

## 수평식 입체영상 카메라의 자동 주시각 제어 연구

이용범, 권기철, 윤종진, 최영수  
한국원자력연구소  
305-600 대전 유성구 유성우체국 사서함 105호

### Study on Automatic Vergence Control of Horizontal-Moving Axis Stereo Camera

Yong-Bum Lee, Ki-Chul Kwon, Jong-Kun Yoon, and Young-Soo Choi  
Korea Atomic Energy Research Institute  
E-mail : yblee2@nanum.kaeri.re.kr

#### Abstract

본 논문에서는 수평식(水平式) 입체영상카메라의 주시각(注視角) 자동제어를 위한 고속, 고정밀 시차추출 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 수평식 입체영상 카메라의 초점과 주시각의 선형적 관계에 따라 사람의 눈에서와 같은 자연스럽고도 선명한 입체영상을 획득할 수 있도록 주시각 및 초점제어를 동시에 자동 제어하며, 입체영상에 포함되어 있는 평면 및 상하불일치 영역을 최소화하기 위한 전처리 과정과 고속, 고정밀 시차추출을 위한 프로젝션 및 캡스트럼(Cepstrum) 필터링 과정이 포함되어 있다. 제안된 알고리즘은 수평식 입체카메라의 실시간 제어를 가능하게 하며 카메라 조작자의 초점 및 주시각 제어에 대한 부담을 줄여준다.

#### I. 서론

과학기술의 발달과 더불어 예전에는 상상할 수 없었던 극한환경에서의 작업이 증가하고 있다. 극한작업은 원격작업 형태로 수행되며 원활한 작업수행을 위해서는 인간 오감에 기초한 환경인지가 필수적이다. 시각 정보는 인간 오감 중 가장 중요한 환경인지 수단이며 최근 인간의 시각에 충실한 실감 입체영상을 평면영상을 대신하여 사용하고자 하는 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 인간 시각기능에 충실한 입체영상을

획득하기 위한 입체영상 카메라의 개발을 목표로 하고 있다. 좌, 우 두 대의 카메라를 사용하는 양안식(兩眼式) 입체 카메라 중 가장 우수한 성능을 가진 것으로 알려진 수평식 입체 카메라<sup>[1]</sup>의 초점 및 주시각 제어의 자동화를 위한 고속, 고정밀 알고리즘을 제안하였다.

수평식 입체카메라는 사람의 눈에서와 같은 선명하고도 자연스러운 입체영상을 얻기 위한 초점 및 주시각관계가 선형성을 지니고 있어 초점 또는 주시각의 동시제어가 가능하다<sup>[2]</sup>.

주시각 제어는 입체영상에서의 시차가 "0"이 되도록 입체카메라의 좌, 우 영상센서의 광축을 조절하는 것으로 시차가 '0'일 때 사람의 눈에서와 같은 자연스러운 입체영상을 획득할 수 있다.

주시각 제어에 관한 연구로는 Reid의 영상 광류(Optical flow)를 사용한 연구, Coombs의 캡스트럼과 ZDF(Zero Disparity Filtering)를 사용한 연구, 그리고 Taylor의 2차원 캡스트럼 기반 정밀 주시각 제어 연구 등이 있다<sup>[3][4]</sup>.

본 논문에서의 수평식 입체카메라의 실시간 초점 및 주시각의 동시 자동제어를 위해 시차정보를 이용한 주시각 자동제어 알고리즘을 제안하였다. 시차정보는 프로젝션에 기반한 일차원 캡스트럼 연산자로 추출하며 입체영상에 포함된 평면 및 상하불일치 영역제거를 위한 전처리과정으로 해밍(Hamming) 윈도우를 사용하였다.

## II. 캡스트림 연산자를 사용한 입체영상 시차추출

### 1. 캡스트림 연산자

캡스트림 연산자는 지진파와 초음파해석 등에서 에코성분이나 반복성분 검출에 많이 사용되는 연산자로서 입력 신호의 파워 스펙트럼에 로그를 취한 후 다시 역푸리에 변환한 것으로 정의되며, 자기상관에 비해 반복성분에 대한 S/N비가 높은 특징을 가지고 있다.

