

論文97-34S-9-8

# 배경시차 보정을 이용한 스테레오 시각장치의 주시각제어

## (Disparity Compensation for Vergence Control of Active Stereo Camera)

朴 淳 庸 \* , 李 容 範 \* , 秦 成 一 \*\*

(Soon Yong Park, Yong Bum Lee, and Sung Il Chien)

### 요 약

움직이는 물체에 대한 스테레오 카메라의 실시간 주시각제어를 위하여 스테레오 시각장치(KASS-1)를 제작하고 이동 물체의 시차정보를 이용한 주시각제어에 대하여 연구하였다. 스테레오 카메라로 획득한 입체영상에서 움직이는 물체의 에너지와 스테레오 시차를 추출하여 이를 주시각제어에 이용함으로써 물체의 이동에 상관없이 스테레오 시차를 항상 일정하게 유지토록 하였다. 주시각제어시 카메라의 회전으로 인하여 획득된 입체영상에는 이동물체뿐만 아니라 배경영상도 이동 에너지로 추출된다. 본 논문에서는 주시각제어시 발생하는 카메라 회전으로 인한 시차영상의 배경 잡음을 제거하기 위해 보정 알고리즘을 이용하여 움직이는 물체만의 에너지와 시차를 추출하고, 이를 스테레오 시각장치에 적용하여 움직이는 물체에 대한 연속적인 주시각제어를 구현하였다.

### Abstract

This paper describes the development of the stereo camera system(KASS-1) and the control of the vergence of the stereo camera to fix a gaze on a moving object in real-time using a stereo disparity. The motion energy and the stereo disparity of a moving object from the stereo image are used to control the vergence of stereo camera to keep stereo disparity constant. The disparity from the rotating stereo camera is introduced not only from the moving object but also from the background. In this paper, the background disparity error due to the vergence control of the stereo camera is eliminated by compensation algorithm, and the vergence of stereo camera system can be controlled continuously using the disparity of a moving object only.

### I. 서 론

인간과 비슷한 시각장치를 개발하고자 하는 노력의 일환으로 스테레오 시각장치에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 사람과 유사한 시각기능의 스테레오 시각

장치는 사람의 목과 눈에 해당하는 팬/틸트와 좌,우 카메라로 구성되며, 물체추적 기능과 주시각제어 기능을 가지고 있어야 한다. 스테레오 시각장치에서 물체 추적 기능은 사람의 목과 같이 물체의 움직임에 따라 카메라의 관측 방향을 제어하는 것을 말하며, 주시각제어 기능은 사람의 눈동자 움직임과 같이 물체의 거리 변화에 따른 눈동자 모인, 즉 관측 물체의 거리 변화에 관계없이 좌,우 영상의 시차정보를 일정하게 유지하는 것을 말한다<sup>[1],[2]</sup>.

주시각제어 기능은 자연스러운 입체영상을 얻게 하여 입체영상 관측 피로를 최소화시키며, 관측 물체를 영상의 중심에 위치시킴으로써 렌즈왜곡으로 인한 영상처리 오차를 줄이고, 시차를 이용한 3차원 공간 분

\* 正會員, 韓國原子力 研究所, 고방사선환경 로보트해  
심기술개발

(Korea Atomic Energy Research Institute  
Advanced Robotics Dept., Basic Research Group)

\*\* 正會員, 慶北大學校 電子工學科  
(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook Nat'l. Univ.)

接受日字: 1997年3月3日, 수정완료일: 1997年8月9日

할로 스테레오 정합(stereo matching)시 거리정보 복원을 용이하며, 물체추적시 스테레오 시각장치를 구성하는 좌, 우 각 카메라의 CCD면 중심에 관측영상이 맺히도록 하기 때문에 물체 추출에 있어 배경에 의한 이동 잡음(motion burr)을 최소화할 수 있다. 그리고 3차원 공간상에서 추적하려는 물체의 검출을 용이하게 하여 추적 성능을 개선할 수 있다<sup>[31],[41]</sup>.

Reid 와 Murray<sup>[11],[12]</sup>는 "Yorick"이라는 스테레오 시각장치를 개발하여 영상의 광류(optical flow)를 이용한 실시간 주시각제어 및 추적 시스템을 연구하였다. "Yorick"시스템은 5자유도의 Head-neck 시스템과 PIPE 영상 처리 시스템을 사용하여 빠른 응답 특성을 보여주고 있다. Olson, Coombs 그리고 Brown<sup>[36]</sup>은 스테레오 영상에서 캡스트럼(Cepstrum)과 ZDF(Zero Disparity Filtering)을 사용하여 이동 물체에 대한 영상 시차와 이동 변위를 구함으로써 스테레오 물체 추적 시스템을 구성하였다. 그리고 Christensen<sup>[17]</sup>은 포커스 줌 그리고 주시각제어 기능을 가진 스테레오 시각장치를 탑재한 이동 로봇을 이용하여 표적까지의 거리를 계산하고 로드맵(loadmap)을 구성함으로써 로봇의 자율주행을 연구하였다. 스테레오 카메라의 주시각제어 연구는 사람의 눈을 모방한 시각 장치를 개발한다는 측면에서 많은 연구가 진행되어 왔으나 주시각 제어를 위한 스테레오 영상처리 및 물체 추적 기술을 복합적으로 필요로 하고 있어 아직도 많은 연구가 필요한 분야이다.

스테레오 영상 시스템은 작업자의 접근이 제한되는 극한환경에서의 원격관측 및 원격제어 로봇의 시각 장치로 주로 이용된다. 심해저, 고방사선 구역, 우주공간 등 극한환경의 작업을 원격 제어되는 로봇을 이용하여 수행할 경우 스테레오 시각장치는 원격지의 작업자에게 현장감을 제공하여 작업 부담을 줄여주고 원격작업 효율을 높여주는 역할을 하게된다. 특히 주시각제어 기능을 가진 스테레오 시각장치는 관측영상의 좌, 우 시차를 0이 되도록 유지하는 등 사람이 관측하는 것과 비슷한 자연스러운 입체영상을 제공하기 때문에 입체영상을 통한 장시간의 원격작업시 작업 피로도를 줄여준다.

