

영상 이미지에서의 유효한 Line 추출에 관한 연구

A Study on Valid Line Extraction from Visual Images

°유 원 필, 정 명 진

한국과학기술원 전기 및 전자공학과

(Tel: 042-869-5429; E-mail: ywp@donghae.kaist.ac.kr, mjchung@ee.kaist.ac.kr)

Abstracts We propose a new method to extract valid lines from a visual image. Unsupervised clustering method is used to assign each line to any of the line groups according to its orientation. During the low-level image processing we use an adaptive threshold method to reduce human supervision and to automate the processing sequence. To reduce the misclassification rate and to suppress the spurious line support regions at the clustering stage, the adaptive threshold method is consistently applied. Performing principal component analysis on each line support region provides an efficient method of obtaining line equation. Finally we adopt the theory of robust statistics to guarantee the quality of each extracted line and to eliminate the lines of poor quality. We present the experimental results to verify our method. With the proposed method, one can extract the lines according to the internal orientation similarities and integrate the whole process into one adaptive procedure.

Keywords Clustering, Line support region, Adaptive thresholding, Robust statistics

1. 서론

영상 이미지에서 선분(line)은 간단한 기하학적 형태를 지니면서 이미지 해석에 있어 매우 중요한 역할을 하지만 효율적이면서 강건한 방법으로 선분을 추출하는 문제는 아직도 어려운 부분이다. 잘 알려진 선분 추출 방법의 하나인 Hough transform의 경우 각 픽셀(pixel)에서의 명암의 변화율의 크기만을 고려하고 있으며 특히 에지(edge)성분의 크기를 바탕으로 적절한 threshold 값을 취하여야 하는 어려움이 있어 명암 대비가 분명하지 않은 영역의 선분은 추출하기 곤란한 단점이 있다. 또한, threshold 값의 크기에 따라 최종적인 선분의 성능(quality)이 매우 달라지게 되며 양자화 구간의 크기에 따라서도 상당한 영향을 주게 되어 적합한 threshold 값을 구하는 것이 매우 어려운 단점을 가지고 있다. 이에 반해 Burns [1]가 제안한 선분 추출 방법에서는 에지 성분의 방향값까지 고려함으로써 명암 대비가 분명하지 못한 영역에 속하는 선분을 추출하도록 하였으며 특히, 에지 성분의 방향값을 각도 구간별로 분류함으로써 비슷한 방향 성분값을 가지는 에지 성분을 하나의 선분 영역(line support region)으로 구분하였다. 하지만, Burns의 방법은 전체 이미지 픽셀에 대한 각각의 에지 성분의 크기와 방향값을 계산하게 되어 계산상의 부하가 큰 단점이 있다. Kahn [2]은 Burns의 방법을 변형하여 이미지에 대한 threshold를 취하여 계산상의 부하를 줄였다. 하지만, 두 연구에서는 에지 성분의 방향 값을 각도 구간에 따라 분류함에 있어서 이미지 상에 내재하는 선분들의 방향값의 경향을 고려하지 않아 구간의 크기

에 따라 혹은 구간을 나누는 방식에 따라 결과를 보장할 수 없는 경우도 생기게 되는 단점을 안고 있다. McLean [3]은 이러한 단점을 개선 하기 위해서 임의적인 각도 구간을 정하는 대신 각도에 대한 히스토그램(angle histogram)으로부터 에지의 방향 성분의 내재된 집합을 구하는 방법을 소개하고 있다. 하지만, 히스토그램상의 영점(zero crossing point)에 따라 에지 방향값을 분류하기 때문에 잘못 분류되거나 지나치게 많은 선분 집합(cluster)이 생길 수 있는 단점이 있다. 이상의 연구에서의 공통된 문제점은 선분 영역을 적절하게 분류하면서 가급적이면 임의적인 할당을 피하는 문제를 효율적으로 다루지 못한 것이다.