입체영상에서 캡스트림 연산자는 좌 영상에 대한 우 영상의 시차 값이 반복성분으로 검출된다. 식(1)과 같이 좌 영상  $s(x)$ 와 시차성분  $d$ 가 포함된 우 영상을 이어 붙인 후 캡스트림 처리되며 시차 값은 식(2)의 캡스트림 결과에서 대칭 되는 좌, 우 영역에서의 최고 값의 위치를 검출함으로써 구해진다.

$$f(x) = s(x) * (\delta(x) + \delta(x-d)) \quad (1)$$

$$F^{-1}[\log |F(u)|^2] \\ = F^{-1}[\log S(u)] + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{d^n x - nd^n}{n} \quad (2)$$

### 2. 고속, 고정밀 입체영상 시차추출 알고리즘

본 논문에서는 수평이동식 입체영상 카메라의 주시각 제어를 위한 시차추출 방법으로 프로젝션 데이터에 일차원 캡스트림 연산자를 사용하는 고속, 고정밀 시차추출 알고리즘을 제안한다. 수평식 카메라의 주시각 제어에는 시차성분 중 수평시차만이 이용됨에 따라 일차원 캡스트림 연산자를 사용하여  $dh$ 만을 추출하여 사용한다. 주시각제어를 위한 시차추출 알고리즘은 먼저 획득된 좌, 우 영상을  $y$ 축 방향으로 프로젝션 처리하여 일차원화 한 후 시차추출의 정확성을 높이기 위해 입체영상에 포함되어 있는 평면 및 상하 불일치 영역을 최소화하는 전처리 과정을 수행한다. 전처리 과정에는 해밍윈도우가 사용되었다. 그리고 전처리 과정을 거친 좌, 우 영상의 프로젝션 데이터를 이어 붙인 후 캡스트림 필터를 적용시킴으로써 시차 추출을 추출한다. 시차성분  $dh$ 는 캡스트림 결과에서 좌, 우 영역의 대칭 되는 최고 값의 좌표 값으로 나타난다. 제안된 방법은 프로젝션 데이터를 이용하기 때문에 2차원 캡스트림을 이용하여 시차를 추출하는 Taylor나 Coombs 방법에서의 전처리 과정이나 처리시간의 단축에 사용되는 스케일링 과정이 생략됨으로써 고속처리가 가능

하며, 또한 시차추출시 정확도가 높다. 그림 1은 제안된 고속, 고정밀 시차추출 알고리즘의 블록다이어그램이다.

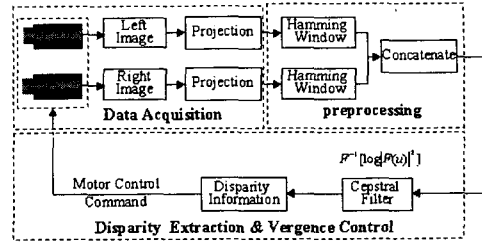


그림 1 입체영상 시차추출 블록다이어그램

## III. 수평식 입체영상 카메라

수평식 입체영상 카메라는 영상센서를 좌, 우 수평으로 이동시키면서 주시각을 조절하도록 설계되어 있는 양안 입체 카메라이다. 그림 2의 기하학적 표현으로부터 좌, 우 영상센서에 맺히는 관측물체 O의 시차  $l-r$ 은 식(3)과 같이 표현된다.

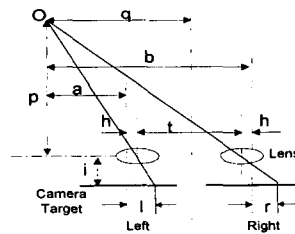


그림 2 수평식 입체영상 카메라의 기하학

$$l - r = 2h - \frac{it}{p} \quad (3)$$

여기서,  $p$ 는 물체 O까지의 수직거리,  $s$ 는 두 카메라 사이의 간격,  $h$ 는 주시각 제어를 위한 카메라 렌즈의 수평 이동량,  $i$ 는 영상센서와 렌즈사이의 거리, 그리고  $f$ 는 렌즈의 초점거리이다.

