

논문 2010-47SP-4-5

산악 영상에서의 지평선 검출 알고리즘

(Robust Skyline Extraction Algorithm For Mountainous Images)

양 성 우*

(Sungwoo Yang)

요 약

무인 로봇이나 무인 항공기 등의 위치 추정 등에 사용되는 산악 영상에서 지평선을 검출하는 것은 지평선의 복잡성, 환경에 의한 가려짐, 영상의 노이즈 때문에 매우 힘들다. 이러한 어려움에도 불구하고 지평선 검출은 무인 이동체에 다양하게 적용될 수 있는 매우 중요한 연구 주제이다. 본 논문에서는 다중 스케일 캐니 영상과, 위상 정보, 그리고 영상 속에서의 지평선의 위치 정보를 이용하여 지평선 검출 알고리즘을 개발 하였다. 다중 스케일 캐니 영상은 추정(localization)에 강한 고 스케일 캐니 영상과 탐색(detection)에 강한 저 스케일 캐니 영상으로 구성된다. 알고리즘의 적절한 단계에 각각의 캐니 영상을 선택적으로 적용함으로써 복잡한 환경에서도 좋은 지평선 검출 결과를 얻을 수 있다. 제안된 알고리즘의 성능은 다양한 영상을 통해 검증되었으며 기존의 기법과 비교되었다.

Abstract

Skyline extraction in mountainous images which has been used for navigation of vehicles or micro unmanned air vehicles is very hard to implement because of the complexity of skyline shapes, occlusions by environments, difficulties to detect precise edges and noises in an image. In spite of these difficulties, skyline extraction is a very important theme that can be applied to the various fields of unmanned vehicles applications. In this paper, we developed a robust skyline extraction algorithm using two-scale canny edge images, topological information and location of the skyline in an image. Two-scale canny edge images are composed of High Scale Canny edge image that satisfies good localization criterion and Low Scale Canny edge image that satisfies good detection criterion. By applying each image to the proper steps of the algorithm, we could obtain good performance to extract skyline in images under complex environments. The performance of the proposed algorithm is proved by experimental results using various images and compared with an existing method.

Keywords : skyline extraction, mountainous images, cany edge images, skyline candidate pixel

I. 서 론

지평선 검출은 영상을 하늘 영역과 비하늘 영역으로 나누는 세그멘테이션(segmentation) 문제와 유사하다. 산악 영상에서의 지평선 검출은 지평선으로부터 시간이 지나도 변치 않는 다수의 특징점을 얻을 수 있다는 측면에서 매우 유용하다. 지평선 정보는 무인 로봇이나 초소형 무인 항공기 등에 사용될 수 있다^[1-3]. 또한 지형 정보를 만들고 탐지를 피하기 위한 경로 생성에도

사용될 수 있다^[4]. 그러나 지평선의 복잡성과 다양성 그리고 복잡한 환경에 의한 노이즈 때문에 산악 영상으로부터 지평선을 검출하기는 매우 어렵다. 구름, 안개, 태양에 의한 반사 등의 복잡한 환경은 지평선의 구분을 모호하게 만든다. 이러한 어려움들 때문에 산악 영상에서의 지평선 검출은 컴퓨터 비전 분야의 중요한 연구 주제 중 하나이다.

1. 기존의 지평선 검출 기법

지평선 검출 기법은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 하늘 영역이 대부분 영상의 위쪽 부분을 차지한다는 영상의 특성을 이용한 영역 기반 기법(Region

* 정희원, 국방과학연구소
(Agency for Defense Development)
접수일자: 2010년4월9일, 수정완료일: 2010년6월9일

based approach)^[5~7]이고 두 번째는 지평선이 두 구별되는 영역의 경계로 볼 수 있다는 사실을 이용한 에지 기반 기법(Edge based approach)이다^[8~10].