본 논문에서는 각 선분 영역을 분류함에 있어 이미지 상에 내재하는 선분의 전체적인 경향에 따라 분류하여 불필요한 실험상의 개입이나 부적절한 분류등의 잘못을 줄이기 위한 방법으로 unsupervised clustering 방법을 이용한다. 본 논문의 구성은 2-4절에서 전처리에 사용된 threshold 방법과 각 선분의 분류방법을 소개하며 특히, 4절에서 여러 연구 논문에서 제안된 방법과는 다르게 이미지 상에 내재하는 집합(cluster)수를 찾는 방법을 도입하며 찾아진 각 선분 집합 영역내에서 각 선분 영역을 찾는 방법을 소개한다. 5절에서 각 선분 영역을 표현하는 eigen value line fitting 방법에 대해 설명 한다. 마지막으로 6절에서 robust statistics를 도입하여 전체 선분들의 성능을 유지하는 방법에 대해 소개한다. 실내 환경에서 쉽게 찾을 수 있는 직선 성분을 효율적이면서 강건하게 추출함으로써 이미지 해석이나 소실점을 이용한 로봇의 주행등의 작업의 정교성을 향상

시킬 수 있을 것이다.

2. Preprocessing

본 절에서는 이미지 처리에 필요한 전처리 과정에 대해서 설명한다. 카메라로부터 얻어진 영상 이미지(그림. 1 참조)로부터 이미지내에 존재하는 선분들을 에지의 방향값에 따라 내재된 집합으로 분류하는 것까지가 이 부분에 속한다. 원래의 영상 이미지는 잡음 효과를 줄이기 위해 median 필터를 취한다. Median 필터는 에지의 위치를 변화시키지 않으면서 잡음을 줄이는 효과를 가지고 있기 때문에 선분의 위치에 영향을 주지 않으면서 원래 영상 이미지상의 잡음을 제거할 수 있다. 각 픽셀에서의 에지의 크기와 방향값은 Burns가 제안한 2×1 마스크를 사용하였다. Burns와 McLean이 제안한 방법은 모두 영상의 모든 픽셀에 대하여 방향 선분을 계산하기 때문에 실제로 잡음에 해당하는 픽셀까지 모두 계산을 하게 된다. 이것은 영상 이미지에서 주위의 조명 상태등의 영향으로 하나의 선분이 여러 개의 작은 선분들로 끊어진 경우처럼 선분이 짧은 경우에도 픽셀 연결(pixel linking)을 통해 원래의 선분을 복구하는데 효과가 있지만, 전체 픽셀에 대해 계산을 하는 것은 상당한 부하로 작용하게 된다. 계산상의 이점을 취하기 위해 Kahn은 thresholding 방법을 취하였지만, 실험적인 값을 임의로 정하였으며 threshold 값의 크기에 따라 찾는 선분의 갯수와 성능에 끼치는 영향을 보고하고 있다. 본 논문에서는 이와는 다르게 Otsu [5]가 제안한 adaptive threshold 방법을 연속적으로 취하여 잡음을 제거하였다. Adaptive threshold를 취하게 되는 경우 명암대비가 분명하지 않은 영역의 선분은 잡음으로 취급되어 사라지게 되는 효과가 있다. 이를 방지하기 위해 threshold 값이하의 부분에 대해 한번 더 threshold를 취함으로써 어느 정도의 잡음을 허용하지만 명암대비가 분명하지 못한 영역의 선분을 복구할 수 있었다. 각 픽셀의 에지 방향 성분은 adaptive threshold 이후에 남아 있는 픽셀에 대해서 계산을 하게 된다.

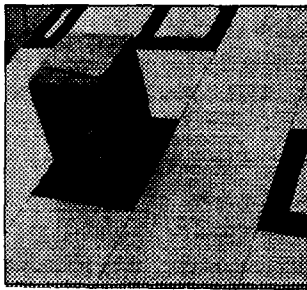


그림 1. 실험에 사용된 이미지

Fig 1. The test image

3. 픽셀 방향 성분 계산

각 픽셀의 방향 성분은 Eq.1을 이용하여 이미지의 수직, 수평 방향으로의 방향 선분을 구하게 된다.

$$\tan^{-1} \frac{G_v(i, j)}{G_h(i, j)} \quad (1)$$

여기서, $G_v(i, j), G_h(i, j)$ 는 픽셀 위치 i, j 에서 각각 수직, 수평 방향으로의 방향 선분을 나타낸다. 각 픽셀에서의 방향 선분을 방향 성분 히스토그램(angle histogram)으로 나타내면, 밝기 데이터를 이용한 히스토그램에서와 같이 방향 성분 에 대한 히스토그램을 구하게 된다. 각 픽셀의 방향 성분도 에지 크기 데이터에서와 마찬가지로 크기가 지나치게 작은 것들은 실제 선분을 구성하는 데 역할이 작으리라 예상되므로 방향 성분에 대하여 adaptive threshold를 취하였다. Threshold의 결과는 그림. 2에 나타내었다.

