

에지 방향을 이용한 전력선 검출¹⁾

김동욱*, 강정혁*

*전주대학교 정보통신공학전공
e-mail: dwkim@jj.ac.kr , feud83@hanmail.net

Detection of electrical power lines using edge direction

Dong-Wook Kim*, Jeong-Hyuck Kang*

*Dept of Information and Communication Engineering, Jeon-Ju University

요 약

본 논문에서는 열 영상 기반의 전력선 검출을 위한 효과적인 방법을 제안하고자 한다. 제안된 방법에서는 전력선이 가지고 있는 방향 특성을 이용하여 전처리과정을 통해 에지의 방향을 추출하고 이를 기반으로 허프 변환(hough transform)을 이용하여 전력선을 검출한다. 모의실험을 통하여 이러한 전력선 검출 방법 매우 유효한 방법임을 확인할 수 있었다.

1. 서론

송전탑의 전력선의 보수·관리를 위해 헬리콥터를 이용한 전력선 감시가 이루어지고 있다. 전력선의 유지 보수를 원활하게 하기 위한 것은 공급 신뢰도 유지에 있어서 매우 중요하다. 또한 자산 관리 관점에서도 송전설비 상태나 모니터링의 중요성이 지적되고 있으며 송전 설비 상태를 파악하는 한 수단으로서 중요하다. 최근에는 송전 설비 상태를 치밀하게 파악하는 일과 헬리콥터의 비행 비용 저감을 목적으로 한 무인 헬리콥터의 활용도 검토되고 있다.

무인 헬리콥터에 의한 전력시설 유지 보수를 위해서는 자율운행을 위해 전력선 검출이 선행되어야 한다. 전력선 검출은 특히 지형적인 여건에 따라 문제점이 상존한다. 특히, 산이 많은 우리나라의 1)지형에서는 가시영상으로 전력선을 검출하는 것은 한계가 있다. 따라서, 이를 보완하기 위하여 열영상 장비를 사용하기도 한다.[1]

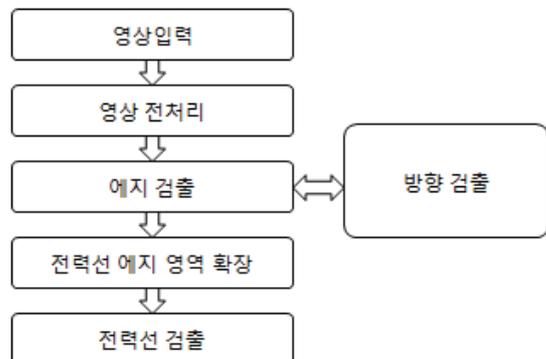
전력선 검출하기 위해서는 허프 변환(Hough Transform)을 유용하게 이용할 수 있다. 허프 변환은 영상에서 특징점 (feature point) 들로 이루어진 직선, 원, 타원 등의 인자화 된 곡선을 발견하기에 유용한 변환 방법이다. 특히, Duta와 Hart 의 직선 방정식을 사용하여 직선과 원점간의 거리인 ρ 와 x 축과 직선 사이의 각도인 θ 로 인자화 된 직선상에 존재하는 특징점 들의 빈도를 검출하는 변환 방법은 직선의 검출을 필요로 하는 여러 분야에서 효과적으로 사용되었다. [2-10]

허프 변환을 수행하는 가장 일반적인 방법은 각 특징점에서 각도 θ 를 N개의 일정한 구간으로 나누어 샘플링

한 각도 θ_i , $i = 1, 2, \dots, N$ 을 가지는 직선들을 구하고, 각 직선에 해당하는 ρ 를 직선 방정식으로부터 구한 후 이를 M개의 구간으로 양자화 하여 해당하는 셀의 숫자를 증가시키는 방법이다. 이렇게 구해진 허프 평면은 $M \times N$ 개의 셀들로 이루어져 있게 되고 이 셀들 중 빈도가 일정한 문턱치 이상이 되는 경우 그 셀에 해당하는 직선이 존재한다고 판단한다[2-3].

