3차원 영상의 자동 소실점 검출을 위한 분할 영상 좌표계

이 정 화, 김 종 화, 서 경 석, 최 흥 문
경북대학교 전자공학과
전화 : 053-940-8613 / 핸드폰 : 016-283-6379

Split Image Coordinate for Automatic Vanishing Point Detection in 3D images

Abstract

본 논문에서는 분할 영상 좌표계 (split image coordinate: SIC)를 제안하여 3차원 영상의 주요 특징 중의 하나인 유, 무한 소실점을 그 위치의 무한성이나 카메라의 보정과 관계없이 정확하게 자동 추출하였다. 제안한 방법에서는 가우시안 구 (Gaussian sphere) 기반의 기존 방법들과는 달리 영상 공간을 누적 공간으로 활용함으로써 카메라 보정이나 영상의 사전정보가 없어도 원 영상의 정보 손실 없이 소실점을 추출할 수 있고, 영상을 무한대까지 확장한 후 분할하여 재정의함으로써 유, 무한 소실점을 모두 추출할 수 있도록 하였다. 정확한 소실점의 검출을 위하여 직선 검출 과정에서는 방향성 마스크 (mask)를 사용하였으며, 직선들의 군집화 (clustering) 과정에서는 기울기 히스토그램 방법과 수평/수직 군집화 방법을 적응적으로 적용하였다. 제안한 방법을 합성 영상 및 건축물 (man-made environment) 영상에 적용시켜 유, 무한 소실점들을 효과적이고 정확하게 찾을 수 있음을 확인하였다.

I. 서론

3차원 공간에서는 평행한 직선들이 영상에서는 원근 효과의 영향으로 한 점에서 만나게 되어 생기는 소실점은 3차원적 불변 특징 중의 하나로서 깊이 (depth), 객체의 크기 (object dimension) 등과 더불어 영상의 3차원 정보를 구성하는 필수적인 요소이다. 특히 소실점의 검출은 건물 등의 구조물 (architectural object)의 해석과 설명을 상당히 간략화시킬 수 있으므로 객체의 3차원 복원 (3D reconstruction), 자세 추정 (pose estimation), 자동 항법 장치 (car navigation system: CNS), 카메라 보정 (camera calibration) 등 영상처리 및 로봇 비전 분야에 널리 적용되고 있다.

일반적으로 인공적인 환경에 다수 존재하는 수평 및 수직선들은 소실점 검출을 위한 주요 특징으로서 이들 직선의 교점을 누적함으로써 소실점을 검출하는 방법들이 많이 연구되고 있다 [1-3]. 소실점 검출 방법은 크게 가우시안 구 기반법과 영상 기반법으로 나눌 수 있다. 가우시안 구 기반법에서는 카메라의 광학 중심을 그 중심으로 하는 구에 영상의 직선 성분을 매핑 (mapping)시켜 구 상에서 가장 많이 누적되는 점을 소실점으로 검출하는 방법으로 무한 영상 공간을 제한된 공간으로 변환함으로써 계산상의 복잡도를 줄이고 유, 무한 소실점을 같은 방식으로 다룰 수 있다. 그러나 이 방법은 카메라 보정이 된 영상에만 적용 가능하고 공간 변환으로 인하여 실공간에서의 직선이나 점들 간의 거리 등의 중요 정보를 잃어버리는 단점이 있다 [4-7]. 반면 별도의 공간 변환 없이 영상 자체를 기반으로 하여 소실점을 검출하는 방법은 카메라 보정과 같은 제약이 없어서 오히려 카메라 보정에 응용될 수 있고, 공간 변환을 하지 않기 때문에 정보 손실을 막을 수는 있지만, 무한대 소실점의 검출이 어렵고 무한 영상 공간의 사용으로 계산 복잡도가 높은 단점이 있다 [8-9].

