

# 유효한 소실점을 이용한 단안영상의 상대적 깊이지도 생성

한중원<sup>o</sup> 조진수 이일병  
 연세대학교 컴퓨터과학과  
 {zeross<sup>o</sup>, hamster, yblee}@csai.yonsei.ac.kr

## Relative Depth-Map Generation from Monocular Image using a Valid Vanishing Point

Jongwon Han<sup>o</sup>, Jinsu Jo, Yillbyoung Lee  
 Department of Computer Science, Yonsei University

### 요 약

사람은 실내나 인공구조물을 가진 실외 환경에서 깊이를 지각하는데 소실점이라는 강력한 깊이 지각 단서를 활용한다. 소실점은 관찰자로부터 가장 먼 거리의 지점에 대응된다. 인간은 단안영상이 가지는 기하학적 성분을 이용해서 소실점을 추정하고, 소실점의 위치와 관찰자의 시점을 기준으로 상대적 깊이 지각을 할 수 있다. 본 논문에서는 하나의 소실점을 가진 2차원 단안영상에서 유효한 소실점을 추정하고, 입력영상에 대한 소실점의 위치 관계를 이용한 상대적 깊이지도의 생성 방법을 제안한다.

### 1. 서 론

소실점(vanishing point)은 2차원 영상으로부터 3차원의 공간구조를 복원하는 문제를 풀기 위해 이용되는 깊이 단서들 중 하나이다. 건물, 도로, 철로 등의 인공 구조물이 포함된 영상은 직선을 비롯한 기하학적 요소들로 이루어지며, 평행하거나 직교하는 많은 직선을 포함하고 있다. 3차원 공간에서 평행한 직선은 2차원 평면의 투시영상에서 먼 거리일수록 간격이 좁아져서 마지막에 한 점에서 만나게 되며, 이 점을 소실점이라고 하고, 소실점에서 만나는 직선을 소실선(vanishing lines)이라고 한다. 건물, 도로와 같은 건축물이 포함된 실외영상이나 복도, 방 내부 등의 실내구조에 대한 영상에서 소실점은 매우 강력한 깊이 단서이다[1,2]. 소실점은 일반적으로 지평선상에 놓이기 때문에 영상의 하단면을 기준으로 가장 먼 지점을 나타내게 된다. 따라서 소실점을 이용한 상대적 깊이의 추정이 가능하다.

본 논문에서는 하나의 소실점을 가진 영상에서 유효한 소실점을 추정하고, 이를 이용하여 상대적 깊이 지도를 구하는 방법을 제안하고자 한다. 이때 깊이 지도는 2차원 평면상의 깊이 표현을 목적으로 한다. 2장에서는 제안하는 방법에 대한 시스템 구조도를 설명하고, 3장에서는 진보적인 확률 허프 변환(progressive probabilistic hough transform) 알고리즘을 이용한 직선검출에 대해 설명한다. 4장에서는 검출된 직선간의 교점군집으로부터 소실점을 추정하는 방법을 제안하고, 5장에서는 소실점을 이용하여 상대적인 깊이 지도를 표현하는 방법에 대해 설명한다. 6장에서는 결론 및 향후 연구 과제를 제시한다.

