

論文98-35D-12-13

광 JTC를 이용한 이동 물체의 스테레오 주시각 시차 추출

(Stereo Convergence Angle Disparity Extraction of the Moving Target using Optical JTC)

李在洙*, 金成昊*, 金奎兌*, 金恩洙*, 朴淳庸**,
李容範**

(Jae-Soo Lee, Sung-Ho Kim, Kyu-Tae Kim, Eun-Soo Kim, Soon-Yong Park,
and Yong-Bum Lee)

요 약

스테레오 비전 시스템은 사람의 눈 구조와 같이 좌,우 양방향에 위치한 두 대의 카메라로부터 영상이 입력되기 때문에 기존의 2차원 영상에 비해 보다 현실감 있는 입체 영상을 제공하는 특징을 갖고 있다. 그러나 스테레오 비전 시스템에서 좌,우 영상의 시점이 일치하지 않을 경우 발생하는 스테레오 시차로 인해 오랜 시간동안 작업하는 관측자에게 눈의 피로감을 주고 물체의 입체감을 느끼지 못하기 때문에 스테레오 시차를 0으로 유지시키는 것이 요구되고 있다. 따라서 본 논문에서는 스테레오 시차를 0으로 유지시키기 위한 새로운 접근방법으로 적응적 물체 추적이 가능한 광 JTC를 이용하여 좌,우 영상에 대한 상관 첨두치의 상대적 위치 변화를 측정하는 새로운 스테레오 시차추출 방법을 제시하고, 광학적 실험을 통해 배경 잡음에 강하고 주시각 시차의 실시간적 제어가 가능한 스테레오 비전 시스템을 제시하였다.

Abstract

A stereo vision system such as the structure of human's eyes has two cameras at separated positions from which we can obtain two input images and then put them together to create 3-D image. It can show more virtual effect than the conventional 2-D image system. But, the stereo image system has to control the convergence angle so that the stereo disparity could always be zero because observers can be fatigued and unconscious of stereo image in conditions that the stereo disparity is not zero for a long work. Therefore, in the paper, optical JTC system which can process adaptive tracking of a specific moving object is proposed as a new approach to keep the stereo disparity to be zero. In this method, optical JTC system obtains the values of the relative locations of a moving objects in left and right images and then these values are used for maintaining the stereo disparity to be zero. Through some optical experiments the proposed stereo vision system is proved to be insensitive to background noises and operate in real-time.

* 正會員, 光云大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Eng., Kwangwoon Univ.)

** 正會員, 韓國原子力研究所 로봇핵심기술 개발팀

(Advanced Robotics Dept in KAERI)

※ 본 연구가 과학기술부의 원자력연구 개발사업의 일환으로 수행 되었음.

接受日字:1998年4月21日, 수정완료일:1998年11月21日

I. 서 론

원격 작업의 효율을 향상시키기 위하여 인간의 오감(五感)중 특히 시각 정보를 이용하는 입체 영상 시스템의 연구가 활발하며^{[1][2]} 사람의 눈과 같이 움직이며 영상을 획득하는 스테레오(stereo) 시각장치 즉, 인간 눈의 구조를 닮은 입체영상 시스템 개발에 대한 연구가 활발히 진행중이다.^{[3][4]} 이러한 입체영상

시스템은 영상을 입력하기 위한 스테레오 카메라와 영상을 관측자에게 입체적으로 출력해주는 모니터로 구성된다. 스테레오 카메라는 사람의 눈과 비슷한 간격으로 평행하게 배치된 두 대의 카메라가 사용되며, 이 들로부터 획득한 좌,우 영상의 양안 시차는 관측자에게 입체감을 느끼게 하지만, 반면에 좌,우 영상의 시점 불일치로 인한 스테레오 시차는 사람의 눈을 피로하게 한다. 따라서 스테레오 비전 시스템에서는 스테레오 시차를 0으로 유지하기 위한 제어가 필수적이다.

일반적으로 2차원 물체 추적 시스템과는 달리 스테레오 물체 추적 시스템은 물체를 추적하는 동시에 사람의 눈동자와 같이 물체의 거리에 따라 카메라의 주시각을 제어하는 기능을 가지고 있어야 한다. 이와 같은 주시각 제어는 관측대상 물체에 좌,우 각 카메라의 시점을 일치시키는 것으로써 이동 물체에 따라 좌,우 영상의 스테레오 시차를 0으로 유지하는 것이다. 이러한 주시각 제어는 스테레오 카메라를 이용한 물체의 거리 측정이나 스테레오 물체 추적에서 유용한 정보를 나타내며 작업자에게는 물체의 깊이감을 현실감 있게 제공하게 된다.

이때 스테레오 영상의 스테레오 시차를 0으로 유지해야 오랜 시간의 작업에서도 눈의 피로감을 덜 느끼게 된다. 현재 스테레오 시차를 제어하기 위한 방법으로 입력 영상에서 물체의 무게 중심을 구해 스테레오 시차를 구하는 무게 중심법(centroid method)^[5]과 좌,우 입력 영상의 상관관을 통해 스테레오 시차를 구하는 상관기법(correlation method)^[6] 등이 연구되고 있다. 무게 중심법은 주위 배경의 영향을 고려할 수 없는 취약성을 지니고 있기 때문에 실제 상황에서 응용하기에 많은 제약이 따르고, 상관기법은 잡음 특성에 강하고 비교적 안정된 방법이지만 영상 상관시 디지털적 계산량이 너무 방대하여 실시간적 구현에 제한이 있다.