4. Cluster 갯수 계산

이상의 과정을 거친 영상 이미지는 밝기 데이터와 방향 데이터를 가지고 있지만, 이후의 선분을 추출하는 데에는 방향 성분만이 관여하게 된다. 방향 성분 히스토그램에서 내재된 선분 집합을 구하기 위해서는 실제로 몇 개의 집합으로 히스토그램이 구성되었는지를 파악하는 것이 중요하다. 실험에 사용된 영상의 경우 최소한 2개 이상의 선분 집합으로 이루어져 있다고 가정하였다. Mclean과 Burns의 경우 집합의 수를 알 수 없기 때문에 불가피하게 merge, split등의 방법이 쓰였고, 최종적인 결과도 구간의 크기와 양자화 구간에 상당히 의존하였다.

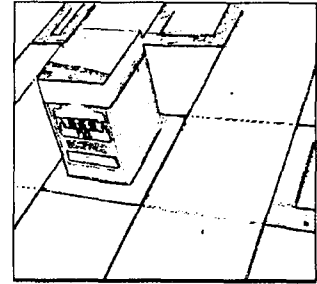


그림 2. Threshold 이후의 실험 이미지

Fig 2. The test image after thresholding

McLean의 경우 이와는 다르게 히스토그램 방법을 사용하면서 히스토그램의 영점을 구하여 각 영점 사이를 하나의 집합으로 간주하였다. 하지만, 이러한 방법을 사용하더라도 결국 실험자의 개입이 필요하여 적당한 구간을 하나의 구간으로 묶어주어야 하는 단점이 생긴다. 이러한 구간의 정확성 여부에 따라 같은 집합으로 구분되어야 할 것들이 다른 집합으로 구분되거나 상이한 집합이 하나의 같은 집합으로 간주되는 경우가 생기므로 실제로 내재된 집합이 몇 개인가를 알아내는 것과 구해진 집합의 갯수에 맞게 선분들을 분류하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 이것을 scatter measure를 도입하여 해결하였다. Scatter measure는 Coleman [4] 이 제안한 방법을 사용하였는데 그의 방법은 가장 적절한 집합의 수에서 scatter measure가 최대값을 가지도록 고안된 것이다. 이 척도는 데이터의 분리성(separability)을 측정하기 위해 고안된 것으로 within-cluster scatter matrix (S_w)와 between-cluster scatter matrix(S_b)를 이용하며 각각 다음의 식으로 정의된다.

$$S_w = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \epsilon(x - \mu_k)(x - \mu_k)^T, K \geq 2 \quad (2)$$

여기서 x 는 픽셀의 방향 성분을 나타내며,

$$\epsilon\{\cdot\} = \frac{1}{M_k} \sum_{x_i \in S_k} (x_i - \mu_k)(x_i - \mu_k)^T \quad (3)$$

여기서 μ_k 는 k 번째 집합의 평균값을 나타낸다.

$$S_b = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (\mu_k - \mu_0)(\mu_k - \mu_0)^T \quad (4)$$

여기서, μ_0 는 전체 평균값을 나타내며, 아래의 식으로 구해진다.

$$\mu_0 = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M x_i \quad (5)$$

여기서, M 은 전체 방향 성분값의 갯수를 나타낸다.

