

특집논문-06-11-4-05

3차원 시선 추출 및 상호작용 기법

기 정 석^{a)b)}, 전 경 원^{a)}, 조 상 우^{a)}, 권 용 무^{a)†}, 김 성 규^{a)}, 손 광 훈^{b)}

3D Gaze Estimation and Interaction Technique

Jeongseok Ki^{a)b)}, Kyeong-Won Jeon^{a)}, Sangwoo Jo^{a)}, Yong-Moo Kwon^{a)†}, Sung-Kyu Kim^{a)},
and Kwanghoon Sohn^{b)}

요 약

2D 영상에 대한 시선 기반 상호작용 기법으로서 시선추적 기술이 연구되고 있다. 하지만 입체영상 또는 콘텐츠에 대한 시선기반 상호작용 연구는 아직 연구된 바가 없다. 현재 3D 디스플레이 기술은 현실감 있는 서비스를 제공하고 있으며, 이러한 3D 콘텐츠를 제공하는 환경에서는 더욱 3D 상호작용 기법이 필요하다. 본 논문은 패럴랙스 배리어나 렌티큘라 방식과 같은 무안경식 3차원 입체 디스플레이 환경에서 시선기반 3차원 입체 영상 상호작용 기술에 대해 기술한다.

Abstract

There are several researches on 2D gaze tracking techniques for the 2D screen for the Human-Computer Interaction. However, the researches for the gaze-based interaction to the stereo images or contents are not reported. The 3D display techniques are emerging now for the reality service. Moreover, the 3D interaction techniques are much more needed in the 3D contents service environments. This paper addresses gaze-based 3D interaction techniques on stereo display, such as parallax barrier or lenticular stereo display. This paper presents our researches on 3D gaze estimation and gaze-based interaction to stereo display.

Keyword : 3D Gaze Tracking, Stereo Image, 3D Interaction

I. 서 론

미래의 환경을 위한 인간-컴퓨터 상호작용의 중요성이 높아짐에 따라 수많은 인간-컴퓨터 인터페이스가 사람과 컴퓨터를 자연스럽게 연결하기 위해 연구되고 개발되어지고 있다. 이러한 인터페이스에 사람의 시선은 인간의 관심이나 즉각적 반응, 흥미 등을 표현할 수 있는 효과적인 도

구이다. 본 논문에서 우리는 인간-컴퓨터 상호작용을 위한 입력장치로서 시선을 사용하는 방법에 대해 연구하였다. 시선추적이란 스크린 상의 응시하고 있는 점을 눈 영상을 가지고 판별해 내는 것을 말한다. 이 기술은 현재도 사지를 움직일 수 없는 장애인이 컴퓨터를 사용하게 하기 위한 도구로서 개발되어 상용화되어 활용되고 있다. 또한 3차원 입체 영상은 기존의 2차원 평면 영상에 비하여 영상의 입체 정보를 시청자에게 전달할 수 있는 이유로 그 가능성은 넓게 인식되고 있다. 3차원 디스플레이에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있는 만큼 3차원 상호작용에 대한 연구도 필요하다. 추적 기술 연구에는 단안 카메라^[1]나 입체 카메라^[2-3]를

a) 한국과학기술연구원 영상미디어연구센터
Imaging Media Research Center, Korea Institute of Science and Technology
b) 연세대학교 전기전자공학과 디지털 영상미디어 연구실
Digital Image Media Lab, Department of Electronic and Electrical Engineering, Yonsei University
† 교신저자 : 권용무 (ymk@kist.re.kr)

사용하는 방법들이 알려져 있다. 그 중에서도 가장 대중적으로 사용하는 시선 측정 기술은 PCCR(Pupil Center & Cornea Reflection)을 기반으로 하는 기술이다. 이러한 연구에는 눈의 수렴을 이용하는 기술도 알려져 있다⁴⁻⁵⁾. [5]에서는 눈의 수렴을 알아보기 위해 HMD(Head Mounted Display)를 사용하였다. 이들 기술은 2차원 스크린이나 이미지에 사용되는 시선 추적 기술이다.

