年 6月 12日

最終完了 : 2007年 8月 17日

는 원점으로부터의 직선까지의 거리, θ_i 는 직선의 법선 (normal) 과 x 축이 이루는 각도이다. 허프변환을 이용한 직선 검출방법은 모든 에지점에 대하여 에지점을 통과하는 가능한 직선의 거리와 각도들을 구하여 거리와 각도별로 그 빈도를 허프공간에서 누적한 후, 누적치가 큰 직선, 즉 상대적으로 많은 에지점들로 이루어진 직선을 검출하는 방법이다 [3]. 허프기반 코너 검출방법은, 직선들을 검출한 후 그 교차점들을 코너점의 후보점들로 정의하고 그 후보점들이 실제로 두 직선에 연결되어 있는 코너점인지 여부를 검사한다. 따라서, 직선이 많이 검출되면 연산시간이 많이 걸리게 되고, 또한 짧은 직선들로 연결된 코너점은 검출이 잘 되지 않는 점등의 단점을 가진다.

본 논문에서 제안하는 방법은 하나의 에지점과 그 gradient 각도¹⁾로 에지점을 통과하는 직선이 정의되므로, 두 개의 에지점 (x_i, y_i) 와 (x_j, y_j) 를 선택하고 각각의 gradient 각도를 이용하면 두 직선의 교차점을 발견할 수 있다는 사실에 기반한다. 즉, 두 직선의 극좌표 방정식을 이용하면 이 두 직선의 교차점 (x_c, y_c) 를 다음 식 (2)와 같은 연립방정식의 해로서 얻을 수 있게 된다.

$$\begin{bmatrix} \rho_i \\ \rho_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_i \sin\theta_i \\ \cos\theta_j \sin\theta_j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

교차점을 검출한 후, 그 교차점에 가중치를 누적하고 이러한 과정을 모든 가능한 에지점들의 조합에 대해서 반복하게 되면, 많은 에지점들로 이루어지는 직선이 교차하는 교차점에 많은 가중치가 누적이 되게 된다. 따라서, 이러한 누적치가 큰 점들을 검출하면 허프변환을 수행하지 않고 코너점 후보들을 영상공간상에서 바로 발견할 수 있게 된다. 그러나, 코너점이 정의될 때마다 동일한 가중치를 누적하게 되면, L-패턴의 코너점을 연결하는 직선이 짧은 경우 상대적으로 누적되는 회수가 적어서 코너점 근처가 잘 연결되어 있지 않더라도 직선의 길이가 긴 두 직선이 만나는 가상의 코너점보다 더 낮은 누적 가중치를 가지게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 (x_i, y_i) 점과 (x_j, y_j) 점으로 정의되는 직선의 교차점에 대하여 다음 식으로 표시되는 연결성을 고려한 가중치를 적용한다.

$$w = w_i \cdot w_j \quad (3)$$

여기서, 식 (4)와 같이 정의되는 w_i, w_j 는 각각 (x_i, y_i) , (x_j, y_j) 점과 교차점 사이의 연결성을 고려한 가중치로 다음 식 (4)와 같이 정의된다 [5].

$$w_i = \begin{cases} nr \log \frac{r}{p_0} + (1-r) \log \frac{1-r}{1-p_0}, & p_0 > 0 \\ 0, & p_0 \leq 0 \end{cases}, \quad (4)$$

여기서, n, r 은 교차점으로 부터 (x_i, y_i) 에지점을 연결하

1) 일반적으로, gradient 기반 에지검출기를 사용하는 경우 에지 검출 단계에서 gradient 각도 정보를 얻을 수 있다.

는 직선상의 전체 점의 개수와 그 중 에지점의 개수의 비율을 나타내고 p_0 는 전체 영상의 픽셀개수 중 에지점 픽셀개수의 비율을 나타낸다.

본 논문에서 제안하는 식 (3)의 가중치는 교차점을 그성하는 두 직선의 연결성의 곱의 형태로 두 직선 모두 교차점에의 연결성이 좋을 경우 가중치를 크게 누적하고자 하는 방법이다. 식 (4)의 가중치에서 알 수 있듯이 교차점으로부터 선택된 에지점까지를 연결하는 직선상의 전체 점의 갯수에 대한 에지점의 개수의 비율이 높을 수록, 즉 r 값이 클수록 가중치 값이 크게 되도록 설계되어 있다. 또한 전체 연결선상의 에지점의 개수가 곱해지는 형태를 가지고 있어, 연결성과 직선의 길이를 동시에 반영하는 구조를 가지고 있다.