따라서 본 논문에서는 스테레오 시차를 제어하기 위한 새로운 접근 방법으로 적응적 물체 추적이 가능한 광 JTC(joint transform correlator)^{[7][8][9]}를 이용하여 좌,우 영상을 한 입력 평면에 위치시키고 두 영상에서 상관 침투치의 상대적 위치 변화를 측정하는 새로운 스테레오 시차추출 방법을 제시하고 광학적인 구현 및 실험을 통해 배경잡음에 강하고 주시각 시차의 실시간적 제어가 가능한 스테레오 비전 시스템을 제시하고자 한다.

II. 스테레오 카메라의 주시각

스테레오 카메라는 사람의 눈과 비슷한 간격으로 평행하게 배치된 두 대의 카메라가 사용되며, 이들로 부터 획득한 좌,우 영상의 양안 시차는 관측자에게 입체감을 느끼게 한다. 반면에 두 카메라의 기하학적 위치가 물체의 거리에 따라 능동적으로 변하여 관측 물체에 대한 주시각을 일치시키는 것을 스테레오 카메라의 주시각 제어라 한다. 이러한 주시각 제어 기능을 가진 스테레오 카메라를 주시각 제어 스테레오 카메라라 하며, 주시각 제어 스테레오 카메라는 움직이는 관측 물체에 대한 스테레오 시차를 항상 0으로 유지시키는 것이 필수적이다. 이처럼 사람의 눈과 같이 이동 물체에 대한 주시각을 일정하게 유지하기 위해 스테레오 카메라에서 입력된 좌,우 두 영상에서 이동 물체를 추출하고 이 물체의 스테레오 시차를 추출하여 카메라의 주시각 제어에 이용한다.

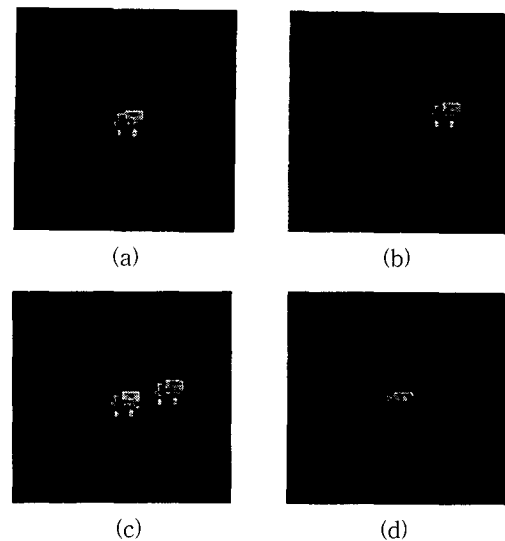


그림 1. 스테레오 비전 시스템에서 좌,우 입력 영상과 합성영상

(a) 좌측 카메라 입력영상 (b) 우측 카메라 입력영상 (c) 시차가 있는 합성 영상의 디스플레이 (d) 시차가 없는 합성 영상의 디스플레이

Fig. 1. Two input images and composited images in the stereo vision system.

(a) Input image of left camera (b) Input image of right camera (c) Display of composited image to be stereo disparity (d) Display of composited image not to be stereo disparity

그림 1의 (a)와 (b)는 스테레오 비전 시스템에서

좌,우 카메라에 의해 각각 입력된 영상이고, 그림 1의 (c)는 좌,우 입력 영상에서 주시각 제어를 하지 않고 그대로 두 영상을 합성(주시각 제어가 되지 않은 경우)한 영상이며, (d)는 좌,우 입력 영상에서 스테레오 시차를 0으로 제어한 후 두 입력 영상을 합성하여 디스플레이한 영상(주시각 제어가 된 경우)의 예를 나타낸 것이다.

원격지의 영상에서 스테레오 카메라를 이용한 주시각 제어는 두 카메라의 시점을 동일점 상에 일치시키는 것으로써 영상의 관측이나 영상 처리에도 이용될 수 있다. 이렇게 함으로써 관측자에게 입체영상 관측시 발생할 수 있는 관측 피로도를 최소화 시켜 작업 효율을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 보다 자연스러운 입체 영상을 제공할 수 있다. 스테레오 비전 시스템에서 스테레오 시차를 구하는 문제를 컴퓨터 비전에서는 스테레오 정합(sterео matching)^{[10] [11]}이라 하여 중요한 연구 대상이 되고 있다. 일반적으로 스테레오 정합에서는 영상내의 모든 점에 대하여 두 영상이 일치하는 모든 점을 구하여 거리 정보를 복원하는 것으로 고려되지만, 계산 시간이 오래 걸리거나 복잡한 배경에서 원하는 물체를 찾아 내야하는 문제점을 지니고 있다. 따라서 이러한 영상의 국부적인 거리 정보를 추출하여 스테레오 영상의 주 시각 제어 방법이나 좌,우 영상에서 특정 부위 또는 지배적인 물체에 대한 시차를 구하여 주 시각을 제어하는 방법들이 연구되고 있다.