본 논문에서는 원격작업 로봇의 시각장치로 활용될 스테레오 시각장치를 개발하고, 이 시스템의 주시각제어를 위해 움직이는 물체에 대한 에너지추적(motion energy tracking)을 이용하여 시차정보를

추정하였다. 기존의 주시각제어 방식은 일반적으로 스테레오 영상처리로 좌, 우 영상에서의 동일 물체에 대한 스테레오 시차를 구하고 이를 주시각제어에 사용하였다. 이러한 방식은 스테레오 영상처리에 수행되는 시간이 많이 걸릴 뿐만 아니라 관측대상 물체가 영상에서 차지하는 면적이 스테레오 시차 성능에 영향을 미치며 복잡한 환경에서의 시차 추출이 어려운 단점이 있다. 이러한 이유로 기존의 실시간 주시각제어 장치는 대부분 고가의 실시간 영상처리부를 가지고 있다. 본 연구에서는 움직이는 물체에서 발생하는 영상 에너지를 추적하는 방법으로 복잡한 환경에서도 움직이는 물체만의 시차를 추출할 수 있는 장점이 있고, 비교적 단순한 영상처리 알고리즘을 사용하여 영상처리에 걸리는 시간을 줄이고 실시간 주시각제어를 위한 하드웨어 구현을 단순화할 수 있도록 하였다. 또한 스테레오 카메라 회전으로 인한 배경영상 잡음을 최소화하기 위해 배경영상 보정법으로 시차를 추출함으로써 움직이는 물체에 대한 연속 주시각제어가 가능하였다.

## II. 주시각제어 카메라에서의 스테레오시차 획득

### 1. 주시각제어 스테레오 카메라

스테레오 카메라는 사람의 눈과 같이 두 대의 카메라를 사용하여 좌,우 영상을 획득하며, 이들 영상으로부터 관측 물체에 대한 거리 정보를 추출할 수 있도록 한 장치로 일반적으로 두 카메라 간격은 사람의 눈 간격과 비슷한 거리인 65mm 정도이다. 일반적으로 입체영상을 획득할 때 두 대의 카메라를 평행하게 배치하여 영상을 획득하는 데 이러한 배치 방법은 획득된 영상으로부터 거리 정보를 쉽게 추출할 수 있다. 그러나 이 방법은 사람의 눈동자 움직임과 같은 주시각제어 기능이 없어 관측 물체의 거리변화에 적응하지 못하는 부자연스러운 입체영상을 획득하게 된다. 관측물체의 거리변화에 대응하여 스테레오 영상의 시차를 조절 가능하게 한 장치를 주시각제어 스테레오 카메라라 한다. 주시각제어 스테레오 카메라에는 일반적으로 폭주식(crossed axes)과 수평식(horizontal moving axes), 두 형태로 나눌 수 있다. 본 논문에서 고려하는 폭주식 스테레오 카메라는 이동하는 물체를 따라 카메라를 회전시켜 주시각을 제어하는 방식으로 그 기본 구조는 그림 1과 같다.

그림에서 물체 Object1에서 주시각  $\theta_1$ 으로 스테레오 카메라가 물체를 관측한다고 가정할 때 획득되는 스테레오 영상의 물체에 대한 시차는 0이 된다. 이 때 물체가 Object2의 위치로 이동하는 경우 주시각은  $\theta_2$ 로 제어가 되어 시차를 0으로 유지하여야 하며 이를 위하여 이동 물체를 추출하고 주시각을 제어하는 과정을 본 논문에서 다루었다.

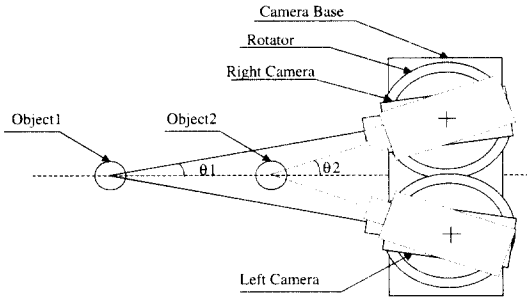


그림 1. 폭주식 주시각제어 스테레오 카메라의 기본 구조

Fig. 1. Basic structure of vergence control stereo camera.

2. 주시각제어 스테레오 시각장치의 구성

본 논문에서는 좌,우 카메라 사이의 거리가 470mm로 고정되어 있고 사람의 목과 눈의 운동처럼 주시각 제어가 가능하도록 한 주시각제어 시각장치(KASS-1: KAERI Active Stereo System)를 개발하였다. KASS-1 시각장치는 사람의 눈에 해당하는 주시각제어 스테레오 카메라와 목에 해당하는 팬(pan)과 틸트(tilt)로 구성되며 주시각(vergence), 틸트 및 팬의 회전을 위해DC 모터를 사용한다. 전체 5자유도인 KASS-1의 각 회전축은 고 정밀도를 보장하는 하모닉(harmonic) 드라이버를 이용하여 백래쉬(backlash)를 최소화하였다. 주시각 제어 카메라의 주시각은 엔코더의해 검출되며 컴퓨터로 피드백되어 스테레오 시차가 항상 0이 되도록 주시각을 제어할 수 있도록 하였다. 다음 그림2는 주시각제어 기능을 가지도록 제작된 스테레오 시각장치를 보여 준다.

스테레오 시각장치의 주시각제어는 각 카메라에 직각으로 회전하는 DC 서보모터에 의하여 수행된다. 각 모터의 엔코더는 1회전 당 1000 펄스의 해상도를 가지고 하모닉 드라이버의 감속비는 100:1의 감속기를 사용하여 최종 모터 출력에서의 분해능을 0.0036°로 구성하였다. 이 분해능은 512픽셀의 CCD 카메라를

사용할 경우  $0.0036^\circ \times 512 = 1.8432^\circ$ 의 FOV(Field of View)를 가지는 고배율의 줌 렌즈를 사용할 수 있다. 각 모터와 컴퓨터는 GPIB 인터페이스를 이용하여 정보를 전송하며 스테레오 카메라에서 획득된 좌,우 영상에서 추적 물체의 스테레오 시차를 추출하고 시차가 0이 유지되도록 주시각 모터를 제어한다. 즉 스테레오 영상 정보가 전체 시스템의 부궤환으로 작용하도록 주시각제어 카메라를 제어하였다. 다음 표1은 주시각제어 카메라에 장착된 하모닉 드라이버의 특성을 보여 주며 그림 3은 스테레오 카메라에서 입력되는 영상 획득과 시차추출, 그리고 카메라의 주시각을 제어하는 신호의 흐름을 보여준다.