연결성을 고려한 가중치 연산 결과는 해당되는 교차점의 위치에 누적되게 된다. 이때, 결정된 교차점의 위치 (x_c, y_c) 는 일반적으로 정수가 아니므로 인접한 정수점들에도 그 누적치를 커널함수를 이용하여 분배하여 잡음의 영향을 줄이고 보다 정확한 코너점 검출을 가능하도록 한다. 본 논문에서 제안하는 방법은 영상의 크기가 $M \times N$ 이고 영상에 K 개의 에지점들의 조합이 존재할 때 $m = 1, 2, \dots, M, n = 1, 2, \dots, N$ 의 정수점들에 대하여 다음과 같이 가중치를 누적한다.

$$H(x_m, y_n) = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^K w_k K(x_m - x_c^k) K(y_n - y_c^k), \quad (5)$$

여기서, $K(\cdot)$ 는 커널밀도함수로서 본 논문에서는 Gaussian 함수를 사용하였고, $(x_c^k, y_c^k), w_k$ 는 k 번재 조합이 정의하는 교차점과 그에 해당하는 가중치이다. 식 (5)와 같이 가중치를 누적한 후, 누적공간에서 피크 위치들을 검출하고 그 중 피크값이 일정 문턱치보다 큰 위치들을 코너점으로 검출한다.

상기의 알고리즘은 그 자체로 유용한 코너점 검출 기법으로 사용될 수 있다. 만약 바코드 L-패턴 검출 응용과 같이 두 직선이 직교하는 교차점의 검출의 경우에는 선택된 두 에지점의 gradient 각도가 직교하지 않으면 이후의 처리과정을 생략하는 방법, 혹은 미리 일정 각도의 그룹들로 에지점들을 분류한 후 직교하는 두 그룹에 속하는 에지점들만의 조합하는 방법으로 연산 속도를 개선할 수 있다.

3. 실험 결과 및 토론

제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 Data Matrix 규격의 바코드 영상들을 이용하여 실험을 수행하였다. 실험에서는 기존의 허프변환을 이용한 방법과 본 논문에서 제안하는 방법을 적용하여 코너점을 검출하여 검출도와 연산시간의 측면에서 성능을 비교하였다. 기존 허프변환 방법은 허프변환 수행후 30개의 직선을 구한 후 이 직선들이 이루는 교차점 중 수직으로 교차하는 점들을 후보점으로 선택하고 이중 직선 방향으로 에지점들이 일정 개수 이상으로 연결이 되어 있는 점들을 코너점으로 검출하였다. 제안하는 방법은 에지들을 gradient 각도별로 5° 간격으로 그룹화한 후 $90^\circ \pm 5^\circ$ 에 해당하는 그룹의 에지점들과의 조합을 이용하여 식 (5)와 같은 가중치 누적을 구한 후 가장 큰 피크값을 가지는 점을 코

너점으로 선택하였다.

그림 1은 알루미늄 캔에 인쇄되어 있는 Data Matrix 바코드 영상에서 기존의 허프변환을 이용한 직선 검출 방법들이 실패하는 영상의 예시이다. 그림 1의 영상들의 경우 잡음과 배경의 흡집등으로 인하여 매우 많은 직선들이 검출되게 되는데 허프 공간상에서 30개의 피크를 검출하여도 L-패턴의 직선이 검출되지 않은 경우이다. L-패턴의 직선을 검출하기 위하여 허프공간상에서 더 많은 직선을 검출하게 되는 경우 후보 코너점들도 많아져서 연산시간이 증가하게 된다.

그림 1 (a) 와 같은 영상에 제안하는 알고리즘을 적용하여 가중치들을 누적한 영상공간은 그림 2와 같다. 그림 2 (a)는 연결성을 고려하지 않고 균일한 가중치를 적용하였을 때의 결과이고 그림 2 (b)는 연결성을 고려하였을 때의 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이 연결성을 고려하지 않았을 때에는 L-패턴의 코너점의 가중치가 가장 높지 않아서 몇 개의 후보점을 찾은 후 후처리들을 통하여 어떤 코너점이 L-패턴의 코너점 인지를 발견하는 과정이 필요하다. 가중치를 적용하였을 때에는 그림에서 볼 수 있듯이 L-패턴의 코너점이 매우 큰 값을 가지므로 후보점의 갯수를 최소화할 수 있으므로 후처리 과정을 최소화 할 수 있다는 장점이 있다.

