

에지 화소들의 직선 정보를 이용한 허프변환

김진태** · 오정수*

*부경대학교 · **한서대학교

Hough Transform Using Straight Line Information of Edge Pixels

Jin-tae Kim** · Jeong-su Oh*

*Pukyong National University · **Hanseu University

E-mail : ojs@pknu.ac.kr

요 약

허프변환은 에지 화소를 대상으로 직선을 검출하는 가장 대표적인 알고리즘이다. 허프변환은 단순한 직선 영상에서는 우수한 성능을 보이거나 잡음이 있거나 복잡한 영상에서는 상당한 계산량을 요구하고 쉽게 의사직선을 검출하는 문제를 갖고 있다. 본 논문은 기존 허프변환의 문제를 개선하기 위한 직선 검출 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 허프변환을 수행하기 전에 주성분 분석을 이용해 에지 화소의 직선 정보를 검출한다. 에지 화소의 직선 정보를 근거로 유효 에지 화소에서 제한된 기울기 영역의 허프변환을 수행한다. 모의실험 결과들은 제안된 알고리즘이 계산량을 크게 줄이는 것은 물론 의사직선도 제거하는 것을 보여주고 있다.

ABSTRACT

The Hough transform is the most representative algorithm for a straight line detection based on edge pixels. It shows excellent performance in a simple linear image but requires a considerable amount of computation in a noisy or complex image and has a problem of detecting a pseudo straight line easily. In this paper, we propose a straight line detection algorithm to solve the problem of the conventional Hough transform. The proposed algorithm detects the straight line information of edge pixels by using principal component analysis (PCA) before performing Hough transform and performs the Hough transform of the limited slope area in the valid edge pixels based on the detected straight line information of edge pixels. Simulation results show that the proposed algorithm reduces the amount of computation as well as eliminates pseudo straight lines

키워드

직선 검출, 허프변환, 주성분 분석, 에지 영상, 의사 직선

1. 서 론

직선은 영상에서 영역이나 물체를 구분하는 중요한 정보이고, 직선 검출은 부품 검사기를 위한 부품 영역 검출, 도로 영상의 차선 검출 같은 컴퓨터 비전 분야에서 필수적인 기술이다[1,2]. 허프변환은 직선을 검출하기 위해 사용되는 대표적인 알고리즘으로 영상 내 에지 화소에서 발생 가능한 모든 직선들의 매개변수들을 매개변수 공간으로 대응시켜 보팅(voting)하는 알고리즘이다.[1-3]. 허프변환은 단순한 직선 영상에서는 우수한 성능

을 보이거나 잡음이 있거나 복잡한 영상에서는 상당한 계산량을 요구하고 쉽게 의사직선을 검출하는 문제를 갖고 있다.

본 논문은 기존 허프변환의 문제를 방지하기 위한 직선 검출 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 두 단계로 수행된다. 첫 번째 단계에서 영상을 블록화하고 PCA를 수행하여 에지 화소의 직선 정보를 검출하고, 두 번째 단계에서 에지의 직선 정보를 근거로 유효 에지 화소와 기울기가 제한된 허프변환을 수행하여 직선들을 검출한다. 첫 번째 단계에서 검출된 에지 화소의 직선 정보

는 에지 화소가 직선에 포함되는지와 직선의 에지 화소이면 직선 기울기를 갖는다.

II. 관련 연구

2.1. 허프변환

허프 변환은 영상에서 에지 화소들로 표현되는 직선을 검출할 수 있는 대표적인 알고리즘이다. 영상 내의 에지 화소들로 표현 가능한 직선은 극좌표계를 사용해 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\rho = x \sin \theta + y \cos \theta, \theta = 0^\circ \sim 180^\circ \quad (3)$$

