

프리즘 거울을 이용한 단안렌즈 스테레오비전

구 창 운 · 김충원

조선대학교 컴퓨터공학과

A Frism Mirror Based Stereo Vision : Geometry

Chiang-woon Koo · Choong-won Kim

Dept. of Computer Engineering, Chosun University

#375, Seoseok-dong, Dong-gu, Kwangju 501-759

kunicorn@shinbiro.com, archmul@chollian.net

요 약

적은 연산으로 정확한 정합점을 추출한다는 것은 고전적인 스테레오비전의 가장 큰 단점이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 효과적인 정합점 검출 알고리즘이 많이 연구되고 있으나, 뚜렷한 해결 방법은 없다. 따라서 본 논문에서는 위와 같은 문제점들을 해결 할 수 있는 거울을 이용한 스테레오 비전 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 보다 저렴한 가격으로 스테레오 시스템을 구축할 수 있으며, 한 대의 카메라만을 사용하기 때문에 칼리브레이션 과정을 간략화 할 수 있다. 거울에 반사된 오른쪽과 왼쪽 영상은 거울의 각도에 의해서 동일 이미지 평면의 좌우에 활상이 된다. 같은 이미지 평면에 활상된 두 영상의 epipolar line은 x축과 평행한 scan line을 갖는다. 따라서 본 논문에서 제안한 시스템은 정합점을 추출하기 위한 epipolar 검출 알고리즘이 필요하지 않고 한 대의 카메라만을 사용하기 때문에 칼리브레이션 과정을 간략화 할 수 있다. 또한 동일한 이미지 평면에 오른쪽 이미지와 왼쪽 이미지가 활상되기 때문에 두 영상의 명암도 차이를 보정하기 위한 정규화 작업도 필요하지 않다. 위와 같은 장점은 고전적인 스테레오 비전에서 발생하는 문제점들을 효과적으로 보완한다. 본 논문에서 제안된 시스템에 대한 프로토타입을 제작하여 실험하였으며, 그 결과를 제시하였다.

1. 서론

대부분의 실제 물체는 3차원 정보를 가지고 있으며, 그 물체는 인간의 눈을 통하여 2차원 정보로 투사되어 인간의 시각 기관에 나타나며 인간의 시각 기관은 2차원적인 두 영상에서 나타나는 상호 관계를 이용하여 2차원적인 요소에서 3차원적인 정보를 얻어서 depth에 관한 정보를 추출한다[1]. 따라서 물체 인식에 필요한 depth 정보에 대한 연구의 기본 과제는 어떻게 depth를 추출하며, 사람이 depth를 추론하는 과정과 같은 기능을 computer에게로 부여하는가 하는 것이다.

Depth 정보를 추출하는 대표적인 방법으로는 삼각법을 이용하여 두 대 이상의 camera를 이용하는 stereo vision, Beam 투영, Moire 측정법, Code 조명법, point 투영방법 등이 있다. 특히 두 대의 camera를 이용하는 스테레오 비전은 Moire방법이나, Code 조명법보다 정확한 3차원 데이터를 획득할 수 있으며 Laser를 이용한 방법보다는 빠르게 3차원 데이터를 획득할 수 있기 때문에 많이 연구 되고 있다. 하지만 고전적인 Stereo 방식을 이용하여 depth를 추출하는데 가장 큰 문제는 실제계의 한 점에 대한 왼쪽 영상과 오른쪽 영상

에 맺히는 점이 어느점인가를 찾아내는 것이다. 여기에는 두 개 카메라에 대한 서로 다른 초점거리, Zoom 레벨, 렌즈의 구조적인 차이점 등이 원인으로 작용하고 있다. 서로 다른 기하학적인 환경을 극복하기 위해 한 대의 카메라만을 이용하여 두 개의 영상을 획득하는 Single Lens Stereo가 많이 연구되고 있다.

한 개의 렌즈와 3개의 CCD 소자를 이용하여 깊이 정보를 추출하는 Multi-Focus Camer방법은 Shinsaku Hiura 와 Takashi Matsuyama에 의해 제안되었다. 한 대의 카메라 안에 dichroic prism 블록을 둠으로서 렌즈를 통하여 들어온 영상은 3개의 영상으로 분할이 되며 각각의 영상은 초점이 맞은 CCD 소자, +1mm 에 위치한 CCD소자, -1mm에 위치한 CCD소자에 맺히게 된다. 이렇게 획득된 3개의 영상으로부터 깊이 정보를 추출한다[1].