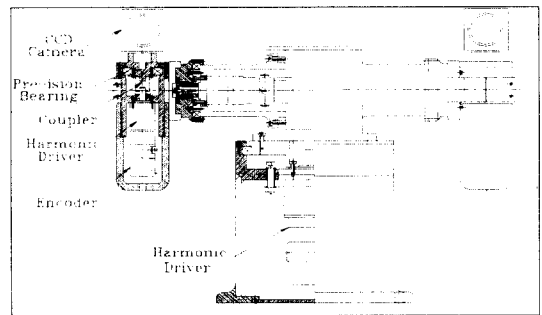
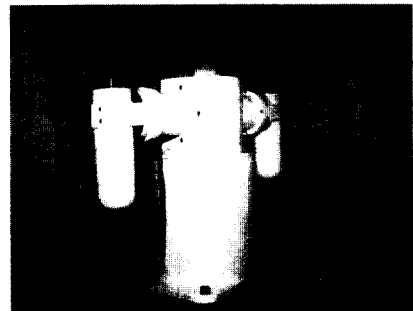


그림 2. 주시각제어 스테레오 시각장치( KASS-1)  
Fig. 2. KAERI Active Stereo System.

표 1. 하모닉 모터의 특성표  
Table 1. Specifications of harmonic motors.

| Spec \ Axis  | Pan     | Tilt    | Vergence |
|--------------|---------|---------|----------|
| 회전각          | 360°    | 360°    | 360°     |
| 회전속도(rpm)    | 30      | 30      | 30       |
| 정격토크(N.m)    | 2.0     | 3.9     | 12.0     |
| 최대토크(N.m)    | 3.5     | 7.8     | 59       |
| 감속비          | 100:1   | 100:1   | 100:1    |
| 엔코더 분해능      | 0.0036° | 0.0036° | 0.0036°  |
| 백래쉬(arc.sec) | 5       | 5       | 5        |

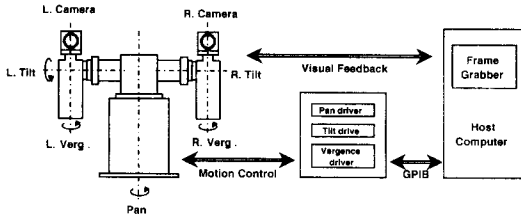


그림 3. 주시각제어 스테레오 시각장치의 구성  
Fig. 3. System architecture of vergence control stereo camera.

### 3. 고정 주시각제어 카메라의 스테레오시차 추출

스테레오 카메라의 주시각제어를 위하여 우선 카메라의 주시각이 변하지 않고 고정된 경우의 이동물체 및 시차 추출에 대하여 고려하였다. 주시각이 고정된 경우 이동물체를 검출하기위해 시간차를 두고 획득된 각각의 좌,우 영상에서 차영상을 획득한다. 이동 물체 검출을 위한 이동에너지 추적(motion energy tracking)의 하나인 차영상(subtraction) 방법은 비교적 단순한 알고리즘으로 구현할 수 있는 장점이 있다. 시간차이를 두고 연속적으로 획득한 두 영상에서의 차영상은 다음 식과 같이 시공간미분(spatio-temporal derivatives)으로 구할 수 있다.

$$\frac{dI(x, y, t)}{dt} \approx \frac{I(x, y, t) - I(x, y, t - \delta t)}{\delta t} \quad (1)$$

이 방법은  $\delta t$  시간동안 물체의 움직임을 추출해내는 데 유용하게 적용할 수 있고 차영상과 현재 시간( $t$ )에서의 경계선(edge) 영상을 이진화하고 이들의 논리곱을 구함으로써 움직이는 물체만의 이진화된 경계선 영상(moving edge)을 추출할 수 있다. 영상의 이진화는 추적대상 물체가 주위 배경에 비하여 상대적으로 밝다고 고려하여 임의의 문턱치 값으로 설정하였다. 이동물체의 스테레오 시차를 구하기위하여 현재 시간( $t$ )에서의 시차(disparity) 영상과 좌,우의 차영상(subtraction)과의 논리곱으로 이동 물체에 대한 시차영상을 구한다. 스테레오 카메라에서 움직이는 물체에 대한 움직임시차(moving disparity)를 구하는 과정은 그림 4와 같다. 그림에서 시간( $t$ )에서의 좌,우 영상을 각각  $f_l(x, y, t)$ 와  $f_r(x, y, t)$ 라 하고 이전 프레임에서의 시간( $t - \delta t$ )에서의 좌,우 영상을 각각  $f_l(x, y, t - \delta t)$ 와  $f_r(x, y, t - \delta t)$ 이라고 할때 시간( $t$ )에서  $\delta t$ 시간 동안

의 차영상을 각각  $df_l(x, y, t)$ 와  $df_r(x, y, t)$ 로 둔다. 시간( $t$ )에서 스테레오시차 영상  $sf(x, y, t)$ 를 구하면 영상내의 모든 물체가 가지는 스테레오 시차가 얻어진다. 스테레오 시차는 좌영상과 우영상의 차영상에서 간단히 구할 수 있다. 이 방법은 단순히 밝기값 정보로부터 시차를 획득하기때문에 오차가 발생할 수 있으나 움직임 시차와의 조합으로 이동 물체만을 추출할 수 있어 본 논문에서 적용하였다.

위에서 획득한 두 개의 차영상  $df_l(x, y, t)$ 와  $df_r(x, y, t)$ 를 시간( $t$ )에서의 시차 영상  $sf(x, y, t)$ 와 AND 연산자를 사용하여 각각  $sdf_l(x, y, t)$ 와  $sdf_r(x, y, t)$ 의 두 영상을 구할 수 있다. 이 결과는 좌,우 두 영상에서 발생한 이동 물체에 대한 시차만을 추출한 결과이다. 이들 영상을 OR 연산자를 사용하여 영상을 취하면 이동 물체에 대한 최종 스테레오 시차 영상  $sdf(x, y, t)$ 를 구할 수 있다. 이 과정을 블럭다이어그램으로 나타내면 다음 그림과 같다.

