

평행축 스테레오 카메라에서의 주시각 제어 방법

이 광 순*, 김 형 남*, 허 남 호*, 안 충 현*,

* 한국전자통신연구원

Vergence Control Method of a Parallel-axis Stereo Camera

Gwang-Soon Lee*, Hyoung-Nam Kim*, Nam-Ho Hur*, Chung-Hyun Ahn *

* Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

본 논문에서는 신호처리를 이용한 평행축 입체 카메라의 주시각 제어 방법을 제시한다. 평행축 입체 카메라는 양안식 입체 카메라 중 가장 간단하게 만들 수 있는 장점이 있는 반면에, 좌, 우 영상 센서 사이의 거리가 일정하게 고정되어 있어, 물체의 거리 변화에 따른 입체 영상 시차 조절 기능인 주시각 제어 기능이 없다는 단점이 있다. 영상 센서 (CCD) 와 렌즈를 분리하고 영상 센서가 평행하게 수평으로 움직이며 주시각을 제어하도록 하는 수평 이동축 입체 카메라는 평행축 입체 카메라의 단점을 보완할 수 있지만, 실제 구현에 많은 어려움이 있다. 본 논문에서는 주시각 제어를 위한 CCD의 이동은 실제 영상에서 피사체의 이동으로 나타난다는 사실을 이용하여, 평행축 입체 카메라로 얻은 영상에서, CCD의 이동으로 인해 사라지는 부분만큼 제거하고 영상의 수평 수직 방향에서 원래 영상의 크기로 복원하기 위해 보간하는 과정을 통해 주시각 제어를 구현한다.

제안된 방법을 통해 얻어진 실험 결과는 CCD의 이동량에 따라서 화질의 열화 정도가 다르게 나타남을 보여 주지만, 실제 시스템에서 CCD의 이동량은 크지 않기 때문에 화질 열화를 거의 느끼지 않으면서 주시각이 제어된 입체 영상을 얻을 수 있음을 보여 준다.

I. 서 론

일반적으로 입체 카메라는 사람의 눈과 같이 2대의 카메라를 사용하여 좌, 우의 영상을 얻고 그 두 영상의 시차에 의해 관측자로 하여금 입체감을 느끼게 한다. 시차(parallax)란, 동일점을 2개의 관측점에서 보았을 때의 방향의 차를 말하며, 이러한 시차로 인하여 입체 카메라에서 피사체의 영상이 두 카메라의 CCD(Charge Coupled Device)의 촬상면에서 서로 다른 위치에 맺히게 된다. 그러한 위치의 차를 시차량이라고 하며, 이것은 관측자에게 관측 물체들에 대한 거리 정보와 함께 입체감을 느끼게 해 준다. 사람의 눈은 관측하고자 하는 물체의 시차량을 0이 되도록 좌, 우 눈동자를 움직여 편안하게 입체감을 느끼면서 물체를 관측할 수 있도록 한다. 이와 같이 시차량을 조절하는 것을 주시각 제어(vergence control)라 하며, 관측하고자 하는 물체의 시차량이 0이 되었을 때 가장 편안하게 입체 영상을 볼 수 있다 [1].

주시각 제어가 되지 않은 카메라로부터 얻은 입체

영상을 관측자가 보게 될 경우에는 시차량이 매우 크게 나타나 심한 피로감을 느끼게 된다. 이러한 관측 피로를 줄이기 위해서는 피사체의 위치 변화에 상관없이 일정한 시차가 유지되도록 좌, 우 카메라의 관측 방향을 제어하는 주시각 제어 기능이 필수적이다 [2],[3].