두 개의 평면거울을 이용하여 한 대의 카메라로 두 개의 영상을 획득하는 방법은 두 개의 거울을 카메라 앞에 둠으로서 두 개의 이미지를 획득하는 방법은 Nayar에 의해서 제안되었다. 두 개의 거울만을 사용하기 때문에 epipolar line이 동일 scan line 상에 존재하지 않

지만 한 대의 카메라만을 사용하기 때문에 실시간 적으로 3차원 정보를 추출할 수 있는 시스템이다[2].

하나의 회전거울과 고정된 두 개의 거울을 이용하여 스테레오 이미지를 획득하는 방법은 Teoh와 Zhang에 의하여 제안되었다[5]. 하나의 이미지를 얻기 위하여 거울을 회전시켜 영상을 획득하고 다른 하나의 고정된 거울을 향하여 회전 거울을 회전 시킴으로서 두 번째의 영상을 획득하는 이 방법은 두 개의 영상을 얻기 위해 두 번의 촬영이 필요하다.

Biprism을 이용한 Single lens 스테레오 비전은 프리즘을 카메라의 앞에 둠으로서 한 대의 카메라로 두 개의 영상을 획득하는 방법이다. 프리즘의 굴절 효과를 이용하여 두 개의 영상을 획득하여 깊이정보를 구한다[6]. 이 방법은 Gosthasby 와 Gruver에 의해 제안된 하나의 영상을 획득하고 획득된 영상을 마치 광축이 동일한 가상의 카메라로부터 획득된 영상처럼 변환하여 깊이정보를 획득하는 방법과 유사한 방법이 제시되었다.

본 논문에서는 거울의 광학적인 특성을 이용하여 한대의 CCD 카메라로 3차원 정보를 추출하는 시스템을 제안한다. 하나의 카메라로부터 두 개의 영상을 획득하는데, 하나의 촬상면에 두 개의 영상을 동시에 촬상시키는 방법을 제안하고 있다. 이렇게 획득한 영상에서 오른쪽 영상에 대응하는 왼쪽 영상의 정합점은 촬상면의 동일한 Scan Line에 존재하게 되며, Epipolar Line을 찾아야 하는 과정을 생략할 수 있다. 또한 좌우 영상의 명암도 차이점을 보정하기 위한 영상보정 절차가 불필요하다. 기존의 스테레오 시스템의 가장 큰 단점인 정합점 검색의 어려움과 Epipolar Line의 검색, 영상보정의 어려움을 효과적으로 해결한다.

2장에서는 거울을 이용한 단안비전 스테레오 시스템의 기하학적 구조와 이론을 설명할 것이며 3장에서는 2장에서 제안된 방법을 이용하여 스테레오 영상을 획득하고 이로부터 정합점을 구하는데, 좌측 이미지 상의 한 점과 동일한 scan line을 가지는 우측 이미지 상에서 정합점을 검색하는 실험 결과를 보였다. 정합점을 구하는 알고리즘으로는 가장 간단한 상관성에 의한 정합을 이용하였다.

2. 스테레오 영상의 획득

고전적인 스테레오 비전과 같이 두 개의 영상을 얻기 위하여 먼저 그림 1과 같이 4개의 거울을 수직으로 렌즈앞에 위치시키고 거울로부터 반사된 두 개의 영상을 하나의 이미지플렌에 촬상시킨다. 이렇게 촬상된 이미지는 한 대의 카메라로 두 개의 카메라로부터 이미지를 획득하는 것과 동일한 효과를 가져오며 영상보정의 과정

을 생략할 수 있다.

그림 1은 거울을 이용하여 stereo 영상이 형성되는 과정을 보여준다. 카메라 좌표계 (x, y, z)에는 xy평면과 일치하는 영상 평면이 있고 Z축을 따라서 광축(렌즈의 중심에 의해 결정이 된다.)이 있다. 따라서 영상 평면의 원점은 중심이고, 렌즈 중심은 좌표(0, 0, λ)이다. 3차원 상의 한 점 P(Xp, Yp, Zp)는 거울 M1, M2, M3, M4,로부터 반사되어 두 개의 점 m1 (x1, y1), 과 m2 (x2, y2)로 투사된다.

