

論文2002-39SP-4-8

스테레오 비전을 기반으로 한 3차원 입력 장치

(Stereo Vision Based 3D Input Device)

尹相珉*, 金益載**, 安相喆**, 高漢錫***, 金炯坤**

(Sang Min Yoon, Ig-Jae Kim, Sang Chul Ahn, Han Seok Ko,
and Hyoung Gon Kim)

요약

본 논문은 실시간으로 3차원 공간상에서의 움직임 정보를 추출할 수 있는 입력 장치를 제안한다. 제안하는 3차원 입력 장치는 스테레오 카메라의 기하학적 구조와 색상, 움직임, 형태상의 특성을 이용하여 복잡한 환경에서 사전 카메라 캘리브레이션 없이 3차원 움직임 정보를 추출할 수 있다. 움직임 추출을 위해서 perspective projection 행렬과 perspective distortion 행렬을 이용한 스테레오 카메라의 기하학적 특성을 이용하며, 효과적인 좌우 영상의 특징점 추적 및 추출을 위해 색상 변환(Color transform)과 UPC(Unmatched Pixel Count) 및 이산 칼만 필터(Discrete Kalman Filter)의 효과적인 결합으로 이루어진 MAWUPC(Motion Adaptive Weighted Pixel Count)과 PCA(Principal Component Analysis)로 구성된 알고리즘을 제안한다. 추출된 3차원 공간상에서의 움직임은 가상환경에서의 가상 물체를 제어하거나 사용자 시점의 이동을 나타내는 인터페이스로 사용한다. 스테레오 비전을 이용한 입력 장치는 선으로 연결되지 않기 때문에 사용자가 가상환경에서 작업하기가 편리하며 몰입감을 높일 수 있는 등 보다 효율적인 상호작용을 가능하게 해준다.

Abstract

This paper concerns extracting 3D motion information from a 3D input device in real time focused to enabling effective human-computer interaction. In particular, we develop a novel algorithm for extracting 6 degrees-of-freedom motion information from a 3D input device by employing an epipolar geometry of stereo camera, color, motion, and structure information, free from requiring the aid of camera calibration object. To extract 3D motion, we first determine the epipolar geometry of stereo camera by computing the perspective projection matrix and perspective distortion matrix. We then incorporate the proposed Motion Adaptive Weighted Unmatched Pixel Count algorithm performing color transformation, unmatched pixel counting, discrete Kalman filtering, and principal component analysis. The extracted 3D motion information can be applied to controlling virtual objects or aiding the navigation device that controls the viewpoint of a user in virtual reality setting. Since the stereo vision-based 3D input device is wireless, it provides users with a means for more natural and efficient interface, thus effectively realizing a feeling of immersion.

Key Words : 3D input device, HCI, color, stereo, MAWUPC, PCA, virtual reality

* 正會員, 三星綜合技術院 HCLLAB
(Human Computer Interaction Lab., Samsung Advanced
Institute of Technology)

** 正會員, 韓國科學技術研究院 映像미디어 研究센터

(Imaging Media Research Center, KIST)

*** 正會員, 高麗大學校 電子工學科
(Department of Electronics Eng., Korea Univ.)

接受日字:2001年11月30日, 수정완료일:2002年4月8日

I. 서 론

컴퓨터를 기반으로 하는 많은 기술들이 발전함에 따라서 사람들은 점차 키보드나 조이스틱과 같은 장치들을 직접 다루는데서 벗어나 점차 자유롭고 편리한 인간과 컴퓨터의 상호작용(Human-Computer Interaction, HCI)을 요구하게 되었다. 이러한 인간과 컴퓨터의 상호작용 분야에서 카메라로부터 입력된 영상을 대상으로 컴퓨터 비전 방법을 이용하여 물체의 움직임을 추출하는 연구는 가장 자연스럽고 직관적인 인터페이스를 제공하기 때문에 근래에 많은 주목을 받고 있다.^[1,2]

CAD/CAM, 컴퓨터 시뮬레이션, 가상현실 등의 응용분야가 급속도로 발전하면서 사용자들은 점차 3차원 작업 환경에서 자연스럽게 이동과 회전할 수 있으며 새로운 작업 환경에 익숙하지 않은 사용자도 쉽게 상호작용 할 수 있는 입력 장치가 필요하게 되었다. 현재 사용되고 있는 입력 장치에 대한 분류는 표 1과 같이 매우 다양한 입력 장치들이 제안되었다.^[4] 그 중에서 현재 가장 많이 사용되고 있는 입력 장치로 마우스, 키보드, 조이스틱등이 있지만 3차원 작업 환경에서 사용하기에는 매우 부자연스럽다. 또한 현재 상용화되고 있는 magnetic tracker는 거리와 전자파 간섭 등의 영향을 받아 3차원 위치와 회전 값들이 오차가 생길 수 있으며 가격이 매우 고가라는 단점이 있다.^[3] 이에 비해서 컴퓨터 비전 방법을 이용하여 손과 팔의 제스처를 입력장치로 이용하는 방법 또한 많은 연구가 이루어지고 있으며 2D/3D 마우스, TV 제어, 윈도우 관리기, 가상환경에서 물체의 조작하고 대화하는 수단으로 이용되고 있다. 하지만 이와 같이 손이나 팔의 제스처를 이용하는 기존의 연구는 주로 2차원 공간에서 주로 이루어져 왔다. 따라서 3차원 공간상에서 이동과 회전 값을 얻는 데는 아직까지 정확도에 있어서 한계가 있다. 뿐만 아니라 한 대의 카메라를 이용하여 물체의 움직임을 추출하기 위한 연구도 많이 진행되어 왔지만 한 대의 카메라로는 물체의 깊이 값을 구하기 힘들다는 단점이 있다. 물체의 깊이 값을 구하기 위한 방법에는 여러 가지가 있겠지만 가장 많이 이용되는 방법이 스테레오 카메라를 이용하는 방법이다.

본 논문에서 제안하는 3차원 입력 장치는 기존의 3차원 입력 장치들의 단점들을 보완하면서 물체가 가지고 있는 색상, 움직임, 형태상의 특징을 효율적으로 결

합하여 3차원 공간상에서의 이동과 회전 값을 추출하며 가상 환경에서의 네비게이션이나 가상의 물체를 직접 조작하는데 응용할 수 있다.

표 1. 입력 장치의 분류

Table 1. Classification of the input device.

Type	0D	1D	2D	3D	locator	choice	command	valuator
Dial								
Keyboard	*				1	2	3	1
Dial		*						3
Mouse			*		3	3	1	
Isotrak				*	3			
Flying mouse			*	*	3	3	1	
Spaceball				*	3	2	1	
Dataglove				*	3	1	3	
Eye-tracker					2	2		
Voice						2	3	1
Pressure sensitive tablet			*		3	2		

3차원 입력 장치의 위치와 회전 값을 추출하는 과정은 그림 1과 같다. 3차원 공간상에서 물체의 움직임을 알기 위해서는 스테레오 카메라의 상관관계와 카메라와 물체의 상관관계를 미리 파악해야 한다. 이를 위해 기존에는 카메라 캘리브레이션(Calibration) 물체를 이용하는 것이 보편적이었지만 제안하는 3차원 입력 장치가 캘리브레이션 물체의 역할까지 포함하기 때문에 별도의 캘리브레이션 물체가 필요하지 않다. 특정 색상을 가진 구 영상의 움직임을 추적하기 위해서 MAWUPC (Motion Adaptive Weighted Unmatched Pixel Count) 알고리즘을 이용한다. MAWUPC는 색상 변화와 움직임에 의한 변화 영역 검출을 위한 UPC (Unmatched Pixel Count) 연산, 그리고 움직임을 예측하는 이산 칼만 필터를 효과적으로 결합한 것으로 복잡한 배경에서도 원하는 특정 색상의 구 영상의 위치를 예측할 수 있다. MAWUPC를 통해 얻어진 탐색영역 안에서 PCA(Principal Component Analysis)를 이용하여 각 구 영상의 중심을 추출할 수 있으며 좌우 영상에서 얻은 구 영상의 중심 좌표를 이용하여 물체의 3차원 위치 값과 회전 값을 얻을 수 있다. 뿐만 아니라 물체의 형태상의 특성을 이용하여 측정 오차를 보정할 수 있다. 이와 같이 추출된 3차원 입력 장치의 위치 및 회전 값을 가상 환경에 실시간으로 전달한다.

