

확률적인 소실점 추정 기법에 기반한 강인한 송전선 검출 방법

A Robust Power Transmission Lines Detection Method Based on Probabilistic Estimation of Vanishing Point

유 주 한¹, 김 동 환[†], 이 석², 박 성 기³

Ju Han Yoo¹, Dong Hwan Kim[†], Seok Lee², Sung-Kee Park³

Abstract We present a robust power transmission lines detection method based on vanishing point estimation. Vanishing point estimation can be helpful to detect power transmission lines because parallel lines converge on the vanishing point in a projected 2D image. However, it is not easy to estimate the vanishing point correctly in an image with complex background. Thus, we first propose a vanishing point estimation method on power transmission lines by using a probabilistic voting procedure based on intersection points of line segments. In images obtained by our system, power transmission lines are located in a fan-shaped area centered on this estimated vanishing point, and therefore we select the line segments that converge to the estimated vanishing point as candidate line segments for power transmission lines only in this fan-shaped area. Finally, we detect the power transmission lines from these candidate line segments. Experimental results show that the proposed method is robust to noise and efficient to detect power transmission lines.

Keywords: Power Transmission Lines Detection, Vanishing Point, Probabilistic Estimation

1. 서 론

발전소에서 생산된 전기는 소비자에게 공급되기 전에 송전선을 통해서 변전소로 먼저 보내진다. 이 과정에서 생산된 양질의 전기를 손실 없이 전송하기 위하여 송전선 뿐만 아니라 인슐레이터, 스페이서, 댐퍼 등 송전선을 구성하는 구조물들에 대한 정기적인 점검이 필요하다. 과거에는 사람이 직접 송전선에 올라가서 송전선 점검을 수행하였지만 고압이 흐르는 송전선을 사람이 직접 점검하는 것은 매우 위

험한 일일 뿐만 아니라 높은 비용이 발생하기 때문에 최근에는 로봇이 사람을 대체하고 있다^[1]. 이러한 로봇에는 UAV나 헬리콥터에 열화상 카메라나 각종 센서들을 설치하여 공중에서 송전선을 점검하는 원거리 점검 로봇들 및 송전선에 매달려 이동하면서 송전선을 점검하는 근거리 점검 로봇들이 있다^[2]. 원거리 점검 로봇은 송전선에 이물질이 걸려 있거나 송전선의 노후화나 불량으로 인한 단선 등의 상태를 점검^[3,4]하고 송전선에 눈이 쌓이거나 얼음이 생겼는지를 확인한다^[5]. 그리고 근거리 점검 로봇은 로봇에 장착된 RGB 카메라나 적외선 등의 센서들을 이용하여 송전선의 불량이나 단선 등을 점검하는데, 대표적인 로봇으로는 하이드로퀘벡에서 개발한 LineROver와 LineScout가 있다^[6].

앞서 언급한 로봇들은 지상의 컨트롤 센터에 있는 사람이 로봇의 카메라를 통해 취득된 영상을 보면서 로봇을 직접 조작하고 송전선 점검을 수행한다. 하지만 체계는 수 km에서 많게는 수만 km나 되는 긴 송전선을 사람이 직접

Received : Oct. 23. 2014; Reviewed: Nov. 25. 2014; Accepted: Dec. 22. 2014

※ This research was supported in part by the robot R&D program (10041111 funded by the MOTIE of the Korean government, and by the National Agenda Project funded by the National Research Council of Science and Technology.

¹ Center for Bionics, Korea Institute of Science and Technology, Seoul, Korea (yoojuhan@kist.re.kr)

² Center for Sensor System, Korea Institute of Science and Technology, Seoul, Korea (slee@kist.re.kr)

³ Center for Bionics, Korea Institute of Science and Technology, Seoul, Korea (skee@kist.re.kr)

[†] Corresponding author: Center for Bionics, Korea Institute of Science and Technology, Seoul, Korea (gregorykim@kist.re.kr)

연속적으로 점검하는 것은 힘든 일이고, 기후의 영향이나 장거리 통신에서 발생할 수 있는 통신 오류로 인한 조작 불능과 같은 위급상황에 대한 대처 능력이 떨어지는 등의 단점들을 가지고 있다. 따라서 송전선 점검에는 무인으로 작동되는 자동 점검 로봇이 필요하다. 이러한 로봇들로는 근거리 점검 로봇이 많이 연구되고 있는데 이는 무인 조작 및 자동 점검 기술 개발이 원거리 점검 로봇 보다 용이하기 때문이다⁷⁾.