본 논문에서는 위에서 열거된 기술과 달리 3차원 시선 측정과 스테레오 디스플레이 입체영상을 통한 상호작용 기법을 설명한다. 그림 1은 2차원 시선과 3차원 시선의 개념적인 차이를 설명하고 있다. 그림 1을 보면, 2차원 시선은 단안(單眼)을 가지고 측정해 낼 수 있다. 하지만 3차원 시선은 양안(兩眼)을 사용해야만 측정할 수 있다. 그 이유는

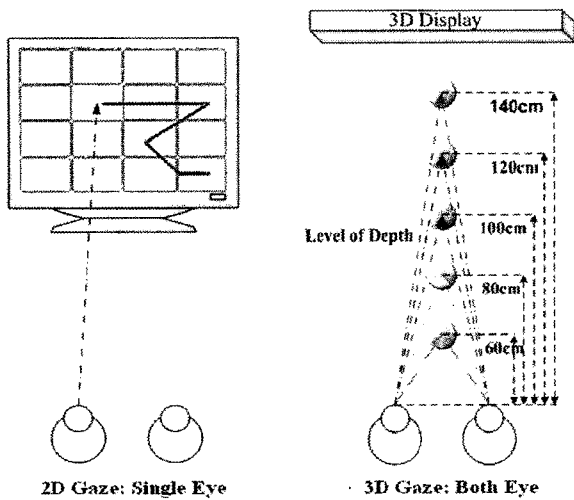


그림 1. 2차원과 3차원 시선의 개념
Fig. 1. The concept of 2D and 3D gaze

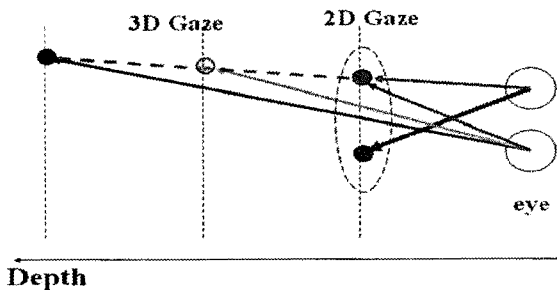


그림 2. 시선 방향과 시선 깊이
Fig 2. Gaze Direction and Gaze Depth

그림 2에서 더 자세히 설명되어 있다. 단안(單眼)으로 시선의 방향은 정확히 구분할 수 있지만 시선의 깊이는 찾을 수가 없다. 그림 2에서 보는 바와 같이 같은 시선에 대해서 여러 가지의 깊이를 갖게 되는 경우는 단안(單眼)으로 깊이를 알아낼 수 없기 때문에 양안(兩眼)을 사용하여 깊이를 찾아낸다. 양안(兩眼)을 사용하게 되면 시선의 방향과 시선의 깊이를 찾을 수 있다.

본 논문은 양안(兩眼)을 사용하여 시선의 방향과 깊이를 알아내고, 이를 통해 3차원 시선을 추적한다. 양안(兩眼)을 통해 시선의 방향과 깊이를 이용하여 이를 기반으로 입체영상과의 상호작용 기법은 새로운 연구주제이다.

본 논문에서는 동공과 각막의 반사점 그리고 동공중심사이거리를 이용하는 방식으로서 한 대의 카메라와 두 개의 적외선 광원 집합을 사용한 간단한 시선추적기술을 제안한다. II장에서는 시선의 방향과 깊이 추정을 통한 3차원 시선 추적 알고리즘을 설명하고, III장에서는 실험에 사용된 시스템의 구성과 앞서 설명한 알고리즘을 기반으로 시선 기반 3차원 상호작용 구현에 대해서 설명한 다음 IV장, V장에서 시스템의 평가 및 결론을 맺는다.