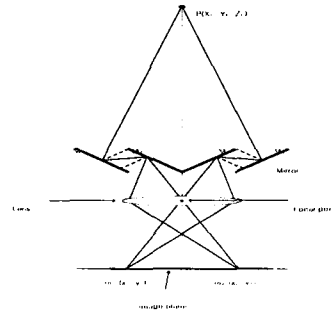


그림 1. 제안된 Single Lens Stereo System 구조

이미지 평면상에 투사된 점 m1과 m2는 3차원 상의 점 P(Xp, Yp, Zp)가 변환되어 생기는 가상의 점 P1(X1, Y1, Z1)과 P2(X2, Y2, Z2)가 렌즈의 중심 좌표를 통해 투사된 점의 이미지 좌표와 동일한 영상좌표를 가지게 된다. 이때 P를 P1으로 변환시키는 행렬을 V1이라 하고 P를 P2로 변환시키는 행렬을 V2라 하면 다음 식 (1)과 (2)를 구할 수 있다.

$$P1=V1P \tag{1}$$

$$P2=V2P \tag{2}$$

$$V_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\tan \theta_1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$V_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \tan \theta_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

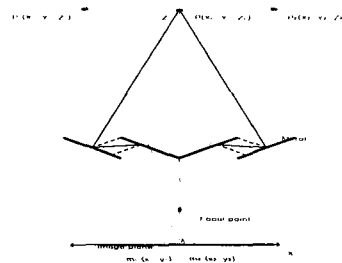


그림 2. 실제계좌표 P와 가상의 좌표 P1, P2와의 관계.

이때 식(1)과 식(2)로부터 얻어진 두 개의 가상 점 P1은 X축으로 $X_p - \tan \theta_1 Z_p$ 만큼 P2는 X축으로 $X_p + \tan \theta_2 Z_p$ 이동한 점에 불과하다는 것을 알 수 있다. 여기서 두 개의 가상점 사이의 거리(distance)를 D 라고 하면,

식 (1)과 (2)로부터,

$$\begin{aligned} X_1 &= X_p + \tan \theta_1 Z_p \\ X_2 &= X_p - \tan \theta_2 Z_p \\ D &= X_2 - X_1 \\ &= Z_p (\tan \theta_2 - \tan \theta_1) \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)으로부터 두 가상점 사이의 거리 D와 Z축의 좌표 Z_p 그리고 가상의 점이 활상된 이미지 좌표와 초점이 이루는 각 θ_1, θ_2 는 모두 비례 관계에 있다는 것을 알 수 있다. 두 개의 가상점 P1과 P2와 대응되는 이미지 좌표 m_1 과 m_2 의 거리차 d 는,

$$x_1 = \frac{X_1}{Z} \lambda \quad (4)$$

$$x_2 = \frac{X_2}{Z} \lambda \quad (5)$$

$$Z = Z_p + \lambda$$

$$d = x_2 - x_1 = \frac{Z_p}{Z_p + \lambda} (\tan \theta_2 - \tan \theta_1) \lambda \quad (6)$$

3. Equivalent Stereo

제안된 시스템으로부터 고전적인 스테레오 방식을 복원 하는것은 거울의 반사 특성과 거울들의 위치에 의해 복원 될 수 있다.

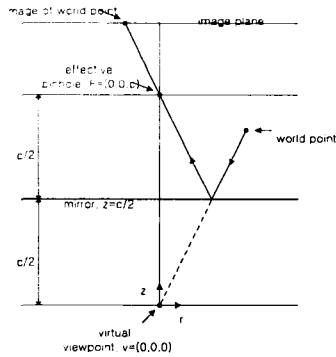


그림 3. 거울의 반사특성[3]

그림 3과 같이 실세계 좌표 계의 한 점 P가 거울의 반사로 인하여 카메라의 초점 f를 통과하여

이미지 평면상에 활상이 된다고 가정을 하자. 이때 거울이 없다면 실세계 좌표상의 한 점 P는 가상의 카메라 초점인 v를 통과하게 된다.

초점 F와 가상의 카메라 초점 v와의 관계는 거울에 대한 대칭행렬 A로 나타낼 수 있다. 이때 행렬 A는 거울에

$$v = Af \quad (7)$$

본 논문에서 제안된 시스템은 4개의 거울을 이용하고 있으며 거울들과 Z축이 이루는 각을 각각 $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$ 라고 하면 다음 그림과 같은 시스템을 구성할 수 있다.

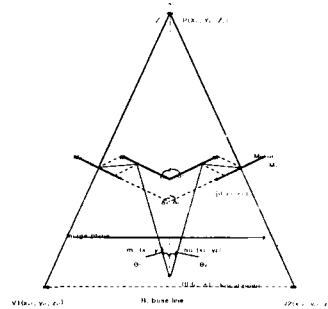


그림 4. 초점 F와 가상 초점 V와의 관계.

초점 F가 가상의 초점 V2로 변환되는 행렬은 A는 우선 M1에 대한 F의 대칭점을 구하고 다시 M2에 대한 대칭점을 구한다.