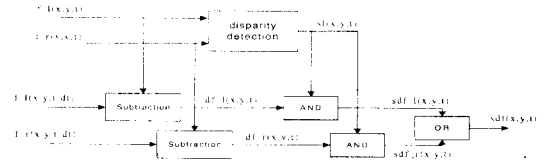


그림 4. 이동 물체 시차 획득을 위한 Block Diagram  
Fig. 4. Block diagram of disparity acquisition of a moving object.

다음 그림 5는 카메라의 주시각이 고정된 경우의 위의 알고리즘을 이용한 스테레오 시차 획득을 보여 준다. 그림에서 컵모양의 물체가  $\delta t$ 시간 동안 그림의 뒷쪽에서 앞쪽으로 이동함을 알 수 있다. 물체의 초기 위치에서 스테레오 카메라의 주시각은 물체의 스테레오 시차가 0이 되도록 초기화하였다. 그림 5(a),(b)는 시간( $t - \delta t$ )에서 획득한 좌,우 스테레오 영상이며 그림 5(c),(d)는 시간( $t$ )에서 획득한 영상이다. 그림 5(e),(f)는 두 시간차에 의한 좌,우 영상의 차영상을 보여주며 그리고 그림 5(g)는 시간( $t$ )에서의 스테레오 시차  $sf(x, y, t)$ , 그림 5(h)는 이동 물체만의 스테레오 시차  $sdf(x, y, t)$ 를 보여 준다. 그림 5(h)의 결과에서와 같이 이동한 물체만의 시차를 추출함으로써 스테레오 카메라의 주시각 제어에 이용하였다.

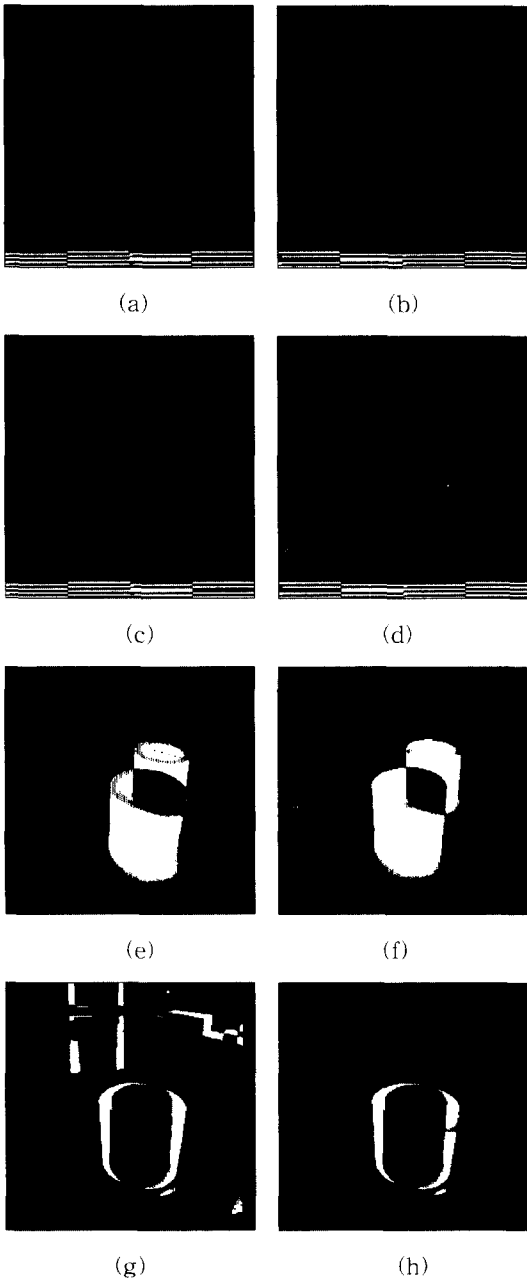


그림 5. 고정주시각 카메라에서의 이동물체의 시차추출  
 Fig. 5. Disparity acquisition of a moving object in fixed vergence angle.

4. 주시각제어 카메라에서의 스테레오시차 추출

앞 절에서는 좌, 우 스테레오 주시각이 고정된 경우 움직이는 물체의 스테레오 시차 정보 획득에 대하여 살펴보았다. 본 절에서는 주시각이 제어되는 주시각제어 카메라의 시차정보획득에 대하여 살펴본다. 주시각

제어 카메라는 획득된 시차 영상을 이용하여 이동물체의 시차를 0으로 유지하기위해 모터를 회전시켜 카메라의 주시각을 제어하게 되는데, 모터의 회전 각도는 시차영상  $sdf(x,y,t)$ 에서 정량화된 시차값, 즉  $sdv$ (stereo disparity value)를 구하여 결정한다. 시차값  $sdv$ 는 시차영상  $sdf(x,y,t)$ 의 가로성분의 크기를 다음과 같이 산술 평균하여 결정한다.

$$P_H(y, t) = \sum_{x=0}^{N_x} sdf(x, y, t)$$

$$N_H = \sum_{y=0}^{N_y} \{1 | P_H(y, t) > 0\}$$

$$sdv = \frac{1}{N_H} \sum_{y=0}^{N_y} P_H(y, t) \quad (2)$$

스테레오 카메라는 시차를 0으로 유지하기위해 좌, 우 영상으로부터 추출한 시차값  $sdv$ 를 이용하여 주시각을 제어하고 다시 이동물체에 대한 새로운 좌,우 영상을 획득하는 연속과정을 수행하게 된다. 이 때 획득된 좌, 우 영상과 카메라 회전 이전의 영상과의 차이 영상  $df_l(x,y,t)$ 과  $df_r(x,y,t)$ 을 구하면 배경 영상의 이동으로 인한 잡음 영상이 발생하게 된다. 이로 인하여 이동 물체에 대한 시차 영상  $sdf(x,y,t)$ 을 획득하면 실제 이동한 물체 뿐만아니라 배경의 이동이 시차 영상으로 존재하기 때문에 주시각의 연속적인 제어가 불가능하게 된다.