입체 영상을 얻기 위해 사용되는 입체 카메라는 좌, 우 영상 센서의 배열방법에 따라 크게 평행축, 교차축, 그리고 수평 이동축의 세가지로 구분된다 [4]. 먼저, 평행축 입체 카메라는 양안식 입체 영상 카메라 중 가장 단순한 형태로서, 두 대의 영상 센서를 사람의 눈 간격과 비슷한 거리(6.5cm)로 평행하게 고정시켜 두고 영상을 획득할 수 있게 설계되어 있다. 그러나, 평행축 방식은 주시각 제어 기능이 없어 피사체의 거리 변화에 따른 시차량을 조절할 수 없다는 문제점이 있다. 한편, 교차축 입체 카메라는 폭주식 입체 카메라라고도 하며, 물체의 거리 변화에 따라 주시각 제어가 가능하도록 설계되어 있다. 이 교차축 입체 카메라는 물체의 거리 변화에 따라 영상 센서의 광축을 회전시켜 항상 물체의 상이 좌, 우 영상 센서의 중심에 맺히도록 주시각을 제어한다. 그러나, 교차축 방식의 경우 영상 센서를 교차시켜 주시각을

맞추기 때문에 주시각 제어에 따른 영상 센서간의 간격 변화가 심하여 입체 영상 재생 시 공간적 왜곡이 심하며, 카메라 광축의 회전으로 주시각 제어를 해야 하기 때문에 소형화가 어렵다는 문제점이 있다.

한편, 수평 이동축 입체 카메라는 교차축 방식과 같이 관측물체의 거리 변화에 따라 카메라의 주시각 제어가 가능한 카메라이다. 그러나, 교차축 방식과는 달리 렌즈를 영상 센서로부터 분리시킨 후, 렌즈에 대해서 영상 센서가 평행하게 수평으로 움직이게 하여 주시각을 조절하도록 설계되어 있다. 이러한 영상 센서의 평행 이동에 의한 주시각 제어 방식은 좌, 우 영상센서 사이의 간격 변화량이 작아 교차축 방식에 비해 상대적인 영상 왜곡이 작다는 장점이 있지만, 렌즈와 영상 센서를 분리시키고 영상 센서를 이동하면서 주시각 제어를 해야 하므로 실제 입체 카메라 제작에 많은 어려움이 있다는 문제점이 있다.

본 논문에서는 주시각 제어를 위한 CCD의 이동은 실제 영상에서는 피사체의 이동으로 나타난다는 사실을 이용하여, 기계적으로 주시각 제어가 불가능한 평행축 입체 카메라로 부터 획득한 영상에서 CCD의 이동으로 인해 사라지는 부분만큼 제거하고 원래 영상의 크기로 복원하기 위해 수평 수직 방향으로 보간하는 신호처리의 과정을 통해 주시각 제어를 구현하는 방법을 제시한다.

II. 평행축 입체 카메라의 주시각 제어 방법

일반적인 평행축 입체 카메라는 그림 1의 (a)와 같이 광축과 CCD의 중앙축이 일치하도록 고정되어 있어서, 주시거리가 무한대가 되며 이로 인해 큰 양의 시차를 가지는 피사체가 생길 수 있기 때문에 주로 거리 측정등의 용도로 사용 되어 왔다 [4]. 평행축 입체 카메라를 입체 영상용으로 사용하기 위해서는 CCD를 그림 1의 (b)에서와 같은 형태로 양쪽으로 이동시켜 고정하여야 한다. 즉, 입체 영상용 평행축 입체 카메라는 사용 목적에 따라 주시거리를 정하고 그 값에 따라 양쪽 CCD 간격을 계산하여야 한다. 원하는 주시거리를 D 라 하고 양쪽 렌즈 사이의 거리를 $2W_l$, 렌즈의 초점 거리를 f 라 하면 CCD의 이동량 s 는 다음과 같이 계산된다.

$$s = \frac{W_l f}{D} \quad (1)$$

따라서, 좌, 우 영상 센서, 즉 CCD 간격을 $2W_c$ 라 하면, 다음과 같이 된다.

$$W_c = W_l + s \quad (2)$$

이와 같이 제작된 평행축 입체 카메라는 주시거리의 변화가 작은 입체 영상을 찍는 데에 사용할 수 있다. 그러나, 이 평행축 입체 카메라에서는 CCD 센서의 이동이 불가능하므로 주시거리를 자유로이 조절할 수 없는 단점이 존재한다. 이러한 단점을 보완하기 위해서,

본 논문에서는 CCD의 이동과 촬상면에 맺히는 관측물의 위치 이동을 고려하였다. 즉, 고정된 CCD 센서를 통해 촬상면에 맺히는 영상에서 관측물의 위치를 신호처리를 통해 이동함으로써 CCD 센서의 이동 효과를 얻어 주시각 제어를 가능케 할 수 있다.