Separability 척도는 다음의 식으로 정의된다.

$$\beta = \text{tr} S_b \cdot \text{tr} S_w \quad (6)$$

위에서 구해진 separability 척도를 K 값이 변함에 따라 계산하여 가장 큰 값이 되는 경우의 K 값을 선분들간에 내재하는 집합의 수로 결정하게 된다. 내재하는 집합의 수를 계산한 후 k-means clustering 방법을 적용하여 각 픽셀의 방향 성분 방향 성분끼리의 거리가 가장 가까운 집합으로 분류하게 된다. K 값을 증가시켜가면서 β 를 계산했을 때의 값은 $K = 2$ 일 때 55440.61, $K = 3$ 일 때 21362.21의 값을 나타내었으며 이로부터 그림 1의 경우 내재하는 선분의 경향은 두 개의 집합을 이루고 있음을 알 수 있다. 이것은 그림 3의 히스토그램으로부터 선분 집합의 갯수를 확인할 수 있다.

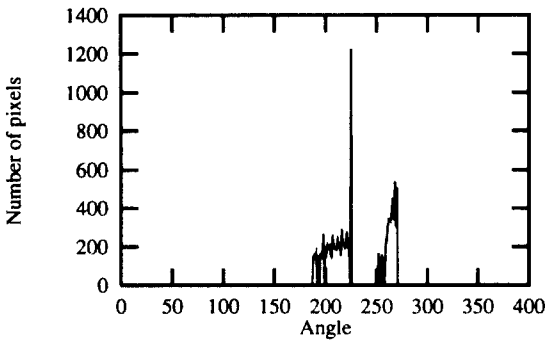


그림 3. 실험 이미지의 각도 성분 히스토그램

Fig 3. The angle histogram of the test image

5. 선분 영역 추출

위의 방법으로 분류되어진 각 픽셀에 대하여 connected component 해석을 통해 하나의 선분을 형성하는 픽셀들을 분류하게 된다. 이것은 흔히 말해지는 선분 영역(line-support region)으로서 하나의 선분을 형성하게 된다. 픽셀 연결은 간단한 one-pass connected component 알고리즘을 사용하였다. 8-neighborhood를 사용하였으며 그 결과를 저장하게 된다. CCA 방법은 여러가지가 있지만, clustering을 통하여 하나의 집합에는 비슷한 방향의 픽셀들로만 구성될 것이므로 선분끼리 교차되거나 방향 성분이 다른 선분이 개입할 가능성이 적을 것이라는 가정을 하였다. 이상의 과정에서 구해진 선분 영역에 대해 실제

선분을 구하기 위해 line fitting을 해야 한다. 여기서는 eigen vector line fitting을 이용하였으며 이 방법은 선분의 성능을 나타내기 적합한 성질을 가지고 있다. 즉, 선분의 수직 방향으로의 크기는 선분 영역에 속하는 픽셀에 대한 scatter matrix의 eigen value의 크기로써 나타낼 수 있는 장점이 있다. 한편, 방향 성분이 비슷하면서 다른 기울기를 가지는 선분과의 혼합이 생기는 경우가 있으며 이 외에도 선분의 수직 방향으로의 넓이가 지나치게 넓은 경우 정확도가 떨어지는 것으로 생각할 수 있으므로 이러한 선분들을 제거해야 할 필요가 생긴다. 그림 4, 5에 각 선분 집합내에서 추출된 선분 영역을 나타내었고 Table 1에 각 선분 영역의 eigen value값을 나타내었다.

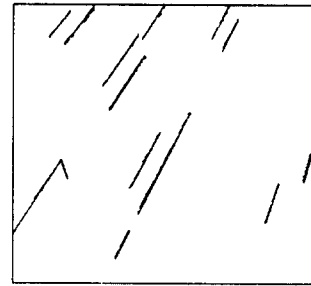


그림 4. 실험 이미지의 수직 방향의 선분

Fig 4. The lines of vertical direction in the test image

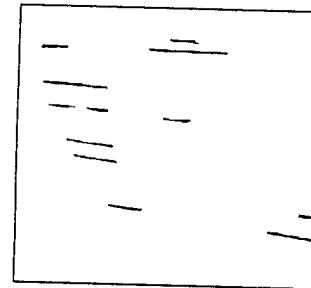


그림 5. 실험 이미지의 수평 방향의 선분

Fig 5. The lines of horizontal direction in the test image

6. Robust statistics

실제로 5절로서 선분을 구하는 것이 끝나지만, 5절에서도 설명한 바와 같이 그림 4와 같이 다른 선분 방향이 개입하거나 eigen value가 지나치게 크게 나오는 경우가 있다. 이러한 경우의 선분 영역은 scatter matrix의 eigen value의 값이 나머지 선분 영역의 eigen value에 비해 지나치게 크게 나올 것이라고 가정할 수 있다. Eigen value는 각 선분 영역의 분산으로 생각할 수 있으므로 전체 eigen value의 평균은 이상적인 경우 제로로 가정한다. 성능이 좋지 않은 선분의 경우 eigen value의 값이 매우 크게 나타나므로 주어진 데이터가 가우시안 분포를 이룬다고 가정하면, Eq. 7를 이용하여 분산값을 구할 수 있다 [6].