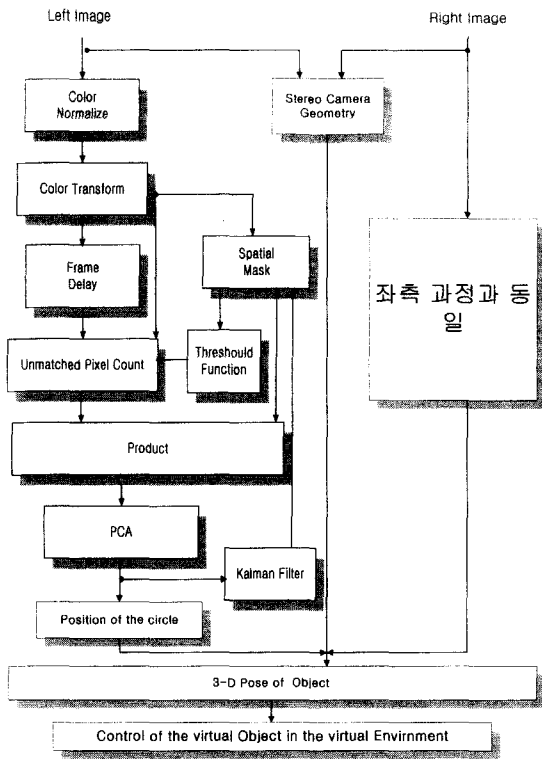


그림 1. 제안하는 3차원 입력장치의 흐름도
Fig. 1. Flow Chart of the proposed 3-D input device.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안하는 3차원 입력 장치의 구조에 대해서 설명하고 III장에서는 스테레오 카메라의 기하학적 구조, 입력장치의 색상, 움직임, 형태 정보를 이용하여 입력 장치의 3차원 공간상에서의 위치를 추적에 대해서, IV장에서는 물체의 3차원 위치 및 회전 값을 구하는 방법에 대해 설명하였으며 V장과 VI장에서는 실험 및 응용에 대해 설명하고 결론을 맺는다.

II. 제안하는 3차원 입력 장치의 구조

본 논문에서는 스테레오 카메라를 이용하여 입력 장치의 3차원 움직임을 추출하기 위해서 그림 2와 같은 구조를 가진 새로운 3차원 입력 장치를 제안한다. 그림 2와 같이 3차원 입력 장치는 4개의 특정 색상을 가진 구와 막대로 구성되어 있다. 3차원 공간상의 월드 좌표계는 입력 장치의 중심을 월드 좌표계의 중심으로 설정하고 빨간색 구의 방향이 -X축 방향, 노란색 구의 방향은 Y축 방향, 녹색 구의 방향은 Z축 방향으로 설

정한다. 입력 장치의 중심으로부터 각 특정 색상을 가진 구의 중심까지의 거리가 10cm이므로 각 구의 월드 좌표계에서의 위치는 노란색 구는 (0, 10, 0), 흰색 구는 (0, -10, 0), 녹색 구는 (0, 0, 10)이고 빨간색 구의 위치는 (10, 0, 0)이다. 기존의 3차원 공간상에서의 움직임 추출 방법은 별도의 카메라 캘리브레이션 물체를 이용하였다. 하지만 본 논문에서 제안하는 3차원 입력 장치는 그 자체가 입력 장치의 역할뿐만 아니라 카메라 캘리브레이션 물체의 역할까지 포함하기 때문에 별도의 카메라 캘리브레이션 물체가 필요하지 않다. 그리고 본 논문에서 사용하는 특징점은 각 구의 중심을 이용하며 최소한의 개수인 4개만을 이용하면서도 입력 장치가 가지고 있는 색상 및 구조상의 특성을 최대한 이용하여 입력 장치의 움직임을 추출한다.

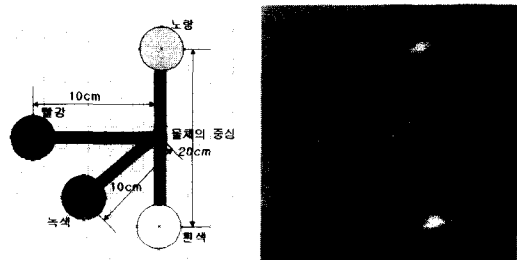


그림 2. 제안하는 3차원 입력장치
Fig. 2. Proposed 3-D input device.

III. 특징점의 3차원 위치 추출 알고리즘

초기에 각 구의 월드 좌표계에서의 위치와 좌우 영상에서의 각 구의 위치와의 상관관계를 통해서 스테레오 카메라의 상관관계를 구한다. 본 논문에서는 스테레오 카메라의 기하학적 구조를 구하기 위해서 perspective projection 행렬과 perspective distortion 행렬을 통해 좌우 카메라의 상관관계를 구한다. 구 영상의 정확한 중심을 구하기 위해서 본 논문에서는 색상, 움직임, 형태 정보를 이용한다. 먼저 전체 영상에서 4개의 구가 위치할 탐색영역을 설정하기 위해서는 추적하고자 하는 움직임이 있는 물체의 색상 정보에 의해 설정된 특별한 색상 공간에서 움직임을 검출한다. 결국, 색상 정보와 움직임 정보 사이에 적절한 상관 관계를 설정하여 관심이 있는 색상 정보를 가진 영역에 대해 더 큰 가중치 또는 민감도를 가지는 함수를 적용하여 움직임 정보를 고려한다. 이러한 색상과 움직임의 효율적

인 결함을 통해 얻어진 탐색영역 안에서 우리가 추출하고자 하는 물체의 형태가 영상에서는 항상 원이기 때문에 PCA(Principal Component Analysis) 알고리즘을 이용하여 원의 중심을 찾는다.

1. 스테레오 카메라의 기하학적 구조

스테레오 비전의 가장 큰 장점은 공간상에서 물체의 깊이 값을 구할 수 있다는 것이다. 이를 위해서 먼저 좌측, 우측 카메라의 상관관계를 구해야 한다. 좌우측 카메라의 상관관계를 구하기 위한 방법 중에서 고전적인 카메라 캘리브레이션은 캘리브레이션 물체의 특징점들을 이용하여 각 카메라의 내부 변수와 외부 변수를 추출하여 물체의 3차원 움직임을 추출한다.^[5] 하지만 이러한 고전적인 카메라 캘리브레이션 방법은 좌우 카메라간의 기하학적 구조를 정확하게 측정하기 위해서 한쪽 영상에서 보이는 특징점들을 다른 쪽 영상에서 이용하지 않고 각각의 카메라가 개별적으로 캘리브레이션을 수행하며 캘리브레이션 물체 밖에 위치하고 있는 특징점들에 대해서는 캘리브레이션의 성능이 많이 떨어질 수 있다는 단점이 있다. 따라서 이와같은 고전적인 카메라 캘리브레이션 방법은 정확하고 자동적인 카메라 캘리브레이션이라고 할 수 없다.^[6,7]