전력선 검출을 위해 허프 변환을 적용할 경우 몇 가지 고려해야 할 점들이 있다. 입력영상에 대해 허프 변환을 적용할 경우 무수히 많은 직선들이 검출될 수 있다. 이러한 이유로 적절한 처리과정을 거쳐서 전력선에 해당되는 직선성분만을 추출할 필요가 있다. 본 논문에서는 입력영상에서 전력선에 해당되는 직선성분만을 효과적으로 추출하기 위하여 방향성을 고려한 에지 검출 기법을 제안하고자 한다.

2. 에지 방향을 고려한 방향전력선 검출



(그림 1) 블록도

1) 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2009-0074745)

그림 1은 본 논문에서 제시된 알고리즘의 흐름도를 나타낸 것이다. 입력된 영상에 대해 전처리 과정에서 저주파 필터링을 통하여 잡음을 제거한다. 전처리 과정을 거친 영상으로부터 에지의 크기와 각도성분을 구한다. 전력선은 무인헬기가 전력선을 따라 비행한다고 할 때, 일정한 방향으로 다수의 전력선이 나타난다고 볼 수 있다. 이 경우 입력 영상에서 보여 지는 전력선의 특징은 일정한 방향으로 여러 가닥이 평행하게 분포되어 있는 점이 가장 큰 특징이다. 이러한 특징은 허프 변환을 통해 $\rho-\theta$ 평면으로 변환했을 때 θ 가 일정하면서 ρ 가 서로 다른 형태를 나타낸다. 본 연구에서는 이러한 특성을 이용하여 전력선을 정확하게 검출하고자 한다.

먼저, 전처리를 통해 얻어진 영상으로부터 에지의 크기와 각도 성분을 구한 후 허프 변환을 통해 $\rho-\theta$ 평면으로 변환한다. 다음으로 ρ 가 일정 범위 내에 존재하면서 θ 가 일정한 성분을 추출한다. 이 결과로부터 대표 θ 를 구한다. 다음으로, 얻어진 θ 를 이용하여 에지 검출을 위한 과정을 반복한다. 이 때, 적용되는 필터는 방향성을 고려하여 그에 적합한 필터를 선택한다.

2.1 전처리 및 에지 검출

가. 명암대비 개선

그림2는 헬기로부터 얻어진 열 영상의 한 예이다.



(그림 2) 열화상 전력선 영상

열화상 카메라로부터 취득한 영상은 항공 촬영 특성상 밝기값이 일정하지 않는 특징을 가지고 있다. 특정 밝기 영역에서 영상픽셀의 밝기 값이 집중되어 있으면 영상의 가시도가 좋지 않다. 예를 들면 전체적으로 어두워 보이거나 밝아 보이는 영상 또는 특정 부분의 밝기 영역에 히스토그램이 집중되는 영상 등이다. 이러한 현상은 영상의 명암 대비를 통해 알 수 있으며 높은 명암 대비를 가진 영상은 어둡거나 밝은 영역을 골고루 포함하고 있으나 그렇지 않은 영상은 특정 영역에만 밝기가 몰려 있게 되는 것이다. 명암대비 히스토그램 스트래칭은 낮은 명암대비 영상의 명암값 분포의 히스토그램을 펼쳐서 보다 넓은 영역

으로 명암 값 분포를 갖게 하기 위한 방법이며 본 논문에서는 다음과 같은 관계식을 이용한다.[4]

$$OutImg[x][y] = \frac{InImg[x][y] - Low}{High - Low} \times 255 \quad (1)$$

식 (1)에서 $InImg[x][y]$ 는 입력 영상이며, $OutImg[x][y]$ 는 출력 영상이고, $High$ 는 명암값 중 가장 높은 값을, Low 는 가장 낮은 값을 의미한다. 이러한 처리를 통하여 넓은 영역의 명암분포 값을 갖도록 한다.