Cantoni 등 [8]은 극 매개변수 공간 (polar parameter space)을 누적 공간으로 사용하는 방법과 영상 공간을 사용하는 방법의 두 가지를 제안하여 정확하게 소실점을 찾아냈지만 무한 위치의 소실점에 대해서는 다루지 않고 있다. 또한 Rother [9]는 영상공간을 누적 공간으

로 사용하여 원 영상의 정보 손실 없이 소실점을 효과적으로 찾았으나 카메라가 부분적으로라도 보정되어 있어야 한다는 제약 조건이 따른다. 따라서 원 영상의 정보 손실도 없고 카메라 보정도 없이 유, 무한 소실점들을 효과적으로 추출하는 방법에 관한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 영상 기반법에서 영상을 확장하고 수평, 수직 각 방향으로의 무한영역을 분할하여 재정의한 분할 영상 좌표계를 제안하여 카메라 보정이라는 제약과 공간변환 과정으로 인한 정보손실을 막으면서 무한 위치의 소실점 검출이 가능하고 무한 영상 공간으로 인한 계산 복잡도도 낮춘 유, 무한 소실점 검출 방법을 제안하였다. 정확한 소실점의 검출에 중요한 영향을 미치는 직선 검출 과정에서는 방향성 마스크 (directional mask)를 사용하여 정확한 직선을 얻도록 하였고, 거짓 소실점의 검출을 막기 위해 직선의 교점을 누적하기 전에 직선을 먼저 군집화 하였다. 군집화 과정에서는 영상의 수평, 수직 성분의 비율을 이용하여 기울기 히스토그램 방법과 수평/수직 군집화 방법을 적응적으로 적용함으로써 소실점의 유, 무한 위치에 관계없이 직선들을 군집화 할 수 있도록 하였다. 제안한 분할 영상좌표계에 여러 가지 실험 영상 내의 직선들을 매핑시켜 유, 무한 소실점을 효과적으로 추출할 수 있음을 실험을 통해 확인하였다.

II. 분할 영상 좌표계 기반 소실점 검출

제안한 소실점 추출 방식은 그림 1과 같다. 먼저 입력 영상으로부터 직선을 검출한 후 x, y, z의 각 방향으로 군집화하였다. 각 군집별 직선들의 교차점을 분할 영상 좌표계에 누적하고 가장 많이 누적된 점을 소실점으로 검출하였다.

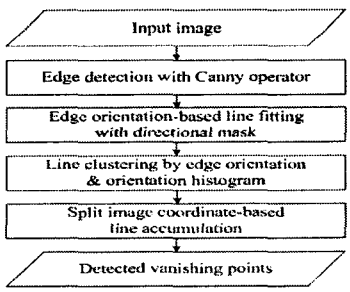

Fig. 1. The proposed split image coordinate-based vanishing point detection.

2.1 분할 영상 좌표계

본 논문에서는 Hough 변환의 매개변수 공간 (parameter space)에서의 무한성 (unboundedness)을 극복하기 위한 공간 분할 및 재구성 방법 [10]을 확장된 영상 공간에 수정 적용하여 좌표계를 재정의함으로써 분할 영상 좌표계를 제안하고 이를 소실점 검출에 이용하였다. 분할 영상 좌표계에서는 그림 2와 같이 영상 좌표계를 확장한 후 subspace1, subspace2, subspace3의 세 영역으로 나눔으로써 영상 좌표계의 무한성을 보완하고 영상 밖으로 벗어나는 점이나 무한 위치의 점을 누적시킬 수 있도록 하였다. 표 1에서 보는 바와 같이 subspace1은 영상의 내부 영역으로 영상의 실 좌표계를 그대로 사용하고, subspace2는 영상의 x축으로 확장된 영역으로 정규화된 역 x 좌표계 (normalized invert x-coordinate)를 사용하며, subspace3는 영상의 y축으로 확장된 영역으로 정규화된 역 y 좌표계 (normalized invert y-coordinate)를 사용함으로써 x축 및 y축 방향으로 무한대에 위치하는 교차점들을 분할 영상 좌표계 내부에 누적시킬 수 있다.

