

이동물체 추적을 위한 능동시각 시스템 구축

Active Eye System for Tracking a Moving Object

백 문 홍

생산기술연구원 생산시스템개발센터(Tel:850-9124; Fax:850-9244; E-mail:mhbaeg@intech.kaitech.re.kr)

Abstracts This paper presents the active eye system for tracking a moving object in 3D space. A prototype system able to track a moving object is designed and implemented. The mechanical system enables the control of platform that consists of binocular camera and also the control of the vergence angle of each camera by step motor. Each camera has two degrees of freedom. The image features of the object are extracted from complicated environment by using zero disparity filtering(ZDF). From the centroid of the image features the gaze point on object is calculated and the vergence angle of each camera is controlled by step motor. The Proposed method is implemented on the prototype with robust and fast calculation time.

Keywords: Active eye system, Horopter, Zero disparity filtering, gaze control

1. 서론

종래의 컴퓨터 비전의 연구에서는, 2차원 화상으로부터 3차원 정보를 복원하기 위해, 화상 데이터에 가정과 구속조건을 부가하였다. 그러나 최근 로봇비전 분야에서는, 시각센서를 능동적으로 운동시켜 대상물체나 환경 등을 주시하면서 필요한 정보를 실시간적으로 얻을 수 있는 능동시각이라고 불리우는 연구가 활발히 수행되고 있다. 1987년 Aloimonous는 카메라를 움직이게 함으로써 "shape from X"문제가 쉽게 됨을 보였다[1]. 그 후 그러한 개념이 확대되어 목적을 달성하기 위해 필요한 정보를 능동적으로 획득 한다는 관점이 강조되기 시작했다. 이러한 개념은 특히 1980년대말 로봇시스템과 결합하여, 고정된 시각시스템을 기반으로 하는 접근법에 비교하여 많은 이점을 갖는 능동시각을 이용한 방법 등이 제안되었다. 이러한 움직임의 요인으로서, 반도체 기술의 발달, 소형 카메라, 모터제어기술 및 화상처리 실현의 용이 등을 들 수 있다[2].

능동시각은 다음과 같은 특징을 갖고 있다. 첫째 카메라가 움직이므로 넓은 시야를 확보할 수 있다. 둘째 카메라를 움직여서 대상물체만을 주시함으로써 화상처리하여야 할 영역을 줄일 수 있다. 셋째 능동시각이 갖는 특유의 화상처리 알고리즘을 구현할 수 있다[3].

본 연구에서 이동물체의 추적을 정확 그리고 강인하게 하고, 물체의 위치 및 자세, 속도를 계속하는 능동시각 시스템(active eye system)의 구축을 목적으로 한다. 이를 위해, 카메라의 주시 방향 즉, 피치 및 틸트 방향의 자세제어가 가능한 받침대를 제작하여 화상처리 및 카메라의 주시선 제어를 실시간적으로 실현할 수 있는 시스템을 구축한다.

이를 실현하기 위해 2장에서는 능동시각시스템의 기구부를 제작하고, 일반적으로 화상처리에서 가장 곤란한 점인 대량의 화상

정보로부터 대상물체만을 어떻게 추출해 낼 것인가에 대해 기술한다. 3장에서는 이동물체 추적을 위한 주시선제어에 대해 기술한다.

본 시스템은 로봇 및 감시시스템의 시각센서로서 이용되고 이 점으로는 시야의 중심으로 물체를 추적함으로써 화상처리영역의 축소에 따른 화상처리 속도의 개선과 화상 주변부에 발생하는 렌즈 왜곡의 영향을 줄일 수 있다.

2. 능동시각 시스템

2.1 시스템 구성

본 연구는 이동물체의 추적을 정확, 고속 그리고 강인하게 수행하고, 이동물체의 위치 및 속도 등을 계속하는 센서시스템의 구축을 목적으로 한다. 제작된 능동시각 시스템의 기구부는 그림 1.과 같이 틸트방향으로의 자유도를 갖는 받침대 위에 2개의 카메라를 설치하고, 각각의 카메라는 피치방향으로의 자유도를 갖도록 구성된다. 따라서 각각의 카메라의 주시선은 2 자유도를 갖는다. 각 스텝모터는 마이크로스텝 구동방식에 의해 0.018도의 분해능과 5.4도/초(0.01 rad/sec)의 각속도로 제어된다. 카메라는 756x581의 화소와 초점거리 12 mm의 렌즈로 구성된다. 영상처리는 바꿀드사의 IVP-150 화상처리 전용 보드를 사용하고 이 보드는 DSP를 탑재하여 40 MIPS의 계산처리와 전용 DLUT에 의해 실시간적으로 영상신호를 처리할 수 있다. 전체 시스템의 관리 및 제어는 개인용 PC-586에 의해서 이루어진다.

