

수평 이동식 스테레오 카메라의 초점을 이용한 주시각 제어 연구

Vergence Control of Horizontal Moving Axis Stereo Camera Using Lens Focusing

°박 순 용, 최 영 수, 이 남 호, 이 용 범

한국원자력연구소 로보트기반기술개발팀

305-600 대전 유성구 유성우체국 사서함 105 호

E-mail : parksy@nanum.kaeri.re.kr

Abstracts : In this paper, the geometry between horizontal and vertical movement of lens is studied for automatic vergence control of horizontal moving axis stereo camera. When the disparity of stereo images remains constant, the horizontal movement of camera lens for image disparity and the vertical movement for image focus have linear geometry. Using this linearity, we can control the vergence of stereo camera only by focusing of stereo camera lens.

Keywords : Stereo, Camera, Lens, Focus, Vergence

1. 서 론

사람의 눈과 같이 물체를 추적하여 움직이며, 사람이 보는 것과 같은 실감영상을 획득하는 스테레오 시각 장치를 개발하려는 많은 노력이 현재 진행되고 있다[1-6]. 스테레오 시각 장치의 구성은 영상을 획득하기 위한 스테레오 카메라와 획득된 입체 영상을 관측하기 위한 영상 관측기로 구성되어 있다. 스테레오 카메라는 사람의 눈과 비슷한 간격으로 서로 평행하게 배치된 두 대의 카메라를 사용하며, 이로부터 획득된 좌,우 영상의 시차는 입체 영상 관측기를 통하여 관측자에게 입체감을 느끼게 한다.

스테레오 카메라는 일반적으로 두 대의 카메라를 평행하게 배치하고 영상을 획득하며, 획득 영상의 스테레오 시차에 따라 물체까지의 거리를 계산할 수 있다. 이러한 스테레오 카메라는 광축이 항상 평행하게 배치되어 고정된 형태의 수동적인 스테레오 카메라라 할 수 있으며, 반면 카메라의 광축의 기하학적 위치가 물체의 거리에 따라 능동적으로 변하여 관측 물체에 대한 주시각을 고정시키는 카메라를 주시각제어 스테레오 카메라라 한다. 이렇게 스테레오 카메라의 주시각도를 물체의 거리에 따라 제어하는 것을 스테레오 카메라의 주시각 제어라 한다. 주시각 제어 스테레오 카메라는 움직이는 관측 물체에 대한 스테레오 시차를 항상 일정하게 유지하여 입체 영상 관측자에게 보다 자연스러운 입체 영상을 제공하며 물체에 대한 거리 측정이나 스테레오 영상 처리에 있어 유용한 정보를 제공한다[3].

주시각 제어가 가능한 스테레오 카메라는 크게 두 가지로 나눌 수 있는데 카메라의 광축이 회전하여 주시각을 제어하는 경우와 광축이 평행이동하여 제어하는 경우로 나눌 수 있다. 전자의 경우를 폭주식(crossed-axis) 스테레오 카메라라 하고 후자를 수평 이동식(horizontal moving-axis) 스테레오 카메라라 한다[7].

한국원자력연구소에서는 사람의 접근이 제한되는 원자력 시설내 고 방사선 구역의 감시 및 원격 작업을 원활히 수행하기 위한 원격현장감시기술개발의 일환으로 스테레오 영상 관측기, 스테레오 카메라 등 입체 영상 기술을 개발하고 있다. 특히 사

람을 대신한 로봇의 작업 수행 능력을 극대화하기 위해서는 로봇의 조작자가 스테레오 카메라를 이용하여 작업 현장을 입체적으로 관측하는 것이 필수적이다. 스테레오 카메라의 주시각 제어는 작업자에게 입체 영상의 관측시 발생할 수 있는 관측 피로도를 최소화시켜 작업 효율을 향상시킬 수 있다.

현재까지의 주시각제어 연구는 주로 스테레오 영상 처리를 이용하는 방식으로 획득 영상으로부터 추출된 시차 정보를 이용하여 카메라의 위치를 제어함으로써 물체에 대한 주시각을 일정하게 유지하였다[1-6]. 본 논문에서는 수평 이동식 스테레오 카메라의 주시각 제어를 자동화하기 위하여, 일반적으로 이용되는 스테레오 영상 처리 기법을 사용하지 않고 스테레오 카메라 렌즈의 초점(focus)과 스테레오 영상 시차(disparity)와의 관계를 연구하고 이의 상관관계를 이용하여 주시각 제어에 이용하고자 한다.