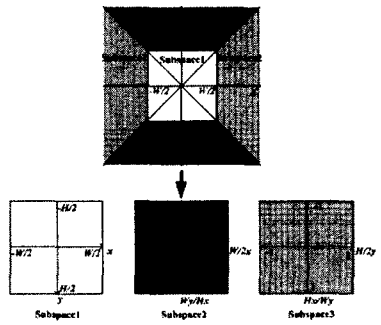

그림 2. Split Image Coordinate.

Table 1. Subspaces of split image coordinate

	Range	Coordinate
Subspace1	$\|x\| \le W/2$, $\|y\| \le H/2$	x and y
Subspace2	$\|x\| > W/2$, $\|y\| \le \|(H/W)*x\|$	$W/2x$ and Wy/Hx
Subspace3	$\|y\| > H/2$, $\|y\| > \|(H/W)*x\|$	$H/2y$ and Hx/Wy

where, W = width of image and H = height of image

2.2 직선 검출 및 군집화 단계

정확한 직선을 검출하기 위해서 먼저 입력영상에 Canny 에지 연산자를 사용하여 에지를 얻은 후 비슷한 방향을 가지는 에지 화소들을 연결하여 직선의 후보들을 얻는다. 이 때 정확한 직선 검출을 위해 에지 방향 쪽으로 방향성 마스크를 사용하였다. 이 직선 후보들 중 영상의 크기에 따라 정한 일정 길이 이상의 직선들

을 소실점 검출에 이용될 직선으로 검출하고 그 직선으로부터 원점으로까지의 거리 l과 x축과 이루는 각도 θ를 이용해

$$l = x\cos\theta + y\sin\theta \quad (1)$$

와 같이 정의하였다.

검출된 직선들 간의 교점을 누적하기 전에 소실점의 오검출과 계산 복잡도를 줄이기 위하여 동일 소실 방향의 직선들을 군집화하였다. 이 과정에서는 직선의 기울기 정보를 이용하여 기울기 히스토그램을 이용하는 방식과 영상의 수평과 수직에 가까운 성분을 군집화하는 두 가지 방식을 적응적으로 적용하였다. 기울기 히스토그램 방법은 영상에서 검출된 직선의 기울기 히스토그램을 구하여 첨두치를 기준으로 직선들을 군집화하는 방법으로 영상에서 직선 성분들은 주로 소실방향에서 존재한다는 점을 이용한 방법이다. 그러나 이 방법은 직선의 중심 근처에 소실점이 존재하는 한 개의 유한 소실점을 가지는 영상에는 적용이 불가능하다. 반면 수평/수직 군집화 방법은 기울기 히스토그램 방법의 단점은 보완할 수 있으나 영상의 두 방향 이상이 원근효과를 받은 경우 즉, 두 개 이상의 유한 소실점을 가지는 영상에는 적용하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 인공적인 환경의 경우 수평, 수직 성분이 비슷한 비율을 가지는데 이는 원근 효과에 의해 수평이나 수직의 성분을 잃게 된다는 점에 착안하여 두 방법을 적응적으로 이용하였다. 영상에서 검출된 직선들의 기울기의 수평, 수직 성분 비율을 이용하여 각 영상의 유한 소실점의 개수 여부를 알아낸 후 한 개의 유한 소실점을 가지는 영상인 경우는 수평/수직 군집화 방법을 적용하고 두개 이상의 유한 소실점을 가지는 영상은 기울기 히스토그램 방법을 적용하였다.

2.3 누적 단계

군집화된 직선들로부터 각 군집별 직선들 간의 교점을 구한다. 교점 (x_c, y_c)은

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta}\begin{bmatrix} \sin\theta_j & -\sin\theta_i \\ -\cos\theta_j & \cos\theta_i \end{bmatrix}\begin{bmatrix} l_i \\ l_j \end{bmatrix} \quad (2)$$

와 같이 구하였다. 여기서 Δ는

$$\Delta = \begin{vmatrix} \cos\theta_i & \sin\theta_i \\ \cos\theta_j & \sin\theta_j \end{vmatrix} \neq 0 \quad (3)$$

와 같이 계산된다.