### 2. 시스템 구조도

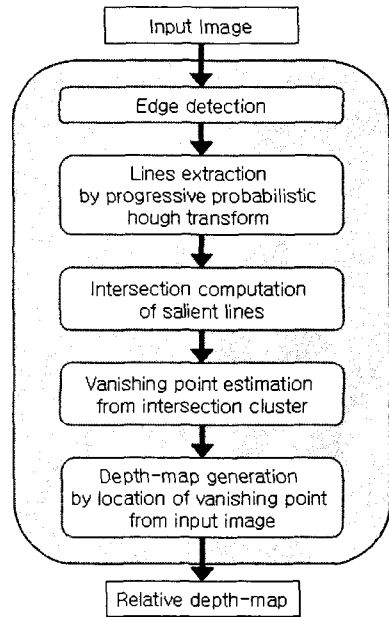


그림 1. 소실점을 이용한 실내영상의 상대적 깊이 지도 생성 시스템

그림 1은 유효한 소실점을 이용한 실내영상에서의 상대적 깊이 지도 생성 시스템을 나타낸다. 입력영상은 에지 검출단계를 통해 에지 데이터를 얻는다. 허프 변환을 이용한 직선성분 추출과정을 통해 에지 데이터로부터 소실점 추정에 기여할 수 있는 유효한 직선을 추출한다. 직선이 나타내는 직선의 방정식을 이용하여 직선간의 교점

을 구하고, 소실점이 존재하는 지역에 위치한 교정 군집의 중심점을 소실점의 위치로 추정한다. 소실점과 입력 영상간의 위치관계 정보를 이용해서 영상이 나타내는 적절한 상대적 깊이 지도를 생성한다.

### 3. 진보적인 확률 허프 변환(progressive probabilistic hough transform) 알고리즘을 이용한 직선검출

일반적으로 영상에서 직선을 검출하기 위해 가장 많이 사용되는 알고리즘은 허프 변환(hough transform)이다. 에지검출(edge detection)의 결과로 얻어진 에지 영상으로부터 의미있는 직선을 검출하는 데에 허프 변환이 사용된다. 허프 변환에서는 xy-평면상에서 점  $(x_i, y_i)$ 를 지나는 모든 직선으로 고려하며, 이 직선은

$$y_i = ax_i + b$$

와 같은 직선의 방정식으로 나타낼 수 있다. 이때 a는 직선의 기울기이고 b는 y절편이 된다. 그러나 직선이 수직으로 접근할 경우 a는 무한대로 가기 때문에 이를 피하기 위해

$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho$$

와 같은 정규표현식을 사용하여 나타낸다.

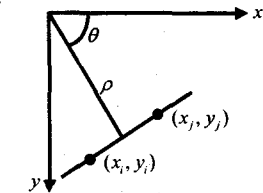


그림 2. 직선의 매개변수 표현

따라서 xy-평면상의 직선을  $\theta\rho$ -매개변수 공간상의 점으로 나타낼 수 있다.

허프변환에서는 이를 누적기(accumulator)의 셀에 나타내며, 누적기는  $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ ,  $-D \leq \rho \leq D$  (D는 입력 영상의 대각선 길이)의 범위를 가진다.

허프변환은 크게 두 단계로 나뉜다. 1단계는 incrementation stage로 에지픽셀  $(x_i, y_i)$ 에 대해  $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$  범위의 모든 각도에 대해

$$\rho = x_i \cos \theta + y_i \sin \theta$$

식에 따라  $\rho$  값을 구하며,  $(\theta, \rho)$ 의 누적픽셀을 증가시킨다. 2단계는 search stage로 모든 에지픽셀에 대해 위의 과정을 거치고, 결과 누적기의 셀 중에서 일정 문턱

치(threshold)이상의 피크를 선택한다. 선택된 각 피크의  $(\theta, \rho)$ 로부터

$$y_i = ax_i + b = \frac{-\cos \theta}{\sin \theta} x_i + \frac{\rho}{\sin \theta}$$

의 식에 따라 직선의 방정식을 구한다. 이렇게 해서 영상에서 직선을 검출할 수 있다.

그러나 일반적으로 이용되는 표준 허프 변환(standard hough transform, SHT)은 모든 에지픽셀에 대해 incrementation stage를 거쳐야 하기 때문에 많은 시간이 소요된다. 이를 감소시키기 위해 N. Kiryati, Y. Eldar and A.M. Bruckshtein가 제안한 방법이 확률 허프 변환(probabilistic hough transform, PHT)[4]이다. PHT에서는 incrementation stage에서 전체 에지픽셀의 일정 비율 이내로 임의의 에지픽셀을 선택하여 누적과정을 수행한다. 이는 원 영상의 sub-sampled image에 대한 SHT와 같다.