본 논문에서는 제안하는 3차원 입력 장치의 특정 색상을 가진 각 구의 중심을 좌우 영상에서의 매칭되는 특징점으로 사용한다. 이를 통해 얻은 특징점들을 통해서 perspective projection 행렬과 perspective distortion 행렬을 구할 수 있으며 초기에 얻은 perspective projection 행렬과 perspective distortion 행렬을 통해 3차원 공간상의 물체의 위치를 구할 수 있다. 먼저 카메라의 perspective projection 행렬을 구하기 위한 방법으로는 펀더멘털(Fundamental) 행렬의 인수분해를 통해서 구하는 방법과 projective basis를 이용하는 방법이 있다. 본 논문에서는 projective basis를 이용하여 perspective projection 행렬을 구한다. 좌우 영상에서 상관관계를 가지는 점들이 $m=[u, v]^T$ 과 $m'=[u', v']^T$ 이고 좌우 영상 매칭점들과 관련된 3차원 공간상에서의 위치는 $w=[x, y, z, t]$ 이라고 할 때 핀홀(pinhole) 카메라 모델에서는 좌우 영상의 매칭되는 점들과 3차원 공간상의 물체의 위치는 식 (1)과 (2)와 같은 관계를 갖는다.

$$s [u, v, 1]^T = P [x, y, z, t]^T \quad (1)$$

$$s' [u', v', 1]^T = P' [x, y, z, t]^T \quad (2)$$

s 와 s' 은 좌우측 스케일링(scaling) 요소이며 P 와 P' 은 좌우측 각각 영상과 물체와의 perspective projection 행렬을 나타낸다. projective basis를 이용하여 3차원 공간상에서의 위치를 좌우 영상으로부터 구한다. 이렇게 좌우 영상의 점들과 이미 알고 있는 3차원 공간상의 Euclidean reference frame에서의 위치, 즉 $W=[X, Y, Z, 1]$ 이 서로 collinear하게 만들어주기 위한 행렬이 perspective distortion 행렬이다. w 와 W 의 상관관계는 다음 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\lambda_i [x_i, y_i, z_i, t_i]^T = D [X_i, Y_i, Z_i, 1]^T \quad (3)$$

($i=1, \dots, n$) i 는 projective basis

λ 는 스케일링 요소이고 D 는 perspective distortion 행렬로 4×4 의 크기를 갖는다. 앞의 perspective projection 행렬과 perspective distortion 행렬을 종합하여 식으로 표현하면

$$[u, v, 1]^T = M [X, Y, Z, 1]^T \quad (4)$$

$$[u', v', 1]^T = M' [X, Y, Z, 1]^T \quad (5)$$

$$M = \frac{1}{s} PD \quad (6)$$

$$M' = \frac{1}{s'} P'D \quad (7)$$

과 같다. M 과 M' 은 perspective projection 행렬과 perspective distortion 행렬, 스케일링 요소를 포함하는 행렬이다.

2. 정규화된 RGB 색상 공간

복잡한 배경을 가진 컬러영상에서 특정 색상을 가진 물체나 영역을 추출하고자 할 때, 색상 정보는 매우 효율적인 방법을 제공한다. 일반적으로 카메라를 통해 얻은 컬러영상의 화소는 RGB 색상공간을 사용하여 표현되며 이와 같은 색상 정보는 그림과 같은 3차원 공간상으로 표현된다. 그러나, RGB 공간의 화소는 색상의 변화뿐만 아니라 휘도(Brightness)라고 하는 밝기 성분의 변화에 의해서도 값이 변한다. 영상을 처리할 때 발생하는 조명의 차이는 휘도를 변화시키는 가장 큰 원인이 된다. 따라서 식 (8)과 같이 휘도 성분이 제거된 색상공간으로 정규화 할 수 있다. 정규화된 색상모델이 나타낼 수 있는 공간은 그림 3과 같다.

$$r = \frac{R}{R+G+B}, g = \frac{G}{R+G+B}, b = \frac{B}{R+G+B} \quad (8)$$

이 때, 정규화된 색상 성분 r, g, b 사이에는 $r+g+b=1$ 과 같은 관계가 성립하므로 정규화된 색상 공간은 r, g 성분만으로 표현할 수 있다. 정규화된 색상 모델은 휘도에 의한 조명의 영향을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 휘도에 덜 민감한 r, g 두 성분만을 사용함으로써 계산량이 감소되어 처리 시간을 단축 할 수 있다.

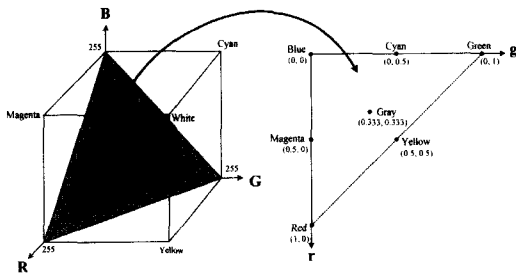


그림 3. 정규화된 RGB 색상 모델
Fig. 3. Normalized RGB color model.

3. 특정 색상의 분포를 이용한 색상변환

특정 색상의 분포를 이용한 색상 변환은 정규화된 2차원의 r, g 평면상에 미리 특정 색상 영역을 정의해 두고, 입력 영상에서 각 화소가 해당 영역의 중심에 가까울수록 높은 값으로 변환하는 것을 기본 원리로 한다. 조명의 영향이 제거되어 정규화된 RGB 색상공간이라고 하더라도 주위 환경이나 카메라 모델에 따라 약간 다른 색상 분포를 보인다. 이러한 영향을 고려하기 위해서 실험을 통해 얻은 특정색의 평균과 분산 값을 이용하여 물체의 색상분포는 식 (9)와 같이 가우시안 (Gaussian) 분포로 모델링될 수 있다. 따라서 특정 색상의 평균에 가까울수록 높은 밝기 값을 갖고 멀수록 낮은 밝기 값을 갖는 영상으로 바뀌는 과정을 색상변환이라고 정의한다.^[8,9]

$$Z(x, y) = G(r(x, y), g(x, y)) = \frac{1}{2\pi \sigma_r \sigma_g} \exp \left[- \left\{ \left(\frac{r(x, y) - m_r}{\sigma_r} \right)^2 + \left(\frac{g(x, y) - m_g}{\sigma_g} \right)^2 \right\} \right] \quad (9)$$

$Z(x, y)$ 는 색상 변환된 값이고 (x, y) 는 영상에서 각 화소의 위치를 나타낸다. m_r 와 m_g , 그리고 σ_r 과 σ_g 는 특정 색상의 평균값과 표준편차이다.

4. MAWUPC (Motion Adaptive Weighted Unmatched Pixel Count) 알고리즘

MAWUPC 알고리즘은 색상 정보와 움직임 정보의 효과적인 결합을 수행하는 AWUPC(Adaptive Weighted Unmatched Pixel Count) 알고리즘을 개선한 것으로, 추적하고자 하는 물체의 색상 정보를 이용한 색상 변환과 움직임 검출을 위한 UPC(Unmatched Pixel Count) 연산, 그리고 움직임 정보를 추출하는 이산 칼만 필터(Discrete Kalman Filter)의 효과적인 결합으로 이루어진다.^[10] 제안하는 알고리즘은 일반적으로 물체들의 추적 과정에서 발생하는 가장 큰 문제인 유사한 색상을 가진 추적하고자 하는 물체들간의 겹침 문제와 물체의 추적에서 방해가 되는 복잡한 배경 문제를 해결할 수 있는 장점이 있다. AWUPC는 특정 색상의 물체의 영역을 추출하기 위해서 색상 변환된 영상을 대상으로 2차원 공간에서 움직임에 의해 변화가 발생된 영역에 높은 확률 값을 부여하는 알고리즘으로 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$AWUPC = Z(x, y, t) \sum_{i=x-N}^{x+N} \sum_{j=y-N}^{j+N} U(i, j, t) \quad (10)$$

$$U(i, j, t) = \begin{cases} 1, & \text{if } |Z(i, j, t) - Z(i, j, t-1)| > Th(Z(i, j, t)) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

$$Th(Z(i, j, t)) = \frac{255}{1 + \exp \left\{ \frac{Z(i, j, t) - 255/2}{Q} \right\}} \quad (12)$$

$Z(i, j, t)$ 는 색상변환 결과를 $[0, 255]$ 의 범위로 나타낸 값이며 $Th(Z(i, j, t))$ 는 시그모이드(sigmoid) 함수로 현재 프레임의 영상에서 위치 (i, j) 에 있는 화소에 대해 색상 변환한 결과에 따라 적응적인 임계값을 제공한다. 이 때 Q 값은 시그모이드 함수의 기울기를 결정한다. 시그모이드 함수는 기본적으로 색상 변환된 값이 큰 화소에 대해서는 작은 임계값을 제공하여 배경에 대한 특정 색상을 가진 물체의 움직임이 적더라도 잘 추출할 수 있는 장점이 있다. 색상 변환한 값에 식 (11)에서 얻은 적응적인 움직임을 가중치로 곱하는 것은 특정 색상의 움직이는 물체를 효율적으로 추출할 수 있도록 하기 위한 것이다.