여기서 ρ 와 θ 는 그림 1에 보이는 것처럼 각각 원점에서 직선까지의 거리와 직선과 x 축 사이의 각이다. 허프 변환은 xy 공간의 화소에서 그 점을 지나는 모든 직선의 매개변수 (θ, ρ) 를 식 (3)으로 계산하여 매개변수 공간인 $\rho\theta$ 공간의 대응점으로 보팅(voting)하는 알고리즘이다. 그래서 xy 공간의 한 점 $p(x, y)$ 는 $\rho\theta$ 공간에 곡선으로 그려지고, 직선 l_1 위의 점들은 $\rho\theta$ 공간의 한 점 (θ_1, ρ_1) 에 보팅된다. n 개의 화소들로 구성된 직선은 $\rho\theta$ 공간의 한 점에 n 번 이상의 보팅이 이루어진다. 직선은 기준이상 보팅된 (ρ, θ) 들을 선택함으로써 검출된다.

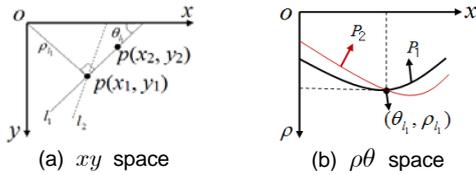


그림 1. 허프변환

2.2. 주성분 분석(PCA)

PCA는 다차원 데이터에서 정보를 잘 표현할 수 있는 주성분들을 찾아내는 기법으로 그림 2의 데이터 집합 A에서 정보를 잘 표현하는 새로운 주성분들(E_1, E_2)을 찾아준다[4, 5]. 주성분들은 데이터 집합의 공분산 행렬로부터 고유값(eigen value)과 고유벡터(eigenvector)를 계산하여 얻을 수 있고, 이들 고유값(Evalue)과 고유벡터(Evector)는 식 (2)과 같이 표현되고 주성분들의 중요도(분산)와 방향을 나타낸다.

$$Evalue = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{pmatrix}, Evector = \begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} \\ e_{21} & e_{22} \end{pmatrix} = (E_1 \ E_2) \quad (2)$$

여기서 최대 고유값이 λ_2 이면 고유벡터 E_2 가 최대 주성분이 된다.

직선은 특정 방향으로 데이터들이 일렬로 모여 있는 데이터 집합으로 직선 데이터에 주성분 분석을 적용할 때 식 (3)과 같이 직선 정보인 방향 벡터 l_E , 기울기(θ), 굵기(l_w)를 얻을 수 있다.

$$l_E = E_2, \theta = \tan^{-1} \left(\frac{e_{22}}{e_{12}} \right), l_w = \lambda_1 \quad (3)$$

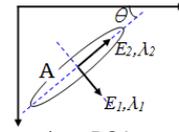


그림 2. PCA

III. 제안된 직선 검출

본 논문에서 제안되는 직선 검출 알고리즘은 두 단계로 이루어진다. 첫 번째 단계는 영상을 일정 크기의 겹치지 않는 블록들로 나누고 PCA를 이용해 블록의 직선 모드를 결정하면서 블록 내의 에지 화소들의 직선 정보를 검출한다. 두 번째 단계는 에지 화소의 직선 정보를 이용해 에지 화소와 기울기가 제한된 허프 변환을 수행하여 영상 내 직선들을 검출한다.

첫 번째 단계에서 결정하는 직선 모드는 직선의 형태에 따라 에지 화소의 직선 정보를 적절하게 검출하기 위해 그림 3과 같이 5개의 모드로 구분한다. 모드 1은 단순한 직선을 포함한 블록, 모드 2는 좀 두껍게 표현된 직선을 포함한 블록, 모드 3은 서로 만나지 않는 두 개 이상의 직선을 포함한 블록, 모드 4는 주 직선에 일부 에지 화소들의 추가로 직선이 왜곡되어 검출되는 블록, 모드 5는 여러 방향 혹은 분명하지 않은 직선이 포함된 블록이다. 직선은 첫 번째 검출된 직선이고 실선은 최종적으로 검출된 직선이다. 모드의 결정 과정이 그림 4에 보여주고 있다.