수평식 입체 카메라로 사람의 눈에서와 같은 자연스러운 입체영상을 획득하기 위해서는 영상의 시차가 0이 되도록 좌, 우 영상센서를 움직여 주어야 한다. 이는 식 (3)에서  $l-r$ 은 "0"이 되어 식(4)과 같은 조건의 식을 만족해야 자연스러운 입체영상을 획득할 수 있음을 의미한다.

$$p = it / 2h \quad (4)$$

또한 수평이동식 입체영상 카메라로 선명한 영상을 얻기 위해서는 렌즈 공식에 따라 입체 카메라의 좌, 우 렌즈가 식(5)의 렌즈 공식을 만족하여야 한다.

$$1/f = 1/i + 1/p \quad (5)$$

따라서 자연스럽고도 선명한 입체영상을 얻기 위해서는 식(4)과 (5)를 만족하여야 하며 이들 식으로부터 초점제어를 위한 렌즈와 영상센서 사이의 거리 변화량  $di$ 와 주시각 제어를 위한 렌즈의 이동 변위량  $dh$ 의 관계를 도출하면 식(6)의 관계를 얻을 수 있다.

$$\text{if}(p \gg f) \quad \frac{dh}{di} \cong -\frac{s}{2f} \quad (6)$$

식(6)은 수평식 입체카메라로 선명하고도 자연스러운 입체영상을 얻기 위한 초점 및 주시각 관계가 비례적인 관계를 가짐을 알 수 있다. 이는 주시각이나 초점 중 하나만의 제어에 의해 초점 및 주시각이 모두 제어된 양질의 입체영상을 획득할 수 있음을 의미한다. 그림 3은 주시각 및 초점 관계를 이용하여 설계된 수평식 입체카메라, KASS-M2의 개념도 이다.

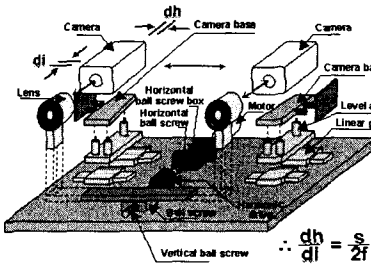


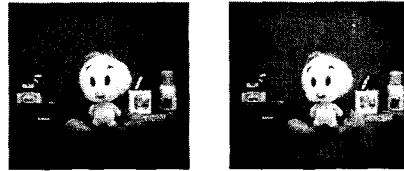
그림 3. 수평식 입체영상 카메라(KASS-M2)의 구조

#### IV. 자동 주시각제어 실험

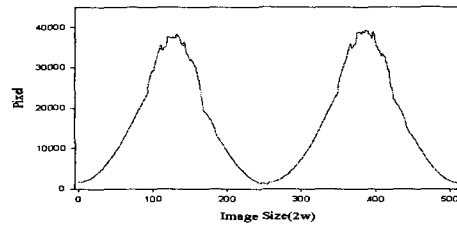
수평식 입체카메라의 주시각제어에 관한 실험을 수행하였다. 실험은 본 논문에서 제안된 고속, 고정밀 시차추출을 이용하는 주시각 제어를 통해 자연스럽게 선명한 입체영상의 획득 여부와 수평식 입체 카메라의 주시각 및 초점관계가 주시각제어 과정을 통해 잘 이루어지고 있는가를 확인하는 것이다. 실험에서는 전술

한 KASS-M2, 수평식 입체 카메라가 사용되었다.

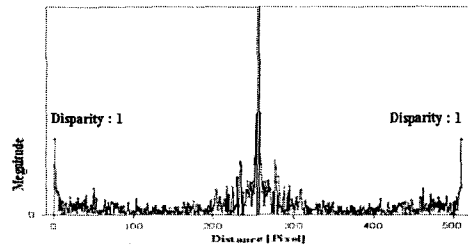
그림 4는 획득된 입체영상으로부터 프로젝션 및 전처리 그리고 캡스트럼 과정을 통해 시차성분이 추출되는 과정이다. 1.2m에 위치한 인형을 자연스럽게 입체영상으로 획득하는 과정으로 시차값  $dh$ 가 1로 초점 및 주시각이 잘 맞추어진 상태이다. 입체영상 획득시 주시각 오차를 3 픽셀로 설정하여 시차값이 이 범위 내에 있을 때 주시각이 맞추어진 것으로 가정하였다. 실험에 앞서 KASS-M2, 수평식 입체 카메라는 시차추출시의 에러를 방지하기 위해 에피플라 라인 정렬 및 관측거리 캘리브레이션 등의 초기화 작업이 수행되었다.