가. 영역 기반 기법

Fang et al.^[5]에 의해 제안된 지평선 검출 기법은 지평선을 검출하기 위해 임계값을 이용한다. 임계값을 구하기 위해 열 개의 소형 필터와 영상의 밝기 차이를 이용한다. 임계값이 구해지면 위로부터 아래 방향으로의 수직적 탐색 과정이 이루어진다. 그 후 임계값 이하의 명함값을 갖는 점을 지평선을 이루는 점으로 판별한다. Fang et al.의 기법은 지평선위에 선명한 구름이 있을 경우와 같이 복잡한 환경에서는 올바르게 지평선을 검출하지 못한다. Cozman et al.^[7]의 기법 또한 수직적 탐색 방법을 활용하지만 노이즈를 제거한 그래디언트(gradient) 영상을 사용한다. 이 기법 역시 복잡한 환경에서는 올바르게 동작하지 않는다는 단점을 가지고 있다. Stein et al.^[8]의 기법은 어느 세그먼트가 하늘이고 땅인지를 구분하는 세그멘테이션 기법을 이용한다. 그러나 세그멘테이션 과정의 주요 단계를 언급하지 않고 있으며, 일반적인 세그멘테이션 기법은 정확한 지평선을 검출하는데 많은 문제점을 가지고 있다.

나. 에지 기반 기법

Talluri 와 Aggarwal^[8]은 에지 기반 기법을 활용하여 지평선을 검출하기 위해 그래디언트 값을 활용한다. 그러나 이 기법은 복잡한 환경에서 동작하기엔 너무 단순하다. 좀 더 실재적인 기법이 Woo et al.^[10]와 Lie et al.^[9]에 의해 제안되었다. Woo et al.의 기법 역시 에지 기반 기법을 활용한다. 대조 비용(Contrast Cost)과 동차 비용(Homogeneous Cost)을 기반으로 DP(Dynamic Programming)알고리즘을 활용하였다. Lie et al.의 기법은 정점 비용(Vertex Cost)과 연결 비용(Link Cost)을 기반으로 DP알고리즘을 활용한다. 그러나 DP알고리즘의 경우 비용값에 대한 의존도 때문에 원치 않는 지평선을 찾을 확률이 높다.

2. 제안된 지평선 검출 기법

본 논문에서는 복잡한 환경에서도 강인하게 지평선을 검출하기 위해 영역 기반 기법과 에지 기반 기법을 통합하여 이용하였다. 변수 값에 따라 영상의 특성이 바뀌는 일반적인 케니 에지 영상의 단점을 보완하기

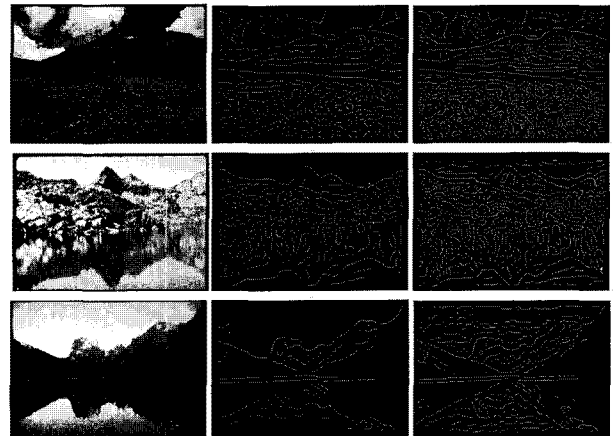


그림 1. 다중 스케일 케니 영상의 예
Fig. 1. The examples of Two-scale Canny edge images.

위해 다중 스케일 케니 영상(Two-scale Canny edge images)을 만들었다. 다중 스케일 케니 영상과 영상의 특성, 그리고 새로운 라인 연결 알고리즘을 사용하여 산악 지형에 강인한 지평선 검출 알고리즘을 개발 하였다.