근거리 무인 자동 점검 로봇은 송전선을 따라 이동하면서 점검을 수행하는데, 이 경우에 송전선의 구조물들은 로봇의 진행 진로를 막을 수 있다. 따라서 로봇들은 이러한 구조물들을 장애물로 인식하여 자동으로 피해갈 수 있는 회피 메카니즘을 필요로 한다⁸⁾. 그리고 이러한 장애물들은 항상 송전선 주변에 위치하고 있기 때문에 송전선을 먼저 검출 하고 그 주변 영역에서만 장애물을 찾는다면 장애물들을 전 영역에서 찾는 것 보다 인식 성능을 높일 수 있다. 하지만 송전선이 설치된 환경이 숲이나 송전탑 등의 인공 구조물들이 있는 복잡한 환경들이 많기 때문에 이러한 환경에서도 강건하게 송전선을 검출하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 확률적인 소실점 추정 기법에 기반하여 복잡한 환경에서도 송전선을 강건하게 검출할 수 있는 방법을 제안한다. 송전선들은 실제 환경에서 서로 평행하게 설치되어 있기 때문에 송전선 점검 시스템의 카메라에서 취득된 영상에서는 원근(perspective)효과로 인하여 하나의 소실점으로 수렴한다. 따라서 송전선의 소실점을 이용하여 송전선을 검출하면 영상에서 직접적으로 송전선을 찾는 것 보다 효율적으로 송전선을 검출할 수 있다. 송전선들의 소실점은 송전선에서 추출된 선들의 교점들로부터 추정될 수 있으나 선을 구성하는 화소들의 정렬 오차 등으로 인하여, 평행한 송전선에서 추출된 선들의 교점들은 하나의 소실점으로 수렴하지 않고 그 주변에 흩어지는 분포를 나타낸다. 따라서 본 논문에서는, 화소들의 정렬 오차를 확률적으로 고려하여 영상에서 나타나는 교점들의 위치에 대한 보팅(voting)을 수행함으로써 소실점의 추정 정확도를 높이는 방법을 제안한다. 또한, 추정된 소실점을 지나는 선들 중에서 송전선은 소실점을 중심으로 하는 부채꼴 모양의 영역 내에 존재하기 때문에 이 영역 내에서 기하학

적인 제한조건을 이용하여 송전선을 검출하는 방법을 제안한다.

본 논문에서는, 관련된 연구들을 2장에서 기술하고 3장에서는 제안하는 송전선 검출 방법을 설명한다. 마지막으로 4장과 5장에서는 실험 결과 분석 및 결론을 각각 정리하였다.

2. 관련 연구

송전선의 장애물들을 인식하기 위해서 송전선을 검출하는 다양한 방법들이 연구되어 왔다¹⁰⁻¹³⁾. 이러한 연구들은 서로 비슷한 접근법을 가지고 있다. 예를 들면, 그것들은 먼저 입력 영상에서 에지들을 추출하거나 이진영상으로 변환한다. 그 후 선들을 추출하고, 해당 선들의 길이나 각도 등의 제약 조건들을 사용하여 최종적으로 송전선을 검출한다. Lei 등¹²⁾은 허프 선 변환¹⁴⁻¹⁶⁾을 이용한 송전선 검출 방법을 제안하였다. 이 방법에서는 영상의 노이즈를 줄이기 위하여 전처리 과정으로 중간 필터와 히스토그램 평활화를 수행하였고, 이진 영상으로 변환한 후 최적의 문턱치 결정(optimal thresholding)기법을 이용하여 송전선을 검출하였다. Fu 등은 영상에서 송전선은 가장 긴 선이고 소실점을 지나는 수직선을 기준으로 좌우대칭이라는 가정하에 캐니 에지 검출 기법을 이용하여 송전선을 검출하였다¹⁰⁾. Hu 등¹¹⁾과 Zuo 등¹³⁾은 영상에서 송전선은 일정한 각도와 위치를 가지는 곧게 뻗은 선으로 가정하고 송전선을 검출하였다.