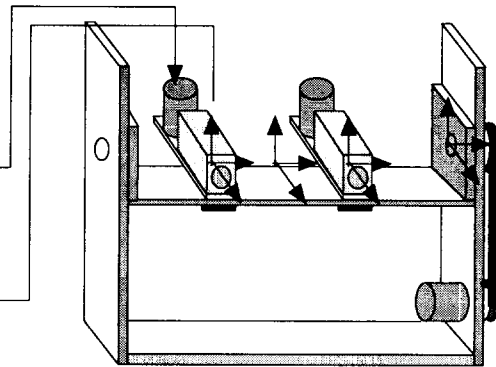
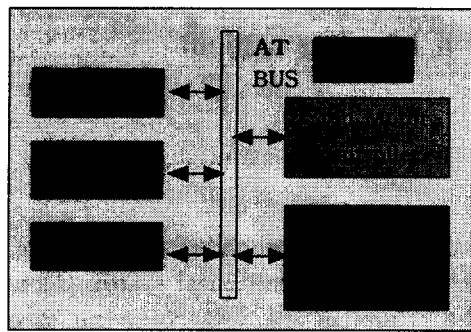


그림 1. 능동시각 시스템 구성도
Fig 1. Block diagram of active eye system

2.2 주시선과 Horopter

그림 2에서 보는바와 같이 좌우 카메라의 렌즈중심에 좌표계를 각각 설정하고, 두 좌표계 사이의 거리가 l , 카메라 광축이 동일 평면위에 있도록 카메라를 배치하고, 두 카메라의 중간에 능동시각 시스템의 관측좌표계 $\{X, Y, Z\}$ 를 설정한다.

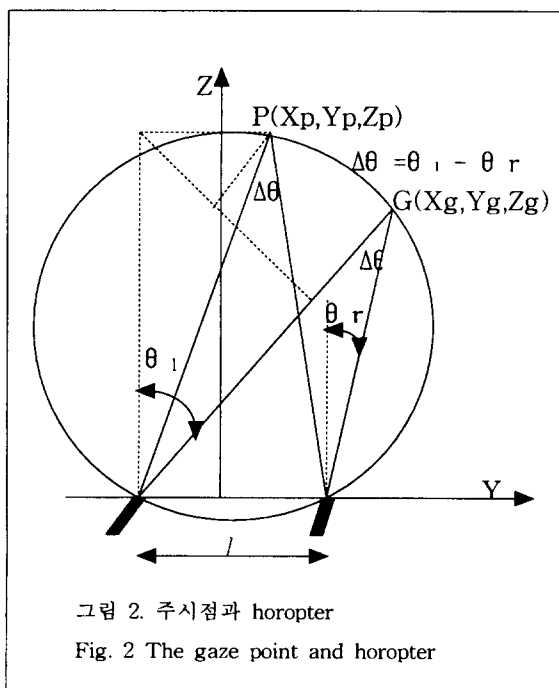


그림 2. 주시점과 horopter
Fig. 2 The gaze point and horopter

이 때 두 카메라의 광축이 만나는 점 G 를 주시점(gaze point)이라 하고 두 광축이 이루는 면을 주시면이라 한다. 여기서 각 카메라는 초점거리가 f 이고 pin hole 카메라로 모델화 된다고하면, 주시점이 $G(X_g, Y_g, Z_g)$ 의 위치에 있는 경우 공간상의 임의의 점 $P(X_p, Y_p, Z_p)$ 의 좌우 카메라의 화상좌표계에서의 좌표 $P_l(x_{pl}, y_{pl})$, $P_r(x_{pr}, y_{pr})$ 은 다음의 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 θ_l, θ_r 은 X 축으로의 음의 회전각이다. 또한 해석을 쉽게 하기 위해 그림과 식 (1), (2), (3)은 $Y_g=0$ 인 경우에 대하여 유도된 것이고 이점의 맨 뒤에서 일반적인 경우($Y_g \neq 0$)로 확장한다.

$$\begin{aligned} -x_{pl} &= f \frac{X_p}{Z_p \cos \theta_l + (Y_p + \frac{l}{2}) \sin \theta_l} \\ -y_{pl} &= f \frac{Z_p \sin \theta_l - (Y_p + \frac{l}{2}) \cos \theta_l}{Z_p \cos \theta_l + (Y_p + \frac{l}{2}) \sin \theta_l} \\ -x_{pr} &= f \frac{X_p}{Z_p \cos \theta_r + (Y_p - \frac{l}{2}) \sin \theta_r} \\ -y_{pr} &= f \frac{Z_p \sin \theta_r + (Y_p - \frac{l}{2}) \cos \theta_r}{Z_p \cos \theta_r + (Y_p - \frac{l}{2}) \sin \theta_r} \end{aligned} \quad (1)$$