II. 다중 스케일 케니 영상

케니 에지 추출기^[11]는 오늘날 컴퓨터 비전 분야에서 가장 유용한 에지 추출기 중의 하나이며 수학적 측면에서 이상적인 방법이다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 케니 에지 영상은 지평선 검출에는 적합하지 못하다. 왜냐하면 추정-탐색보완관계(Localization-Detection Tradeoff)^[12~13]를 가지기 때문이다. 좋은 탐색 능력은 추출기가 가능한 많은 에지를 찾는 것을 의미한다. 좋은 추정 능력은 추출된 에지가 실제 에지와 얼마나 일치하는가를 의미한다. 이상적인 에지 검출기는 위 두 가지 기준을 모두 만족해야 하나 케니 에지 추출기는 두 가지 기준을 동시에 만족시킬 수 없다. 케니 에지 추출기는 크게 노이즈 제거 단계, 영상의 그래디언트 값을 찾는 단계, 그래디언트 값을 기반으로 원하는 에지를 추출하기 위한 Hysteresis Thresholding 단계로 나눌 수 있다. 추출기의 성능은 노이즈 제거 단계에 사용되는 Smoothing filter의 스케일인 σ_x , σ_y 와 Hysteresis Thresholding 단계의 문턱 값인 τ_h , τ_l 에 의해 좌우된다^[11]. 이들 변수를 조율함으로써 탐색 성능이나 추정 성능 중 단지 한 가지 기준만 향상시킬 수 있다.

앞서 설명한 두 가지 기준을 동시에 향상 시키는 것

은 불가능하다. 하지만 필요한 단계에서 필요한 기준만을 사용한다면 두 가지 기준을 동시에 상승시키는 효과를 만들 수 있다. 따라서 본 논문에서는 고 스케일 케니 영상(High scale canny edge image)과 저 스케일 케니 영상(Low scale canny edge image)으로 구성된 다중 스케일 케니 영상을 만들었다. 고 스케일 케니 영상은 추정 능력이 강하고 저 스케일 케니 영상은 탐색 능력이 강하다.

그림1은 다중 스케일 케니 영상을 보여준다. 그림1의 가운데 영상은 네 개의 파라미터($\sigma_x, \sigma_y, \tau_h, \tau_l$)를 (4, 4, 20, 1)로 설정한 영상이고 오른쪽 영상은 (3, 3, 5, 0)으로 설정한 영상이다. 오른쪽 영상들이 가운데 영상들보다 더 세밀한 에지 성분을 가짐을 확인할 수 있다. 본 논문에서는 가운데 영상들을 고 스케일 케니 영상으로, 오른쪽 영상들을 저 스케일 케니 영상으로 정의한다. 고 스케일 영상은 좋은 추정 성능을 요구하는 단계에, 저 스케일 영상은 좋은 탐색 성능을 요구하는 단계에 사용하게 될 것이다.

III. 지평선 검출

본 장에서는 다중 스케일 케니 영상을 이용한 지평선 추출 알고리즘을 제안한다. 알고리즘은 두 단계로 나뉜다. 첫 번째 단계는 종자점 추출 단계이고 두 번째 단계는 지평선 탐색 단계이다. 종자점은 지평선 후보점으로 생각할 수 있는 확실한 점이다. 제안된 지평선 탐색 알고리즘을 사용하여 종자점을 시작으로 전체 지평선을 검출할 수 있다. 각 절에서 상세 알고리즘에 대해 소개한다.

1. 종자점 추출

케니 에지 영상에는 다수의 에지 세그먼트들이 있다. 이들 중 원하는 지평선을 검출해야 한다. 이를 위해 먼저 가장 확실한 지평선 후보점인 종자점을 추출한다. 산악 영상의 경우 지평선에 산봉우리가 존재 한다는 지형 정보와 대개의 영상에서 하늘 영역이 영상의 윗부분에 존재한다는 지평선의 위치 정보를 이용해 종자점을 추출한다.

산봉우리를 찾기 위해 한 개의 최고점과 두 개의 국부 최소점을 이용한다. 최대점은 에지 세그먼트에서 가장 큰 y값을 가진 점으로 정의한다. 최대점으로부터 에지 세그먼트를 탐색한다. 탐색 중 y값이 가장 작아지는

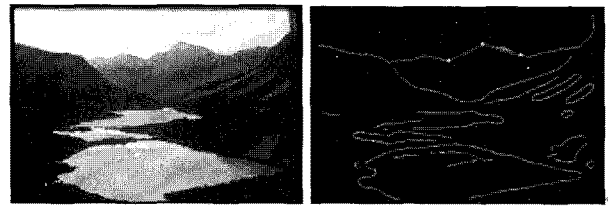


그림 2. 종자점 추출 예
Fig. 2. The example of seed selection.