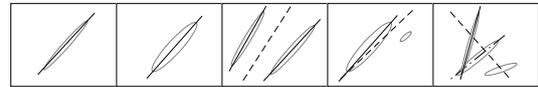


그림 3. 직선 모드 : mode1~mode5

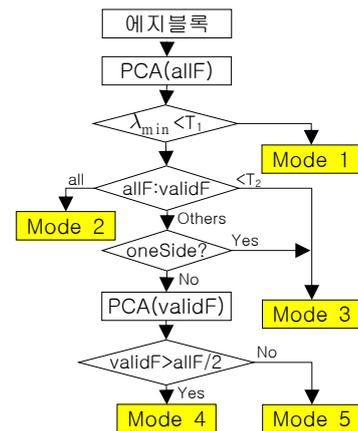


그림 4. 모드 결정

에지 블록은 에지 화소들에서 PCA를 이용해 직선 정보를 검출하기 위한 $N \times N$ 크기의 블록으로 직선을 표현할 수 있는 블록의 에지 화소들(allF)가 일정 화소($N/2$) 이상 포함하는 블록이다.

본 논문에서 예지는 캐니에지 검출기로 생성되고, 블록 크기는 PCA를 이용해 검출된 직선 정보의 신뢰도를 고려하여 15×15 를 선택하였다. 직선이 격자 형태의 화소로 표현되기 때문에 블록이 작을수록 직선이 짧아 검출된 직선 정보의 신뢰성이 떨어지고 블록을 크게 하면 블록 내에 다양한 형태의 직선은 물론 직선 이외의 에지 화소들을 포함하여 검출된 직선 정보의 신뢰성이 떨어진다. PCA(allF)는 블록 에지 화소들(allF)을 대상으로 PCA를 이용해 직선을 검출한다. 이때 최소 고유값(λ_{min})이 작을수록 이상적인 직선이고 검출된 직선 기울기를 신뢰할 수 있다. 그래서 λ_{min} 가 $T1(=0.1)$ 미만이면 그림 3의 직선 mode1과 같은 직선 형태로 모드를 mode1로 결정하고 에지 화소의 직선 정보인 직선의 유효 에지 화소인지와 직선 기울기를 저장한다. λ_{min} 가 $T1$ 이상이면 직선의 행태를 확인하기 위해 직선에서 일정 거리이하에 위치한 유효 에지 화소들(validF)을 검출한다. 유효 에지 화소들이 블록 에지 화소들과 일치(all)하면 직선 mode2와 같은 직선 형태로 모드를 mode2로 결정하고 에지 화소들의 직선 정보를 저장한다. 모드 1, 2는 첫 번째 검출된 직선이 최종 검출 직선으로 사용된다. allF와 validF의 일치 화소가 $T2(=3)$ 보다 작거나 유효 특징점들이 한쪽 영역에만 위치하면 직선 mode3과 같이 분리된 직선들이 존재하거나 직선의 끝에서 겹치는 형태로 모드를 mode3으로 결정하고 블록을 두 영역으로 나누어 PCA를 이용해 직선을 검출하여 에지 화소들의 직선 정보를 저장한다. 여기서 두 영역은 그림 3에서 점선으로 표시된 첫 번째 검출된 직선으로 나누어진다. 일치 화소가 $T2$ 보다 많고 두 영역에 위치하면 유효 에지 화소들을 대상으로 PCA(validF)를 수행하여 새로 검출된 직선에 대한 유효 에지 화소들이 블록 에지 화소들의 반을 초과하면 직선 mode4와 같은 행태로 모드를 mode4로 결정하고 에지 화소의 직선 정보를 저장한다. 나머지 블록은 mode5로 가장 복잡한 형태의 직선을 갖는다. 직선 검출은 에지 화소들의 분포를 고려해 블록을 가로 혹은 세로로 이등분하여 직선을 검출하여 에지 화소의 직선 정보를 저장한다.

그림 5는 복잡한 블록에서 PCA를 이용한 직선 정보 검출 예를 보여주고 있다. 일점체선이 첫 번째 PCA에 의해 검출된 직선이고 mode5로 결정되면서 굵은 점선에 의해 두 영역으로 나누어져 다시 PCA로 직선이 검출된다. 점선들은 나누워진 각 영역에서 검출된 직선이고 최종적으로 검출된 직선은 실선으로 표시되었다. 그림에서 진한 마커들은 직선 구성에 기여한 유효 에지 화소들이고, 연한 마커는 직선에 불필요한 무효 에지 화소들로 두 번째 단계의 허프변환에서 제외된다.