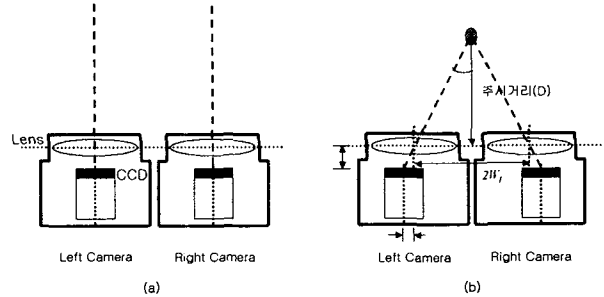


그림 1. 평행축 입체 카메라: (a) 광축과 CCD의 중앙축이 일치하는 일반적인 평행축 입체 카메라; (b) 입체 영상 촬영을 위한 적절한 주시거리를 가지는 평행축 입체 카메라

Fig. 1. A parallel-axis stereo camera: (a) a general parallel-axis stereo camera in which the axis of lenses is identical to the central axis of CCD's; (b) a parallel-axis stereo camera for stereo photographing with appropriate vergence distance.

III. 신호 처리를 이용한 평행축 카메라에서의 주시각 제어 방법의 제안

본 절에서는 II장에서 기술한 CCD의 이동 효과를 신호처리를 통해 구현하는 방법을 제시하여 평행축 입체 카메라에서 수평 이동축 입체 카메라의 주시각 제어와 같은 효과를 볼 수 있게 함으로써, 평행축 입체 카메라의 입체 영상에서의 활용도를 높일 수 있음을 보인다. II장에서 살펴 본 바와 같이, 입체 영상용 평행축 카메라는 주시거리가 무한대가 아닌 것을 사용하여야 하며, 본 논문에서도 그림 1의 (b)와 같은 형태의 평행축 입체 카메라를 사용하는 것을 가정한다.

주시거리가 D 로 고정되어 있는 평행축 입체 카메라로부터 얻은 좌, 우 영상이 있을 때, 신호처리를 통해 조절하는 주시거리를 ΔD , 최대 조절 주시거리를 ΔD_{MAX} 라 하면, 주시거리를 늘리거나 줄일 수 있는 두 가지 경우가 있으므로 주시거리 조절 범위는 $[-\Delta D_{MAX}, \Delta D_{MAX}]$ 가 된다.

그림 2는 본 논문에서 제안하는 신호처리를 이용한 평행축 입체 카메라의 주시각 제어 과정에 대한 블록도를 보여주고 있다. 그림에서 상기 평행축 입체 카메라로부터 발생된 영상 신호는 먼저 수평신호 처리수단에 입력된다. 이때, 수평신호 처리수단은 CCD의 이동에 의해 나타나지 않게 될 영상의 영역을 계산하여 제거함으로써, 상대적으로 피사체가 좌측이나 우측으로 이동한 것과 같은 영상을 생성한다. 상기 수평신호 처리수단에서

생성된 영상은 다시 수직신호 처리수단으로 입력된다. 그러면, 수직신호 처리수단은 상기 수평신호 처리수단에 의해 제거된 영상의 영역이 전체 영상에서 차지하는 비율에 따라 수직방향 영상의 영역을 계산하여 제거한다. 이때 제거되어야 할 수직방향 영상 영역의 크기는 상측과 하측에서 각각 1/2이 된다.

이렇게 수평방향/수직방향으로 신호처리된 영상은, 영상 내 피사체의 수평/수직 크기의 비율에는 변함이 없으나 전체 영상 영역은 일정한 비율로 축소된 효과가 나타나기 때문에 보간수단을 거치면서 최초 영상의 크기에 맞도록 일정 비율로 확대된다.

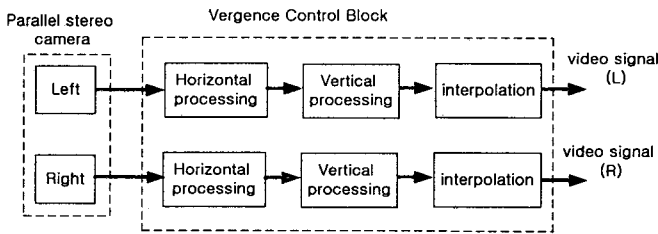


그림 2. 신호처리를 이용한 평행축 입체 카메라의 주시각 제어 과정의 블록도

Fig. 2. The block diagram of the vergence control process in the parallel-axis stereo camera using signal processing.