구해진 교점을 제안한 분할 영상 좌표계에 누적하여 소실점의 후보를 만든다. 제안한 분할 영상 좌표계는 영상의 무한성을 보완한 좌표계이므로 영상 밖에서 생기는 교점이나 무한 위치의 소실점까지도 좌표계 내에 누적시킬 수 있다.

2.4 소실점 검출 단계

직선들의 교점을 누적한 후 가장 많이 누적된 점을 소실점으로 검출한다. 이때 거짓 소실점을 구별해 내기 위해 2가지 사항을 고려하였다. 첫째, 소실점은 3차원 공간에서 무한대에 존재하는 점이므로 직선 간의 교점이 영상 내의 검출된 선분 상에 위치할 수 없다는 것이다. 따라서 직선들 간의 교점 중 영상 내의 검출된 선분 상에 있는 점들은 거짓 소실점으로 판단하고 제거하였다. 둘째, 무한대 소실점은 수평, 수직선들에 의해 발생한다는 것이다. 수평, 수직 성분의 직선들과의 교점을 제거함으로써 거짓 소실점이 검출되는 것을 막을 수 있다. 수평, 수직 성분의 직선들은

$$\frac{1}{a} < |\tan\theta| < b \quad (4)$$

로 판단하였다. 여기서 a와 b는 1보다 큰 수로 필요에 따라 조정할 수 있다.

소실점의 위치를 정확하게 찾기 위해 누적된 값에 평균 필터를 거쳐 최대치를 소실점으로 검출하였다.

III. 실험 결과 및 고찰

제안한 분할 영상 좌표계를 적용하여 건물 등과 같은 인공적 환경의 실영상에 대해서 소실점 검출을 실험하였다. 영상의 카메라에 대한 정보는 사용하지 않았으며 소실점의 참값 (true vanishing point: TVP)은 수동으로 직선을 찾아 직접 계산한 값이다. 그림 3에서 직선 검출 및 군집화와 소실점 검출의 결과를 확인할 수 있다. 직선의 오검출 여부를 쉽게 확인할 수 있도록 입력 영상과 검출된 직선을 함께 표현하였고 각 군집별로 다른 색으로 나타내어 군집화 결과를 확인할 수 있도록 하였다. 여기서 얻은 직선의 교점을 제안한 분할 영상 좌표계에 누적한 결과는 그림 4와 같다. 그림에서 직선의 검출과 군집화가 정확하게 이루어짐을 확인할 수 있고, 검출된 소실점 (detected vanishing point: DVP)의 정확한 위치는 표 2와 표 3에 나타낸 바와 같이 평균 1.78% 이내의 오차율로 정확하게 소실점을 검출함을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 인공적인 환경의 영상에서 소실점을 위치의 유한성과 카메라 보정에 관계 없이도 정확하게 자동 추출할 수 있도록 분할 영상 좌표계를 제안하여 유, 무한 소실점을 추출하였다. 제안한 방법에서는 영상 공간을 공간 변환 없이 활용함으로써 원 영상의 정보손

실이나 카메라 보정 등 영상의 사전정보 없이 소실점을 추출할 수 있고, 영상을 분할하여 재정의함으로써 영상 공간의 무한성에 기인하는 문제점들을 해결할 수 있다. 실험을 통해 유, 무한 소실점을 모두 원래 정보의 손실 없이 효과적이고도 정확하게 추출할 수 있음을 확인하였고, 이는 영상 기반 3차원 영상 재구성 (image based modeling)이나 자세 추정 등에 유용하게 이용될 수 있으며 카메라 보정의 제한이 없으므로 카메라 보정에도 응용될 수 있다.