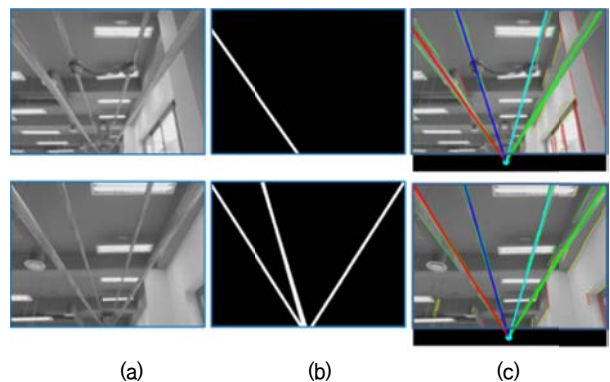


Fig. 1. Detection power transmission lines in an image with complex indoor environment. (a) Input images. (b) Applying Ref.^[12]. (c) Applying our new power transmission lines detection method.

이와 같은 방법들은 입력 영상의 배경이 단순한 경우에는 송전선을 잘 찾을 수 있으나, 배경에 숲이나 각종 장애물들이 존재하는 복잡한 환경에서는 송전선 검출 성능이 떨어지는 단점이 있다. 예를 들어 Fig. 1(a)와 같이 송전선 주변에 복잡한 구조물이 있는 경우, 기존의 방법^[2]으로는 Fig. 1(b)와 같이 송전선 검출에 실패하는 경우가 발생한다. 따라서 Fig. 1(c)에 도시한 제안하는 방법의 결과 영상과 같이, 복잡한 배경에서도 모든 송전선들을 강건하게 추출하는 방법이 필요하다.

3. 송전선 검출

복잡한 배경에 강인한 송전선 검출을 위하여, 본 논문에서는 확률적인 보팅 과정을 이용하여 송전선의 소실점을 추정한다. 소실점을 지나는 선분들 중 송전선이 영상에서 나타나는 각도와 유사한 각도를 가지는 선분들을 후보 선분들로 선택하며, 이러한 후보 선분들 중에서 거리와 각도 등에 대한 제한 조건을 이용하여 송전선을 검출한다.

3.1 소실점 추정

실제 환경에서 평행한 선들은 3D에서 2D로의 투영 과정에서 발생하는 원근효과 때문에 영상에서는 하나의 소실점으로 수렴한다. 실제 송전선 환경에서는 2가닥 이상의 송전선들이 서로 평행하게 설치되기 때문에 송전선들의 소실점은 송전선에서 추출된 선들의 교점들로부터 추정될 수 있다.

영상에서 하나의 선은 비슷한 방향으로 정렬된 화소들의 집합으로 구성되는데 영상의 노이즈나 선 추출 과정에서 발생할 수 있는 오차 등의 영향으로 인해서 화소들의 정렬에 오차가 발생 할 수 있다. 이러한 정렬 오차는 정확한 소실점 추정을 어렵게 만든다. Fig. 2에 빨간색 사각형으로 표시한 입력 영상에서 추출된 선분들(녹색선)의 교점을 다양한 색상으로 도시하였는데, 동일한 송전선에서 추출된 선분들의 교점들도 앞서 언급한 정렬 오차 때문에 하나의 소실점(빨간점)으로 수렴하지 않는다는 것을 알 수 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 오차를 확률적으로 고려하기 위하여, 먼저 LSD(Line Segment Detector) 방법^[9]을 이용하여 선분을 추출한다. LSD에서는 선분을 사각형 영역