PHT은 선택된 임의의 에지픽셀의 비율에 따라 허프 변환의 계산량을 감소시킬 수 있으며, 불필요한 에지가 검출되는 확률을 줄일 수 있어서 보다 정확한 직선을 검출하는데 기여할 수 있다.

진보적인 확률 허프 변환(Progressive probabilistic hough transform, PPHT)[5]은 C. Galambosi, J. Matas and J. Kittler가 제안한 알고리즘으로, 정확한 직선 검출을 위해 PHT 과정 내에 직선성문의 검출과정을 포함한 방법이다. 알고리즘은 다음과 같다.

- 1) 에지픽셀 리스트에서 임의의 픽셀을 선택한다. 더 이상 선택할 픽셀이 없으면 종료한다.
- 2) 일반적인 허프변환 알고리즘에 따라 누적기를 업데이트한다.
- 3) 에지픽셀 리스트에서 선택된 픽셀을 제거한다.
- 4) 누적기에서 가장 높은 피크를 검색하고, 이 피크가 정해진 문턱치 이상인지 확인한다. 만족하지 못하면 1단계로 돌아간다.
- 5) 4단계에서 구한 피크로부터 직선식을 구하고, 직선식이 지나가는 회랑에 포함되는 에지픽셀들 중에서 연속되거나 정해진 문턱치 이내의 간극으로 연결된 에지픽셀들로 구성된, 가장 긴 직선 세그먼트를 찾는다.
- 6) 5단계에서 구한 직선 세그먼트에 해당되는 에지픽셀을 에지픽셀 리스트에서 제거한다.
- 7) 직선을 구한 피크는 누적기에서 0으로 초기화한다.
- 8) 6단계에서 구한 직선 세그먼트가 지정된 최소길이 이상이라면 직선 리스트에 추가한다.
- 9) 1단계로 돌아간다.

이를 통해 가장 현저하게 두드러진 직선이 먼저 검출되도록 한다. 본 논문에서는 직선의 검출을 위해 PPHT를 사용하였다.

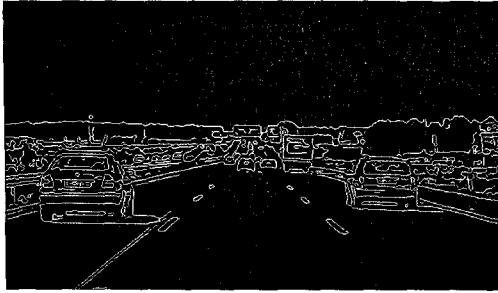


그림3. Canny edge detector에 의해 검출된 에지

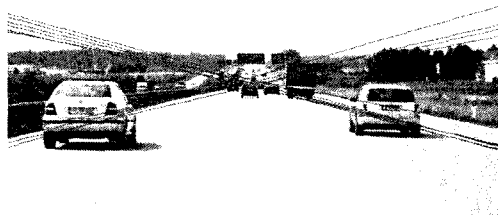


그림4. PPHT에 의해 추출된 직선

4. 검출된 직선간의 교점군집으로부터 소실점 추정

직선을 이용한 소실점 검출로 가우시안 스피어 (Gaussian sphere)를 이용한 방법[1, 3]이 있다. 가우시안 스피어는 누적셀로 분할된 구로 나타난다. 2차원 평면상의 직선에 대응되는 구상의 대원의 누적으로부터 가장 높은 피크셀로부터 소실점을 결정한다. 기존의 누적기에 의한 소실점 결정 방법이 영상 밖에 소실점이 존재하는 경우 소실점을 구할 수 없었던데 비해 가우시안 스피어에 의한 방법은 무한대로 나가는 소실점을 구할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