그림 3은 본 논문에서 제안하는 신호처리를 이용한 평행축 입체 카메라의 주시각 제어 과정에 대한 설명도이다. 그림 3의 (a)는 평행축 입체 카메라에서 얻은 영상으로서, 영상 센서 간격을 넓히는 CCD의 이동에 의해 촬상면에 맺히지 않는 부분(검은 색 부분)을 제거하는 과정을 보여주고 있다.

주시각 제어에 의한 CCD의 이동량 Δs 는 주시거리 변화량인 ΔD 가 정해지면 식(1) 및 그림 4와 같은 관계에 의해서 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta s = \frac{W_i f}{D - \Delta D} - s \quad (3)$$

식 (3)에서 구한 Δs 값에 의해서 촬상면에 맺히지 않는 부분이 정해지며 그 부분을 제거하는 과정 후에는, 좌, 우 영상의 가운데에 위치하고 있던 물체의 위치가 상대적으로 좌측과 우측으로 이동된 것처럼 보인다.

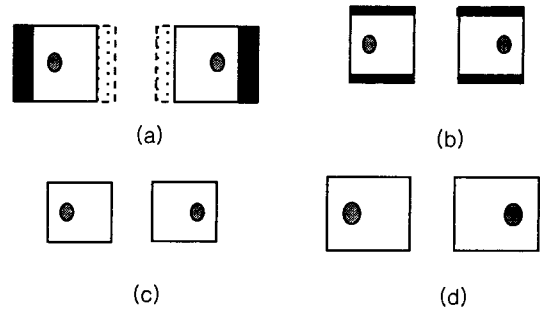


그림 3. 신호처리를 이용한 평행축 입체 카메라의 주시각 제어 과정: (a) 수평 방향 처리 과정; (b) 수직 방향 처리 과정; (c) 처리된 영상; (d) 보간된 영상

Fig. 3. Vergence control process of a parallel-axis stereo camera using signal processing: (a) horizontal processing; (b) vertical processing; (c) processed images; (d) interpolated images.

실제 수평 이동축 카메라에서는 CCD를 이동함으로써 그림 3의 (a)의 사라지는 부분(검은 색 부분) 만큼 반대쪽으로 영상(점선으로 칠해진 부분)이 더 치우쳐 나타나므로 원래 크기가 유지되지만, 평행축 입체 카메라를 이용할 경우에는 CCD가 고정되어 있으므로 크기 유지가 불가능하다. 이를 보완하기 위해서는 영상의 크기를 원래 영상의 크기로 만들어 주는 과정이 필요하다. 그림 3의 (b)는 수직 방향으로 제거된 영상과 같은 비율로 수평 방향의 영상을 제거하는 과정으로, 영상의 상하에서 각각 같은 크기를 제거한다. 이것은 원래 영상에서의 사물들의 수직/수평 비율을 유지하기 위해 반드시 필요한 과정이다. 그림 3의 (c)는 수직/수평 방향으로 각각 제거된 영상으로서 영상 내의 물체의 크기는 변함이 없으나 전체 영상의 크기는 줄어들어 있다. 그림 3의 (d)는 보간을 통해서 원래 영상의 크기가 되도록 (c)의 영상을 확대한 것이다. 이 경우에 영상의 전체 크기는 원래 영상의 크기와 같게 되고, 여기서 얻어진 영상은 최초 영상에 비해 물체의 크기는 확대되었으나, CCD의 이동에 의해 물체가 이동한 것과 같은, 즉 주시각 제어된 것과 같은 영상이 된다.

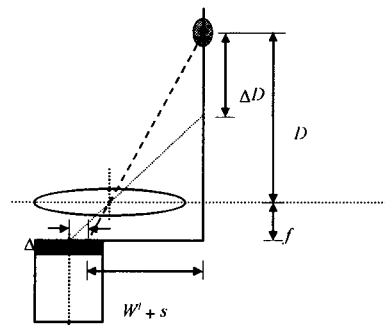


그림 4. CCD의 이동량 계산

Fig. 4. The computation of the CCD movement.