수평 경계선	수직 경계선
$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$

나. 에지 검출

<표 1> Sobel 경계선 검출용 마스크

에지 검출하는 방법으로는 미분 개념을 이용한 방법이 널리 사용되고 있다. 미분 개념을 효과적으로 구현하기 위한 방법으로 회전기법이 사용되는데 Prewitt, Roberts, Sobel 등이 미분을 이용한 경계선 검출용 회전 마스크를 개발 하였다. 이중 표 1 에 해당하는 Sobel 경계선 검출용 마스크를 사용하여 경계선을 검출하게 된다.

$$E(x, y) = \sqrt{E_r^2(x, y) + E_c^2(x, y)} \quad (2)$$

식 (2)에서 $E_r(x, y)$ 는 수평 에지 검출용 회전 마스크를 적용한 결과값이고 $E_c(x, y)$ 는 수직 에지 검출용 회전 마스크를 적용한 결과값을 의미한다. 이를 바탕으로 사전에 설정된 값보다 $E(x, y)$ 가 클 경우 에지 화소로 분류 된다.

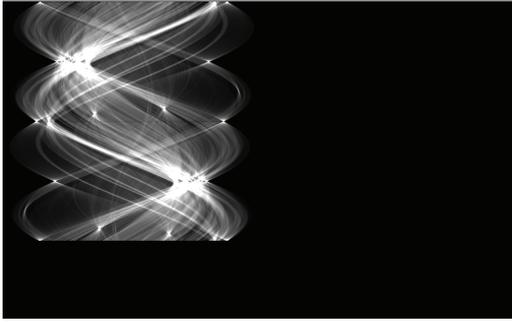
나. 방향성 검출

허프 변환(Hough Transform)에 있어 동일한 직선상에 존재하는 에지점들의 gradient 방향들은 이론적으로 동일한 방향을 가지게 되므로 그 에지점의 gradient 방향에 수직인 θ 를 구하고 그 점의 좌표 (x, y) 를 이용한다. 다음 식 (3)과 같은 Duda 와 Hart 의 직선 방정식으로부터 그 직선의 ρ 를 구할 수 있다.

$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho \quad (3)$$

위와 같이 구한 (θ, ρ) 를 적절한 양자화를 실행한 후 해당되는 셀과 인접한 셀의 빈도수를 증가시키는 것이 잘 알려진 Gradient 허프 변환 방식이다. 이 방법은 인접한 셀들에도 가중치를 부여하기 때문에 내삽의 효과를 얻을 수 있고, 각 에지점을 통과하는 모든 직선에 해당하는 허프 셀의 빈도수를 증가시키는 것이 아니고 일부의 셀 값만 증가시키므로 연산량을 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다.[5]

그림 3은 허프 변환을 이용한 직선 검출 과정을 보여주고 있다. 직선 부분이 분포한 각도 일수록 더 하얗게 분포



(그림 3) Hough 변환결과

를 이루게 된다.