II. 3차원 시선 추정 알고리즘

본 시스템에서 제안된 알고리즘은 간단하다. 시스템은 입력된 눈 영상에서 동공과 두 개의 반사점의 상관관계를 이용하여 시선의 방향(2차원 정보)을 찾아내고, 두 눈의 동공중심사이 거리를 이용하여 깊이를 알아낸다. 사용자의 머리 움직임은 두 눈의 동공과 두 개의 반사점을 포함하는 영상이면 허용된다.

1. 시선 방향 추정

시선 방향 추정은 다음과 같은 4단계로 나눌 수 있다. 시스템은 먼저 IEEE1394 카메라를 사용하여 사용자의 눈 영상을 얻는다. 다음으로 획득한 눈 영상에서 이미지 피라미드, 필터링, 투영히스토그램, 경계 검출 같은 영상 처리 기법을 사용하여 동공과 반사점의 중심들을 추출한다⁶⁾. 이렇게 구한

동공의 중심과 두 반사점의 중심을 세 특징 점으로, 이들 간의 거리 정보를 이용하여 사용자의 스크린 상 시선 위치로 사상시키게 되고, 이 점이 사용자 주시점으로 판별되게 된다.

우리는 시선방향을 측정하기 위해서 스크린상의 주시점은 눈의 동공중심을 지나는 관계를 이용하였다. 스크린 상에서 사용자가 바라보고 있는 주시점을 알아내기 위해서 그림 3에 표시된 것과 같이 동공의 중심 P와 두 반사점 중심 g1, g2로 이루어진 세 개의 특징점 사이의 거리 관계를 이용한다.

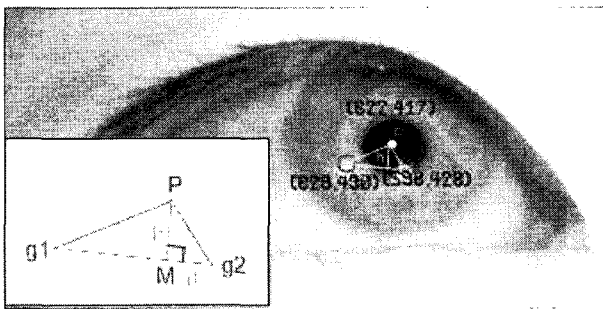


그림 3. 시선 추적 알고리즘의 특징점 관계
Fig 3. Feature Relations of Gaze Tracking Algorithm

두 반사점 g1과 g2를 잇는 선에 동공의 중심 P로부터 수선의 발을 내린 점을 M이라고 한다. h는 P와 M을 잇는 선의 길이이고, c와 d는 각각 g1과 M, M과 g2를 잇는 선의 길이를 나타낸다.

이 c, h, d의 길이와 시선관의 관계가 선형이라고 가정하면, h는 사용자가 바라보고 있는 스크린 상 y축의 주시점 위치를 예측하는데 사용될 수 있다. 마찬가지로 c나 d 값은 주시점의 스크린 상 x축 위치를 예측할 수 있다. 둘 중 어느 값을 사용하더라도 상관없지만 본 논문에서는 주로 c값을 사용하기로 한다. 그런데 사람마다 눈의 위치나 회전 정도 등의 사용자 의존적인 요소들을 초기화 시킬 수 있고, 세 특징 점들 사이의 관계를 재정의할 수 있도록 사