제안된 신호처리를 이용한 주시각 제어 방법에서는, CCD의 이동 효과를 신호처리를 통해 구현하는 과정에서 CCD의 이동에 의해서 촬상면에 맞지 않는 부분을 제거하고 원래의 영상 크기로 다시 확대를 하여야 하므로, 저대역 필터링으로 인한 화질의 열화가 발생한다. 그러나, 실제로 수평 이동축 카메라에서의 CCD의 이동량(Δs)은 크지 않기 때문에, 평행축 입체 카메라를 통해서 얻은 영상을 이용하여 수평 이동축에서의 CCD 이동 효과를 구현하더라도 화질의 열화는 그렇게 크지 않다.

IV. 실험 결과 및 고찰

평행축 입체 카메라에서 신호 처리를 이용한 주시각 제어 효과를 실험하기 위해서 원영상과 제안한 방법으로 주시각 제어한 영상과의 시차량을 구하여 비교하였다. 여기서 영상의 수평시차는 그림 5에서와 같이 프로젝션 데이터 및 일차원 cepstrum을 이용하여 구하였다 [4],[5].

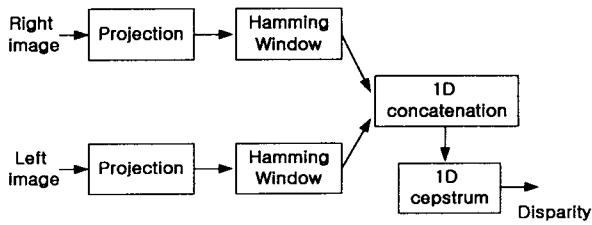


그림 5. 일차원 cepstrum을 이용한 시차추출 블록도

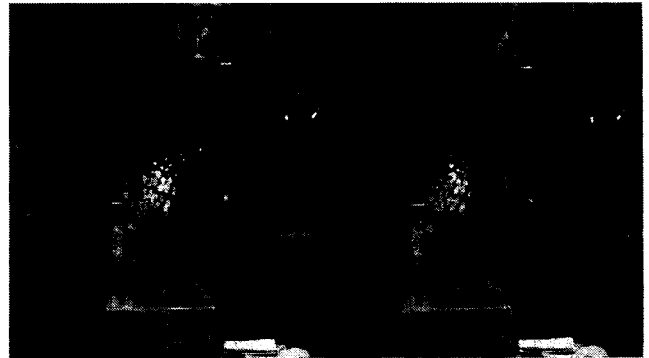
Fig. 5. The block diagram for the disparity extraction

우선 평행축 입체 카메라 영상을 얻기 위해 HD급 CCD 카메라를 적당한 간격 (약 65mm)으로 배치하고 1920×1080 크기의 좌, 우 영상을 얻었다. 그림 6은 그렇게 얻어진 좌우 원 영상을 side-by-side로 다중화한 영상을 보여 주고 있다. 이 영상의 시차량 추출을 위하여 프로젝션 데이터를 이용하여 cepstrum을 구한 결과는 그림 6 (b)에서와 같고, 이때 얻어진 좌우 영상의 시차량은 114이었다. 여기서 매스킹되어 있는 부분은 프로젝션 데이터로 이용된 영역이다.

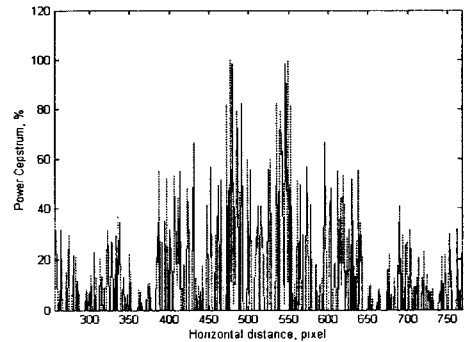
그림 6의 원 영상을 이용하여 카메라 이동의 효과를 얻기 위해서 좌, 우 영상의 이동량에 해당하는 부분을 삭제하고 원래 크기로 영상 확대를 수행 하였다. 카메라 간격을 넓힌 효과를 알아 보기 위해서 좌 영상은 왼쪽으로부터 60화소 및 120화소, 우 영상은 오른쪽으로부터 60화소 및 120화소를 삭제한 뒤 다시 확대하여 계산한 결과, 두 영상의 시차량은 각각 70 및 0 이며 그림 7에서와 같이 120화소 제거 시 주시각이 제대로 맞추어진 결과를 얻을 수 있었다. 이로써 제안한 신호처리를 통해 좌우영상의 시차량이 가변됨을 알 수 있다.