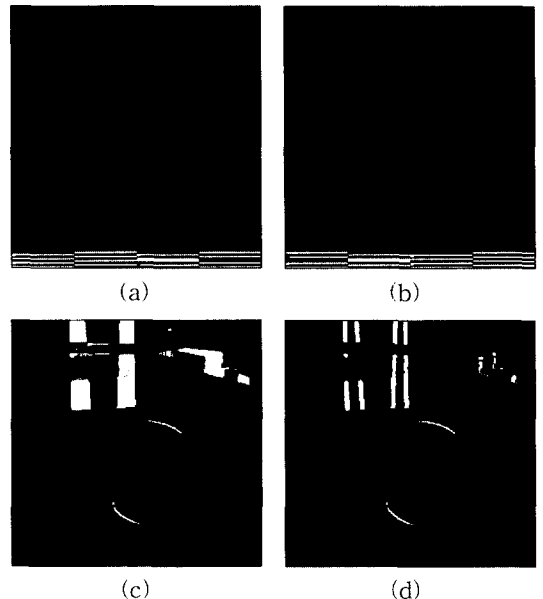


그림 6. 배경 이동을 고려하지 않은 스테레오 시차  
 Fig. 6. Stereo disparity without considering a background panning.

그림 6은 그림 5의 결과에 대하여 스테레오 카메라의 주시각제어 수행 후 스테레오 시차를 획득한 결과이다. 그림 6에서 (a)와 (b)는 그림 5의 (c)와 (d)의 좌,우 영상에서 시차를 0으로 주시각제어한 후에 획득한 영상이며, 그림 6(c)는 이 때의 스테레오 시차 그리고 그림 6(d)는 이동 물체의 이동시차(moving disparity)를 보여 준다. 그림 6(d)에서 실제로 움직인 물체의 시차이외에 배경의 시차가 나타남을 알 수 있다.

이러한 배경의 잡음화 문제를 없애기 위한 방법으로 카메라의 회전축과 렌즈의 축이 일치한다고 가정하였을 때 Kanatani<sup>[8],[9]</sup>의 카메라 회전에 의한 배경 영상 보정법(background compensation)을 사용하여 이동 물체에 대한 차영상을 보정하였다. Kanatani의 보정 알고리즘은 렌즈의 중심을 축으로 회전하는 카메라에서 획득한 영상의 정보는 회전각에 관계없이 보존된다는 것을 보여준다. 그림 7은 공간상의 한 점에 대하여 카메라의 회전에 의한 두 카메라 좌표의 회전으로 인하여 두 영상면에 맺히는 점의 이동을 보여 준다.

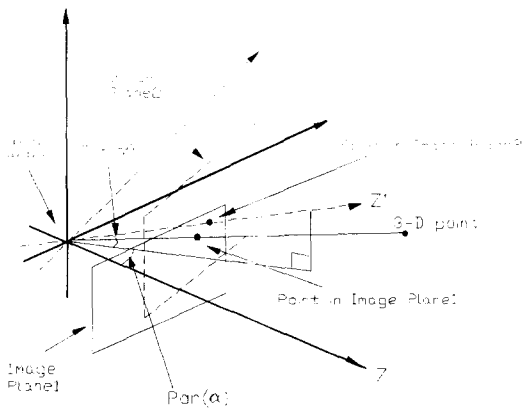


그림 7. 두 영상면위에 맺힌 공간상의 점  
Fig. 7. 3-D point projection on two image planes.

이 모델은 렌즈를 핀-홀 모델로 고려한 경우로 카메라 렌즈의 중심축과 카메라 회전의 중심축은 일치한다고 가정한 것으로, 실제 카메라에서 두 개의 축이 일치하지않는 작은 오차에서도 이 알고리즘이 유효하다고 할 수 있다. 카메라의 팬(pan)과 틸트(tilt)의 각도를  $\alpha$ 와  $\gamma$ 라 하고 틸트의 초기 각도를  $\beta$ 라 할 때 Kanatani의 영상 보정 알고리즘은 다음과 같다.

$$x_{t-1} = f \frac{x_t + \alpha \sin \beta y_t + f \cos \beta}{-a \cos \beta x_t + \gamma y_t + f} \quad (3)$$

$$y_{t-1} = f \frac{-a \sin \beta x_t + y_t - f \gamma}{-a \cos \beta x_t + \gamma y_t + f} \quad (4)$$

여기서 식(3)과 식(4)는 카메라의 회전 각도를 알고 카메라의 초점 거리를 알면 시간(t)에서의 좌표점  $x_t$ 로부터 시간(t-1)에서의 좌표점  $x_{t-1}$ 를 복원할 수 있음을 보여준다. 카메라의 회전에 의한 영상의 이동을 배경 보정 알고리즘을 사용하여 마치 카메라가 회전하지 않고 고정된 카메라에서 획득한 차영상처럼 영상을 얻을 수 있다. 그러나 이 보정 알고리즘을 사용하더라도 주시각측정 센서의 회전 각도에 대한 오차, 그리고 카메라 회전축과 렌즈의 회전축이 일치선상에 놓여있지 않은 점 등으로 인한 오차때문에 이동 물체에 대한 차영상 이외에도 배경의 잡음이 차영상에 포함된다. 이러한 배경 보정으로 인한 잡음들은 이동 물체의 차영상에 비하여 그 에너지가 작다고 보고 모폴로지 필터를 이용하여 제거하였다<sup>[10],[11]</sup>.

그림 8은 배경 영상 보정법을 사용한 주시각 제어 스테레오 카메라의 시차 획득을 보여 주는 블럭다이어그램이다. 그림 4의 블럭다이어그램과 비교해서 시간(t)에서 획득된 두 좌, 우 영상에 대한 배경영상 보정 부분, 그리고 최종 시차 영상에서 모폴로지 필터의 오프닝을 이용한 보정잡음 제거부분이 추가됨을 알 수 있다. 좌, 우 영상에서의 centroid를 구하는 부분은 물체가 카메라로부터 멀어지거나 또는 가까워지는가의 방향을 결정하게 된다.