공간중의 점 P 에 대한 두 카메라의 시차 (D_x, D_y)는

$$D_x = x_{pl} - x_{pr}, \quad D_y = y_{pl} - y_{pr} \quad (2)$$

이고 수평시차가 영이 되는 점은 $D_y=0$ 로 부터

$$Y_p^2 + (Z_p - \frac{l}{2} \cot(\theta_l - \theta_r))^2 = (\frac{l}{2} \cot(\theta_l - \theta_r))^2 + (\frac{l}{2})^2$$

와 같이 되고 수직시차가 영이 되는 점은

$$X_p = 0, \quad Z_p = \tan(\frac{\pi}{2} - \frac{\theta_l + \theta_r}{2}) Y_p + \frac{l}{2} \tan(\frac{\pi}{2} - \frac{\theta_l - \theta_r}{2}) \quad (3)$$

이 된다. 따라서 수평시차가 영인 점들은 좌표 $(0, \pm l/2, 0)$ 와 주시점 G 를 지나서 원을 수평단면으로 하는 원통면이 되고 이를 horopter라 부른다. 즉 그림 2의 원위에 존재하는 공간상의 점들은 두 화상면상에서 동일 좌표값을 갖는다는 것을 의미한다. 이러한 성질을 이용한 다음절의 zero disparity filter를 이용하면 복잡한 환경 중에서 원하는 대상물체만을 분리해 내기가 쉬워진다.

위는 $Y_g=0$ 인 경우에 대하여 유도된 것이고 이것을 일반적인 경우로($Y_g \neq 0$, Y 축 방향으로 ϕ 만큼 회전) 확장하면 각 식들은 식 (1), (2), (3)에 다음의 식을 치환함으로써 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & \sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \phi & 0 & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} \quad (4)$$

X', Y', Z' 은 ϕ 만큼 회전했을 때의 좌표계이고 이 때 horopter는 새로운 주시면에 수직인 원통면이 된다.

2.3 영시차필터 (Zero Disparity Filter)

좌우 화상의 화상특징들 중에서 같은 좌표값을 갖는 화상 특징만을 추출하는 필터를 영시차필터 (ZDF)라 한다[2]. 본 연구에서는 환경으로부터 대상물체를 분리하기 위해 영시차필터를 이용하였다. 물체가 화상 중심에 나타나도록 카메라를 제어한다. 이 때 좌우 화상데이터로부터 먼저 edge를 추출하고 그 edge를 다시 확장(blur)시킨 후에 좌우 화상데이터를 논리적 적(AND)을 하여 중첩된 부분만을 추출해 낸다. 따라서 확장된 horopter 위에 존재하는 edge들만 검출된다. 그림 3은 ZDF를 이용하여 이동물체를 추출한 예이다. 여기서 화상중앙부에 이동물체가 추출됨을 알 수 있다. 그러나 또한 화상주변부에서 원하지 않은 특징점들도 추출됨을 알 수 있다. 그 이유는 좌화상에서 발견된 특징점과 동일한 좌표값을 갖는 특징점이 우연히 우화상에 존재할 때 검출되나 항상 물체가 화상의 중앙에 나타나도록 능동시각시스템이 제어되고 있기 때문에 화상주변부의 특징점들은 제거할 수 있다.

