

# 입체영상 디스플레이를 위한 고효율 비전 시스템

김상현<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>경북대학교 산업전자공학과

## High efficient vision system for volumetric display

Sang Hyun Kim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Electronic Engineering, Kyungpook National University

**요 약** 입체영상 디스플레이는 최근 교육, 3D 영화, 의료 영상 등 다양한 분야에 응용되고 있으나 실용화함에 있어 해결해야할 문제점도 남아있다. 입체영상 디스플레이는 실용화 단계에서 대량의 영상 데이터를 처리해야하고 실시간 디스플레이를 위해 고효율 비전 시스템을 설계해야 한다. 입체영상 디스플레이를 위한 스테레오 데이터는 변위 벡터, 움직임 벡터와 참조영상과의 오차영상을 전송하게 되며 스테레오 영상 시퀀스를 복원하여 입체영상 디스플레이를 하게 된다. 이를 위한 핵심요소는 스테레오 영상간의 효율적인 정합과 강건한 비전시스템에 있다. 본 논문에서는 효율적인 스테레오 정합을 위한 고효율 비전시스템을 설계하고 실험결과 제안한 입체영상 디스플레이 시스템의 효용성을 검증한다.

**Abstract** Volumetric display has many applications recently in education, 3D movie, medical images but these applications have several problems that need to be overcome. Volumetric display may process a amount of visual data and design the high efficient vision system for realtime display. The stereo data for volumetric display estimated the disparity vectors from the stereoscopic sequences has been transmitted the disparity vectors, motion vectors and residual images with the reference images, and the stereoscopic sequences have been reconstructed at the receiver for 3D display. Central issue for efficient 3D display lies in selecting an appropriate stereo matching with robust vision system. In this paper, high efficient vision system is proposed for efficient stereo image matching and the experimental results represent high efficiency for proposed 3D display system.

**Key Words** : Volumetric display, 3D Image, Image rectification, Stereo vision system

### 1. 서 론

입체영상 디스플레이를 위해 영상으로부터 3차원 정보를 추출하기 위한 수단들 중 스테레오 비전은 가장 널리 사용되는 방식이다. 이제까지의 스테레오 비전 연구는 많은 성과를 거두고 있고 실시간 처리에도 사용되고 있으나[1], 한 쌍의 영상만을 이용하는 정적인 스테레오 방식에서는 차폐 영역(occluded region)에서 정합오차가 많이 발생하고 추출한 거리 정보의 정확도가 떨어지며, 관측 시야가 좁다는 한계를 가진다[2].

본 논문에서는 광학 플랫폼 위에 회전이 가능한 회전 단과 수평 이동이 가능한 X-Y단을 설치하고 카메라를 이용하여 순차적으로 스테레오 영상을 취득하여 정합함으로써 정합 오차를 낮추고 정확한 3D 정보를 추출할 수 있는 고효율 비전 시스템을 제안한다. 본 시스템에서는 카메라의 수평이동과 회전운동을 이용하여 스테레오 영상간의 수렴각(vergence angle)을 조절하고 베이스라인을 길게 함으로써 거리 정보 추출의 정확도를 향상 시키고 차폐 영역에 대해서도 거리 정보 추출이 가능하게 하였다.

이 논문은 2011학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

\*Corresponding Author : Sang Hyun Kim(Kyungpook National Univ.)