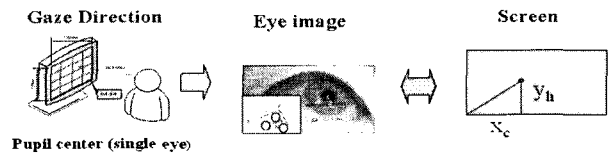


그림 4. 시선 방향 측정과 화면 사상
Fig 4. Gaze Direction Estimation and Screen Mapping

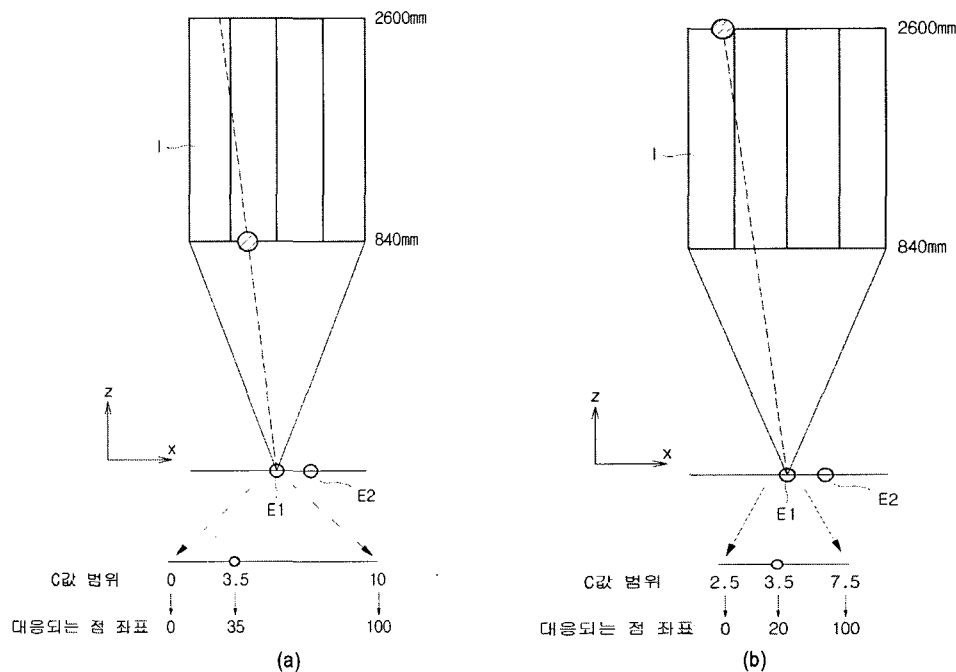


그림 5. 3차원 시선 방향 측정
Fig 5. 3D Gaze Direction Estimation

용자 보정을 수행한다. 그림 4는 시선 방향 측정과 화면 사상의 개념을 설명하고 있다. c , h 값은 스크린에서 X_c 와 Y_h 에 해당한다.

3차원 공간에서 방향을 알기 위해서는 두 점 이상의 정보가 필요하나 X_c 와 Y_h 는 화면상의 한 점이므로 깊이를 갖는 3D 디스플레이에서 시선의 방향을 알기에는 정보가 부족하다. 따라서 우리는 c , h 의 정보를 하나 더 이용하여 시선의 방향을 찾는다. 그림 5는 3차원 시선 방향을 도출하는 과정을 보다 구체적으로 보이는 평면도(top view)에 대한 개략도이다. 그림 5에서 c , h 값은 모니터를 기준으로 나타나는 값이므로 840mm에 위치한 모니터와 2600mm에 위치한 가상공간의 깊이에 표시되어 있는 점은 모두 동일한 $c(3.5)$ 값을 갖는다. 하지만 각각 다른 깊이에서 c 의 범위가 다르기 때문에 동일한 c , h 를 가져도 깊이에 따라 사상되는 점은 다른 값이 된다. 따라서 모니터의 크기가 0~100이라고 했을 때, 840mm에서 c 값의 범위가 0~10이라면 c 값 3.5는 실제 30의 위치를 나타내고, 2600mm에서 c 값의 범위가 2.5~7.5라면 c 값 3.5는 실제 20의 위치를 나타낸다.

그림 6은 c , h 값의 전체 범위가 깊이에 따라 다른 이유를 나타낸다. c , h 값은 840mm에 위치한 모니터를 기준으로 계산되는 값이기 때문에 실제 2600mm 깊이에 위치한 곳에서의 눈의 이동범위는 840mm보다 작게 된다. 따라서 840mm에서 c 값의 범위는 0~10이 되고, 2600mm에서 c 값의 범위는 2.5~7.5가 된다.