으로 고려하고 그 영역에 포함되는 화소들에 대한 방향성의 일치 정도를 NFA(Number of False Alarms)로 측정하여 확률이 높은 선분들을 추출하기 때문에, 영상에서 경계가 뚜렷한 예지에서 추출된 선분들이 낮은 NFA 값을 가진다. 영상에서 송전선은 배경에 있는 물체보다 상 대적으로 길고 뚜렷한 예지 성분을 가지고 있기 때문에, 본 논문에서는 추출된 선분, L_i 에 대한 선분 강도, τ 를 다음과 같이 정의한다.

$$\tau_i = \frac{l_i}{NFA_i} \quad (1)$$

여기서 l_i 는 L_i 의 길이이다. 그리고 선분쌍 (L_i, L_j) 에 대한 교점을 다음과 같은 가우시안 분포로 고려한다.

$$P_{V_{ij}}(x, y; m_{ij;x}, m_{ij;y}, \sigma_{ij;x}, \sigma_{ij;y}) = \frac{1}{2\pi\sigma_{ij;x}\sigma_{ij;y}} e^{-\left[\frac{(x-m_{ij;x})^2+(y-m_{ij;y})^2}{2\sigma_{ij;x}\sigma_{ij;y}}\right]}, \quad (2)$$

$(m_{ij;x}, m_{ij;y})$ 는 영상 좌표계에서 (L_i, L_j) 의 교점의 좌표이다. $\sigma_{ij;x}$ 와 $\sigma_{ij;y}$ 는 각각 x 및 y축 방향으로의 표준편차이고, $P_{V_{ij}}$ 를 등방성으로 가정하여, $\sigma_{ij;x} = \sigma_{ij;y} = \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_j^2}$, $\sigma_i = \alpha \cdot \exp(1/(w_i \cdot \tau_i))$ 로 정의한다. 여기서 α 는 비례상수이고, w_i 는 L_i 에 대한 가중치를 의미하는데, Fig. 2에 도시한 바와 같이, 배경에서보다 송전선에서 선분에 대한 사각형 영역의 폭이 넓은 선분들이 추출되는 경향이 크기 때문에, 송전선에서 추출된 선분들의 영향력을 더 크게 하기 위하여 본 논문에서는 w_i 를 선분에 대한 사각형 영역의 폭으로 정의한다.

소실점을 추정하기 위한 보팅 함수는 다음과 같다.

$$P_w(x, y) = \sum_{i=0}^{N-2} \sum_{j=i+1}^{N-1} P_{V_{ij}}(x, y; m_{ij;x}, m_{ij;y}, \sigma_{ij;x}, \sigma_{ij;y}), \quad (3)$$

여기서 N 은 선분들의 개수이다. 마지막으로 송전선의 소실점을 추정하기 위해 다음과 같은 추정 함수를 사용한다.

$$V(x, y) = \operatorname{argmax}_{x, y} [P_w(x, y)]. \quad (4)$$

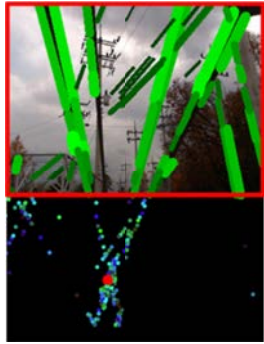


Fig. 2. The example of line segments and intersection points.

3.2 송전선 결정

추정된 소실점을 지나는 대부분의 선분들은 송전선에서 추출된 선분들이지만 실제 3D 공간에서는 송전선과 평행하지 않더라도 영상으로 투영된 2D 공간에서 우연히 소실점을 지나는 이상치(outlier) 선분들이 있을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 이상치 선분들의 영향을 줄이는 총 2단계로 구성된 송전선 검출 방법을 제안한다.