첫 번째 점을 국부 최소점으로 정의한다. 최대점의 오른쪽과 왼쪽에서 두 개의 국부 최소점을 찾을 수 있다. 왼쪽 국부 최소점과 최대점, 그리고 오른쪽 국부 최소점이 이루는 각을 이용해 종자점의 타당성을 검토한다. 대부분의 영상에서 하늘 영역이 지평선의 상부에 위치한다는 사실을 이용하여 케니 영상을 위에서부터 아래로 탐색하여 특정한 각도를 만족하는 첫 번째 최대점이 종자점이다. 그림 2는 종자점 추출의 예를 보여준다. 세 개의 하얀 점이 각각 왼쪽 국부 최소점, 종자점, 오른쪽 국부 최소점을 나타낸다.

종자점 추출 절차는 고 스케일 케니 영상에서 실시된다. 고 스케일 케니 영상은 높은 그래디언트 값을 갖는 강한 에지 성분만을 가진다. 따라서 두터운 구름과 같은 강한 노이즈가 하늘 영역에 존재하는 경우를 제외하면 노이즈의 영향 없이 종자점을 추출할 수 있다. 만약 저 스케일 케니 영상을 종자점 추출에 사용한다면 노이즈 때문에 원하는 종자점을 얻지 못할 확률이 높다. 그

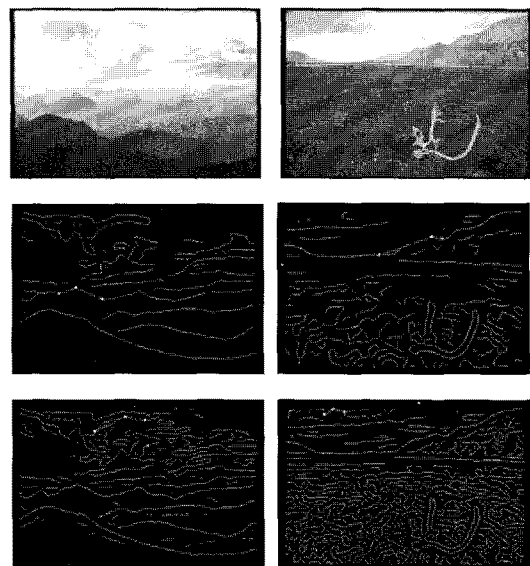


그림 3. 고 스케일 케니 영상과 저 스케일 케니 영상을 사용한 종자점 추출 결과
Fig. 3. Seed selection using High scale canny edge image and Low scale canny edge image.

림 3에서 이러한 상황을 보여준다. 첫 번째 줄은 실험 영상이고 두 번째 줄은 고 스케일 케니 영상을 통해, 세 번째 줄은 저 스케일 케니 영상을 통해 종자점을 추출한 결과를 보여준다.

고 스케일 케니 영상으로도 해결되지 않는 노이즈의 영향은 간단한 검증 알고리즘을 통해 제거할 수 있다. 우선 찾아진 종자점을 이용해 지평선을 탐색한다. 만약 추출된 지평선이 특정 임계값보다 짧다면 찾아진 지평선은 노이즈일 확률이 높으므로 잘못된 종자점이라고 판단하고 종자점 추출 과정을 계속해서 진행해 나간다. 이러한 검증 알고리즘을 통해 노이즈 속에서도 원하는 종자점을 찾아낼 수 있다.