$$\sigma = \frac{\text{median}\{x_i\}}{0.6745} \quad (7)$$

Eq. 7에서 분모의 0.6745값은 데이터가 가우시안 분포를 이루고 있을 경우 실제 분산값과 거의 같은 값을 가지게 되도록 만들어주는 역할을 한다[8]. 따라서, 선분의 eigen value값들은 평균 0, 분산 σ 의 가우시안 분포를 가진다고 가정하였다. 임의의 선분을 제거할 것인지는 다음의 판단식으로 결정하였다.

$$if T(= \frac{x_i}{\sigma}) \begin{cases} > 1.96, & reject \\ \leq 1.96, & accept \end{cases} \quad (8)$$

위의 판단식을 이용하여 Table 1의 데이터에 적용하여 수직 방향의 선분들 중 11번째의 선분을 제거할 수 있었다. 11번째 선분의 경우 판단식의 값이 4.151의 값을 나타내었다.

7. 결론

본 연구에서 선분을 찾는 방법에 영상내에 내재하는 선분들의 방향의 경향에 대한 정보를 추출함으로써 더 효율적인 선분 추출을 할 수 있었으며 robust statistic의 이론을 도입하여 최종적인 선분의 성능을 보장할 수 있는 장치를 마련하였으며 실험 결과에서 알 수 있듯이 실제 eigen value의 값이 지나치게 큰 경우를 제거할 수 있었다. 이로써 이후의 작업, 예를 들어, 이미지 해석이나 소실점 계산등에 있어 상당한 신뢰도를 높일 수 있다. 제안된 방법에서 선분의 성능을 더욱 향상시키기 위해서는 판단식에서 좀 더 낮은 값을 threshold 값으로 정할 수 있을 것이며 이미지 처리 과정에서 발생하는 잘못 연결된 선분의 경우를 처리하기 위한 CCA방법의 개선이 필요하다.

표 1. 추출된 선분들의 eigen vector값

Table 1. The eigen values of the extracted lines

수직 방향	Eigen value	수평 방향	Eigen value
1	1.023	1	1.098
2	1.352	2	1.068
3	0.847	3	0.703
4	0.767	4	0.898
5	0.875	5	0.736
6	0.772	6	0.963
7	1.058	7	0.901
8	1.104	8	0.684
9	0.959	9	0.702
10	1.298	10	0.862
11	6.331*	11	1.033
12	0.832	12	0.924
13	1.047		

참고 문헌

[1] J. B. Burns, A. R. Hansen and E. M. Riseman, "Extracting straight lines," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 8, pp.425-455, July 1986.

[2] P. Kahn, L. Kitchen, and E. M. Riseman, "A Fast Line Finder for Vision-Guided Robot Navigation," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 12, pp. 1098-1102, November 1990.

[3] G. F. McLean and D. Kotturi, "Vanishing Point Detection by Line Clustering," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 17, pp. 1090 - 1095, November 1995.

[4] G. B. Coleman and H. C. Andrews, "Image Segmentation by Clustering," *IEEE Proceedings*, vol. 67, pp. 773-785, May 1979.

[5] N. Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histogram," *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics*, vol. SMC-9, January 1979.

[6] R. V. Hogg, "An Introduction to Robust Estimation," *Robustness in Statistics*, Edited by R. L. Launer and G. N. Wilkinson, Academic Press, 1979.

[7] R. Duda and P. Hart, *Pattern Classification and Scene Analysis*, Wiley, New York, 1973.

[8] R. V. Hogg and A. T. Craig, *Introduction to Mathematical Statistics*, 4th Ed., Macmillan.