3.2.1 후보 선분 선택 단계

앞서 추정된 송전선의 소실점을 지나지 않는 선분들은 송전선이 될 수 없기 때문에 이러한 선분들을 먼저 제거하기 위해서 다음과 같은 기준 조건을 정의한다.

$$d_i \cdot \sin \omega_i < t_c, \quad (5)$$

여기서 t_c 는 문턱치 값이다. 그리고 Fig. 3(a)에 도시한 바와 같이, d_i 는 소실점 $V(x,y)$ 와 L_i 사이의 수직 거리이고 ω_i 는 L_i 의 중점과 소실점을 지나는 임의의 직선과 L_i 사이의 예각을 의미한다. 이 조건을 만족하는 선분들을 우리는 송전선이 될 수 있는 후보 선분들로 선택한다.

3.2.2 결정 단계

선택된 후보 선분들 중에서는 송전선의 소실점을 지나지만 송전선이 아닌 배경에서 추출된 선분들이 포함되어 있을 수 있다. 그렇기 때문에 결정 단계에서는 이러한 선분들을 제거하고 최종적으로 송전선을 결정한다.

본 연구에서 사용된 로봇에서 취득한 영상에서 송전선은, Fig. 2에서 보는 것과 같이, 송전선의 소실점을 중심으로 하는 부채꼴 모양의 영역에 위치하게 된다. Fig. 3(b)는

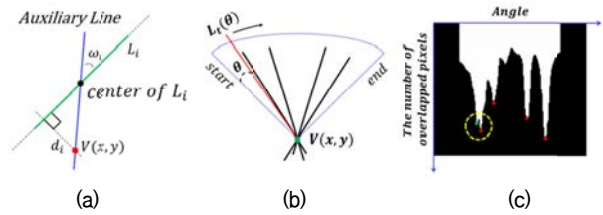


Fig. 3. Decision of power transmission lines. (a) Parameters to select a candidate line segments. (b) Searching in a fan-shaped area. (c) Score function for power transmission lines detection.

이것을 도식화 한 것이고, 여기에서 각도 θ 를 가지는 테스트 직선 $L_t(\theta)$ 를 시작(start) 지점에서부터 시계방향으로 $\Delta\theta$ 만큼 끝(end) 지점까지 생성 시킨다. 그리고 각각의 $L_t(\theta)$ 와 후보 선분들과의 겹치는 화소의 개수를 y축으로 하고 각도를 x축으로 하는 스코어 함수 $S(\theta)$ 를 정의한다. 그러면 $S(\theta)$ 는 Fig. 3(c)와 같이 나타낼 수 있고 빨간색 점으로 나타난 피크 점들은 송전선을 나타내게 된다. 하지만 노란색 원으로 표시한 부분에서와 같이 국부 피크 점(녹색 점)들이 정확한 송전선을 찾는 것을 어렵게 만든다. 따라서 우리는 $S(\theta)$ 에 평균 필터를 이용하여 노이즈를 줄이고 flooding watershed 기법^[7]을 적용하여 피크 점들을 검출한다.

4. 실험 결과

4.1 소실점 추정 오차 분석

제안하는 소실점 추정 방법의 성능을 평가하기 위하여, Fig. 4(a)와 같이 하나의 소실점으로 수렴하는 선분들로 구성된 합성 영상에 대하여, 선분들의 양 끝점에 평균 0, 표준편차 σ_l 인 가우시안 잡음을 추가한 영상들을 생성하여 실험을 수행하였다. Fig. 4의 위쪽 행에 선분 영상과 보팅 함수 결과를 겹쳐서 도시하였는데, 밝은 화소일수록 소실점이 될 확률이 높아짐을 의미한다. σ_l 이 3과 5인 경우를 Fig. 4(b), (c)에 각각 도시하였는데, 제안하는 방법에서는 잡음이 증가하여 선분의 방향성에 대한 왜곡이 커지는 경우에도 소실점을 정확하게 추정하여 직선들을 강건하게 검출하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5는 σ_l 을 1부터 5까지 1씩 증가시키며 각각 100장씩 테스트 영상을 생성하여 제안하는 방법으로 소실점을 추

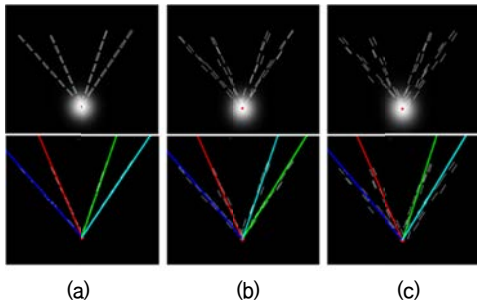


Fig. 4. The estimated vanishing point (a red point) and result of line detection (bottom row). (a) ground truth. (b) $\sigma_1 = 3$. (c) $\sigma_1 = 5$.