2. 수평 이동식 스테레오 카메라

2.1 수평 이동식 스테레오 카메라의 구조

스테레오 카메라의 주시각 제어는 두 카메라의 광축을 회전시켜 스테레오 시차를 조절하는 경우와 카메라 렌즈의 수평 이동을 이용하여 시차를 조절하는 경우의 두 가지 방식으로 나눌 수 있다. 전자의 경우는 카메라 광축을 회전시켜 CCD에 맺히는 스테레오 영상의 시차를 일정하게 유지하는 방식이며 폭주식 스테레오 카메라라 한다. 수평 이동식 스테레오 카메라는 후자의 경우로 두 카메라 사이의 거리의 중심에서 렌즈를 대칭적으로 CCD 영상면에 평행하게 이동시켜 영상 시차를 조절하는 방식으로 카메라 또는 렌즈의 이동만으로 주시각 제어가 가능하여 시스템 구현이 용이하며, 스테레오 영상 관측시 회전식 스테레오 카메라보다 관측 왜곡이 작은 장점을 가지고 있다[7].

한국원자력연구소에서 개발 중인 스테레오 카메라는 주로 원격 작업 관측용으로서 원격지의 환경을 관측자에게 실감나게 왜곡없이 전달해주어야 하며 이러한 점에서 입체의 재현성이 우수한 수평이동식 스테레오 카메라를 원격 관측용 스테레오 카메라의 모델로 채택하였다. 다음 그림은 수평 이동식 스테

레오 카메라의 구조를 보여 준다[8-9].

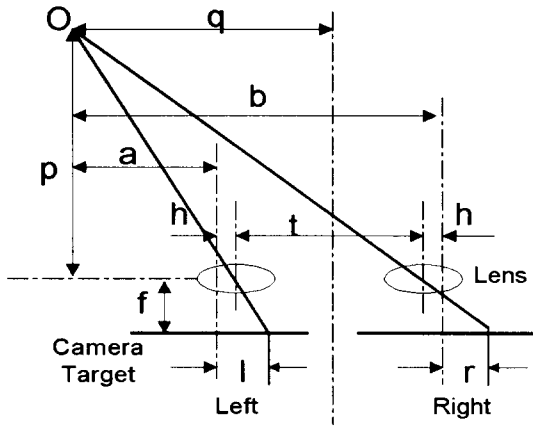


그림 1. 수평 이동식 스테레오 카메라
Fig 1. Horizontal Moving Axis Stereo Camera

그림에서 h 는 주시각을 제어하기 위한 렌즈의 수평 이동량이며 좌,우 영상의 중심에서 물체 O 의 위치는 각각 l 과 r 로 표현하였다. 이때 스테레오 영상 시차 $l-r$ 은 다음 식과 같이 표현된다.

$$l-r = 2h - ft/p \quad \text{식 (1)}$$

스테레오 영상 시차가 0으로 되는 경우에 물체까지의 거리 p 는 다음 식과 같다.

$$p = ft/2h \quad \text{식 (2)}$$

주시각 제어를 이용하여 스테레오 영상 시차를 0으로 고정시킬 경우 물체까지의 거리는 위 식(2)에서와 같이 간단히 구해진다. 스테레오 영상 시차는 입체 영상 관측시의 관측 피로도에 직접적인 영향을 주는 요소로 시차가 0일 경우를 이를 최소로 할 수 있다[10]. 또한 주시각 제어는 스테레오 영상 처리에 유리한 알고리즘을 적용할 수 있다[3].

2.2 카메라 초점과 영상 시차와의 관계

스테레오 카메라의 영상 시차는 주로 획득된 좌,우 영상에서 스테레오 정합(matching) 기법을 사용하여 획득한다. 스테레오 정합 방법은 현재도 많은 연구가 진행되는 분야로 스테레오 영상에서의 정확한 결과를 위해서는 많은 계산량이 요구되어 실시간으로 스테레오 카메라의 주시각을 제어하는 데 제약이 있다. 원격 관측용으로 사용되는 스테레오 카메라는 물체의 거리에 따라 실시간으로 주시각을 제어하여 관측자에게 안정된 영상을 제공해야 하므로 영상 처리 방법은 적당치 않음을 알 수 있다. 본 논문에서는 스테레오 정합 방법을 사용하지 않고 렌즈의 초점 조정과 수평 이동과의 관계를 이용하여 주시각 제어에 이용하고자 한다. 카메라의 초점을 실시간으로 구현하고 이를 이용하여 카메라의 주시각을 제어할 수 있다.