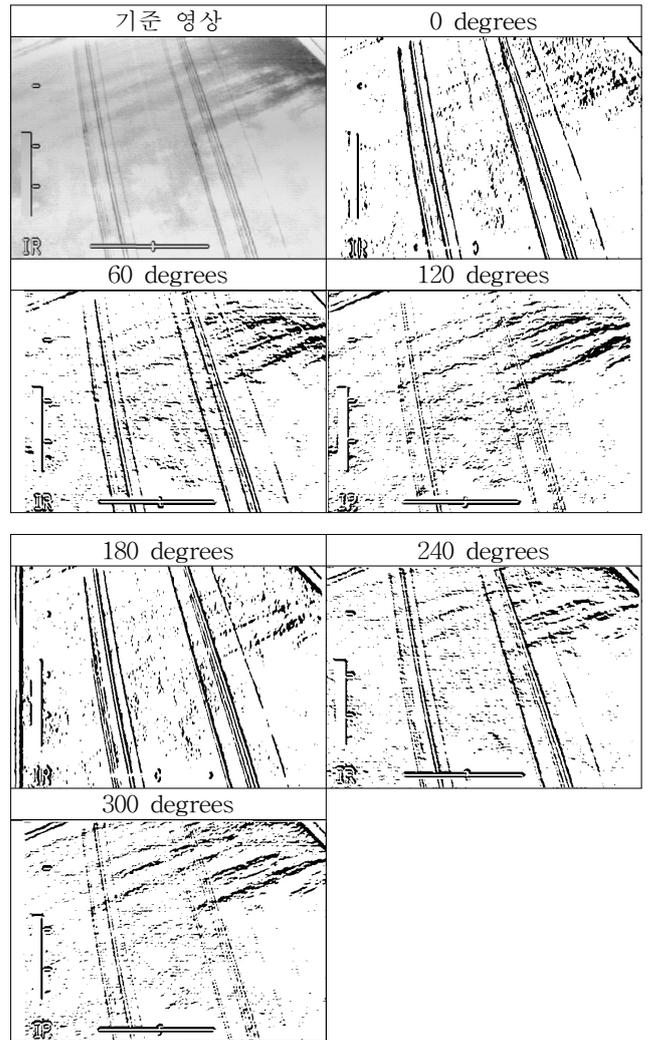
2.2 방향을 고려한 에지 검출

가. 방향 검출을 통한 에지 검출

<표 2> 각도별 적용 마스크

0 degrees [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] 1/1000	30 degrees [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] 1/1102
60 degrees [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] 1/1102	90 degrees [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] 1/1000
120 degrees [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] 1/1102	150 degrees [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] 1/1102
180 degrees [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] 1/1000	210 degrees [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] 1/1102
240 degrees [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] 1/1102	270 degrees [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] 1/1000
300 degrees [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] 1/1102	330 degrees [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] [100 100 0 -100 -100] 1/1102

<표 3> 각도별 결과



먼저 입력된 영상으로부터 에지 및 각도 성분은 식 (2)에 의해 계산한다. 허프변환을 통해 $\rho-\theta$ 평면으로 변환한다. 다음으로 ρ 가 일정 범위내에 존재하면서 θ 가 일정한 성분을 추출한다. 이 결과로부터 대표 θ 를 구한다. 다음으로, 얻어진 θ 를 이용하여 에지 검출을 위한 과정을 반복한다. 이 때, 적용되는 필터는 방향성을 고려하여 그에 적합한 필터를 선택한다. 이 때 표 2에 제시된 연산자를 사용한다. 이 경우 해당되는 방향의 에지가 강조되기 때문에 전력선만을 보다 효과적으로 추출 할 수 있게 되고 상대적으로 잡음도 제거하는 효과를 볼 수 있기 때문이다. 표 3은 표 2의 마스크를 적용하여 각도별로 에지를 추출한 것을 보여주고 있다.

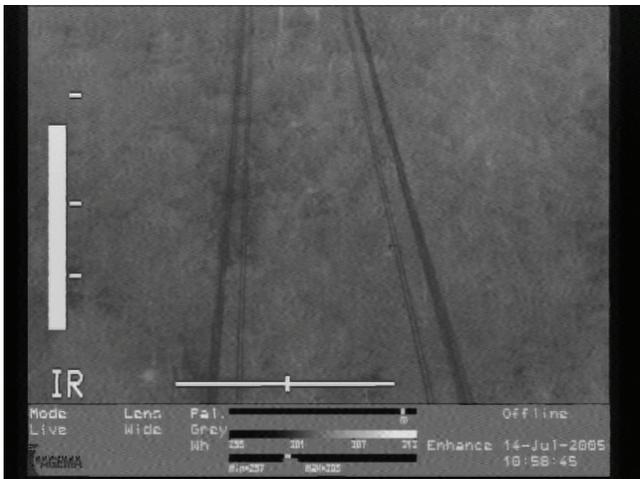
나. 전력선 에지 영역의 확장

전력선 열화상 영상에서 전력선은 단순히 직선 형태로만 분포하지 않기도 한다. 주변의 온도에 따라서 전력선이 보이지 않는 형태나 밝기값이 높게 되기도 한다. 따라서 전력선은 끊어진 형태를 보이기도 한다. 이러한 단점을 보

완하기 위해 폐쇄(Closing) 처리를 한다. 폐쇄 처리 영상을 팽창 처리 후 침식과정을 거쳐서 단일 화소 단위의 이상 물체들을 채우게 되며 유사한 작은 구멍들이나 틈새를 채우는 효과를 가지고 있다. 이는 잡음을 제거하는 효과를 가지고 있는 것이다. 이러한 방법으로 끊어진 전력선 에지 영역을 확장 시켜서 보다 정확한 전력선 영역을 검출 할 수 있도록 한다.