2. 지평선 검출

종자점 추출 단계에서 추출된 종자점으로부터 전체 지평선을 검출한다. 지평선 검출은 종자점이 추출된 에지 세그먼트를 따라 진행된다. 먼저 종자점의 오른쪽 5개 이웃점(5-neighbor)을 탐색한다. 이 영역에 에지점이 존재하면 이 에지점을 지평선 후보점으로 설정한다. 만약 이 영역에 에지점이 존재하지 않는다면 추가적으로 9개의 이웃점(additional 9-neighbor)을 탐색한다. 그림 4는 지평선 검출 알고리즘을 설명하고 있다. 검정 점들이 지평선 후보점들이며 대쉬 박스는 지평선 후보점의 5개의 이웃점들과 추가적으로 찾은 9개의 이웃점들을 보여주고 있다. 만약 9개의 추가적인 이웃점들에서도 에지점을 검출하지 못한다면 이전 지평선 후보점 주변에 탐색 영역을 줘서 다시 에지점을 찾게 된다. 만약 에지점을 찾는다면 이 점을 지평선 후보점으로 설정하고 지평선 검출을 계속해 나가며 만약 이 영역에서도 에지점을 찾지 못한다면 마지막으로 찾아진 지평선 후보점

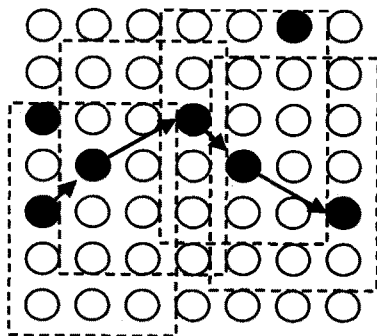


그림 4. 지평선 후보점으로부터 5개의 이웃점과 추가로 9개의 이웃점을 사용한 지평선 검출
Fig. 4. Skyline search using 5-neighbor and additional 9-neighbor of the skyline candidate points.



그림 5. 고 스케일 케니영상과 저 스케일 케니 영상을 이용한 지평선 검출 결과
Fig. 5. Skyline search using High scale canny edge image and Low scale canny edge image.

을 지평선의 마지막 점으로 생각하고 지평선 검출을 중단한다. 지평선 검출 과정은 종자점의 왼쪽 방향으로도 동일하게 시행된다.

지평선 검출은 저 스케일 케니 영상에서 시행된다. 저 스케일 케니 영상은 종자점 추출에는 적절하지 못하지만 지평선 검출에는 강하다. 왜냐하면 저 스케일 케니 영상은 그레디언트 값이 큰 강한 에지 성분 뿐만 아니라 약한 에지 성분까지 포함하기 때문이다. 그림 5는 지평선 검출 단계에 저 스케일 케니 영상이 적합함을 보여주고 있다. 그림의 두 번째 영상은 고 스케일 케니 영상을 이용한 지평선 검출 결과이며 세 번째 영상은 저 스케일 케니 영상을 이용한 지평선 검출 결과이다. 세 번째 영상의 지평선이 두 번째 영상의 지평선 보다 정교함을 확인할 수 있다.

IV. 실험 결과

다양한 환경에서 획득된 55개의 영상을 대상으로 실험이 진행되었으며 제안된 알고리즘을 통해 지평선의 일부가 추출된 5개의 영상을 제외한 50개의 영상에서 정확하게 지평선을 검출함을 확인할 수 있었다. 또한 배경이 복잡한 영상에서도 지평선을 검출할 수 있음을 확인할 수 있었다. 실험 결과는 Woo et al.의 그레디언트 기반 DP알고리즘^[10]과 비교되었다. 그림 6의 첫 번째 열은 테스트 영상이며 두 번째 열은 제안된 방법을 통해 추출된 종자점을 보여준다. 세 번째 열은 제안된 방법을 통해 검출된 지평선을 보여주며 네 번째 열은 Woo et al.의 기법을 사용한 지평선 검출 결과를 보여준다. Woo et al.의 기법은 원하는 지평선과 큰 그레디언트 값을 갖는 다른 라인을 혼동하는 것을 볼 수 있다. 또한 구름과 안개등의 노이즈의 영향으로 전체 지평선을 정확하게 찾지 못한다. 그러나 제안된 기법은 복잡한 환경에서도 정확하게 원하는 지평선을 검출하고 있음을 볼 수 있다.