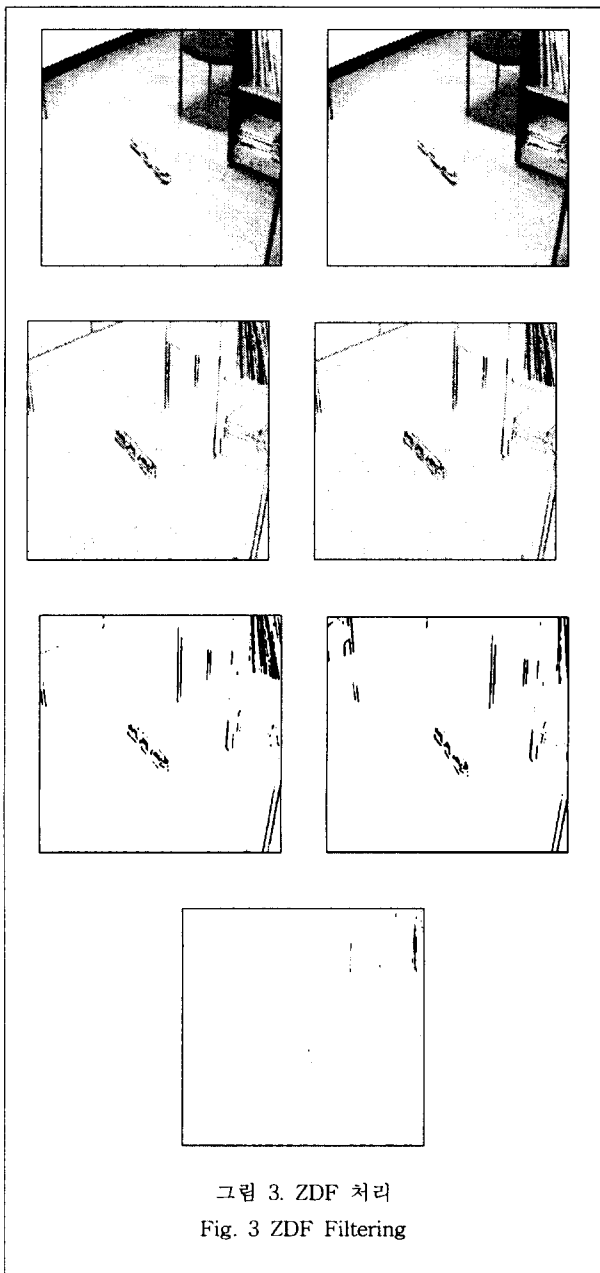


그림 3. ZDF 처리
Fig. 3 ZDF Filtering

3. 주시선제어에 의한 추적 알고리즘

앞장의 ZDF처리에 의해 대상물체는 복잡한 환경에서 비교적 쉽게 추출된다. 이와같이 추출된 화상 특징점들로부터 화상중심점 $M(m_x, m_y)$ 과 두 카메라의 화상좌표계에서의 특징점의 중심점 변동량 $\Delta m_{xl}, \Delta m_{xr}, \Delta m_{yl} = \Delta m_{yr}$ 가 계산되고 대상물체를 화상중심에 위치시키기 위한 카메라의 회전각 $\Delta \theta$, $\Delta \theta_r$, $\Delta \phi$ 은 다음과 같이 구해진다.

$$\Delta \theta_{l,r} = \tan^{-1} \frac{\alpha_x \Delta m_{x(l,r)}}{f} \quad (5)$$

$$\Delta \phi = \tan^{-1} \frac{\alpha_y \Delta m_y}{f}$$

여기서 $\Delta \theta_{l,r}$ 은 좌우 카메라의 피치방향(X축 회전방향) 제어량, $\Delta \phi$ 는 카메라의 틸트방향(Y축 회전방향) 제어량, α_x 는 카메라의 x축방향 셀의 크기, α_y 는 카메라의 y축방향 셀의 크기, f 는 초점거리이다. 카메라는 마이크로스텝 구동에 의해 0.018도의 분해능으로 회전된다. 그림 4는 능동시각시스템의 구성도이다

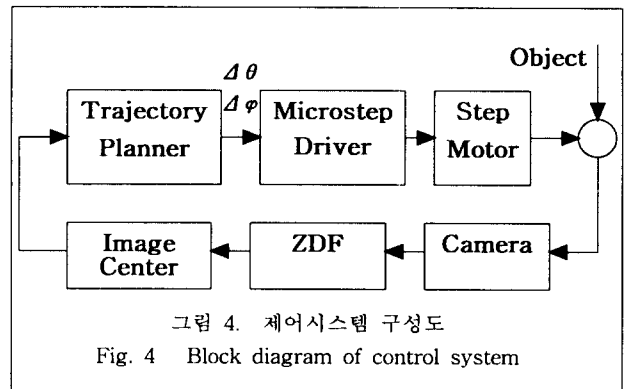


그림 4. 제어시스템 구성도
Fig. 4 Block diagram of control system

4. 토론

이동물체 추적을 위한 능동시각시스템 구축에 대하여 기술하였다. 복잡한 환경으로부터 대상물체를 쉽게 추출하기 위해 능동시각의 본래기능을 활용한 ZDF 필터를 이용하였다. 이동물체의 추적방법으로 화상특징 데이터를 이용한 주시선 제어법을 도입하였다. 이 방법은 이동물체의 3차원에서의 위치를 직접 계산하지 않고 화상 특징점의 중심점의 좌표만을 이용함으로써 제어 알고리즘이 간단하고 화상잡음에 강한 특징을 갖는다. 이동물체 추적에 관한 실험은 대회장에서 보여진다.

참고문헌

- [1] Aloimonous, J., A. Bandopadhyay, and I. Weiss, "Active Vision", *Proc., 1st Int. Conf. on Computer Vision*, pp.34-54, June 1987.
- [2] P.K. Allen, A. Timcenko, B. Yoshimi, P. Michelman, "Trajectory Filtering and Prediction for Automated Tracking and Grasping of Moving Object", *Proc. of IEEE int. Conf. on R&A*, pp.1850-1856, 1992
- [3] Y. Yeshurun and E. Schwartz, "Cepstral Filtering on a Columnar Image Architecture: A Fast Algorithm for Binocular Robot Vision," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intelli.*, Vol. PAMI-11, No.7, pp759-767, 1989.