두 번째 단계는 첫 번째 단계에서 추출된 에지 화소의 직선 정보를 근거로 제한된 허프변환을 수행한다. 첫 번째 단계에서 직선과 무관한 에지 화소들은 버려지고 유효 화소만 활용한다. 그리고

검출된 기울기를 예상 기울기로 기울기 제한된 허프변환을 수행한다. 각 모드에서 평가될 기울기 영역은 표 1에 보여주고 있다. θ_p 는 첫 번째 단계에서 검출된 직선 기울기이다. 제안된 알고리즘은 첫 번째 단계에서 그림 5에 보여주는 것처럼 무효 에지 화소들을 제거할 수 있고, 두 번째 단계에서 각 특징점에 180회의 ρ 계산을 모드에 따라 11회 혹은 21회의 ρ 계산으로 줄여주고, 방향성이 다른 에지 화소들을 제외시킬 수 있다.

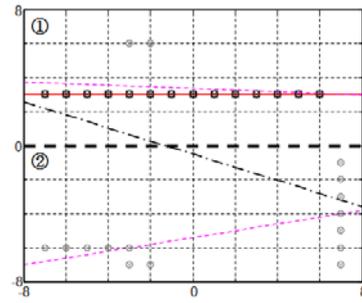


그림 5. PCA를 이용한 직선 정보 검출 예

표 1. 모드에서 허용 θ 범위

모드	1,2,3	4,5
θ	$\theta_p - 5 : \theta_p + 5$	$\theta_p - 10 : \theta_p + 10$

IV. 실험 결과 및 고찰

성능 평가를 위해 제안된 알고리즘(Prop.HT)은 그림 6의 영상들에 적용되어 기존 알고리즘(Conv.HT)과 비교하고 있다. 영상 Im1은 실험을 위해 만들어진 이상적인 직선 객체를 갖는 영상이고, Im2는 Im1에 잡음이 20% 첨가된 영상이다.

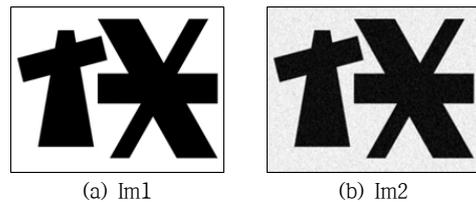
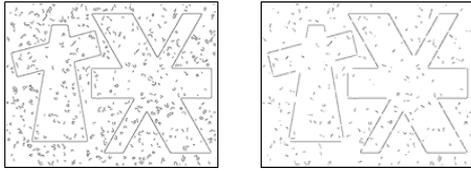


그림 6. 실험을 위한 영상들

그림 7(a)은 영상 Im2의 캐니 에지 검출기에 검출된 에지 영상으로 잡음에 의한 직선과 무관한 많은 에지 화소들이 생성된 에지 화소 영상이다. (b)는 제안된 알고리즘에 의해 직선과 무관한 에지 화소들이 제거된 유효 에지 화소 영상이다. 유효 에지 화소 영상에서 직선이 겹치는 일부 영역에서 직선이 손실되고 있으나 직선 검출에 영향을 주지 않는다.



(a) 에지 화소 (b) 유효 에지 화소

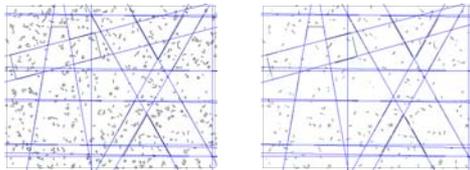
그림 7. Im2의 에지 영상들

표 2는 모드별 허프변환에 사용되는 유효 화소를 비교하고 있다. 모드 0는 에지 블록이 아닌 블록이다. 단순한 영상일수록 모드 0이 많고, 복잡한 영상일수록 모드 5가 많다. 모드 5의 블록에는 직선과 무관한 에지 화소들이 많이 분포하는데 제안된 알고리즘의 첫 번째 단계에서 기존 알고리즘과 비교해 최대 49.5%까지 줄여주고 있다.