Tel: +82-54-530-1327 email: shk@knu.ac.kr

Received August 23, 2013

Revised October 9, 2013

Accepted October 10, 2013

일반적인 3D 비전 시스템들은 카메라가 평행 광학축(parallel optical axis)구조를 가지게 함으로써 epipolar 구조를 단순화하고 있으나 베이스라인이 길어질수록 두 스테레오 영상간의 공통 가시 영역(common viewable area)이 줄어들게 되어 거리 측정시의 정확도에 한계를 가지게 되고 관측 각도를 조절할 수 없다는 단점을 가진다[3]. 제안한 수렴형(vergent) 카메라 구조에서는 수렴각을 조절하여 관측 각도를 자유롭게 하고 베이스라인을 길게 하여 정확도를 개선하고 epipolar 구조를 단순화한 고효율 비전 시스템을 설계하였다. 본 시스템에서는 카메라의 회전축이 카메라의 렌즈 중심과 일치하도록 카메라 보정되어 영상을 취득하도록 설계되었는데, 기존의 수렴형 카메라 구조에서는 epipolar 구조 추출이 어려운 데 반해[4], 제한한 시스템에서는 카메라의 회전이나 수평 이동과 관계없이 렌즈 중심이 수평축상에 놓이게 되어 영상의 교정 단계에서 촛점거리의 변화 없이 회전 행렬에 대한 재표본화(resampling)에 의해 영상의 교정을 수행할 수 있다. 본 논문에서 제안한 카메라 보정 절차를 통해 영상 취득하면 카메라의 회전각으로 각 스테레오 영상의 독립적 교정이 가능하게 하는 실용적 고효율 비전 시스템을 설계하였다. 본 논문에서는 고효율 비전 시스템 구조와 입체영상 디스플레이를 위한 거리정보 추출절차를 설명하고 실제 스테레오 영상을 이용한 실험 결과를 소개한다.

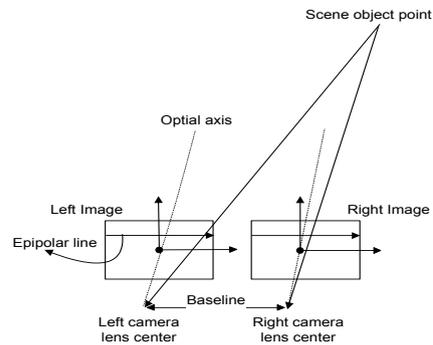
## 2. 스테레오 비전을 사용한 3D 정보 추출법

스테레오 비전은 기본적으로 그림과 같이 일정한 거리(baseline)만큼 떨어진 두 카메라로부터 얻은 두 영상을 사용하여 변위(disparity)정보를 구하고, 이로부터 3차원의 거리 정보를 얻는 것을 목적으로 하고 있다. 여기서 변위(disparity)란 같은 물체의 3차원 좌표점에 대해 왼쪽 영상과 오른쪽 영상에서 나타나는 위치의 차를 말한다. Epipolar 평면은 두 카메라에서의 렌즈 중심들과 물체의 3차원 좌표점이 이루는 평면을 가리키고, epipolar 선은 영상 평면과 epipolar 평면의 교선을 가리킨다.

Fig. 1과 같이 왼쪽 영상과 오른쪽 영상에서의 광학축(optical axis)이 평행할 경우 한쪽 영상에서의 한 점에 대해 다른 쪽 영상에서의 대응점이 영상 평면에서의 같은 행에 놓이게 된다.

두 카메라에서 얻어진 스테레오 영상을 이용하여 3차원 정보를 계산하기 위해 카메라의 초점 거리(focal length), 카메라 사이의 떨어진 거리(baseline), 그리고 두 영상으로부터 얻어진 변위(disparity)정보를 이용하여 구할 수

있다. 그러나 다양한 각도에서의 3차원 정보 추출을 위해서는 좌우 카메라의 광학축이 평행하지 않게 되고 수평의 변위뿐만 아니라 수직의 변위도 발생하게 된다. 그러므로 좌우 카메라의 광학축이 평행하지 않는 수렴형 카메라 구조에서는 변위 정보를 추출하기 위해 수평과 수직 방향 모두 스테레오 정합하거나 계산 시간 감소를 위해 영상을 교정한 후 정합점 들이 수평선상에만 나타나도록 한 후에 정합해야 한다.

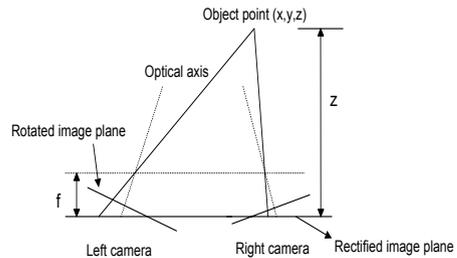


[Fig. 1] 3D data extraction using stereo vision

## 3. 제안한 고효율 비전 시스템

### 3.1 수렴형 카메라 구조

수렴형(vergent) 카메라 구조에서는 Fig. 2와 같이 광학축(optical axis)이 기울어지는 구조이므로 영상을 교정(rectification)하여 교정된 영상으로부터 얻은 변위로서 거리 정보를 추출한다.