다. 전력선 에지 영역의 확장

열화상 카메라로 전력선을 촬영하다보면 전력선의 기울기가 일정하지 않을 때도 존재한다. 이는 전력선이 평행한 직선으로 이루어져 있기 때문에 카메라가 비추는 각도에 따라서 전력선의 모양이 2차원 평면상에서는 사다리꼴 형태를 이루는 것을 의미한다. 그림 4는 그와 같은 예를 보여준다.

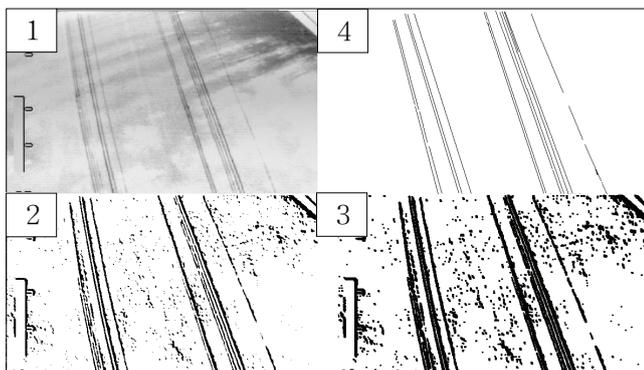


(그림 4) 열화상 전력선 영상

그림 4와 같은 경우 단일 방향의 에지를 검출하지 말고 양 방향 에지를 검출하면 보다 효과적으로 전력선을 검출해 낼 수 있다.

3. 모의실험

본 연구에서 제안한 알고리즘을 토대로 Pentium IV 3.0GHz 하드웨어 상에서 Windows XP기반의 Visual studio 2008을 이용하여 구현되었다. 실험에서는 헬리콥터에서 촬영된 640x480 크기의 열화상 영상이 사용 되었다.



(그림 5) 실험 결과 영상

그림 5는 본문에서 제안된 알고리즘을 토대로 프로그램을 작성 하여 실험 한 결과 영상이다. 1번 영상은 입력 영상이고 2번 영상은 방향성을 고려한 에지 추출을 한 영상이다. 이를 토대로 3번 영상에서와 같이 영상을 폐쇄 처리하고, 4번 영상과 같이 전력선의 직선 성분만 뽑아 낼 수 있었다.

3. 결론

본 논문에서는 허프 변환 방식을 이용한 직선 검출 방법으로 송전탑의 전력선을 찾는 방법을 제안 하였다. 제안한 방법은 전력선이 갖는 직선 특징을 이용하여 방향성을 고려한 에지 추출 방법이 이용되었다. 이러한 방법은 보다 높은 정확도를 갖게 한다.

참고문헌

[1] R O duda and P Hart, "Use of Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures : Graphics and Image Processing", *Comm. ACM*, vol.15, pp.11-15, 1972

[2] 이영모, 차의영, "Hough Transform을 이용한 직선차선검출", 한국정보과학회 2001년도 봄 학술발표논문집 vol. 28, No. 1, pp. 565- 567, 2001. 4

[3] 정현상, 황의봉, "Line Detection Using Log Hough Transform", 한국정보과학회 vol. 13.No.3,pp 118~123, 1999. 8

[4] 김동중, 하중은, "Visual C++을 이용한 디지털 영상 처리", 사이텍 미디어

[5] 김용권, 김영천, 조범준, "하프 변환을 이용한 에지 검출", 대한전자공학회 학술발표회논문집 vol. 10, No.1

[6] 정성태, "Visual C++을 이용한 실용 영상처리", 생능출판사

[7] 김하석, 김란, 이정재, 송철, "하프 변환을 이용한 직선 및 타원 검출법", 한국통신학회논문지 vol.18, No.10, 1993.10

[8] 김정태, "Gradient 방향을 고려한 허프 변환을 이용한 직선 검출 방법" 전기학회논문지 vol. 56, No.1, 2007.1

[9] 이병모, 차의영 "Hough Transform을 이용한 직선차선검출" 한국정보과학회 2001년도 봄 학술발표논문집 vol.28, No.1(B), 2001.4