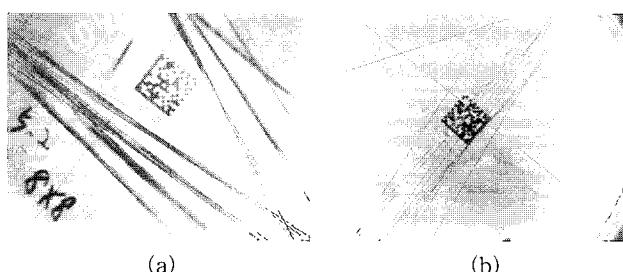


그림 1. (a)-(b) 허프변환을 이용하여 발견된 직선을 표시한 두 가지 2차원 바코드 영상들

Fig. 1 (a)-(b) Two 2D barcode Images with lines detected by Hough transform based method

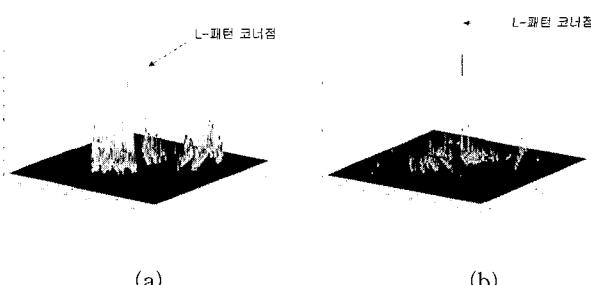


그림 2. (a) 연결성을 고려하지 않았을 때의 누적 가중치 (b) 연결성을 고려하였을 때의 누적 가중치

Fig. 2 (a) accumulated weight without connectivity (b) accumulated weight with connectivity

표 1은 허프변환 기반 방법과 제안하는 방법을 사용하여 그림 1에 표시한 영상과 유사한 바코드 영상 20 개에서 코너점을 검출한 결과를 정리한 것이다. 표에서 볼 수 있듯이, 허프 변환을 이용한 방법은 짧은 직선을 검출하지 못하여 실패

하는 경우가 많았고 또한 코너 후보점들의 수가 많아서 후처리에도 시간이 많이 걸리게 된다. 제안하는 방법에서 연결성을 고려하지 않은 경우에는 연결성 확인과정이 생략되어 연산시간은 빠르나 가중치가 가장 큰 점이 찾고자하는 코너점이 아닌 경우들이 있어서 검출도는 떨어지게 된다. 연결성을 고려한 경우에는 가장 큰 가중치의 값이 언제나 찾고자하는 코너점에 일치하여 검출도가 우수하였다. 뿐만 아니라 연산시간도 기존방법에 비하여 단축되어 우수한 성능을 보였다.

표 1 코너 검출 실험 결과

Table 1 Experimental results for corner detection

	허프 변환 기반방법	제안하는 알고리즘 (without weighting)	제안하는 알고리즘 (with weighting)	평균 에지개 수
검출도	65%	65%	100%	
연산시간	49	9.8	34.6	1467.3

제안하는 알고리즘은 영상에 n 개의 에지점이 있는 경우 $O(n^2)$ 연산이므로 연산시간이 에지의 개수의 자승에 비례하여 증가하게 된다 [5]. 기존의 허프 변환방법은 $O(n)$ 연산이므로 에지의 개수가 매우 늘어나게 되면 제안하는 방법의 연산시간이 더 늘어날 수 있다. 이러한 경우에는, 영상을 분할하여 제안하는 알고리즘을 적용하면 에지 조합의 수를 줄일 수 있어 연산시간을 단축할 수 있을 것으로 생각되고 현재 연구진행중이다.

4. 결 론

본 논문에서는 영상공간상에서의 연결성 가중치 누적을 통한 코너점 검출기법을 제안하였다. Data Matrix 규격의 바코드 위치 검출을 위한 용용에서, 제안한 방법은 허프 변환을 사용하는 방법에 비해, 잘 연결된 직선으로 구성되는 코너점을 보다 빠른 시간에, 정확히 검출할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] L. Paridei, D. Geiger, R. Hummel "Junctions:Detection, Classification, and Reconstruction," *IEEE Trans. PAMI*, Vol. 20, No.7, 1998.
- [2] E. Ottaviani, A. Pavan, "A common image processing framework for 2D barcode reading," *Image Processing and its Application conferences*, 1999.
- [3] E R Davies, "Application of the generalised Hough transform to corner detection," *IEE Proceedings*, Vol. 135, Pt. E, No.1, Jan., 1988.
- [4] F. Shen, H. Wang, "Corner detection based on modified Hough transform," *Pattern Recognition Letters*, vol. 23, pp.1039-1049, 2002.
- [5] M C K Yang, J S Lee, C C Lien, and C L Huang, "Hough Transform Modified by Line Connectivity and Line Thickness," *IEEE Trans. PAMI*, Vol.19, No.8, pp. 905-910, 1997.