[Fig. 2] Vergent camera structure

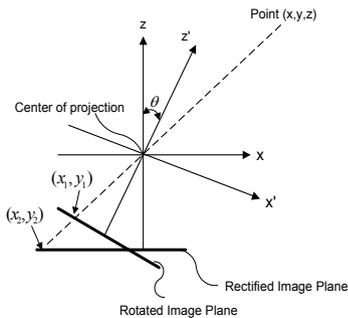
수렴형 카메라 구조를 갖는 시스템에서 3차원 거리 정보를 추출할 때는 카메라가 회전된 후의 영상 평면(rectified image plane)의 좌표를 고려하여 변위 값을 입력하여야 한다. 그러므로 교정된 스테레오 영상간의 변위에 좌우 영상의 교정된 좌표차이를 더해 주어 실제 광학

축이 평행한 상태에서의 변위 값으로 3D 거리정보를 구하게 된다.

### 3.2 영상 교정의 기하학적 구조

제안한 고효율 비전 시스템에서는 렌즈 중심과 회전축이 일치하게 카메라 보정하여 카메라의 회전된 각만 알고 있으면 기하학적인 관계식을 풀어서 회전된 영상 평면에서 교정된 영상 평면으로의 변환이 가능하다. 예를 들어 같은 3차원 공간상의 한 지점에 대해서 회전된 영상 평면에서의 위치  $(x_1, y_1)$ 와 교정된 영상 평면에서의 위치  $(x_2, y_2)$ 는 다르게 된다. 그러므로  $(x_1, y_1)$ 의 좌표를  $(x_2, y_2)$ 로 변환시켜 주는 영상의 교정 과정이 필요하다. 실제 카메라를 회전축에 대해  $(-\theta)$ 만큼 회전시킨 영상을  $\theta$  각 만큼 다시 돌려 교정된 영상으로 변환하고자 할 경우,  $f$ 를 초점거리,

$x_1$ 을 회전 시킨 카메라에서 얻은 영상 좌표,  $x_2$ 를 교정된 영상에서의 좌표라 하면 본 논문에서와 같이 카메라 이동 구조 보정을 수행하였을 경우 다음과 같이 회전각  $\theta$ 에 의한 좌표간의 간단한 관계식에 의해 영상의 교정을 수행할 수 있다.



[Fig. 3] Proposed optical structure of high efficient vision system

Fig. 3에서

$$x = R x' \quad x_1 = A x' \quad x_2 = Ax \text{ 이고,}$$

$$x_2 = AR x' = AR A^{-1} x_1 \text{ 인데,}$$

여기서  $A$ 는 perspective projection을 나타내며,  $R$ 은 회전을 나타낸다.

본 실험에서와 같이 카메라의 내부 파라미터에 대한 교정이 되었을 경우 회전된 영상 평면  $(x_1, y_1)$

에서 교정된 영상 평면  $(x_2, y_2)$ 로 변환시켜 주는 교정식은 다음식과 같이 간략화 된다.

$$x_2 = f \frac{\cos \theta * x_1 + \sin \theta * f}{-\sin \theta * x_1 + \cos \theta * f}$$

$$y_2 = f \frac{y_1}{-\sin \theta * x_1 + \cos \theta * f}$$

그러므로 기존의 카메라 보정 없이 영상의 교정을 수행할 경우에 비해 교정을 위한 계산량을 현저히 줄일 수 있다. 이렇게 함으로써 다양한 카메라 각도에서 여러 장의 스테레오 영상을 얻더라도 간략화한 식으로 회전이 전혀 없는 상태에서의 영상으로 변환시켜 3D 비전 시스템의 효율을 현저히 향상시킬 수 있다.

### 4. 비전시스템 성능분석 결과

본 논문에서와 같이 광학 플랫폼 위에 카메라를 놓고 영상을 취득할 경우 플랫폼과 카메라 파라미터간의 회전 행렬을 추출 하여 더 정확한 영상 교정을 할 수 있다.