MAWUPC 알고리즘은 AWUPC 알고리즘에 움직임 정보를 적용하기 위해 두 가지 방법을 사용한다. 첫 번째 방법은 움직임 정보의 반영을 위해 이산 칼만 필터

에 의해 예측되는 위치를 중심으로 탐색 영역을 설정하고, 탐색 영역을 대상으로 추적을 수행하는 것이다.^[11] 본 논문에서 사용되는 이산 칼만 필터는 다음 식과 같이 위치값만으로 이루어진 등가속도 운동 모델의 시스템 상태 방정식을 이용하고 있다. 이와 같은 상태 방정식은 시스템 잡음을 제외하고는 시간과 관련된 어떠한 변수도 가지지 않는다. 따라서 가속도, 속도, 위치 값으로 이루어진 시스템의 상태 방정식이 가지는 잡음 성분보다 적은 수의 잡음을 가지는 장점이 있다.

$$\begin{bmatrix} p_{t+1} \\ p_t \\ p_{t-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.5 & -2 & 0.5 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_t \\ p_{t-1} \\ p_{t-2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \omega_{p_t} \\ \omega_{p_{t-1}} \\ \omega_{p_{t-2}} \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$Z_t = [1 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} p_t \\ p_{t-1} \\ p_{t-2} \end{bmatrix} + v_t \quad (14)$$

식 (13)은 시스템의 상태 방정식이고 (14)는 측정 방정식이다.

두 번째로는 가우시안 분포를 가지는 공간 마스크를 사용하는 것이다. 가우시안 분포를 갖는 마스크는 변화 영역을 검출하기 위한 임계값의 설정을 위해 색상 정보와 움직임 정보에 의한 위치 정보를 반영한다.

$$SM(x, y) = \mathcal{N}(m_p, \sigma_p^2) \quad (15)$$

$$Z' = SM(x, y)Z(x, y, t) \quad (16)$$

$$MAWUPC(x, y, t) = Z'(x, y, t) \sum_{i=x-N}^{x+N} \sum_{j=y-N}^{y+N} U(i, j, t) \quad (17)$$

$$U(i, j, t) = \begin{cases} 1, & \text{if } |Z(i, j, t) - Z(i, j, t-1)| > Th(Z(i, j, t)) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (18)$$

$SM(x, y)$ 는 2차원 공간에서 가우시안 분포를 갖는 공간 마스크로 이산 칼만 필터에 의해 예측된 시간 t 에서의 위치인 m_p 를 중심으로 하고 σ_p^2 의 공분산을 갖는다. Z' 은 색상변환된 결과에 공간 마스크를 적용한 값이며 임계값 판단 기준은 앞의 AWPUC와 동일하다.

5. PCA를 이용한 구 영상의 중심 추출 알고리즘

3차원 입력장치 각 구의 정확한 중심 추출은 물체의 정확한 3차원 움직임을 얻는데 매우 중요한 역할을 할 뿐만 아니라 물체의 보다 정확한 운동 특성상 정보를 얻도록 해주며, 결국은 칼만 필터를 통한 다음 프레임

에서 정확하게 예측할 수 있도록 해준다.

원의 정확한 중심을 추출하기 위한 기존의 연구는 크게 물체의 형태 정보를 이용하는 방법과 색상 정보를 이용하는 방법으로 나누어서 생각할 수 있다. 먼저 형태 정보를 이용하는 방법으로 Hough 변환을 이용하여 원의 형태를 추출하는 알고리즘이 R.O. Duda와 P.E. Hart에 의해서 처음으로 제기되었다.^[12] 하지만 이와 같은 방법은 3차원의 계수 공간(parameter space)에서, 직각원추(right circular cone)의 자취를 계산해야 하기 때문에 계산시간이 비효율적이라는 단점을 가지고 있다. 이의 단점을 보완하기 위한 Kimme 알고리즘은 2차원의 계수공간에서 원의 자취를 계산한다. 뿐만 아니라 2차원 계수공간에서 직선의 자취를 이용하는 Hough 변환 알고리즘은 Kimme 알고리즘의 속도를 개선하기 위해서 제안되었다.^[13] 다음으로 색상을 이용하여 물체의 중심을 구하는 방법으로 CAMShift 등이 제기되어 왔다.^[14] CAMShift 알고리즘은 Mean-Shift 알고리즘을 물체의 추적에 맞게 개선한 것으로 여러 차례의 반복(iteration)을 통해 주어진 위치에서 가장 가까운 곳의 무게중심의 국부적인 최고값(local maximum)을 찾는다. 이와 같은 물체의 형태 또는 색상 정보를 이용하여 구 영상의 정확한 중심을 추출하는데 두 방법 모두 방향성(directional) 조명의 영향이 있는 환경에서는 정확하게 원의 둘레와 원의 중심을 찾기 힘들다는 단점이 있다. 그림 4는 Hough 변환과 CAMShift를 이용하여 구의 중심을 구한 영상이다. 그림 4에서 보여지는 바와 같이 구의 중심을 구하는데 생기는 오차를 제거하기 위해서 본 논문에서는 색상과 형태 정보를 이용하고 다양한 조명환경에서도 정확한 원의 중심을 구하기 위해 PCA (Principal Component Analysis)를 이용한다.

PCA를 이용하여 원의 중심을 구하는 과정은 크게 각 구의 영상을 훈련하는 과정과 입력 영상으로부터 구의 중심을 찾는 과정으로 나누어진다. 특정 색상을 가진 구 영상을 훈련하는 과정은 실험 전에 다양한 조명 환경에서 조명의 방향과 세기를 달리하여 각 구 영상의 색상 성분별로 구 영상을 얻어 구 영상의 Eigenvector를 추출한다. 즉, 빨간색 구 영상은 RGB 색상 성분중에서 빨간색 색상 성분만을 이용하고, 녹색 구 영상은 녹색 색상 성분만을 이용하고, 노란색 구 영상은 빨간색과 녹색 색상 성분의 평균을 사용하며 흰색 구는 각 색상 성분의 평균을 이용한다. 이와 같이 컬러

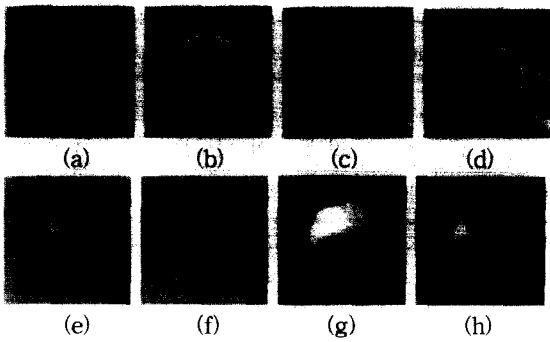


그림 4. 원의 중심을 구하는 기존의 방법
 (a) 입력 영상, (b) Hough transform을 이용하여 구한 원의 윤곽선, (c) 입력 영상, (d) hough transform을 이용하여 원의 윤곽선을 잘못 구한 영상, (e) 입력 영상, (f) CAMShift를 이용하여 구한 원의 중심, (g) 입력 영상, (h) CAMShift를 이용하여 원의 중심을 잘못 구한 영상

Fig. 4. Previous method to extract the center of the circle.
 (a) input image, (b) curve of the circle using Hough transform, (c) input image, (d) curve of the circle with error using Hough transform, (e) input image, (f) center of the circle using CAMShift, (g) input image, (h) center of the circle with error using CAMShift.