각각의 신호 처리를 통해 주시각이 조절된 입체영상을

자체 제작한 HD급 3DTV를 통하여 시청한 결과, 주시각 조절에 의해 시차량이 최소가 될 때 상대적으로 피로감을 덜 느끼면서 입체 영상을 시청할 수 있었다. 본 실험을 통해서 신호처리를 수행한 영상에서 시차량의 변동을 확인하고, 이에 의해 주시각 제어된 영상을 피로를 덜 느끼면서 시청할 수 있음을 주관적으로 확인함으로써, 평행축 카메라에서도 주시각 제어가 가능하다는 것을 보일 수 있었다.



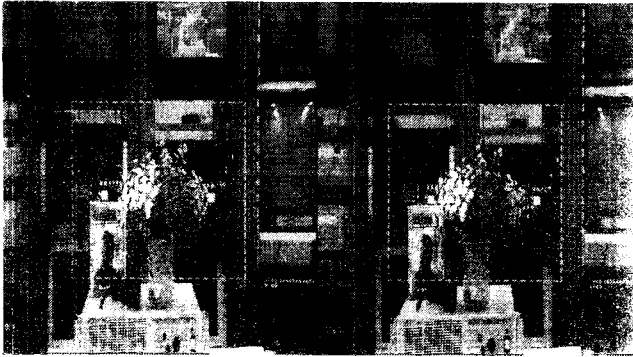
(a)



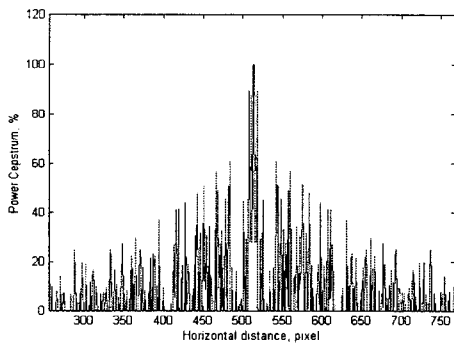
(b)

그림 6. 평행축 입체 카메라로부터 얻은 좌우 다중화된 원 영상과 cepstrum: (a) 좌우 다중화된 원 영상; (b) cepstrum

Fig. 6. Multiplexed original images and cepstrum acquired from the parallel-axis stereo camera: (a) Multiplexed original image; (b) cepstrum.



(a)



(b)

그림 7. 주시각을 맞추기 위해 신호처리를 수행한 후의 결과 (좌: 왼쪽 120화소 제거, 우: 오른쪽 120화소 제거): a) 처리한 좌우 다중화된 영상; (b) cepstrum

Fig. 7. Processed image and cepstrum for vergence control left: remove 120 pixels from the left side, right: remove 120 pixels from the right side) : (a) processed image; (b) cepstrum.

참고 문헌

- 1] Takehiro Izumi, 3차원 영상의 기초, NHK 방송기술연구소, 1998.
- 2] D. W. Murray et al., "Reactions to peripheral image motion using a head/eye platform," 4th Intl. Conf. On Computer Vision, pp. 403-411, 1993.
- 3] S.-Y. Park, Y.-B. Lee, and S.-I. Chien, "Linear relation for vergence control of parallel stereo camera," Eletron. Lett., vol. 34, no. 3, pp. 255-256, Feb. 1998.
- 4] 이용범, "수평이동축 입체카메라의 설계와 자동 주시각 제어," 박사학위 논문, 경북대학교, 대구, 1999.
- 5] P. W. Smith and N. Nandhakumar, "An improved power cepstrum based stereo correspondence method for textured

scenes," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol. 18, no. 3, pp. 338-348, March, 1996.