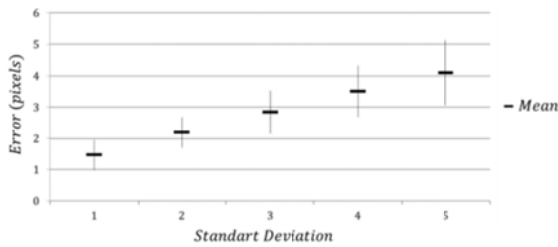


Fig. 5. The vanishing point estimation error on noisy line segment images.

정하고, 추정된 소실점의 좌표와 원 영상의 소실점 좌표와의 차이에 대한 평균과 표준편차를 비교한 결과이다. 추정된 소실점의 좌표 오차는 가우시안 잡음의 표준편차가 5 까지 커졌음에도 불구하고 평균 4화소 이하에 불과하며, 제안하는 방법이 잡음에 강건하게 송전선을 추정할 수 있음을 알 수 있다.

4.2 송전선 검출 결과

제안하는 방법의 송전선 검출 능력을 평가하기 위해서 본 논문에서 사용한 로봇에서 송전선 영상들을 취득하여 총 3가지 종류로 구성된 KPTL 데이터 세트(KPTL-A, KPTL-B, KPTL-C)를 구축하고 이것을 평가에 이용하였다. 각각의 세트는 서로 다른 환경에서 로봇이 움직이면서 실시간으로 취득한 영상들이며 각각 101, 70, 184장으로 구성된다. 그리고 사용된 로봇은 물려가 있는 구동부가 송전선에 걸치게 되고 송전선에 평행하게 매달려 앞-뒤로만 움직일 수 있는 구조로써 카메라가 바라보는 방향은 Fig. 1(a)와 같이 아래에서 위로 향한다.

Fig. 6(a)는 송전선 주위의 벽, 형광등, 창문 등에서 송전

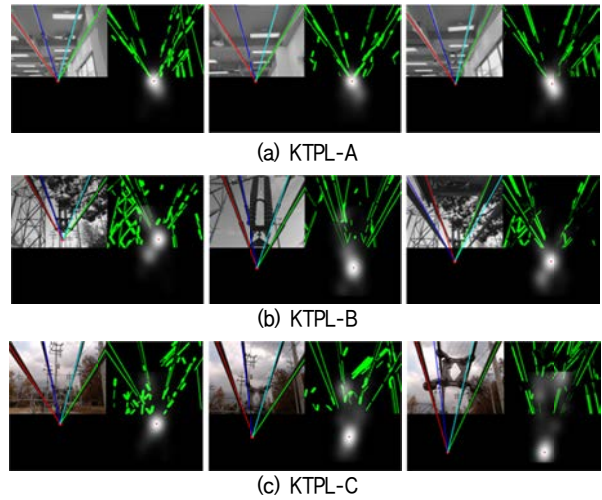


Fig. 6. Sample results of the proposed power transmission lines detection method on KPTL image sets.