일반적으로, 스테레오 좌,우 입력 영상에서 스테레오 시차를 추출하는 방법으로 입력 영상에서 물체의 무게 중심을 구해 스테레오 시차를 구하는 무게 중심법과 입력되는 좌,우 영상의 상관을 통해 일치 정도를 구하는 상관기법 등이 연구되고 있다^{[12] [13]}. 무게 중심(Centroid) 기법을 이용한 스테레오 시차 추출은 관측 대상물체 뿐만 아니라 영상내의 모든 물체들로부터 이진화된 문턱값을 구하고 무게중심 수식을 이용하여 각각의 영상에서 물체의 무게 중심을 구한 후 그 차이 값을 주시각 제어를 위한 제어기 입력값으로 사용하는 방법이다. 이러한 무게 중심법은 좌,우 입력 영상에서 물체와 배경의 분리 정도 및 배경 상태에 따라 성능이 크게 좌우되므로 배경이 존재하는 상태에서는 배경으로 인해 정확한 무게중심을 구하는 것이 어려워지기 때문에 주시각 제어기의 성능이 크게 저하되는 단점이 있다. 즉 무게 중심법은 영상의 명암 변화에 너무 민

감하고 주위 배경의 영향도 고려할 수 없는 취약성을 지니고 있기 때문에 실제 상황에서 응용하기에 많은 제약이 따른다. 상관기법은 좌,우 입력 영상으로부터 정합법을 이용하여 두 영상의 일치 정도로 스테레오 시차를 추출할 수 있지만 영상 정합시 디지털적 계산량이 방대하여 실시간적 처리가 어렵다는 단점이 있다. 따라서 스테레오 입체 영상 시스템에서 실시간 주시각 제어를 구현하기 위해서는 방대한 디지털 데이터로부터 압축된 물체 신호만 추출하는 방법이 요구되고 있다. 이러한 실시간적 요구를 만족할 수 있는 방법으로 2차원 병렬 처리가 가능한 광학적 접근 방법인 광 상관기에 대한 응용이^{[14] [15]} 시도되고 있다. 본 논문에서는 스테레오 시차를 제어하기 위한 새로운 접근 방법으로 적응적 물체 추적이 가능한 광 JTC 상관기를 이용하여 좌,우 영상을 한 입력 평면에 위치시키고 두 영상에서 상관 침투치의 상대적 위치 변화를 측정하는 방법으로 스테레오 시차를 추출한 후 이 데이터를 이용하여 카메라의 실시간 주시각 제어가 가능함을 컴퓨터 시뮬레이션 및 광학적 구현을 통해 제시하고자 한다.

Ⅲ. 광 JTC를 이용한 이동 물체의 스테레오 시차 추출

주시각 제어는 관측대상 물체에 좌,우 각 카메라의 시점을 일치시키는 것으로써 이동 물체에 따라 좌,우 영상의 스테레오 시차를 0으로 유지하는 것이다. 따라서 두 영상을 한 입력 평면에 위치시키고 두 영상에서 상관 침투치의 상대적 위치 변화를 측정하는 방법인 광 JTC를 이용하여 좌,우 두 영상의 스테레오 시차를 추출할 수 있다.

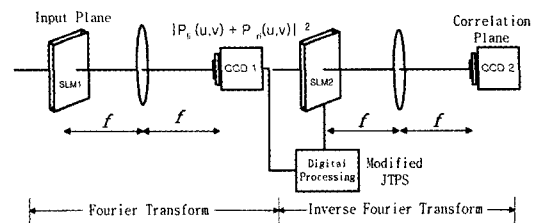


그림 2. 광 JTC 시스템의 구성도
Fig. 2. Block diagram of optical JTC system.

그림 2는 광 JTC 시스템의 구성도를 나타낸 것이며, 그림에서 푸리에 입력 평면(SLM1:spatial light

modulator)은 그림 3과 같이 2단으로 분리하여 한쪽 반 평면에는 기준 평면(좌측 카메라 입력영상)을 그리고 다른 쪽에 비교 평면(우측 카메라 입력영상)을 동시에 위치시키고 상관시키게 된다.

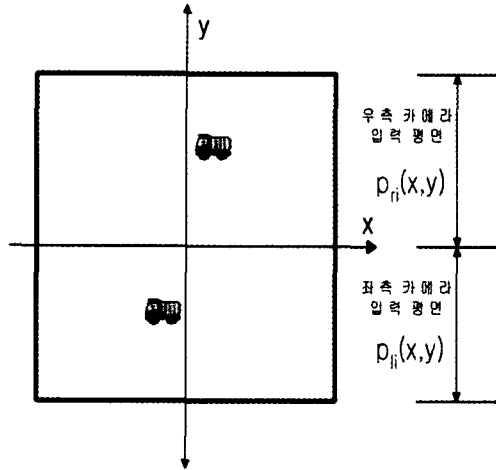


그림 3. 광 JTC 시스템의 입력평면
Fig. 3. Input plane of optical JTC system.