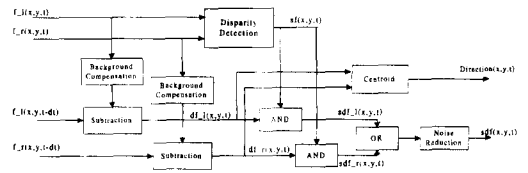


그림 8. 배경 영상 보정법을 이용한 스테레오 시차 획득  
Fig. 8. Stereo disparity acquisition using background compensation.

그림 8. 배경 영상 보정법을 이용한 스테레오 시차 획득  
Fig. 8. Stereo disparity acquisition using background compensation.

식 (3)과 (4)에서 주시각제어는 카메라의 팬 기능만이 사용되므로 틸트각  $\gamma$ 를 0으로 둘 수 있으며, 카메라의 초기 틸트값  $\beta$ 를 0으로 고정하게되면 배경영상 보정 알고리즘은 식(5)와 (6)과 같이 표현된다.

$$x_{t-1} = f \frac{x_t + f \alpha}{-a x_t + f} \quad (5)$$

$$x_{t-1} = x_t + f \alpha \quad (\because a x_t \ll 1)$$

$$y_{t-1} = f \frac{y_t}{-ax_t + f} \quad (6)$$

$$y_{t-1} = y_t \quad (\because ax_t \ll 1)$$

앞서 설명한 바와 같이 카메라의 회전으로 인한 배경 영상의 변화는 카메라를 핀홀 모델로 고려한 경우 영상의 이동성분만이 존재함을 알 수 있다. 이동물체에 대한 시차를 0으로 유지하는 데 사용된 주시각제어 카메라의 회전각도( $\alpha$ )는 좌,우 각각 0.972(deg)이었다. 위 식 (5)에서  $\alpha$ 를 0.972\* $\pi$ /180로, 그리고 렌즈의 초점거리를 12mm로 대입하면 x축 방향의 영상 이동의 크기는 6픽셀이 된다. 그림 9(a)와 9(b)는 그림 6(a)와 6(b)를 식 (5)와 (6)으로 영상보정한 결과를 보여주며 그림 9(c)와 9(d)는 시공간 미분에 의한 이동 물체의 좌,우 차영상을, 9(e)는 시간 (t)에서의 스테레오 시차를, 그리고 9(f)는 이동 물체 만의 스테레오 시차를 보여 준다.

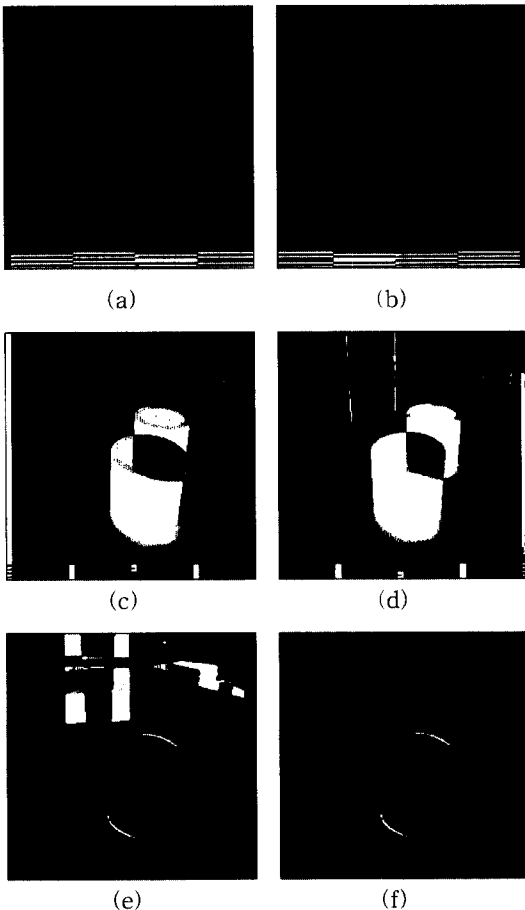


그림 9. 배경 영상 보정법을 이용한 시차 추출  
Fig. 9. Disparity aquisition using background compensation.

### Ⅲ. 시차보정을 이용한 스테레오 카메라의 주시각제어

#### 1. 스테레오 영상 기하학

스테레오 카메라에서 획득한 시차를 이용하여 주시각을 제어하기 위해서는 앞장에서 구한 정량화된 시차값 sdv(stereo disparity value)로부터 카메라의 회전각을 결정하여야 한다. 그림 10과 같은 스테레오 영상 기하학에서 스테레오 카메라로부터 거리 D의 위치에 있는 물체의 주시각을  $\theta$  라 할때 스테레오 카메라로부터 임의의 물체까지의 거리 P는 그림10과 같이 서로 대칭적으로 회전하고 있는 KASS-1과 같은 스테레오 카메라에서 식 (7) 또는 식(8)에서 구할 수 있다.

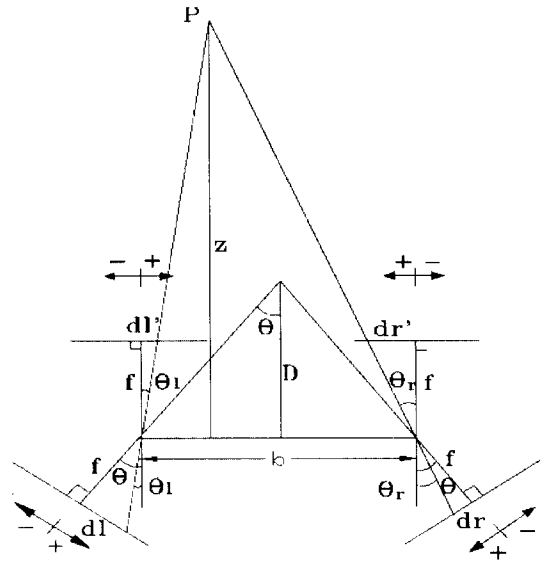


그림 10. 스테레오 영상 기하학  
Fig. 10. Stereo image geometry.