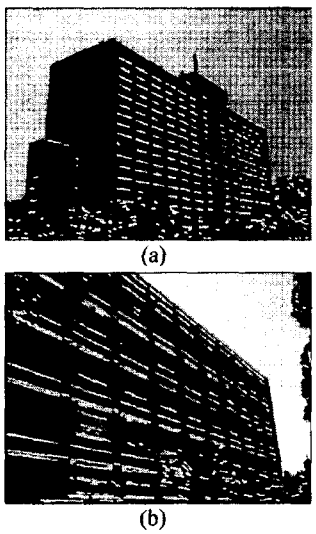

Fig. 3. Results of the line detection and clustering for the images with (a) 3 vanishing points and (b) 2 vanishing points.

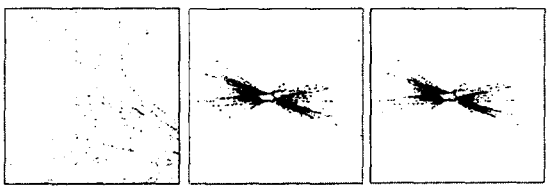

Fig. 4. Results of accumulation in split image coordinate for the image of Fig. 3(a); (a) subspace1, (b) subspace2, and (c) subspace3.

Table 2. TVP and VPD for the image of Fig. 3(a)

	$\mathbf{v}_x$ (x,y)	$\mathbf{v}_y$ (x,y)	$\mathbf{v}_z$ (x,y)
TVP	(1711, 881)	(478, -4118)	(-1567, 876)
DVP	(1758, 893)	(468, -4050)	(-1517, 871)

Table 3. TVP and VPD for the image of Fig. 3(b)

	$\mathbf{v}_x$ (x,y)	$\mathbf{v}_y$ (x,y)	$\mathbf{v}_z$ (x,y)
TVP	(820, 451)	(168, -1930)	-
DVP	(820, 450)	(178, -1938)	-

References

[1] J. M. Coughlan, A. L. Yuille, "Manhattan World: Compass Direction from Single Image by Bayesian Inference," *ICCV'99*, Kerkyra, Greece, pp. 941-947, Sept. 1999.

[2] F. A. Heuvel, "Vanishing Point Detection for Architectural Photogrammetry," *Inter. Arch. of Photo. and Remote Sensing*, vol. 32, pp. 652-659, 1998.

[3] M. Straforini, C. Coelho, and M. Campani, "Extraction of Vanishing Points from Images of Indoor and Outdoor Scenes," *Image and Vision Computing*, vol. 11, pp. 91-99, 1993.

[4] S. T. Barnard, "Interpreting Perspective Images," *Artificial Intelligence*, vol. 21, pp.435-462 1983.

[5] L. Quan, R. Mohr, "Determining Perspective Structures Using Hierarchical Hough Transform," *Pattern Recog. Lett.*, vol. 9, pp. 279-286, 1989.

[6] E. Lutton, H. Maitre, and J. Lopez-Krahe, "Contribution to the Determination of Vanishing Points Using Hough Transform," *IEEE Trans. on PAMI*, vol. 16, pp. 430-438, April 1994.

[7] M. J. Magee, J. K. Aggarwal, "Determining Vanishing Points from Perspective Images," *Computer Vision & Graphics & Image Proc.*, vol. 26, pp. 256-267, 1984.

[8] V. Cantoni, L. Lombardi, M. Porta, and N. Sicard, "Vanishing Point Detection: Representation Analysis and New Approaches," *ICIAP'2001*, Palermo, Italy, pp. 90-94, Sept. 2001.

[9] C. Rother, "A new Approach to Vanishing Point Detection in Architectural Environments," *Image & Vision Computing*, vol. 20, pp. 647-655, 2002.

[10] T. Tuytelaars, L. V. Gool, M. Proesmans, and T. Moons, "The Cascaded Hough Transform as an Aid in Aerial Image Interpretation," *ICCV'98*, Bombay, India, pp. 67-72, Jan. 1998.