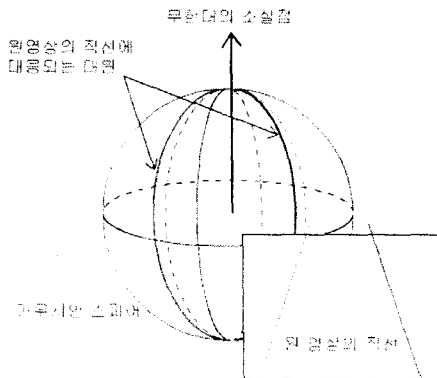


그림5. 가우시안 스피어

그러나 기존의 누적셀에 의한 방법과 마찬가지로 구상의 셀이 커질수록 정확성이 떨어지고, 셀이 작아지면 하나의 교점군집의 분산 정도가 커지는 경우 서로 다른 소실점으로 결정될 가능성이 있다는 단점이 있다.

본 논문에서는 직선간의 교점연산을 통해 교점군집을 구하고, 교점군집의 중심점을 구하는 과정을 통해 소실점을 결정하였다. 이를 통해 영상 밖에 존재하는 소실점을 구할 수 있고, 누적셀 방법이 가지는 문제점을 피할 수 있다.

앞 단계에서 구한 직선으로부터 직선의 방정식을 구하고, 서로 교차하는 두 직선을

$$y = a_1x + b_1 \quad \text{and} \quad y = a_2x + b_2$$

라고 할때 교점 (x, y)는

$$\begin{bmatrix} -a_1 & 1 \\ -a_2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \left( \begin{bmatrix} -a_1 & 1 \\ -a_2 & 1 \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}$$

로 구할 수 있다. 이때 두 직선의 기울기가 같은 평행한 직선은 교점계산을 생략한다. 허프변환의 결과로 추출되는 다수의 직선에 의해 구해지는 교점은 소실점이 위치하는 지역에 군집으로 형성되어 나타난다. 이는 원영상이 가지는 선명도의 한계와 함께 에지검출 시 발생하는, 소실점과 무관한 짧은 에지 등 애러요소로 인해 직선이 정확하게 소실점으로 수렴하기보다 소실점이 위치하는 방향으로 향하는 방향성을 가지기 때문이다. 따라서 어느 한 교점을 소실점으로 결정하기보다 다수의 교점이 밀집되어있는 지역의 중심을 소실점으로 결정하는 것이 합리적이다.

직선이 가지는 허프변환 누적기에서의 피크값은 직선의 길이에 대응되기 때문에 길이가 긴, 강한 직선과 관련된 교점의 비중을 높이기 위해 직선의 피크값을 교점에 가중치로 부여한다. 또한 위치가 같은 교점이 중첩된 정도에 비례하여 가중치를 증가시킨다. 그 결과 가중치가 가장 높은 교점을 소실점의 후보로 선정한다.



그림6. 직선간의 교점군집으로부터 추정된 소실점

후보 소실점을 시작점으로 하여 문턱치 이내의 거리에 위치하는 교점의 집합을 구한다. 새로 결정된 집합의 외곽경계를 기준으로 다시 문턱치 이내의 거리에 위치한

교점군집을 구하여 병합, 집합의 경계를 확장한다. 더 이상 병합할 교점이 없으면 종료하고 집합의 중심점을 소실점으로 결정한다.

5. 소실점의 위치관계를 이용한 상대적 깊이지도 생성

소실점은 직선의 연장선이 만나는 지점이기 때문에 영상이 촬영된 카메라의 위치로부터 2차원 방향으로 가장 먼 지점을 나타낸다. 이와 반대로 영상의 가장자리에 위치한 지점은 가장 가까운 거리를 나타낸다. 따라서 소실점으로부터 가장자리까지의 영상 내에서의 위치로 영상 내의 상대적 깊이를 표현할 수 있다. 본 논문에서는 2차원 평면상에서의 상대적 깊이지도 구현하고자 하였다 때문에 3차원 상에서 윗방향(하늘방향)에 대한 깊이표현은 고려하지 않는다.