식 (7)로부터,

$$V_1' = A_{M3}F, \quad V_2' = A_{M1}F$$

$$V_1 = A'F = A_{M4}V_2' = A_{M3}A_{M4}F, \quad (8)$$

$$V_2 = AF = A_{M2}V_2' = A_{M1}A_{M2}F \quad (9)$$

이때 행렬A에 포함되는 연산은 거울을 원점을 지나는 평면으로 이동시키는 행렬 M, X축으로 δ 각 만큼 회전시키는 행렬 R, Z축에 대한 대칭행렬 T, 다시 $-\delta$ 만큼 회전시키는 R', 마지막으로 원래의 위치로 거울을 이동시키는 행렬 M'로 구성이 된다. 따라서 행렬

$$A = M'R'TRM$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sin^2 \delta - \cos^2 \delta & 2 \sin \delta \cos \delta & (\cos^2 \delta - \sin^2 \delta)z_w - 2x_w \sin \delta \cos \delta + y_w \\ 0 & 2 \sin \delta \cos \delta & 0 & (\sin^2 \delta - \cos^2 \delta)x_w - 2y_w \sin \delta \cos \delta + z_w \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A = A_{M1}A_{M2} = M' R' \delta_1 TR \delta_1 MM' R' \delta_2 TR \delta_2 M \quad (10)$$

$$A = A_M A_{MM} = M R_{\delta} TR_{\delta} MM' R'_{\delta} TR_{\delta} M \quad (11)$$

3. 실험

본 논문에서 제안된 시스템은 그림 5와 같이 정밀하게 제작된 프리즘 형태의 거울 4개와 수평을 유지하기 위해 제작된 시스템 안착장치를 이용하였다. 거울이 z축과 이루는 각은 모두 45°이다.

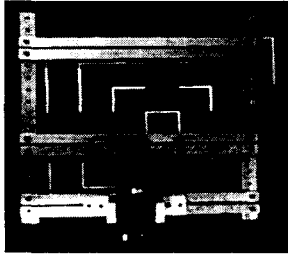
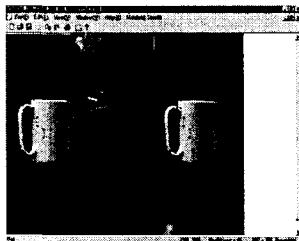


그림. 5 Single Lens System with Mirrors

본 논문에서 제안된 시스템으로 획득한 이미지에 대한 합점을 추출하기 위한 알고리즘으로는 cross-correlation 알고리즘을 이용하였다.



(a) 컵 영상의 정합점 검출



(b) 복잡한 영상에서 정합점 검출

그림 6. 제안된 시스템에 의해 획득된 영상을 동일 Scan Line을 검색하여, cross-correlation 알고리즘에 정합점 추출.

4 결론

본 논문에서는 거울을 이용한 Single Lens Stereo 카메라 시스템이 제안되었다. 획득된 영상은 두 대의 카메라가 정확하게 평행한 시스템에서 획득된 영상과 동일한 영상을 획득 할 수 있었다. 이러한 장점은 정합점 검색의 용이함과 한 대의 카메라만을 이용하기 때문에 칼리브레이션의 절차를 단순화시킨다. 본 논문에서 제안된 시스템을 이용한 카메라 칼리브레이션 및 3차원 영상복원 알고리즘에 대한 연구가 계속 진행중이며, 좀더 정확한 정합점을 검색하기 위한 알고리즘도 연구 되어야 할 것이다.

References

- [1] Shinsaku Hiura and Takashi Matsuyama : Depth Measurement by the Multi-Focus Camera, Proc. of CVPR'98, 953-959(1998).
- [2] S. Baker and S. K. Nayar : A Theory of Single-Viewpoint Catadioptric Image Formation, Proc. of the 6th International Conference on Computer Vision, 35-42 (1998).
- [3] J. Gluckman and S. K. Nayar : Planar Catadioptric Stereo: Geometry and Calibration, Proc. of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 22-28(1999).
- [4] D. H. Lee, I. S. Kweon and R. Cipolla : Single Lens Stereo With a Biprism, Proc. of MVA'98, 136-139(1998).
- [5] W. Teoh and X. D. Zhang : An inexpensive stereoscopic vision system for robots, Proc. Int. Conf. Robotics, 186-189 (1984)
- [6] A. Goshtasby and W. A. Gruver : Design of a Single-Lens Stereo Camera System, Pattern Recognition, vol, 26, 923-936(1993)
- [7] E. Trucco and A. Verri : Introductory Techniques for 3-D Computer Vision
- [8] W. Fellenz, K. SchlUns, A.Koschan, and M. Teschner : An Active Vision System for Obtaining High Resolution Depth Information, Proc. CAIP'97 726-733(1997)