식 (1)과 식(2)는 좌, 우측 카메라의 입력 영상을 나타낸 것이다.

$$p_l(x, y) = \sum_{i=1}^n p_{li}(x - x_{li}, y - y_{li}) \quad (1)$$

$$p_r(x, y) = \sum_{i=1}^n p_{ri}(x - x_{ri}, y - y_{ri}) \quad (2)$$

여기서 p_l 과 p_r 은 좌,우측에서 연속적으로 입력되는 이동 영상을 나타내고, p_{li} 와 p_{ri} 는 i 번째 입력되는 좌,우측 영상을 나타낸다. 그리고 (x_{li}, y_{li}) 는 i 번째 입력되는 좌측 영상의 위치 좌표를 나타내며, (x_{ri}, y_{ri}) 는 i 번째 입력되는 우측 영상의 위치 좌표를 의미한다. 이 때 하나의 입력 평면과 기준 평면을 동시에 푸리에 변환한 광 간섭 세기분포를 식(3)로 나타낼 수 있으며 이것을 JTPS(joint transform power spectrum)라 한다.

$$\begin{aligned} E_{JTC}(u, v) &= |P_{li}(u, v) + P_{ri}(u, v)|^2 \\ &= |P_{li}(u, v)|^2 + |P_{ri}(u, v)|^2 \\ &\quad + P_{li}(u, v) P_{ri}^*(u, v) + P_{ri}^*(u, v) P_{li}(u, v) \end{aligned} \quad (3)$$

식(3)에서 P_{li} 와 P_{ri} 는 i 번째 입력되는 좌,우측 영상(p_{li}, p_{ri})의 푸리에 변환을 (u, v) 는 푸리에 공간좌표를 나타내며, *은 복소 공액을 나타낸다. 식(3)의 첫

번째와 두 번째 항은 프레임 자체의 자기 상관에 해당되는 양으로써 상관 오류를 발생시키게 되므로 각 프레임에서 자기 상관의 파워 스펙트럼을 제거할 필요가 있으며 이것은 기존 광 JTC의 JTPS에서 각 프레임의 파워 스펙트럼을 구하여 기하학적으로 빼는 것만으로 간단히 이루어 질 수 있다.

식(3)을 다시 역 푸리에 변환하면 식(4)와 같이 두 영상간의 최종 상관 침투치가 나타나 이들로부터 스테레오 시차를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} c_{JTC}(x, y) &= \mathcal{F}^{-1} \{ E_{JTC}(u, v) \} \\ &= p_{li}(x, y) \otimes p_{li}(x, y) + p_{ri}(x, y) \otimes p_{ri}(x, y) \\ &\quad + p_{li}(x, y) \otimes p_{ri}(x, y) * \delta[x + (x_{li} - x_{ri}), y + (y_{li} - y_{ri})] \\ &\quad + p_{ri}(x, y) \otimes p_{li}(x, y) * \delta[x - (x_{li} - x_{ri}), y - (y_{li} - y_{ri})] \end{aligned} \quad (4)$$

식(4)에서 첫 번째 항과 두 번째 항은 좌,우측 입력 영상의 자기 상관에 대한 성분을 나타내는 것으로 JTPS를 재구성하여 순수하게 i 번째 좌,우측 입력 영상간의 상관량만 남게 할 수 있으며, 세 번째 항과 네 번째 항은 좌,우측 입력 영상간의 상호 상관 성분으로 상관 침투치는 DC를 중심으로 영상간의 스테레오 시차 간격에 따라 원점 대칭으로 나타나게 된다. 따라서 이동 물체의 스테레오 시차 추출은 상,하 영상에 대해 한쪽 영상을 기준 영상으로 하고 다른쪽 영상에 대해 JTC를 수행함으로써 두 영상간의 상대적 위치인 스테레오 시차를 알 수 있으며, 이 값을 0으로 제어(주시각 제어)함으로써 두 영상간의 스테레오 시차(stereo disparity)를 없앨 수 있다.

IV. 실험 및 결과 분석

1. 시뮬레이션 및 결과 분석

그림 4는 광 JTC를 이용한 스테레오 비전 시스템에서 좌,우 두 입력영상의 스테레오 시차를 추출하기 위해 두 영상의 상관 정도를 디지털적으로 계산하여 두 영상간의 스테레오 시차값을 추출하는 시뮬레이터의 구성도로서 추출된 시차값은 주시각 제어를 위한 제어기 입력으로 사용하여 좌,우 카메라의 스테레오 시차가 0이 되도록 카메라 위치를 보정하게 된다.