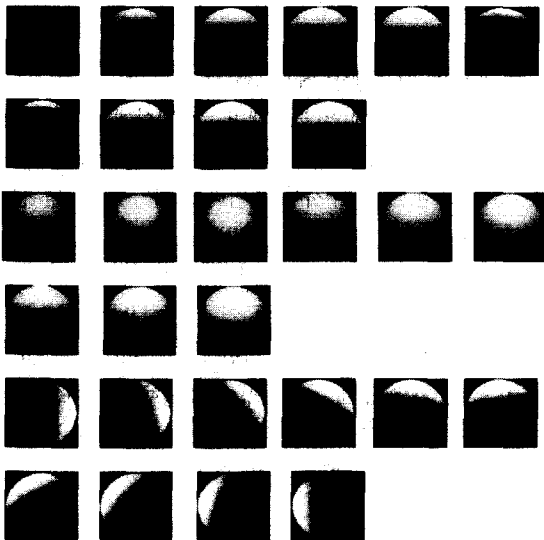


그림 5. 훈련된 구 영상의 예
 Fig. 5. Example of trained circular image.

색상을 가진 구 영상의 색상 성분만을 이용함으로써 각 구가 가지고 있는 색상 특성을 잘 반영할 뿐만 아

니라 하나 또는 두 개의 색상 성분만을 이용하기 때문에 처리 시간을 줄일 수 있다. 다양한 조명환경에서 훈련에 사용된 색상별 구 영상은 색상별로 각각 199장이며 이들 전체 Eigenvalue의 95%를 표현할 수 있는 영상만을 이용한다. 흰색 구 영상은 199장의 영상 중에서 9장이며, 녹색 구 영상은 8장, 빨간색 구 영상은 8장, 노란색 구 영상은 8장이다. 그림 5는 조명의 크기 및 방향을 달리하여 훈련한 영상의 예이다.

매 시간 입력되는 영상으로부터 원의 중심을 구하기 위해 먼저 각 원의 탐색영역 안에서 색상 변환된 영상을 통해 원의 중심 후보와 지름 후보를 구할 수 있다. 앞에서 MAWUPC 과정을 통해서 구한 탐색영역 안에서 색상 변환된 영상의 가로, 세로, 대각선 방향으로 projection을 한 후에 장축을 지름의 후보로, 장축의 중심을 원의 중심 후보로 결정한다. 추출한 원의 중심 후보와 지름 후보를 중심으로 원의 중심과 지름을 변화시키면서 구 영상을 정규화한다. 이렇게 정규화된 입력 영상은 principal component로써 재구성하여 나타난다. 영상을 principal component를 사용하여 재구성하는 식은 다음과 같다.^[15]

$$\Gamma = [\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_N] \quad (19)$$

$$\omega_i = u_i(\Gamma - \Psi) \quad (i=1, 2, \dots, L) \quad (20)$$

$$\Phi_j = \sum_{i=1}^M \omega_i u_i + \Psi \quad (21)$$

$$\Gamma_j = \Phi_j + \Psi \quad (22)$$

Γ 는 $N \times N$ 의 정규화된 입력 영상을 벡터화한 것이고 ω_i 는 입력영상에서 평균 Ψ 를 빼고 이를 i 번째 principal component u_i 에 투영하여 얻은 가중치들이며 재구성된 결과가 Γ_j 이다. L 은 사용되는 eigenvector의 개수이다. 이와 같이 계산된 정규화된 입력영상 Γ 와 재구성된 영상 Φ_j 사이의 유클리디언 거리를 계산한다. 이와 같이 정규화된 영상과 재구성된 영상과의 유클리디언(Euclidean) 거리를 비교하여 유클리디언 거리가 가장 작은 정규화된 영상의 원의 중심과 길이를 입력 영상의 각 구 영상의 최종적인 원의 중심과 지름으로 결정한다. 정규화된 영상과 재구성된 영상과의 유클리디언 거리를 비교하는 방법은 block matching 알고리즘을 이용한다. 그림 6는 지름과 원의 중심을 변화시켜가면서 정규화한 영상으로 원의 중심은 후보를 기준으로 좌우 2화소, 상하 2화소 움직이면

서 비교하였으며 지름은 지름 후보 길이를 기준으로 후보+1, 지름 후보+2로 변화시키면서 비교하였다.

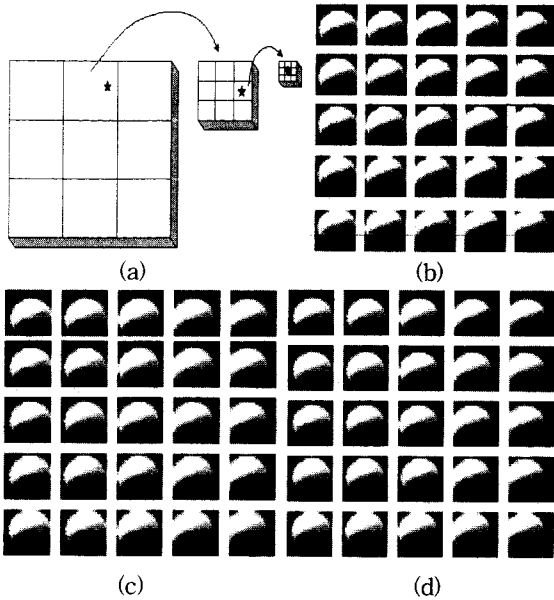


그림 6. 정규화된 구 영상

(a) block matching 알고리즘, (b) 지름후보를 기준으로 정규화한 영상, (c) 지름 후보+1로 정규화한 영상, (d) 지름 후보+2로 정규화한 영상

Fig. 6. Normalized circular image.

(a) block matching algorithm, (b) Normalized images with length of diameter candidate, (c) Normalized images with length of diameter candidate+1, (d) Normalized images with length of diameter candidate+2

마지막으로 부분화소단위로 정확한 원의 중심을 추출한다. 유클리디언 거리가 가장 작은 정규화된 영상을 3배 확대하면 1개의 화소를 9개의 부분화소로 나타낼 수 있다. 따라서 이들 9개의 화소를 원의 중심후보로 구 영상을 다시 정규화한다. 최종적인 원의 중심을 구하는 방법은 앞의 과정과 같다. 이와 같이 부분화소로 원의 중심을 구하면 해상도 등에 의해 생길 수 있는 오차를 줄이고 좀 더 정확한 원의 중심을 구할 수 있다.

IV. 추출된 특징점의 움직임 정보

1. 3차원 입력장치 중심의 이동과 회전 계산

각 구의 3차원 위치 값을 이용하여 제안하는 3차원 입력장치의 위치 값과 회전 값을 계산할 수 있다. 위치

값은 흰색 구와 노란색 구의 평균값으로 일반적인 상황에서의 흰색 구의 위치를 (X_1, Y_1, Z_1) , 녹색 구의 위치를 (X_2, Y_2, Z_2) , 빨간색 구의 위치를 (X_3, Y_3, Z_3) , 노란색 구의 위치를 (X_4, Y_4, Z_4) 이고 3차원 입력 장치의 중심의 위치를 (X_0, Y_0, Z_0) 라고 할 때

$$\begin{aligned} X_0 &= (X_1 + X_4)/2, Y_0 = (Y_1 + Y_4)/2, \\ Z_0 &= (Z_1 + Z_4)/2 \end{aligned} \quad (23)$$

와 같은 관계를 갖는다.