좌 영상                      우 영상  
(a) 입체영상 (관측거리 1.2m)



(b) 해밍윈도우 처리된 프로젝션 데이터



(c) 캡스트럼에 의한 시차추출

그림 4. 시차추출 과정

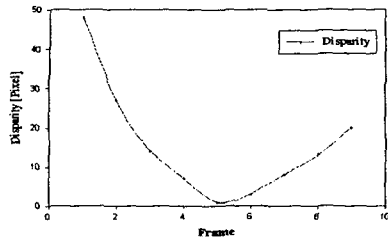


그림 5. 주시각 제어에 의한 시차측정

표 1. 시차추출 시간 비교

Method		John R. Taylor	Projection 기반
Superresolution Processing	Hamming W	390 (256 × 256 × 2)	0.01 (256 × 2)
	Residual	128 × 128	60 (Gaussian Pyramid)
		64 × 64	0.60 (Down Sampling)
	Projection		16.5 (256 × 2)
Cepstral Filter		940 (128 × 256), 38 (64 × 128)	9.30 (1 × 512)
Total		1390.6 (128 × 256) 488.6 (128 × 256)	25.81

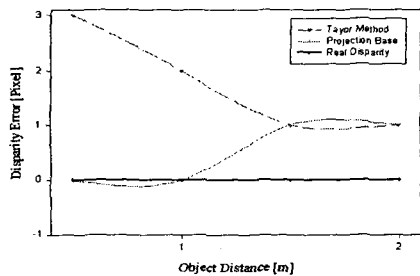


그림 6. 시차 추출 오차비교

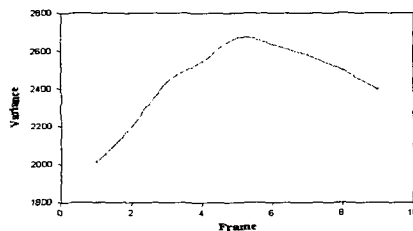


그림 7. 분산값에 의한 초점량 측정

입체영상 관측 실험에서 제안된 방법은 평균 시차에러가 0.5픽셀 정도로 적고 초당 38프레임 이상의 입체영상으로부터 시차추출이 가능하며, 표1에서와 같이

Taylor 방법에 비해 처리시간에서는 18-50배정도 단축되며 그림 6에서와 같이 시차추출 정확도에서는 2배 이상 우수하여 수평식 입체 카메라의 고속, 고정밀 초점 및 주시각 자동제어가 가능함을 확인하였다. 그림 5는 주시각 제어에 사용되는 관측영상의 시차값을 측정된 것이며, 그림 7은 관측영상에 대한 초점량을 측정하기 위한 분산값을 나타낸다. 분산값은 초점이 맞추어졌을 때 가장 높은 값이 나타난다. 그림 5와 7을 통해 주시각이 잘 맞추어진 상태에서 초점 또한 잘 맞추어지고 있음을 확인할 수 있다.

## VI. 결 론

수평식 입체카메라의 초점 및 주시각의 실시간 동시 자동제어에 사용될 고속, 고정밀 시차추출 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 Taylor 및 Olson이 사용한 시차추출 알고리즘에 비해 시차정확도에서는 2배이상, 시차추출 속도에서는 18-50배정도 우수하여 수평식 입체 카메라의 고속, 고정밀, 실시간 제어에 사용할 수 있음을 입증하였다. 주시각 제어에 의한 입체카메라의 자동제어는 초점량 제어에 의한 자동제어에서와 같은 결과를 나타내어 수평식 입체 카메라의 초점 및 주시각의 선형성에 따른 동시제어가 잘 이루어지고 있음을 확인하였다. 주시각 및 초점 제어의 자동화는 관측방향, 초점 외에 주시각을 제어해야 하는 입체카메라 조작용의 부담을 줄여 줄 수 있고 사람 눈에서와 같은 자연스럽게고도 선명한 입체영상을 획득 할 수 있었다.

## V. 참고문헌(또는 Reference)

- [1] 이용범 외, "촬영법에 따른 입체영상 재현성 비교" 대한전자공학회 하계학술대회, 1996년 9월
- [2] Soon-Yong Park, "Linear Relation for Vergence Control of Parallel Stereo Camera", *IEE*, Vol.34, No. 3, pp255-256, 5th Feb. 1998
- [3] John R. Taylor and Thomas J.Olson, "Precise Vergence Control in Complex Scenes", *SPIE Intelligent Robots and Computer Vision XII*, Vol. 2056, pp22-30, 1993.
- [4] David Coombs and Christopher Brown, Real Time Smooth Pursuit Tracking for a Moving Binocular Robot, *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 23-28, 1992