스테레오 시차 추출을 위한 광 JTC의 시뮬레이션은 256×256 픽셀의 영상(장난감 트럭)을 사용하였다. 그림 5는 배경이 존재하지 않는 경우(프레임 1, 2)와 존재하는 경우(프레임 3, 4)에 있어서 각 프레임마다 자연환경에서 좌,우측 카메라에 잡힌 임의의 입력 영

상과 이 두 영상간의 주시각 제어가 되지 않은 상태에서 합성한 영상을 각각 나타낸 것이다. 주시각 제어 없이 합성된 입의의 영상들은 두 영상의 스테레오 시차로 인해 주시각이 일치되지 않게 나타남을 알 수 있다. 실험에 사용된 각 프레임에 대한 좌,우 입력영상들의 스테레오 시차값을 실제로 계산해 보면 배경잡음이 없는 프레임 1의 경우 좌,우 두 영상의 스테레오 시차가 30픽셀이고, 프레임 2의 경우도 30픽셀 만큼의 차이가 존재하였다. 또한, 배경이 존재하는 프레임 3의 경우 좌,우 두 영상의 스테레오 시차가 33픽셀이고, 프레임 4의 경우 53픽셀 차이를 나타내었다. 스테레오 시차의 제어 방법은 각 프레임에 대해 JTC 결과 얻어진 상관 첨두치 변위의 절반을 두 카메라의 이동 값으로 변환시킴으로써 스테레오 시차가 일치된 합성영상을 만들 수 있다.

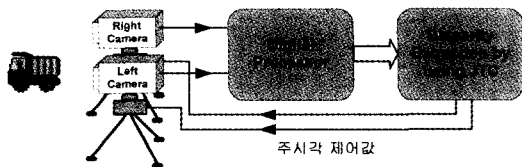


그림 4. 광 JTC를 이용한 주시각 제어기의 디지털 시뮬레이터 구성도

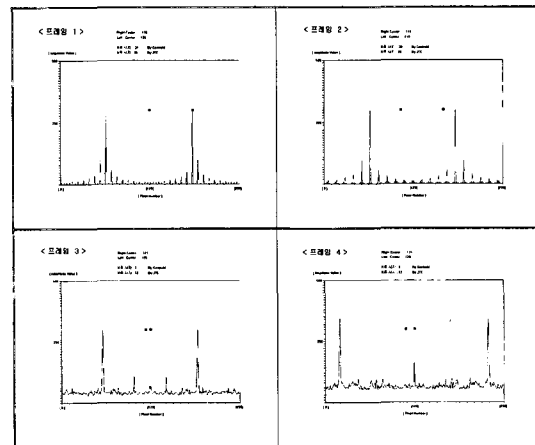
Fig. 4. Digital simulator configuration of convergence angle controller using optical JTC.

영상 프레임	좌측 카메라 영상	우측 카메라 영상	좌,우측 합성영상
프레임 1			
프레임 2			
프레임 3			
프레임 4			

그림 5. 각 프레임마다 좌, 우측 카메라에 잡힌 영상과 합성영상

Fig. 5. Captured and composite images by left and right cameras at each frame.

그림 6는 배경의 존재 유무에 따라 JTC와 무게 중심법에 의해 얻어진 스테레오 시차값을 나타낸 것이다. 여기서 얻어진 스테레오 시차값은 편이상 이동하는 물체가 y축에 대해서는 변화가 없고 오직 x축 방향으로만 나타난다는 가정하에 시뮬레이션을 수행하였다. 무게 중심법에 의한 두 영상간의 스테레오 시차는 x축 상에 점(■)으로 각각 나타내고 있으며, JTC에 의한 두 영상간의 스테레오 시차는 상관 첨두치의 좌표 값으로 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 배경의 존재 유무에 따라 두 방법에 의해 얻어지는 스테레오 시차값이 다르게 나타나는데 배경잡음이 존재하지 않는 프레임 1의 경우 무게 중심법과 JTC에 대한 시뮬레이션 결과, 각각 30픽셀과 31픽셀로 나타나며 프레임 2의 경우는 각각 30픽셀과 30픽셀로 나타나는 것으로 보아 배경잡음이 존재하지 않는 경우는 두 방법에 의한 스테레오 시차값이 실제 입력영상의 스테레오 시차값과 거의 일치하게 나타남을 알 수 있다. 그러나 배경잡음이 존재하는 프레임 3과 프레임 4의 경우에 JTC는 각각 33픽셀과 53픽셀로 입력영상의 스테레오 시차값과 동일하게 나타나는 반면에 무게중심법은 3픽셀과 6픽셀의 스테레오 시차값으로 실제값과 크게 차이가 나타난다. 따라서 광 JTC가 무게중심법에 비해 비교적 배경잡음에 대해 강하게 동작함을 알 수 있다.



(※ ■ : 좌,우 영상에 대하여 무게 중심법을 이용해 추출한 물체의 위치값)

그림 6. 각 프레임에 대한 스테레오 시차 추출결과
Fig. 6. Extractions of stereo disparity for each frame.

표 1은 자연 환경에서 좌, 우측 두 대의 CCD 카메라를 통해 얻은 영상(그림 5)을 컴퓨터에 입력하여

JTC와 무게 중심법으로 시물레이션을 통해 두 영상간의 스테레오 시차를 추출한 값으로 스테레오 시차를 0으로 제어하기 위해 이동 되어야할 좌, 우측 카메라의 이동 범위를 픽셀 단위로 나타낸 값이다.

표 1. 각 프레임의 주시각 제어를 위해 추출된 값

Table 1. Extracted values to control convergence angle of each frame.