물체의 X축 중심으로 회전을 틸트(tilt), Y축 중심으로 회전을 팬(pan), Z축 중심으로의 회전을 요(yaw)라고 정의한다. 이 때 각 축 중심으로의 회전은 다음과 같은 식을 통해서 구할 수 있다.

$$pan = \tan^{-1} \frac{Z_3 - Z_0}{X_3 - X_0} = \tan^{-1} \frac{X_2 - X_0}{Z_2 - Z_0} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} tilt &= \tan^{-1} \frac{Y_2 - Y_0}{Z_2 - Z_0} = \tan^{-1} \frac{Z_4 - Z_0}{Y_4 - Y_0} \\ &= \tan^{-1} \frac{Z_1 - Z_0}{Y_1 - Y_0} \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} yaw &= \tan^{-1} \frac{Y_3 - Y_0}{X_3 - X_0} = \tan^{-1} \frac{X_4 - X_0}{Y_4 - Y_0} \\ &= \tan^{-1} \frac{X_1 - X_0}{Y_1 - Y_0} \end{aligned} \quad (26)$$

2. 물체의 폐색현상(occlusion)

3차원 입력장치에 있는 4개의 구 영상에서 한 구가 다른 사물에 의해 가려서 구의 중심을 추출하지 못하는 경우나 각 구와 구사이의 거리 오차가 일정 범위를 벗어나는 경우에 폐색현상이 발생한 것으로 간주한다. 제안하는 3차원 입력장치는 폐색현상이 발생하는 경우에도 각 구와 구사이의 길이 정보를 이용하여 폐색된 구의 위치 값과 입력장치의 회전 값을 측정할 수 있다. 예를 들어 흰색 구에 폐색현상이 발생했다고 가정하면 흰색 구와 다른 구 사이의 길이 정보를 이용하여 다음과 같이 3차원 위치 값을 얻을 수 있다.

$$(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2 = 200 \quad (27)$$

$$(X_1 - X_3)^2 + (Y_1 - Y_3)^2 + (Z_1 - Z_3)^2 = 200 \quad (28)$$

$$(X_1 - X_4)^2 + (Y_1 - Y_4)^2 + (Z_1 - Z_4)^2 = 400 \quad (29)$$

$$\left(\frac{X_1 + X_4}{2} - X_2\right)^2 + \left(\frac{Y_1 + Y_4}{2} - Y_2\right)^2$$

$$+ \left(\frac{Z_1 + Z_4}{2} - Z_2 \right)^2 = 100 \quad (30)$$

식 (27), (28), (29)는 흰색 구와 다른 구 사이의 거리를 나타내는 식이며 식 (30)은 물체의 중심과 녹색 구와의 거리를 나타내는 식이다. 위의 4개의 식을 풀면 다음 식과 같이 폐색현상이 생긴 흰색 구의 3차원 공간상의 위치를 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2(X_2 - X_3) & 2(Y_2 - Y_3) & 2(Z_2 - Z_3) \\ 2(X_3 - X_4) & 2(Y_3 - Y_4) & 2(Z_3 - Z_4) \\ -2X_4 & -2Y_4 & -2Z_4 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} X_2^2 - X_3^2 + Y_2^2 - Y_3^2 + Z_2^2 - Z_3^2 \\ X_3^2 - X_4^2 + Y_3^2 - Y_4^2 + Z_3^2 - Z_4^2 \\ -4X_2^2 - 4Y_2^2 - 4Z_2^2 \end{bmatrix} \quad (31)$$

V. 실험 방법 및 결과

1. 실험 환경 및 실험 결과

본 논문에서 제안하는 스테레오 카메라를 이용한 3차원 입력장치와 관련된 실험은 복잡한 배경을 갖는 일반적인 환경에서 실험하였으며 펜티엄 III 컴퓨터 상에서 C/C++ 언어를 이용하여 구현하였다. 카메라는 좌우 영상 각각 320*240의 해상도를 갖는 IEEE 1394 카메라 두 대를 이용하였다. MAWUPC를 이용하여 특정 색상의 위치를 예측하는 실험에서 식 (9)의 색상 변환 함수를 위해 본 논문에서 사용된 MAWUPC 및 AWUPC 연산에서 임계값 설정을 위한 식 (12)의 Q값은 많은 실험으로부터 가장 좋은 결과를 주는 30으로 선택하였다. UPC 연산에서 매칭을 수행하는 창의 한 변의 크기인 (2N+1)는 3을 사용하였고, 특정 색상을 가진 구 영상의 추적을 위해 사용된 탐색 영역의 초기 한 변의 크기는 30을 사용하였다. 초기 탐색 영역의 크기는 초기 프레임에 해당하는 영상에서 각 영역의 크기에 1.5배 되는 값으로 설정하였다.

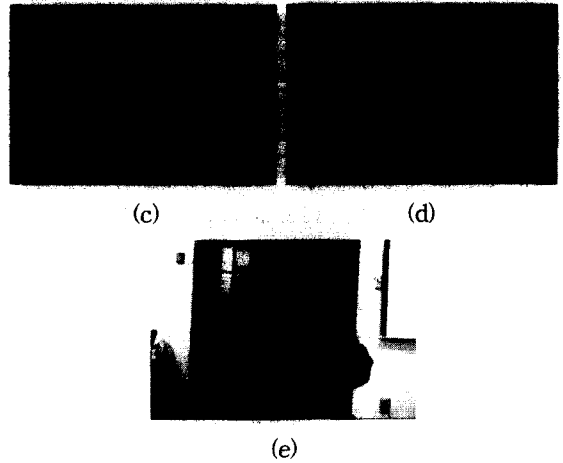
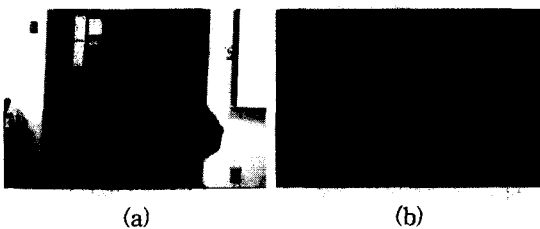


그림 7. 색상변환 과정

(a) 입력영상, (b) 색상 정규화, (c) 색상변환 결과, (d) 탐색영역 안에서의 색상변환, (e) MAWUPC 결과

Fig. 7. The procedure of color transform.

(a) Input image, (b) Color Normalization, (c) The result of color transform, (d) Color transform in the search region, (e) The result of MAWUPC.

표 2. 로봇암과 측정된 입력장치의 움직임 비교

Table 2. Comparison of robot arm and measured input device's motion.

로봇암			측정값		
X(cm)	Y(cm)	Z(cm)	X(cm)	Y(cm)	Z(cm)
2	0	0	2.0142	0.1953	0.2348
4	0	0	4.1837	0.1007	0.2435
6	0	0	6.2136	0.0761	0.0377
0	-2	0	-0.1032	-2.1684	0.2842
0	-4	0	0.0954	-4.0618	0.1095
0	-6	0	0.2954	-5.9568	0.1846
0	0	2	-0.1045	0.2328	2.2456
0	0	4	-0.1934	0.1862	3.8922
0	0	6	-0.1807	0.2843	5.8988
Rotation (pan)	10도	Rotation (pan)		10.1548	
	15도	Rotation (pan)		14.8967	

스테레오 카메라를 이용한 3차원 입력장치의 정확한 움직임 추출을 위해서는 먼저 각 좌우 영상에서 특정 색상을 가진 구 영상의 중심을 추출하였다. 그림 7은 색상 변환 과정에서의 색상 정규화 과정과 파란색 구

영상의 색상 변환 과정과 칼만 필터를 이용하여 예측된 탐색 영역안에서의 MAWUPC 과정과 결과 영상을 나타낸 결과이다. 이와 같이 설정된 탐색 영역안에서 정확한 물체의 중심을 구하는 과정은 탐색영역 안에서 색상 변환된 영상을 이용하여 원의 지름 후보와 중심 후보를 결정하고 PCA 방법을 이용하여 정확한 구 영상의 중심을 구하였다. 그림 8은 가로, 세로, 대각선 방향으로 projection을 통해서 원의 중심 후보와 지름 후보를 결정하여 좌우 영상에서 각 원의 중심을 추출한 최종 결과 영상이다.