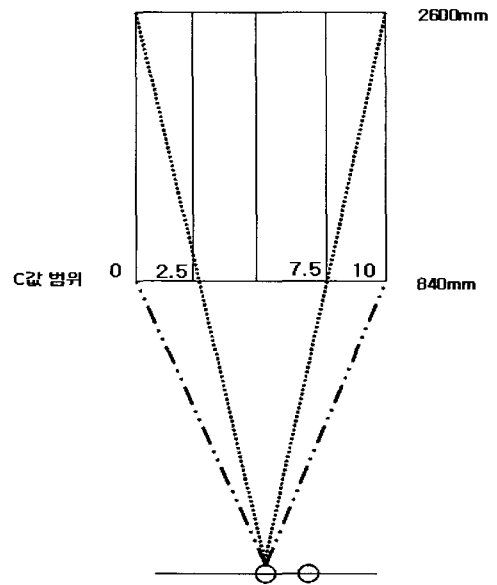


그림 6. 깊이에 대한 c값의 범위 변화
Fig 6. change of c range to depth

2. 시선 깊이 추정

우리는 깊이를 찾기 위해 두 눈의 동공중심사이 거리를 이용하였다. 그림 7에서 보면 알 수 있듯이 동공중심사이 거리는 사람의 눈에서 물체가 멀어질수록 커지고 눈에서 가까워질수록 작아진다.

그림 8은 위와 같은 사실을 모의실험을 통하여 확인한 결과이다. 그림 8에서 볼 수 있듯이 거리가 멀어질수록 동

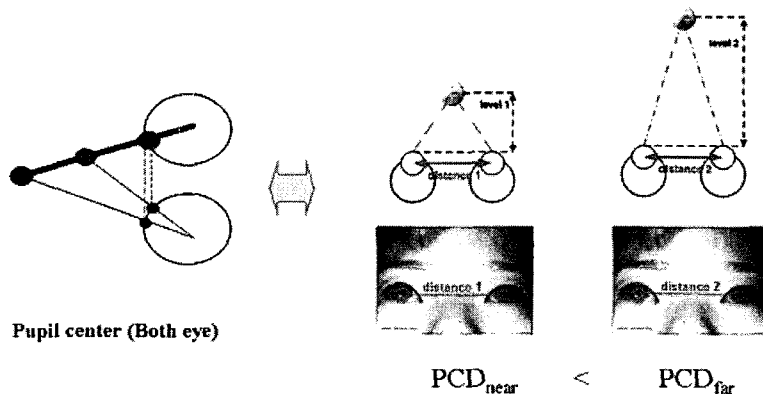
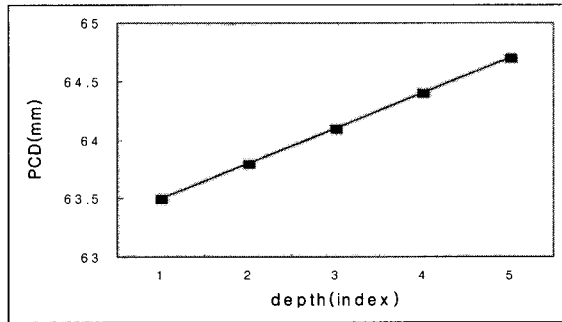


그림 7. 시선 깊이와 동공중심사이 거리
Fig 7. Gaze Depth and PCD (Pupil Center Distance)

공중심사이 거리가 증가하는 것을 알 수 있다.



index	depth(mm)
1	500
2	630
3	840
4	1270
5	2600

그림 8. 깊이와 동공중심사이 거리와의 관계
Fig 8. Relationship between depth and PCD

또한 가까운 깊이에서는 같은 깊이에 대해서도 눈의 회전 범위가 넓기 때문에 위치에 따라 각각 다른 동공중심사이 거리가 존재한다. 시스템에서 두 눈의 영상을 얻어내고 이를 통해 동공중심사이 거리를 측정해 낸다. 이 과정 또한 사람마다 깊이와 동공중심사이 거리 관계가 다르므로 사용자 보정이 필요하다.