선과 비슷한 방향을 가지는 선분들이 포함된 복잡한 배경을 가지고 있는 실내에 구성된 송전선 데모 룸에서 취득한 데이터 세트에서 테스트한 결과 샘플들이다. 복잡한 배경에서도 제안하는 방법이 송전선의 소실점과 송전선을 각각 정확하게 추정하고 검출하였음을 알 수 있다. 실외 환경에서 취득된 데이터 세트에서 테스트한 결과 샘플인 Fig. 6(b)와 Fig. 6(c)에서도 Fig. 6(a) 환경과 마찬가지로 다양한 구조물들과 나무들 때문에 복잡한 배경을 가지고 있지만 제안하는 방법이 잘 동작하고 있음을 알 수 있다. Fig. 6의 마지막 열은 4개의 송전선 중 검출에 실패한 송전선이 있는 경우를 도시한 것인데, 송전선의 검출 기준은 원 영상의 송전선 대비 $\pm 5^\circ$ 이내에 있어야 하고 50% 이상 겹쳐야 하는 것으로 정의하였다. 이에 따라 Fig. 6의 마지막 열에서 Fig. 6(a)의 녹색 선, Fig. 6(b)의 하늘색 선, Fig. 6(c)의 파란색 선의 겹치는 비율과 각도는 각각 29%/3°, 0%/11.5°, 0%/2°로 검출에 실패한 경우이다.

Table 1은 KPTL 데이터 세트에서의 검출률을 [12]의 방법과 비교한 결과를 나타낸다. Accuracy per image는 전체 영상 개수 대비 4개의 송전선을 모두 정확하게 검출한 영상의 개수이고, Accuracy per line은 전체 송전선 개수 대비 검출된 송전선 개수로 정의하였다. 기존 방법은 각각의 송전선 검출률이 평균 52%에 불과하여, 4개의 송전선을 모두 정확하게 검출하는 경우가 평균 2.4%로 거의 없었음을 알 수 있다. 그러나 제안하는 방법은 각각의 송전선 검출률이

Table 1. The accuracy of the power transmission lines detection.

PTL Sets	Accuracy per image(%)		Accuracy per line(%)	
	Ours	Lei <i>et al.</i> 's ^[12]	Ours	Lei <i>et al.</i> 's ^[12]
KPTL-A	96.04	2.97	98.02	44.06
KPTL-B	94.29	4.29	98.21	57.14
KPTL-C	95.11	0	97.69	53.94

평균 98%이고, 4개의 송전선을 모두 정확하게 검출하는 경우가 평균 95%로, 복잡한 환경에서도 송전선을 잘 검출할 수 있었음을 알 수 있다. 마지막으로 본 실험에서 사용한 매개 변수값은 다음과 같다. $\alpha = 10, \Delta\theta = 0.5, t_c = 3.88$ ($d = 5, \omega = 15$).