본 논문에서 제안하는 방법을 이용하여 물체의 3차원 움직임을 추출하는 알고리즘의 정확도를 측정하기 위해서 로봇암을 이용하였다. 그림 9는 기준 위치와 Y축 방향의 로봇암에 부착된 3차원 입력장치의 각 원의 중심을 추출한 결과이고 표 2는 로봇암의 움직임에 따른 추출한 3차원 움직임 값을 비교한 것이다. 표 3은 임의의 위치에서 각 구의 3차원 공간상의 위치와 각 구와 구 사이의 거리를 측정하였다. 구와 구 사이의 거리는 항상 $10\sqrt{2}$ 이며 오차는 다음 식과 같이 계산하였다.

$$\text{오차} = \frac{|\text{구와구사이의거리} - 10\sqrt{2}|}{10\sqrt{2}} \times 100 \quad (32)$$

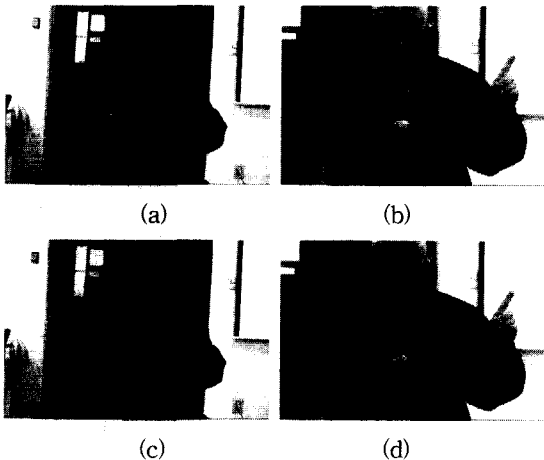


그림 8. 정확한 원 중심 추출 결과
(a) 좌측 입력 영상, (b) 우측 입력 영상, (c) 좌측 결과 영상, (d) 우측 결과 영상

Fig. 8. The results of to extract the center of the circle.

(a) Left input image, (b) Right input image, (c) Left result image, (d) Right result image.

표 3. 각 구와 구사이의 거리 및 오차

Table 3. Lengths between each sphere and the errors of the length.

	흰색	녹색	빨간색	노란색
X(cm)	0.1364	-0.2041	-9.9632	0.1312
Y(cm)	-9.9630	0.3045	0.1308	10.0990
Z(cm)	-0.1790	10.0916	0.1118	-0.0909
흰색 구와 녹색 구와의 거리 및 오차	14.5266 cm		2.72%	
흰색 구와 빨간 구와의 거리 및 오차	14.2819 cm		0.99%	
흰색 구와 노란 구와의 거리 및 오차	20.0622 cm		0.31%	
녹색 구와 빨간 구와의 거리 및 오차	13.9595 cm		0.091%	
녹색 구와 노란 구와의 거리 및 오차	14.1325 cm		0.065%	
빨간 구와 노란 구와의 거리 및 오차	14.1882 cm		0.33%	

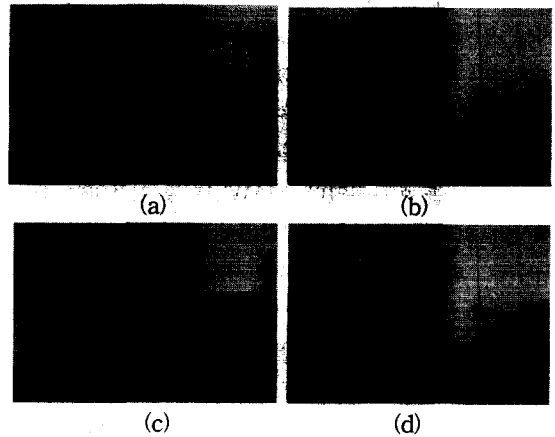


그림 9. 로봇암을 이용한 각 원의 중심 추출
(a) 기준 위치에서의 좌측 영상, (b) 기준 위치에서의 우측 영상, (c) Y축으로 4cm 이동후의 좌측 영상, (d) Y축으로 4cm 이동후의 우측 영상

Fig. 9. The extractions of the circle's center.
(a) Left image at the reference frame, (b) Right image at the reference frame, (c) Left image after translating 5cm to Y axis, (d) Right image after translating 5cm to Y axis.

2. 가상 환경에서의 실험 결과

위의 각 부분별 실험 결과를 바탕으로 제안하는 3차원 입력 장치의 움직임을 실제로 3차원 가상환경에 연결하였다. 제작된 가상환경에서 가상의 물체의 움직임

을 제어할 수 있도록 Open Inventor를 이용하여 제작되었으며 가상 환경 시스템과 추출된 3차원 움직임 정보와의 데이터 전달 방법은 TCP/IP를 사용하였다. 그림 10은 추출된 3차원 움직임 정보에 의해서 움직인 가상의 물체의 모습을 보여주고 있다. 입력 장치의 추출된 3차원 움직임 정보는 가상 물체의 움직임을 제어할 수도 있으며 3차원 작업 공간에서 움직이는 사용자의 시점이 될 수도 있다.

VI. 결 론

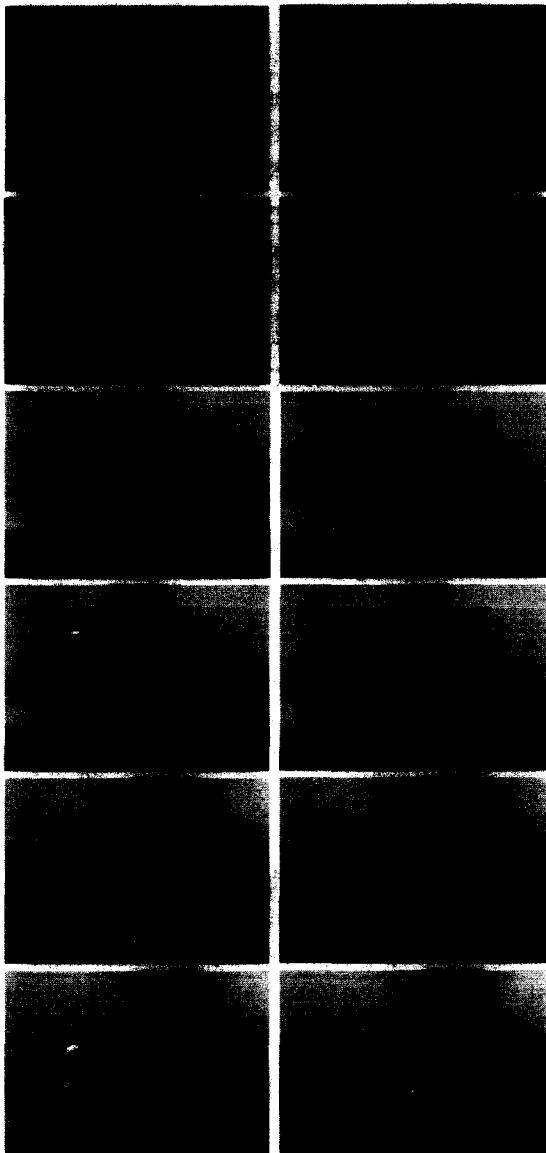


그림 10. 가상 물체의 움직임과 입력 장치의 움직임
Fig. 10. Motion of virtual object.