$$z = b \times \frac{(1 + \tan \theta_l \times \frac{dl}{f})(1 + \tan \theta_r \times \frac{dr}{f})}{(\tan \theta_l - \frac{dl}{f})(1 + \tan \theta_r \times \frac{dr}{f}) + (\tan \theta_r - \frac{dr}{f})(1 + \tan \theta_l \times \frac{dl}{f})} \quad (7)$$

$$z = \frac{4D^2bf^2 + 2Dfb^2(dl + dr) + b^3dl dr}{4Dbf^2 + (b^2f - 4D^2f)(dl + dr) - 4Dbdl dr} \quad (8)$$

식 (7)에서 스테레오 카메라의 주시각이 항상 물체에 대하여 대칭적으로 움직인다고 고려할 때, 즉 영상의 중심에 물체가 있다고 고려하면 dr과 dl은 항상 동일하므로 다음 식 (9)와 같이 식을 구할 수 있다.

$$z = \frac{b}{2} \times \frac{(1 + \tan \theta \times \frac{dl}{f})}{(\tan \theta - \frac{dl}{f})} \quad (9)$$

여기서 주시각  $\theta$ 와 CCD에 맺히는 스테레오 시차  $dl$ 을 알면 물체까지의 거리를 구할 수 있다. 주시각  $\theta$ 는 카메라 사이의 각도로 구할 수 있고 CCD에 맺히는 스테레오 영상 시차  $dl$ 은 영상처리 과정을 통해 구할 수 있다.

스테레오 카메라의 주시각  $\theta$ 는 두 카메라의 광축의 각도, 즉 카메라 회전에 사용되는 모터의 엔코더값으로 알 수 있다. 그러나 주시각 제어 초기에는 엔코더값을 획득하더라도 그 값을 절대적인 주시각으로 변환하는 과정이 필요하다. 이 과정은 스테레오 카메라의 보정(calibration)이 선행되어야 하는데 본 논문에서는 이미 알고 있는 3차원 공간상의 점들의 영상 좌표값을 이용하고 이 좌표점들의 과결정 시스템(overdetermined system)의 최소사승해(least square solution)를 구하여 보정을 수행하였다. 이 방법은 카메라 캘리브레이션의 일반적인 방법이므로 본 논문에서의 설명은 생략하기로 한다. CCD에 맺히는 스테레오 시차  $dl$ 은 스테레오 영상시차값  $sdv$ 에서 구할 수 있다. CCD의 가로 크기를  $Dcx$ , CCD의 가로축의 해상도를  $Ncx$ , 그리고 프레임 그래버의 가로해상도를  $Nfx$ 라 하면 스테레오 영상시차값  $sdv$ 에서 CCD에 맺히는 영상시차의 크기  $dl$ 을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$dl = \frac{1}{2} \times sdv \times \frac{Dcx}{Ncx} \times \frac{Ncx}{Nfx} \quad (10)$$

실험에 사용된 주시각제어 시스템의 카메라 및 영상 프레임 그래버 특성을 다음 표 2에서 보여 준다.

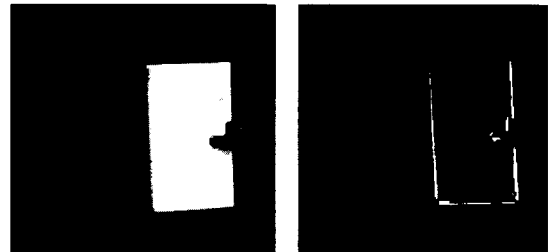
표 2. 주시각제어 시각장치의 카메라 특성  
Table 2. Specifications of CCD camera of KASS1.

| spec \ axis     | x 축     | y 축     |
|-----------------|---------|---------|
| 유효소자수( $N_c$ )  | 768     | 494     |
| 활상 면적 ( $D_c$ ) | 8.8(mm) | 6.6(mm) |
| 영상해상도( $N_f$ )  | 640     | 480     |

## 2. 실험 결과

움직이는 물체에 대한 스테레오 시각장치의 주시각 제어 과정을 좌, 우 카메라에서 획득한 영상 및 스테

레오 시차영상으로 확인하였다. 주시각제어 과정은 우선 이동물체 표적을 스테레오 카메라의 전면에 배치하고 스테레오 시차를 0으로 초기화한 다음 스테레오 카메라의 캘리브레이션을 이용하여 최초의 주시각을 설정한다. 다음으로 초기 주시각이 설정된 후 물체의 거리를 구하고 물체의 이동에 따른 시차값을 획득하여 이를 다시 스테레오 시각장치의 주시각에 사용하는 순서로 이루어지며 전체 시스템은 좌,우 카메라의 영상이 컴퓨터로 피드백되는 부폐환으로 구성된다. 즉, 주시각 제어를 위한 영상 시차의 오차는 주시각제어 모터를 구동하여 항상 일정한 주시각이 유지되도록 하였다. 물체가 스테레오 카메라로부터의 멀어지거나 가까워지는가하는 이동방향의 설정은 좌,우의 시간차 영상에서 이동물체의 중심값을 구하여 결정하였다. 다음 그림11은 근거리에서 원거리로 움직이는 물체에 대한 입력 영상과 스테레오 시차영상의 결과를 보여준다. 주시각 제어 후 각 모터의 회전값으로부터 물체까지의 거리를 식(9)에서 구한 결과를 각각 나타내었다.



(a)



(b)



(c)



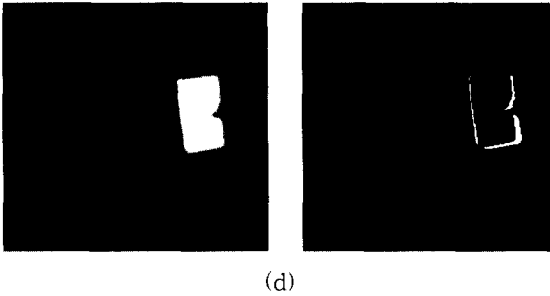


그림 11. 이동 물체에 대한 연속 주시각제어  
 Fig. 11. Continuous vergence control on a moving object.  
 (a)  $z = 1.29(m)$  (b)  $z = 1.49(m)$  (c)  $z = 1.65(m)$  (d)  $z = 2.45(m)$

주시각 제어 카메라 시스템의 호스트 컴퓨터로는 100Mhz 586PC를 사용하였고 입력 영상 획득은 DT3851 영상 프레임 그래버를 사용하였다. 스테레오 영상을 획득하고 시차를 구한 다음 주시각을 제어하는데 걸리는 시간은 2.1초이었다. 이동하는 물체의 거리에 따른 카메라의 주시각의 변화를 다음 그림12에서 보여준다. 물체가 카메라로부터 멀어질수록 스테레오 카메라의 주시각은 작아짐을 알 수 있다.