알고리즘 프레임	JTC의 스테레오 시차		무게 중심법의 스테레오 시차	
	왼쪽 카메라	오른쪽 카메라	왼쪽 카메라	오른쪽 카메라
프레임 1	두영상간의 시차: 30		두영상간의 시차: 31	
	(-) 15	(+) 15	(-) 15.5	(+) 15.5
프레임 2	두영상간의 시차: 30		두영상간의 시차: 30	
	(-) 15	(+) 15	(-) 15	(+) 15
프레임 3	두영상간의 시차: 33		두영상간의 시차: 3	
	(-) 16.5	(+) 16.5	(-) 1.5	(+) 1.5
프레임 4	두영상간의 시차: 53		두영상간의 시차: 6	
	(-) 26.5	(+) 26.5	(-) 3	(+) 3

※ 카메라의 이동 방향이 : (-)는 좌→우, (+)는 우→좌
[단위: Pixel]

표 1의 결과에서 알 수 있듯이 배경잡음이 존재하지 않는 경우(프레임 1,2)에는 JTC와 무게 중심법에서 추출한 스테레오 시차 값이 입력영상의 시차값과 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 그러나 배경잡음이 존재하는 경우(프레임 3,4)에는 무게 중심법에 의해 얻어진 스테레오 시차 값이 실제와 다르게 나타나지만 JTC에 의한 스테레오 시차값은 정확하게 나타남을 알 수 있다. 이와같이 무게중심법이 배경잡음에 민감한 반응을 보임으로써 자연환경과 같은 실제 상황에서는 동작의 신뢰성이 떨어짐으로 정확한 스테레오 시차 제어가 불가능하지만 JTC의 경우는 상관기법에 기초한 것으로서 배경잡음에 강하게 동작하고 특히, 복잡한 배경이 존재할 경우 이미 이동표적 추적장치에서 그 성능이 입증된 바 있는 BPEJTC(Binary Phase Extraction JTC)^[16] 등을 이용하면 보다 적응적인 상관특성을 갖고 동작할 수 있다.

그림 7은 JTC와 무게 중심법을 이용해 추출한 두 영상간의 스테레오 시차값(표 1)을 카메라 제어기에 입력하여 주시각 제어가 이루어 졌다고 가정한 후, 시물레이션을 통해 주시각 제어를 했을 때 합성된 영상을 나타낸 것이다. 그림 7의 합성영상에서 프레임 1,2

는 JTC와 무게중심법 모두 스테레오 시차가 없이 일치하지만 배경잡음이 있는 프레임 3,4는 무게중심법의 경우 합성영상에서 스테레오 시차를 지니고 있는 반면 JTC의 경우 합성영상에서 스테레오 시차없이 두 영상이 일치하고 있다.

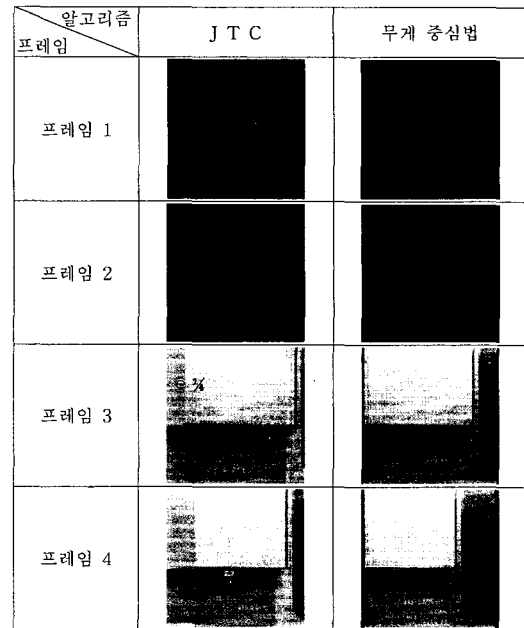


그림 7. 광 JTC와 무게 중심법에 의한 주시각이 제어된 합성영상

Fig. 7. Matched image using the JTC and centroid method.

2. 광 JTC 시스템 구성 및 광학실험

광 JTC를 이용한 주시각 제어 시스템은 그림 8과 같이 실시간적 광학 소자를 이용하여 구성하였다. 광학실험 시스템 구성에서 퓨리에 입력평면 구성을 위한 공간 광 변조기(SLM:spatial light modulator)는 Epson사의 P13VM215(640×480) 모델인 TFT LCD를 이용하였으며, 광원으로는 He-Ne 레이저를 사용하였다. 그리고 광 세기는 금성 하니웰 GE-103E CCD 카메라로 검출하였고, DT2851 이미지 그래버로써 컴퓨터와 인터페이스 하였다.