소실점이 영상 내에 나타나는 경우 소실점을 기준으로 아랫방향과 좌우방향으로 단계적인 깊이를 표현한다. 그러나 소실점이 영상의 외부에 위치하는 경우, 예를 들면 영상의 좌측에 위치하는 경우에는 아랫방향과 함께 왼쪽 방향은 배제하고 오른쪽 방향으로의 깊이표현만이 필요하다. 이와 같이 소실점의 영상 내에서의 위치관계에 따라 상대적 깊이를 표현하는 방식이 달라진다. 이에 대해 S. Battiato , S. Curti , M. La Cascia , M. Tortora , E. Scordato는 소실점의 위치관계로부터 깊이지도를 표현하는 방법을 제안하였다.[6]

(Xvp, Yvp)를 소실점의 좌표라고 하고, H와 W를 각각 영상의 높이와 폭이라고 할 때 영상과 소실점간의 위치관계와 대응되는 소실점의 위치범위는 다음과 같다.

위치 관계	소실점이 위치하는 범위
Left	$Xvp \leq 0$ $(H/W) * Xvp < Yvp < -(H/W) * Xvp + H$
Right	$Xvp \geq W - 1$ $-(H/W) * Xvp + H - 1 < Yvp < (H/W) * Xvp$
Up	$Yvp \leq 0$ $(W/H) * Yvp \leq Xvp \leq (W/H) * (H - Yvp)$
Down	$Yvp \geq H - 1$ $(W/H) * (H - 1 - Yvp) \leq Xvp \leq (W/H) * Yvp$
Inside	$0 < Xvp < W$ $0 < Yvp < H$

표1. 영상과 소실점간의 위치관계와 대응되는 소실점의 위치범위

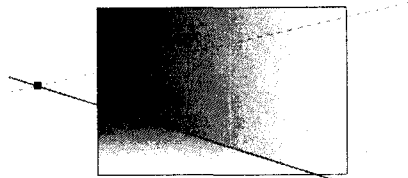


그림7. 소실점이 영상의 왼쪽에 위치한 경우

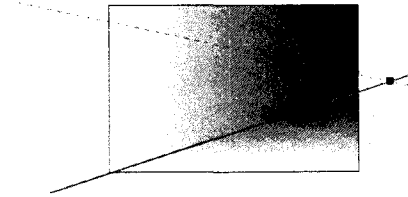


그림8. 소실점이 영상의 오른쪽에 위치한 경우

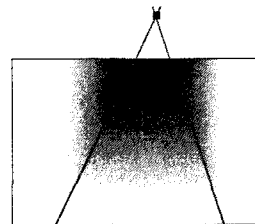


그림9. 소실점이 영상의 위쪽에 위치한 경우

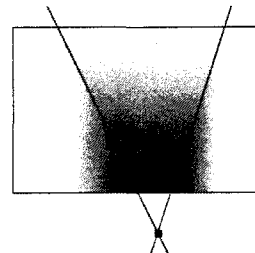


그림10. 소실점이 영상의 아래쪽에 위치한 경우

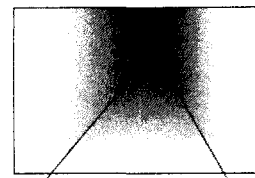


그림11. 소실점이 영상의 안쪽에 위치한 경우

이때 기준이 되는 소실선은 소실점과 가장 근접한 직선으로 선택하며 수평방향의 깊이레벨은 소실선에서 만나는 지점의 수직방향의 깊이레벨로 나타내게 된다. 이에 따라 다음과 같이 깊이지도도를 표현할 수 있다.