그림 2에서 카메라 렌즈에서 관측 물체까지의 거리를 p , 렌즈에서 CCD 영상면까지의 거리를 i , 그리고 렌즈의 초점거리를 f 라 할 때 세 변수의 관계를 식(3)에 표현하였다.

$$1/f = 1/i + 1/p \quad \text{식 (3)}$$

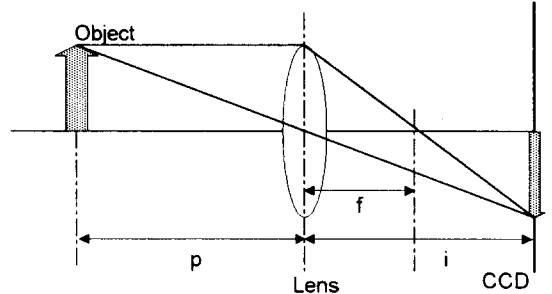


그림 2. 렌즈의 기하학
Fig. 2 Geometry of Lens

식(2)에서 렌즈의 초점거리 f 를 그림 3에서 볼 때 실제적으로는 렌즈와 CCD 영상면까지의 거리 i 로 볼 수 있다. 그러므로 식(2)에서의 초점거리 f 를 식(3)의 i 로 대치하면 렌즈의 이동 변위 h 를 식(4)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} h &= it / 2p \\ &= (pf / (p-f))t / 2p \\ &= pfs / 2(p^2 - f^2) \end{aligned} \quad \text{식 (4)}$$

$$\text{where, } i = pf / (p-f)$$

$$t = (s - 2h)$$

s : distance between two camera

식(4)를 이용하여 렌즈의 실제적인 초점 거리 i 의 변화에 대한 렌즈의 수평 이동 변화량을 구하면 다음 식과 같다. 이 관계는 영상의 초점 변화에 대한 스테레오 시차의 변화율을 나타낸다.

$$\begin{aligned} dh/di &= (dh/dp) / (di/dp) \\ &= s(p^2 + f^2) / 2f(p + f)^2 \end{aligned} \quad \text{식 (5)}$$

물체까지의 거리 p 가 렌즈의 초점거리 f 에 비하여 크다고 고려하면 위 식은 식(6)과 같이 간단히 표현된다.

$$dh/di = s/2f \quad \text{식 (6)}$$

식(6)에서 s 와 f 는 상수이므로 렌즈의 초점 거리 변화에 따른 스테레오 영상 시차 변화가 단지 비례적인 관계를 가지고 있으므로 영상 시차를 0로 고정하기 위한 주시각 제어에 카메라 렌즈의 초점 조정이라는 단순한 알고리즘을 적용할 수 있다.

3. 실험

다음 그림 3은 수평 이동식 스테레오 카메라의 주시각 제어 실험을 위하여 사용된 스테레오 카메라를 보여준다. 실험에서는 렌즈를 고정시키고 카메라를 서로 대칭적으로 이동시켜 실험을 수행하였다. 카메라 렌즈의 초점 거리는 25mm, 50mm 두 가지 경우에 대하여, 그리고 카메라 사이의 거리는 사람의 눈 사이의 간격과 비슷한 거리인 65mm, 그리고 45mm와 100mm의 세 가지 경우에 대하여 수행하였다.

실험 방법은 일정한 거리를 두고 위치한 물체에 대하여 두 카메라를 CCD 면의 수직 방향으로 이동하여 영상의 초점을 조정하고, 물체에 대한 초점이 맞추어진 위치에서 수평 방향으로 렌즈를 다시 이동하여 물체의 스테레오 시차가 0이 되도록 조

경하였다.