그림 8에서 좌,우 카메라에 의해 입력된 영상들은 디지털 프로세서를 통해 광 JTC 입력평면인 SLM1으로 입력되고, 광 JTC 시스템에 의해 두 입력영상에 대한 파워스펙트럼은 CCD1에 기록되게 된다. 검출된 파워스펙트럼은 디지털적 처리를 통해 공간광변조기인 SLM2에 전송되면 렌즈에 의해 퓨리에 변환되어 상관

평면인 CCD2에서 두 물체의 거리차 만큼 떨어진 위치에서 광상관 침두치가 나타나게 된다. CCD2를 통해 검출된 상관 침두치를 디지털적으로 처리하여 두 입력영상 간의 스테레오 시차를 추출하게 되며 이것을 이용하여 두 개의 좌,우 카메라를 원하는 방향으로 제어하여 스테레오 시차를 제거할 수 있게된다. 그림 9는 그림 8의 광 JTC 실험 장치를 통해 얻은 실험결과를 나타낸 것이다. 그림(a)는 좌,우 두 카메라의 입력 영상을 합성하여 광 JTC 입력 평면에 사용한 것이고, 그림(b)는 CCD1에 기록된 파워스펙트럼을 SLM2에 표현하기 위해 256 그레이 레벨로 양자화시킨 것이며, 그림(c)는 상관 평면에서 CCD2 카메라로 얻은 상관 결과치를 나타낸 것이다. 그림(a)는 기준 입력영상(좌측카메라 영상)이 중앙에 위치하고 비교 입력영상(우측카메라 영상)이 이동하는 4 프레임 영상을 보여주는 것으로 x축상에서 스테레오 시차가 존재함을 알 수 있다. 그림(b)는 각 프레임의 좌,우 입력 영상에 대한 JTPS를 보여준 것이고 그림(c)는 JTPS를 푸리에 변환하여 구한 상관값을 나타낸 것이다. 각 상관 침두치의 위치는 좌,우 두 영상의 스테레오 시차를 나타내며 이 상관 침두치의 위치를 구해 스테레오 시차를 구할 수 있다. 여기서 중앙의 DC성분은 디지털 처리로 제거할 수 있고 Δy 성분은 입력영상에서 일정한 바이어스 값으로 주어지고 Δx 성분은 좌,우 카메라의 스테레오 시차가 되어 이 값을 이용하여 주시각 제어를 하게 된다.

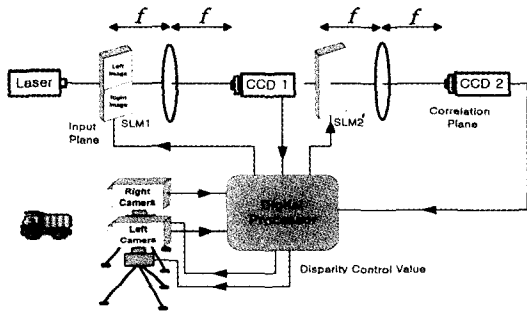


그림 8. 광 JTC를 이용한 주시각 제어 시스템
Fig. 8. Coverage angle control system using optical JTC.

표 2는 그림 9 (a)의 입력 영상을 컴퓨터 시뮬레이션과 광 JTC 실험(그림 9의 (c))으로 스테레오 시차를 각각 추출한 결과를 비교한 것이다. 여기서 시뮬레

이션 및 광학실험 결과값과 다르게 나타나는데 이는 광학시스템에서 Δx 축의 이미징 스케일에 의한 것으로 실제 스테레오 시차 계산에서는 스케일값으로 나눈 값(실험에서는 5)이 주시각 제어 값이 되므로 광학 실험에서 ()의 숫자가 실제 스테레오 시차 계산값이 되어 시뮬레이션 결과값과 거의 일치하는 것을 볼 수 있다.

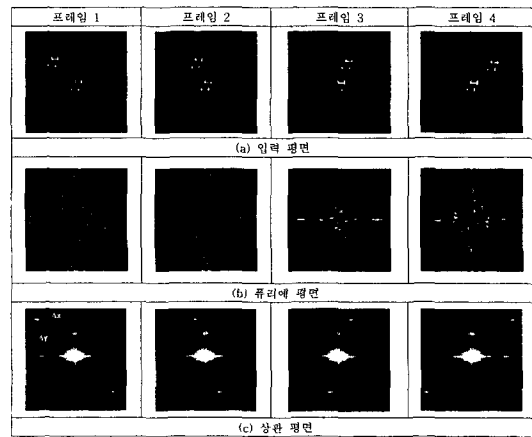


그림 9. 광 JTC의 실험결과
Fig. 9. Experimental results of optical JTC.

표 2. 시뮬레이션 및 광학실험 결과비교
Table 2. Comparison of simulation and experimental results.

실험방법 프레임	JTC를 이용한 스테레오 시차 추출	
	시뮬레이션 결과	광학실험 결과
프레임 1	-21	-104 (-20.8)
프레임 2	-6	-30 (-6.0)
프레임 3	4	25 (5.0)
프레임 4	20	95 (19.0)

[단위: Pixel]

따라서, 무게중심법에 의한 스테레오 시차 추출은 물체의 명암 변화에 너무 민감하고 주위 배경의 영향도 고려할 수 없는 취약성을 지니고 있기 때문에 실제 상황에서 응용하기에는 많은 제약이 따르지만, 본 논문에서 제시한 광 JTC를 이용한 스테레오 시차 추출은 어느 정도의 배경잡음에 상관없이 좌우 영상의 스테레오 시차를 정확하게 같은 시점에서 합성할 수 있으며, 또한 광 JTC를 이용할 경우 광학적 영상상관에 의해 실시간적 구현도 가능하다.