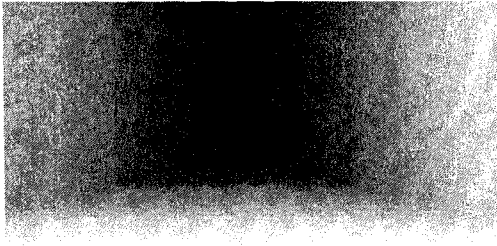


그림12. 그림5의 소실점 추정 결과에 따라 생성된 상대적 깊이지도

## 6. 결론 및 향후연구

실험결과 인간의 시각을 통해 원 영상으로부터 얻을 수 있는 깊이지각 정보를 소실점을 이용하여 생성한 상대적 깊이지도로 나타낼 수 있음을 확인할 수 있었다.

직선의 검출을 위한 방법으로 사용된 PPHT은 PHT이 가진 계산량 감소를 통한 속도 향상의 장점에 직선 세그먼트를 추출하는 프로세스를 포함시켜서 보다 정확한 직선 정보를 얻을 수 있다는 장점이 있었다. 그러나 임의의 픽셀을 선택하는 매 단계마다 4단계의 최대 피크를 탐색하는 과정의 계산량이 적지 않았고, 직선희랑 내에서 직선 세그먼트를 찾는 프로세스 또한 계산량을 가중시켰다. 따라서 정확한 직선 성분을 검출하는 장점외에 계산량의 절감이라는 측면에서 큰 효과를 기대하기는 어려웠다.

검출된 직선간의 교점집합으로부터 소실점을 추정하는 방법은 허프변환의 결과로 검출된 직선이 에지영상에서의 에지의 방향과 일치되지 않는 경우와 같은 오류의 영향을 최소화하기 위한 것이다. 원 영상의 선명도가 떨어지거나 그림자 및 텍스처 등의 요소가 포함되는 경우, 에지검출과정에서 직선 성분이 뚜렷한 에지를 얻기 어렵기 때문에[3] 두드러지는 몇 개의 직선이 소실점에 수렴함을 보장하지 못한다. 따라서 다수의 직선을 추출하고, 이 직선들이 수렴하는 소실점의 방향성을 획득하는 작업이 필요했다. 이를 위해 직선의 연장선의 교점의 군집을 찾는 과정을 통해 소실점을 추정하였다.

소실점과 영상간의 위치관계를 이용한 깊이지도 표현 방법은 소실점의 위치가 유효한 경우 적합한 깊이지도를 구할 수 있었다. 단, 소실점에 가장 근접한 직선을 찾은 경우 깊이지도의 표현에 적합한 소실선을 찾는 방법의 보완이 필요하다. 즉, 실내영상의 경우와 같이 수직면과 수평면의 경계에 위치한 직선을 찾는 과정의 정확성을 높이는 과정이 필요하다.

추가적으로 실외영상에서 거의 무한대의 거리에 있는 하늘 영역은 상대적 거리를 표현하는 것이 유용하지 않기 때문에 하늘 영역을 제거하는 프로세스가 추가되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] Carsten Rother, "A New Approach for Vanishing Point Detection in Architectural Environments", IVC 2002, 20(9-10):647-656, 2002.
- [2] Jana Kosecká, Wei Zhang, "Efficient Computation of Vanishing Points", ICRA 2002: 223-228, 2002.
- [3] J.A. Shufelt, "Performance Evaluation and Analysis of Vanishing Point Detection Techniques", Proc. ARPA Image Understanding Workshop, pp. 1,113-1,132, Feb. 1996.
- [4] N. Kiryati, Y. Eldar, A. M. Bruckstein, "A Probabilistic Hough Transform", Pattern Recognition, v.24 n.4, p.303-316, 1991.
- [5] J. Matas, C. Galambos, J. Kittler, "Progressive Probabilistic Hough Transform for Line Detection", Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 1999.
- [6] S. Battiato, S. Curti, M. La Cascia, E. Scordato, M. Tortora, "Depth-Map Generation by Image Classification", In Proceedings of SPIE Electronic Imaging 2004, Three-Dimensional Image Capture and Applications VI, Vol. 5302-13, San Jose, California, USA, January 2004.