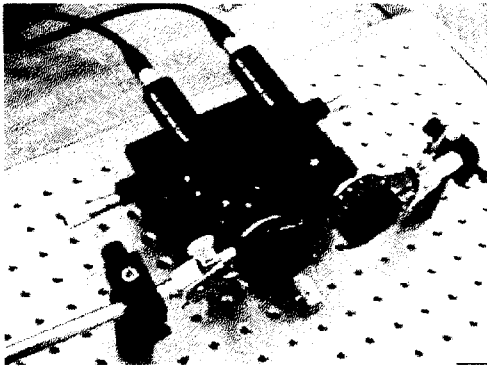


그림 3. 수평 이동식 스테레오 카메라
Fig. 3 Horizontal Moving Axis Stereo Camera

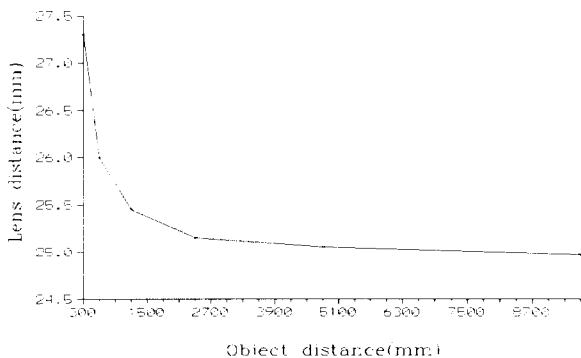
렌즈의 초점 거리가 25mm 이고 카메라 사이의 거리가 65mm 인 경우 관측 물체의 거리 p 에 따른 렌즈에서 CCD 영상면까지의 거리 i 와 렌즈의 수평 이동 h , 그리고 물체 거리에 대한 i 와 h 의 변화율 및 i 에 대한 렌즈 이동 h 의 변화율 dh/di 를 표 1 에서 보였다. 물체의 거리는 0.3m 부터 9.6m 까지 2 배씩 증가 시키면서 측정하였다. 결과는 식 (5)의 계산치와 거의 비슷함을 알 수 있다.

물체 거리 p 에 대한 i 와 h 의 변화율을 그림 4의 (a)와 (b) 에 각각 출력하였으며 영상면까지의 거리 i 에 대한 렌즈의 이동 h 의 변화율 역시 그림 4(c)에 출력하였다. 그래프의 기울기는 식 (6)의 dh/di 이며 거의 직선임을 알 수 있다.

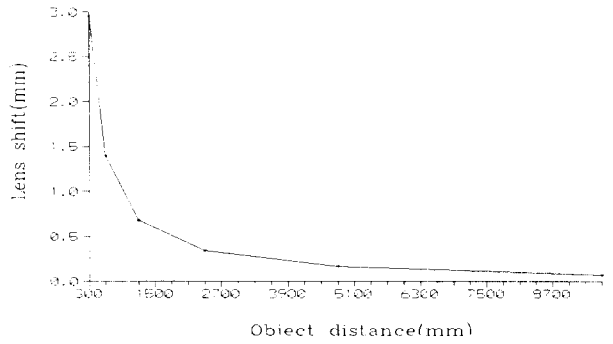
표 1. 관측 거리에 따른 렌즈 변위의 변화율

Table 1. The Horizontal Lens Movement by Object Distance
(단위:mm)

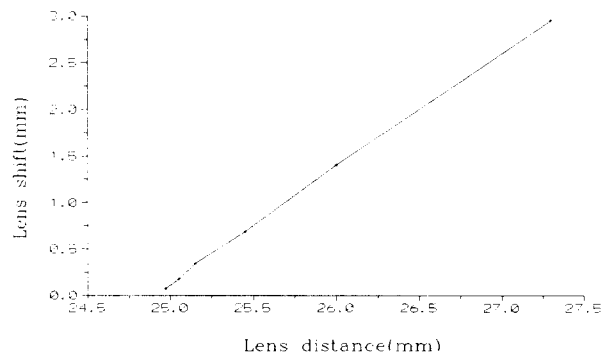
관측 거리	i	h	di/dp	dh/dp	dh/di	계산치
300	27.3	2.95				1.12
600	26.0	1.40	1.3	1.55	1.19	1.20
1200	25.45	0.68	0.55	0.72	1.30	1.24
2400	25.15	0.34	0.30	0.35	1.16	1.27
4800	25.05	0.17	0.10	0.16	1.6	1.29
9600	24.97	0.07	0.08	0.10	1.25	1.30



(a)



(b)



(c)

그림 4. 관측 거리 변화에 대한 렌즈 변위의 변화율

Fig. 4 Horizontal Lens Shift vs. Vertical Lens Shift

그림 5와 6은 각각 렌즈의 초점 거리와 카메라 사이의 간격을 변화시켰을 때의 렌즈 이동에 대한 영상면까지의 거리의 변화를 보여준다. 각 그래프의 기울기는 거의 일정한 기울기임을 알 수 있으며 간략화한 식(6)의 기울기를 가짐을 알 수 있다. 즉, 카메라의 특성, 렌즈의 초점 거리나 카메라 사이의 간격이 변하더라도 렌즈의 이동과 초점 거리와의 관계는 선형적임을 알 수 있다.