표 2. 허프변환을 위한 에지 화소의 비교

	mode	0	1	2	3	4	5	합계
Im1	# of block	860	85	91	0	17	11	1064
	Conv.HT	132	1255	1501	0	268	210	3366
	Prop.HT	0	1255	1501	0	214	154	3124
	▽/(%)	132	0	0	0	54	56	242/7.2
Im2	# of block	533	56	93	15	167	200	1064
	Conv.HT	932	817	1238	343	2339	4012	9681
	Prop.HT	0	817	1238	221	1721	885	4882
	▽/(%)	932	0	0	122	618	3127	4799/49.5

그림 8은 영상 Im2에서 검출된 직선들을 보여주고 있다. 제안된 알고리즘에 의해 검출된 직선과 기존 알고리즘에 의해 검출된 직선이 일치하고 있다.



(a) Conv.HT (b) Prop.HT

그림 8. Im2에서 검출된 직선들

표 3은 영상에서 허프변환을 위한 ρ 의 계산 횟수를 보여주고 있다. 제안된 알고리즘은 유효 에지 화소에 가능한 모든 기울기를 사용한 알고리즘(Prop.HT1)과 유효 에지에 예측된 기울기를 사용한 알고리즘(Prop.HT2)로 구분하였다. 잡음이 없는 경우와 있는 경우는 제안된 알고리즘의 유효 에지 화소 결정만으로 7%와 49% 감소시키고 유효 화소에 예측 기울기를 이용해 제한된 기울기 영역을 사용한 경우 90%이상 ρ 의 계산을 줄여주고 있다. 그러나 부가적으로 mode1, 2는 1회, mode4는 3회, mode3, 5는 최대 6회의 PCA 계산이 요구된다.

표 3. 허프변환의 계산량 비교

	Rho computation			relative computation		
	Conv.HT	Prop.HT1	Prop.HT2	Conv.HT	Prop.HT1	Prop.HT2
Im1	605880	562320	38143	100	92.8	6.29
Im2	1742580	878760	79762	100	50.42	4.58

V. 결 론

허프 변환에서 잡음이 있거나 복잡한 영상에서 생성되는 방대한 에지 화소들은 상당한 계산량을 요구하고 쉽게 의사직선을 검출하게 하는 문제를 발생시킨다. 본 논문은 허프변환의 문제를 개선하기 위해 2 단계 직선 검출 알고리즘을 제안한다. 첫 번째 단계는 블록 단위에서 주성분 분석(PCA)을 이용해 에지 화소의 직선 정보를 검출한다. 두 번째 단계는 직선 정보를 근거로 유효 에지 화소와 예상 기울기를 근거로 제한된 허프변환을 수행하여 영상 내 직선들을 검출한다. 제안된 알고리즘은 첫 번째 단계에서 부가적인 계산이 요구되지만 최대 50% 이상 줄여주는 불필요한 에지 화소들을 제거 해주고 기울기 영역 제한을 더해 허프변환을 위한 전체 ρ 계산의 93.7%~95.4%를 줄여주고 있다. 또한 의사직선을 제거시켜줄 것이다.

참고문헌

- [1] R. C. Gonzalez, and R. E. Wood, *Digital Image Processing*, Prentice Hall, 2008.
- [2] A. McAndrew, *Introduction to Digital Image Processing with MATLAB*, Course Technology, 2004.
- [3] R. O. Duda, and P. E. Hart. "Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures," *Communications of the ACM* Vol. 15, No. 1, pp. 11-15, 1972.
- [4] H. Y. Han, *Introduction to Pattern Recognition*, Hanbit Academy, Inc., Seoul, 2015
- [5] J. Shlens. *A tutorial on principal component analysis*, www.cs.cmu.edu/~elaw/papers/pca.pdf, 2005.