[Table 1] Rectification efficiency of proposed vision system

Control point of conventional vision system	Control point of proposed vision system	Rectification error (pixel)
341.9 / 328.9	353.1 / 353.3	0.2
346.6 / 333.5	362.4 / 362.6	0.2
351.2 / 338.1	371.8 / 371.9	0.1
355.6 / 342.5	381.1 / 381.0	0.1
359.7 / 346.5	390.0 / 390.0	0.0
363.9 / 350.7	399.2 / 399.2	0.0
368.1 / 354.8	408.5 / 408.5	0.0
403.1 / 386.4	425.4 / 425.6	0.2
406.7 / 390.3	434.8 / 434.7	0.1
410.5 / 394.0	443.9 / 443.9	0.0

Table 1은 카메라의 회전상태에서 카메라를 수평 이동만 시켜 얻은 영상으로부터 추출된 제어점에 나타난 수직 좌표와 이 좌표점들을 사용해 구한 카메라와 플랫폼간의 회전 행렬로 교정된 점을 나타낸 것이다. 표에서 보는 바와 같이 기존 시스템에서는 제어점(control point)의 좌표 차이가 많이 나므로 3D 정보를 추출하기 위해서는

수평방향과 수직방향 모두에서 좌우영상간 상관관계를 구해야 하지만 제안된 시스템에서는 좌표1과 좌표2의 수직좌표가 일치하므로 수평방향에서만 상관관계를 구하면 3D 정보를 추출할수 있는 고효율 비전 시스템이 구현가능하다.

## 5. 결론

본 논문에서는 3D정보 추출을 위한 기존의 정적인 스테레오 방식에서 차폐영역(occluded region)에서 정합오차가 많이 발생하고 추출한 거리 정보의 정확도가 떨어지며, 관측 시야가 좁다는 한계를 보완하기 위해 베이스라인을 길게 하여 거리 정보의 정확도를 향상시키면서 공통 가시 영역을 자유롭게 할 수 있도록 하기 위해 고효율 비전 시스템을 제안하였다. 기존의 능동형 시스템에서는 epipolar 구조 추출이 어렵고 스테레오 정합 절차가 복잡해지며 카메라 광학축의 각도가 변화할 때마다 3D 정보 추출을 위한 영상 교정을 위해 카메라의 파라미터들을 다시 구해야 하는 단점이 있다. 본 논문에서는 회전단과 수평단의 카메라 구조 보정을 통해 렌즈 중심과 회전축을 일치시켜 줌으로써 카메라의 회전이나 수평 이동과 관계없이 렌즈 중심이 수평축상에 놓이게 되어 영상의 교정시 카메라의 초점거리와 광학축의 회전각만으로 영상의 교정이 가능하여 수평방향만 상관관계를 구해도 3D 정보 추출이 가능하도록 하여 입체 영상 디스플레이를 위한 비전 시스템의 효율을 크게 향상시켰다.

## References

- [1] B. J. Tippetts, D.-J. Lee, J. K. Archibald, K. D. Lillywhite, "Dense disparity real-time stereo vision algorithm for resource-limited systems," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 21, no. 10, pp. 1547-1555, Oct. 2011.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TCSVT.2011.2163444>
- [2] F. B. Campo, F. L. Ruiz, and A. D. Sappa, "Multimodal stereo vision system: 3D data extraction and algorithm evaluation," *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 6, no. 5, pp. 437-446, Sept. 2012.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/JSTSP.2012.2204036>
- [3] L. Sawalha, M. P. Tull, M. B. Gately, J. J. Sluss, M. Yeary, and R. D. Barnes, "A large 3D swept-volume video display," *Journal of Display Technology*, vol. 8, no. 5, pp. 256-268, May 2012.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/JDT.2012.2183339>

- [4] Y. Wang, K. Liu, Q. Hao, X. Wang, D. L. Lau, and L. G. Hasebrook, "Robust active stereo vision using Kullback-Leibler Divergence," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 34, no. 3, pp. 548-563, Mar. 2013.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TPAMI.2011.162>

김 상 현(Sang Hyun Kim)

[정회원]



- 2003년 2월 : 서강대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2003년 3월 ~ 2004년 5월 : LG 전자 DM연구소 선임연구원
- 2004년 6월 ~ 2005년 2월 : 삼성종합기술원 Digital연구소 전문연구원
- 2005년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 산업전자공학과 부교수

<관심분야>

컴퓨터비전, 영상코딩, 비디오인덱싱