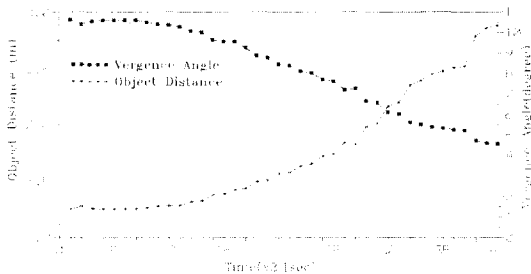


그림 12. 이동물체의 거리 및 스테레오 카메라의 주시각 변화  
 Fig. 12. The vergence of stereo camera and the distance of a moving object.

IV. 결론

본 논문은 사람의 접근이 제한되는 극한 작업환경에서 사람을 대신하는 원격제어 로봇 시스템의 시각장치를 개발하는 것을 목표로 한다. 원격 제어용 시각장치를 개발하기 위해 인간의 눈과 같은 기능을 갖는 스테레오 시각장치(KASS-1)를 개발하였으며, 주시각제어를 통하여 움직이는 물체에 대한 스테레오 카메라의

주시각을 항상 일정하게 유지하였다. 스테레오 시각 장치의 주시각 제어는 물체의 거리에 따라 스테레오 카메라의 관측각도를 자동으로 제어하기 때문에 원격 작업자의 관측 효율을 향상시키고 스테레오 영상처리를 이용한 3차원 정보추출을 용이하게 할 수 있는 장점을 가지고 있다.

개발한 스테레오 시각장치(KASS)의 주시각제어는 카메라에서 획득된 좌,우 두 영상에서 이동물체를 추출하고, 스테레오 시차를 측정하여 시각장치에 피드백 시킴으로써 수행된다. 연속적으로 입력되는 카메라 영상에서 움직이는 물체의 에너지를 시공간 미분으로 추출하고 스테레오 시차영상과 논리곱을 적용하여 움직이는 물체만의 시차 에너지를 추출함으로써 주시각제어를 수행하였다. 이동물체의 시차 에너지를 최소화하는 방향으로 모터를 구동하고, 주시각 카메라의 회전으로 인해 발생하는 시차영상에서의 배경잡음을 Kanatani의 배경영상 보정 알고리즘을 이용하여 보정함으로써 배경영상의 시차를 제거할 수 있었다. 이들 시차정보를 이용하여 3차원 공간상에서 움직이는 물체의 스테레오 시차를 일정하게 유지하도록 KASS-1 시각장치의 주시각을 제어하였다. 영상처리 알고리즘은 하드웨어 구현이 단순하고 비교적 처리 속도가 빠른 논리연산만을 사용하여 실시간 영상처리 구현에 큰 장점을 가지고 있음을 알 수 있다.

스테레오 시각 장치는 카메라의 주시각(vergence) 뿐만아니라 시각장치의 팬(pan) 및 틸트(tilt)의 3가지의 제어를 동시에 수행하여야 전체적인 스테레오 물체 추적 시스템을 구성할 수 있다. 이런 점에서 스테레오 카메라의 주시각제어는 스테레오 시각장치의 전반적인 제어를 위한 기반기술의 확보로 볼 수 있으며, 앞으로 시각장치의 팬과 틸트가 연동된 스테레오 추적 시스템의 구성 및 시각장치의 실시간 제어를 위한 영상 처리 알고리즘 개발이 진행되어야 할 것이다.

참고 문헌

[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*, pp.403-411, 1993.

[3] D. J. Coombs and C. M. Brown, "Cooperative Gaze Holding in Binocular Vision, " *IEEE Control System*, pp.24-33, 1991.

[4] T. J. Olson and D. J. Coombs, "Real-Time Vergence Control for Binocular Robots, " *Intl. Journal of computer Vision*, vol.7, no.1, pp.67-89, 1991.

[5] C. M. Brown, "Gaze controls with Interactions and Delays, " *IEEE Trans. on System, Man and Cybernetics*, vol.20, no.1, pp.518-527, 1990.

[6] J. R. Taylor and T. J. Olson, "Precise Vergence Control in Complex Scenes,"

*SPIE Intelligent Robots and Computer Vision XII*, vol.2056, pp.22-30, 1993.

[7] H. I. Christensen, "The AUC Robot Camera Head, " *LIA-Tech-Report 9518*, Oct. 1995.

[8] D. Murray and A. Basu, "Motion Tracking with an Active Camera, " *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 16, no. 5, pp.449-459, 1994.

[9] K. Kanatani, "Camera Rotation Invariance of Image Characteristics, " *Comput. Vision, Graphics, Image Processing*, vol. 39, no. 3, pp.328-354, 1987.

[10] M. Xie, "Cooperative Strategy for Matching Multi-level Edge Primitives, " *Image and Vision Computing*, vol.13, no. 2, pp89-99, 1995.

[11] W. K. Pratt, *Digital Image Processing*, John Wiley & Sons, 1991.

저 자 소 개



朴 淳 庸(正會員)  
 1991년 2월 경북대 전자공학과 졸업(공학사), 1993년 2월 경북대 대학원 전자공학과 졸업(공학석사), 1993년 3월 - 현재 한국원자력연구소 로보트핵심기술개발분야 연구원, 주관심분야는 로보트비전, 입체

영상 등



李 容 範(正會員)  
 1985년 2월 경북대 전자공학과 졸업(공학사), 1987년 2월 경북대 대학원 전자공학과 졸업(공학석사), 1995년 3월 - 현재 경북대 대학원 전자공학과 박사수료, 1987년 3월 - 현재 한국원자력연구소 로보트핵

심기술개발분야 책임자, 주관심분야는 로보틱스, 입체 영상, 가상현실 등

秦 成 一(正會員) 第 32卷 B編 第 9號 參照  
 현재 경북대학교 전자공학과 부교수