5. 결 론

본 논문에서는 소실점 추정 기반의 강건한 송전선 검출 방법을 제안하였다. 복잡한 배경을 가지는 영상에서 송전선의 소실점을 정확하게 추출하기 위해서 확률적인 보팅 기법을 이용하였고, 부채꼴 영역 내에서만 송전선을 검출함으로써 노이즈에 강인한 송전선 검출 방법을 제안하였다. 합성 영상 및 다양한 실환경에 대한 검증을 통하여, 복잡한 배경에서도 제안하는 방법이 송전선의 소실점과 송전선을 효과적으로 추정하고 검출할 수 있음을 보여주었다. 향후 본 연구는 차선 검출 등 평행 구조물의 검출에 확장-적용시킬 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] K. Toussaint, N. Pouliot and S. Montambault, "Transmission Line Maintenance Robots Capable of Crossing Obstacles: State-of-the-art Review and Challenges Ahead", *J. Field Robot*, 26(5):477-499, 2009.
- [2] J. Katrasnik, F. Pernus and B. Likar, "A Survey of Mobile Robots for Distribution Power Line Inspection", *IEEE Trans. Power Delivery*, pages 485-493, 2010.
- [3] W. G. Tong, B. S. Li, J. S. Yuan and S. T. Zhao, "Transmission Line Extraction and Recognition from Natural Complex Background", In Proc. Machine Learning and Cybernetics, pages 2473-2477, 2009.
- [4] W. Cao, X. Yang, L. Zhu, J. Han and T. Wang, "Power Line Detection Based on Symmetric Partial Derivative Distribution Prior" In Proc. Information and Automation, pages 767-772, 2013.
- [5] F. Sun, Y. Li and J. Fan, "Monitoring Method of Transmission Line Based on Video Image Recognition Technique", *Int. Conf. BMEI*, pages 136-139, 2011.
- [6] N. Pouliot and S. Montambault, Hydro-Québec, "Geometric Design of the LineScout, a Teleoperated Robot for Power Line Inspection and Maintenance", *Int. Conf. Robotics and Automation*, pages 3970-3977, 2008.
- [7] S. Fu, Q. Zuo, Z. G. Hou, Z. Liang, M. Tan, F. Jing and X. Fu, "Unsupervised Learning of Categories from Sets of Partially Matching Image Features for Power Line Inspection Robot", In Proc. IJCNN, pages 2596-2603, 2008.
- [8] Z. Li, H. Wang and Y. Wang, "Path Planning for Power Transmission Line Inspection Robot Based on Visual Obstacle Detection", In Proc. ROBIO, pages 158-163, 2013.
- [9] R. Grompone von Gioi, J. Jakubowicz, J.-M. Morel, and G. Randall, "Lsd: A fast line segment detector with a false detection control", *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 32(4):722-732, 2010.
- [10] S. Fu, Z. Liang, Z. Hou, and M. Tan, "Vision based navigation for power transmission line inspection robot", In Proc. ICCI, pages 411-417, 2008.
- [11] C. Hu, G. Wu, H. Cao, and X. Xiao, "Obstacle recognition and localization based on the monocular vision for double split transmission lines inspection robot", In Proc. CISP, pages 1-5, 2009.
- [12] W. Lei, E. Li, G. Yang, C. Fan, F. Jing, and Z. Liang, "An embedded vision system for a power transmission line inspection robot", *Intelligent Robotics and Applications Lecture Notes in Computer Science*, 5928:802-811, 2009.
- [13] Q. Zuo, Z. Xie, Z. Guo, and D. Sun, "The obstacle recognition approach for a power line inspection robot", In Proc. ICMA, pages 1757-1761, 2009.
- [14] R. O. Duda and P. E. Hart, "Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures," *Comm. ACM*, 15:11-15, 1972.
- [15] J.-K. Kim, S.-P. Lee, H.-L. Jung and H.-K. Cho, "Development of a Dual-Arm Drawing Robot using Line Segment Approximation of Image Edges", *Journal of Korea Robotics Society*, 9(3):140-146, 2014.
- [16] K. H. Choi, S. K. Han, S. H. Han, K.-H. Park, K.-S. Kim and S. h. Kim, "Guidance Line Extraction for Autonomous Weeding robot based-on Rice Morphology Characteristic in Wet Paddy", *Journal of Korea Robotics Society*, 9(3):147-153, 2014.
- [17] J. Goutsias and Henk J. A. M. Heijmans, "Mathematical Morphology", IOS Press, 2000.



유 주 한

2005 경희대학교 전자공학과
(공학사)
2009 서강대학교 미디어 공학과
(공학석사)
2013~현재 고려대학교 컴퓨터
전파통신공학과 박사과정

관심분야: 컴퓨터 비전, 로봇 비전, 패턴 인식



이 석

1985 연세대학교 물리학과
(학사)
1987 연세대학교 물리학과
(석사)
1994 연세대학교 반도체물리학
과 (박사)

1996~현재 한국과학기술연구원 센서시스템연구센터
책임연구원

관심분야 : 바이오센서, 센서플랫폼, 센서네트워크



김 동 환

1999 서울대학교 전기공학부
(공학사)
2001 서울대학교 전기컴퓨터공
학부 (공학석사)
2006 서울대학교 전기컴퓨터공
학부 (공학박사)

2007~현재 한국과학기술연구원 바이오닉스연구단 선임
연구원

관심분야: 컴퓨터비전, 영상처리, 로봇비전



박 성 기

1987 서울대학교 기계설계학과
(공학사)
1989 서울대학교 기계설계학과
(공학석사)
2000 KAIST 자동화 및 설계공
학과 (공학박사)

2000~현재 한국과학기술연구원 바이오닉스연구단 책임
연구원

관심분야 : 컴퓨터비전, 로봇비전, 로봇지능