본 논문에서는 스테레오 카메라로부터 실시간으로 입력되는 좌우 영상으로부터 제안하는 3차원 입력 장치의 움직임 정보를 추출하여 가상 환경의 인터페이스를 제공하는 시스템을 제안하였다. 좌우 영상의 특징점을 이용하여 입력 장치의 움직임을 추적하기 위해서 입력 장치의 각 구가 가지고 있는 색상, 움직임의 특성을 효율적으로 결합한 MAWUPC 알고리즘을 제안하였고 각 구의 중심을 추출하기 위해서 PCA 알고리즘을 이용하였다. 4개의 특정 색상을 가진 구의 중심을 추출하기 위해서 최소한의 특징점만을 이용하여 좌우 카메라의 상관관계를 구할 수 있었으며, 각 구와 구 사이의 길이는 일정하기 때문에 4개의 구 중에서 폐색현상이 생기는 구의 중심의 3차원 좌표를 예측할 수 있다는 장점이 있다. PCA를 이용하여 추적하고자하는 구의 중심을 찾는 방법은 구 영상의 형태와 색상의 특성을 모두 고려하기 때문에 기존의 형태나 색상만을 이용하여 원의 중심을 찾는 방법에 비해 매우 효율적이다. 이와 같은 컴퓨터 비전을 기반으로 한 3차원 입력 장치 시스템은 별도의 캘리브레이션 물체의 도움없이 복잡한 배경을 가진 환경에서도 사용할 수 있으며, 3차원 움직임을 실시간으로 추출하여 가상 환경과의 자연스러운 상호작용을 가능하게 하였다.

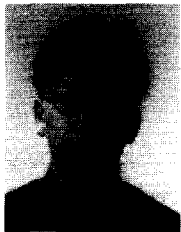
제안하는 물체의 움직임에서 특정 움직임을 명령 제스처로 정의하면 좀 더 다양한 인간과 컴퓨터의 상호작용을 적용할 수 있다. 제안하는 물체는 가상 환경에서의 입력 장치로써 뿐만 아니라 실제 카메라에 제안하는 물체를 부착하여 실제 카메라의 움직임과 가상 카메라의 움직임을 동기화에 응용할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] G.R.Bradski, "Computer Vision Face Tracking as a Component of a Perceptual User Interface," *IEEE workshop. On Applic. Vis., Princeton*, pp. 214~219, 1998.
- [2] Kazuyuki Imagawa, Shan Lu, Seiji Igi, "Closed-Based hands Tracking System for Sign Language Recognition," *International Conference on Face and Gesture Recognition*, April 14-16, 1998.
- [3] Y.Wu, T.S.Huang, "Human Hand Modeling,

- Analysis and Animation in the Context of HCI," *ICIP'99*, Vol. 3, pp. 6~10, 1999.
- [4] T.He, and K.E.Kaufman, "Virtual input device for 3D systems," *In Proceedings Visualization '93*, pp. 142~148, 1993.
- [5] R.T.Tsai, "An Efficient and Accurate Camera Calibration Technique for 3D Machine Vision," *In Proceedings CVPR'86, Miami Beach, Florida*, pp. 364~374, IEEE, June 1986.
- [6] O.D.Fuageras, "What can be seen in three dimensions with an uncalibrated stereo rig," *In Proceedings European Conference on Computer Vision*, pp. 563~578, 1992.
- [7] Z.Zhang, O.D.Faugeras, R.Deriche, "An Effective Technique for Calibrating a Binocular Stereo Through Projective Reconstruction Using Both a Calibration Object and the Environment," *VIDEREI-1*, pp. 58~68, 1997.
- [8] H.G.Kim, N.H.Kim, S.C.Ahn, "Skin Region Extraction Using Moving Color Technique", *The 4th IEEE International Workshop on Intelligent Signal Processing and Communication Systems*, pp. 73~83, Nov. 1998, Australia.
- [9] 조오영, 김형근, 고성제, 안상철, "인터랙티브 가상 환경을 위한 손 제스처 인식 시스템," *대한컴퓨터학회 논문지*, 제36권 5편 4호 pp. 70~82, 1999, 4
- [10] 이상환, "컴퓨터 비전을 이용한 사람의 3차원 움직임 정보 추출," *연세대학교 대학원 전기전자공학과 석사학위 논문*, 2001, 2
- [11] R.G.Brown, Y.C.Patrick, Y.C.Hwang, "Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering," *John Wiley and sons, Inc.*, 1997.
- [12] R.O.Duda, P.E.Hart, "Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures," *Comm. of ACM*, Vol. 15, No.1, pp. 11~15, Janu., 1972.
- [13] C.Kimme, D.H.Ballard, J.Sklansky, "Finding Circles by an array of Accumulators," *Comm. of ACM*, Vol. 18, No. 2, pp. 120~122, Feb., 1975.
- [14] Y.Cheng, "Mean Shift, Mode Seeking, and Clustering," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 17, No. 8, pp. 790~799, Aug., 1995.
- [15] M.Turk, A.Pentland, "Eigenfaces for recognition," *Journal of Cognitive Neuroscience*, Vol. 12, No. 1, pp. 71~86, 1991.

저 자 소 개



尹相珉(正會員)

2000년 고려대학교 전자공학과 졸업(공학사). 2002년 고려대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 2002년 2월~현재: 삼성종합기술원 HCLLAB 연구원. <주관심분야: 컴퓨터 비전, 인공지능, Human Computer Inter-

action, 데이터 융합 등임>



安相喆(正會員)

1988년 서울대 제어계측공학과 졸업(학사). 1990년 서울대 제어계측공학과 졸업(공학석사). 1996년 서울대 제어계측공학과 졸업(공학박사). 1996~1997년 Univ. of Southern California 방문연구원. 1997년~현재

한국과학기술연구원 영상미디어연구센터 선임연구원. <주관심분야: 인공지능, 컴퓨터비전, 영상처리, 얼굴인식, HCI 등임>



金 益 載(正會員)

1996년 연세대 전기공학과 졸업(공학사). 1998년 연세대 전기공학과 졸업(공학석사). 1998년 3월~현재 : 한국과학기술연구원(KIST) 영상미디어연구센터 연구원. <주관심분야: 컴퓨터 비전, 혼합가상현실, Human Computer

Interface, IBMR 등임>



高 漢 錫(正會員)

1982년 Canegie-Mellon Univ. Electrical Engineering 졸업(공학사) 1986년 Univ. of Maryland System Engineering 졸업 (공학석사) 1988년 Johns Hopkins Univ. Electrical Engineering (공학석사) 1992년

Catholic Univ of America Electrical Engineering (공학박사) 1983년 9월~1995년 2월 white Oak 연구소 Principal Engineer 1992년 9월~1995년 2월 Univ. of Maryland Part-time Asst. Professor 1995년 3월~현재 고려대학교 전기·전자·전파 공학부 부교수. <주관심분야: 이미지 데이터 융합, 표적신호 탐지/추정/추적, 음성신호처리>



金 炯 坤(正會員)

1974년 한국항공대학 항공전자공학과 졸업(공학사). 1982년 Univ. of Kent (England) U.K. 전자공학과 (M.Sc.). 1985년 Univ. of Kent (England) U.K. 전자공학과 (Ph.D). 1993년 7월~1994년 6월 호주 Univ.

of South Australia 초청연구원. 1977년 12월~현재 한국과학기술연구원(KIST) 책임연구원. <주관심분야: 영상 처리용 VLSI 구조, 센서 fusion, 대화형 영상처리, 스테레오 비전 시스템, 가상공간 interface, 영상-그래픽스 합성, MPEG-4 등임>