V. 결 론

본 논문에서는 스테레오 시차를 0으로 유지시키기 위한 새로운 접근방법으로 광 JTC를 이용하여 좌,우 영상에 대한 상관 침투치의 상대적 위치 변화를 측정하는 새로운 스테레오 시차추출 방법을 제시하고, 광학적 실험을 통해 배경 잡음에 강하고 주시각 시차의 실시간적 제어가 가능한 스테레오 비전 시스템을 제시하였다. 즉, 배경잡음 존재유무에 따른 광 JTC와 무게 중심법의 스테레오 시차 추출 성능을 비교 분석하여 광 JTC에 의한 스테레오 추출값이 무게중심법에 비해 어느 정도의 주변 배경잡음에 강하게 동작함을 확인하였으며 또한, 광학실험을 통한 실제 스테레오 시차값을 추출한 결과 간단한 스케일값의 조정으로 시물레이션 결과와 거의 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 본 논문에서 새로이 제시된 광 JTC를 이용한 스테레오 비전 시스템은 앞으로 고온, 고압, 고방사선, 심해저 등 특수환경에서 각종 작업을 수행하는 로봇 시각 등에 응용이 가능하리라 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] T. J. Olson and D. J. Coombs, "Real-Time Vergence Control for Binocular Robots," *Intl. J. of Computer Vision*, vol. 7, no. 1, pp. 67-89, 1991.
- [2] D. J. Coombs and C. M. Brown, "Cooperative Gaze Holding in Binocular Vision," *IEEE Control System*, pp. 24-33, 1991.
- [3] David Drascic, "An Investigation of Monoscopic and Stereoscopic Video for Teleoperation", *MASc Thesis, Univ. of Toronto, April 1991*.
- [4] 이용범, 이남호, 박순용, 이종민, 진성일, "편광 방식 스테레오 모니터링 시스템의 원격조작성 평가", *센서학회지*, 제5권, 제 5호, 1996년 9월
- [5] Stephen T. Barnard, and william B. Thompson, "Disparity Analysis of Images", *IEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol Pami-2, no. 4, pp. 333-340, July, 1980.
- [6] G. G. Mu, X. M. Wang and Z. Q. Wang, "Amplitude-compensated matched filtering," *Appl. Opt.*, vol. 27, no. 16, pp. 3461-3463, 1988.
- [7] C. S. Ryu, S. Y. Yi, and E. S. Kim, "Target tracking system using optical JTC peaks and Hopfiled networks." *IJCNN93*, pp. 821-824, 1993.
- [8] B. Javidi and S. F. Odeh, "Multiple object identification by bipolar joint transform correlation," *Opt. Eng.*, vol. 27, no. 4, pp. 295-300, 1988.
- [9] S. Y. Yi, C. S. Ryu, and E. S. Kim, "Multitarget tracking system based on BPEJTC and neural data association algorithm" *SPIE Optical pattern recognition V*, vol. 2237, pp. 283-293, 1994.
- [10] 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.
- [11] David J. Coombs and Christopher M. Brown, "Cooperative Gaze Holding in Binocular Vision," *IEEE control System*, 1991.
- [12] B. Reischer, "Assessment of target tracking techniques," *SPIE vol. 178* pp. 67-71, 1979.
- [13] Hatem Nasr, *Automatic Object Recognition*, SPIE vol. MS41, Opt. eng Press, USA, 1979.
- [14] 이상이, 이승현, 김은수, "광 디지털 다중표적 시스템의 구현," *대한전자공학논문지*, 29A권, 5호, pp. 386-393, 1992
- [15] F.T.S.Yu and X.J.Lu, "A Real-Time Programmable Joint Transform Correlator", *Opt. Comm.* vol. 52., no. 1, pp. 10-16, 1984.
- [16] 이상이, 김은수, "상관신호 판별력 개선을 위한 광 BPEJTC 시스템," *대한전자공학논문지*, 31A권, 6호, pp. 705-714, 1994

저 자 소개



李 在 洙(正會員)

1964년 5월 5일생. 1989년 광운대학교 전자공학과 대학원졸업(공학석사). 1997년 ~ 현재 광운대학교 전자공학과 대학원 박사과정 및 김포대학 정보통신과 전임강사. 주관심분야는 스테레오비전 시스템, 3차원 디스플레이, 3차원 영상매체 등

플래이, 3차원 영상매체 등



金 成 昊(正會員)

1970년 5월 27일생. 1997년 광운대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1997년 ~ 현재 광운대학교 전자공학과 대학원 석사과정. 주관심분야는 스테레오비전 시스템, 광정보처리, 3차원 디스플레이 등

金 奎 兌(正會員) 第 34卷 D編 第 4號 參照
현재 광운대학교 전자공학과 대학원 박사과정

金 恩 洙(正會員) 第 35卷 D編 第 8號 參照
현재 광운대학교 전자공학과 교수

朴 淳 庸(正會員) 第 34卷 S編 第 9號 參照
현재 한국원자력연구소 원자력 광기전 기술개발팀(로봇핵심기술개발) 연구원

李 容 範(正會員) 第 34卷 S編 第 9號 參照
현재 한국원자력연구소 원자력 광기전 기술개발팀(로봇핵심기술개발) 실장