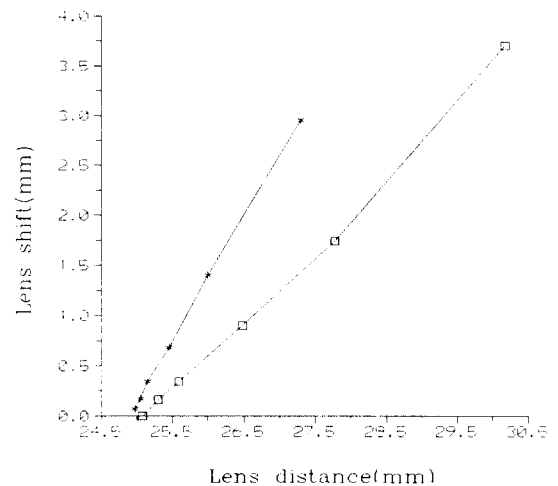


그림 5. 초점 거리에 따른 기울기 변화

Fig. 5 Slope Variation for a Given Focal Length

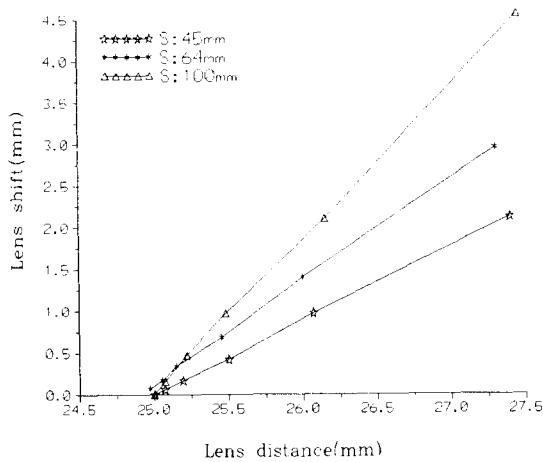


그림 6. 카메라 간격에 따른 기울기 변화
Fig. 6 Slope Variation for a Given Camera Distance

4. 결론

위 실험에서와 같이 주시각제어를 위한 수평 이동식 스테레오 카메라 렌즈의 수평 이동 변위는 카메라 렌즈와 CCD 영상면까지의 거리의 변화에 대하여 비례적인 관계를 가짐을 알 수 있었다. 따라서 스테레오 카메라의 초점 조정과 주시각 제어 사이의 일정한 비율 관계를 이용하여 주시각을 제어하는 경우 단순한 하드웨어의 구성으로 카메라를 제어할 수 있다. 즉, 카메라에서 입력되는 영상의 초점을 자동으로 조정함으로써 주시각 제어 또한 자동으로 제어할 수 있으며 실시간으로도 쉽게 구현할 수 있다. 주시각제어에 의하여 물체에 대한 스테레오 영상 시차를 0로 유지함으로써 원격 작업에서 편안한 입체 영상 관측뿐만 아니라 효율적인 스테레오 영상 처리 알고리즘을 적용할 수 있다.

참고문헌

- [1] I.D.Reid, P.F. McLauchlan and P.M. Sharkey, "From Saccades to Smooth Pursuit: Real-Time Gaze Control using Motion Feedback," *Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp.1013-1020, 1993.
- [2] D.W. Murray, P.F. McLauchlan and I.D. Reid, "Reaction to Peripheral Image Motion using a Head/Eye Platform," *4th. Intl. Conf. on Computer Vision*, 1993.
- [3] David J. Coombs and Christopher M. Brown, "Cooperative Gaze Holding in Binocular Vision," *IEEE Control System*, 1991.
- [4] Thomas J. Olson and David J. Coombs, "Real-Time Vergence Control for Binocular Robots," *Intl. Journal of computer Vision*, vol.7, no.1, pp.67-89, 1991.
- [5] Christopher Brown, "Gaze controls with Interactions and Delays," *IEEE Trans. on System, Man and Cybernetics*, vol.20, no.1, 1990.
- [6] John R. Taylor and Thomas J. Olson, "Precise Vergence Control in Complex Scenes," *SPIE Intelligent Robots and Computer Vision XII*, vol. 2056, 1993.
- [7] 이용범 외, "촬영법에 따른 입체영상 재현성 비교," *대한전자공학회 하계학술대회*, 제19권1호, pp. 503-510, 6월, 1996.
- [8] A.A. Dumbreck, C.W. Smith, "The Development & Evaluation of a Stereoscopic Television System for Use in Nuclear Environments", *Int. workshop on Nuclear Robotics Tech. and App., Present and Future*, July, 1987.
- [9] A.A. Dumbreck, "3-D TV Display Developments at Harwell Laboratory," *ITEC '91*, 1991.
- [10] A. A. Dumbreck, C. W. Smith, S. P. Murphy, "The Development and Evaluation of a Stereoscopic Television System for Remote Handling," *Image Technology*, pp. 8-12, Jan. 1990.