Test image	Seed selection	Skyline search	Gradient based DP search

그림 6. 6개의 다양한 실험 영상에 대한 제안된 알고리즘을 통한 지평선 검출 결과와 기존 알고리즘을 통한 지평선 검출 결과

Fig. 6. Experimental results for six chosen test images and the comparison with the results of Woo et al.'s method.

V. 결 론

참 고 문 헌

본 논문에서는 산악 영상에 강인한 지평선 검출 알고리즘을 제안하였다. 주요한 아이디어는 다중 스케일 케니 영상과 새로운 지평선 검출 알고리즘이다. 지형 정보와 영상에서의 지평선의 위치, 새로운 검색 알고리즘을 이용하여 새로운 지평선 검출 기법을 제안하였다. 다중 스케일 케니 영상을 지평선 검출 과정의 적절한 단계에서 사용함으로써 각 영상의 장점만을 활용할 수 있었다. 제안된 알고리즘은 55개의 다양한 영상에 적용되었으며 약 90%의 영상에서 정확한 지평선을 검출할 수 있었다. 이러한 실험 결과는 제안된 알고리즘이 복잡한 환경에서도 강인하게 동작함을 보여준다.

[1] Ettinger, Scott M., Nechyba, Michael C., Ifju, Peter G. and Waszak, Martin, "Vision-guide flight stability and control for micro air vehicles," IROS '02, proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System, pp.2134-2140, 2002.

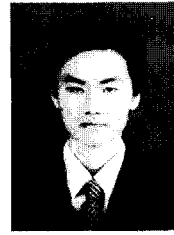
[2] Messi, Mark, et al., "Vision chip flight stability and control for micro air vehicles," ISCAS '03, proc. IEEE International Conference on Circuit System, pp.786-789, 2003.

[3] Truchetel, F., et al., "Attitude Measurement by Artificial Vision," Measurement Science and Technology, vol. 17, pp.101-110, 2006.

[4] Stewart, J.A., "Fast horizon computation at all

- points of a terrain with visibility and shading applications," IEEE Trans. Visual. Comput. Graphics, 4(1), pp.82-93, 1998.
- [5] Fang, M., Chiu, M.-Y., Liang, C.-C. and Singh, A., "Skyline for video-based virtual rail for vehicle navigation," Proc. IEEE International Sympos. On Intelligent Vehicles, pp.207-212, 1993.
- [6] Stein, F. and Medioni, G., "Map-based localization using the panoramic horizon," IEEE Trans. On Robotics and Automation, 11(6), pp. 892-896, 1995.
- [7] Cozman, F., Krotkov, E., "Automatic mountain detection and pose estimation for teleoperation of lunar rovers," Proc. Of the International Conference on Robotics and Automation, pp.2452-2457, 1997.
- [8] Talluri, R. and Aggarwal, J., "Position estimation for an autonomous mobile robot in an outdoor environment," IEEE Trans. Robotics and Automation, 8(5), pp.573-584, 1992.
- [9] Lie, W.N., Lin, T.C.-I., Lin, T.-C. and Hung, K.-S., "SA robust dynamic programming algorithm to extract skyline in images for navigation," Pattern Recognition Letters, 26, pp.221-230, 2005.
- [10] Woo, J.H., Kweon, I.S., "Robust horizon and peak extraction for vision-based navigation," MVA'06 Proc. IAPR workshop on Machine Vision Applications, 2005.
- [11] Canny, J., "A computational theory for edge detection," IEEE Trans. On Pattern Recognition and Machine Intelligence, vol.26, no.6, pp.679-698, 1986.
- [12] Trucco, E. and Verri, A., "Introductory techniques for 3-d computer vision," Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1998.
- [13] Forsyth, D. A. and Ponce, J., "Computer Vision A Modern Approach," Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2003.

 저 자 소 개



양 성 우(정회원)-교신저자
 2003년 연세대학교 전기전자
 공학과 학사 졸업.
 2005년 연세대학교 전기전자
 공학과 석사 졸업.
 2010년 국방과학연구소
 합동모의분석센터 연구원
 <주관심분야 : 컴퓨터 비전, 신호처리>