3. 3차원 시선 측정 알고리즘

3차원 시선 측정 알고리즘의 개념은 그림 9와 같다.

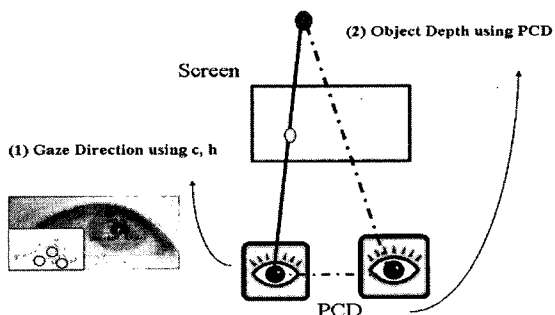


그림 9. 3차원 시선 측정 알고리즘 개요
Fig 9. Overview of 3D Gaze Estimation Algorithm

3차원 시선 측정은 2단계로 구성되어 있다. 먼저 II장 2절 중 절에서 언급한 동공과 두 반사점 사이의 관계를 이용하여 각 시선의 방향을 찾아낸다. 찾아낸 시선의 방향에서 II장 3절 세그에서 언급한 동공중심사이 거리 정보를 이용하여 해당하는 16.0 깊이를 찾아낸다. 그림 10에서 보는 바와 같이 한 쪽 눈을 한 색 통해 시선의 방향을 찾으면 각각의 깊이에 따라 주시영역 자료가 모두 다르다. 따라서 사람의 주시영역을 정확하게 알기 된다. 위해서 동공중심사이 거리를 적용시켜 정확하게 3차원 공간에서의 주시영역을 찾아낸다.

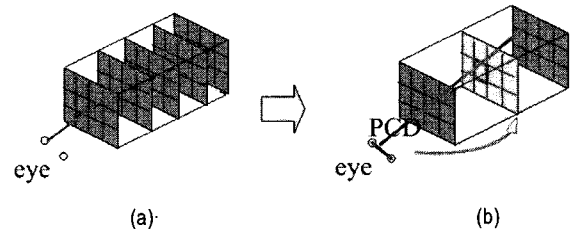


그림 10. 시선 방향과 깊이를 통해 3차원 시선 영역 추정
Fig 10. Estimation of 3D Gaze Target area from Gaze Direction and Gaze Depth

III. 3차원 입체영상과 상호작용

1. 시스템 구성

본 시스템은 Point Grey사의 Dragonfly카메라를 사용하고 광원으로는 두 개의 적외선 LED 집합을 사용한다. 카메라



그림 11. 3차원 시선 측정 시스템
Fig 11. 3D Gaze Estimation System

Fig 3. Correlation of shape appearance score and width (left), and size (right) for 44 samples of milled rice.

라는 XGA(1024x768)급의 해상도를 15fps로 지원하고 시스템 구동 시에 10~12fps 정도의 성능을 갖는다. 적외선 LED의 총 전력은 사용자의 안전을 위해 2와트 이하로 제한하였다. 3차원 디스플레이 장치는 패럴랙스 배리어를 사용하는 PAVONINE사의 17인치 모니터를 사용하였다.

2. 사용자 보정

시스템을 사용하기에 앞서, 각 사용자는 사용자 보정 과정을 수행해야 한다. 이 과정은 모든 시선 추적 시스템이 포함하는 과정으로 본 시스템에서는 이것을 보다 간편하게 구성하였다. 대부분의 시선 추적 시스템은 사용 전에 여러 개의 사물에 대해 여러 단계에 걸쳐 쳐다봐야하는 반면, 본 시스템은 3단계로 구성되어 있는 과정을 2번 실시한다.

우리가 구성한 3차원 공간에서 가장 가까운 깊이와 가장 먼 깊이에서 각각 3단계의 측정과정을 거친다. 사용자는 각 깊이에서 좌측 상단과 우측 하단 그리고 가운데에 위치한 점을 바라보게 된다. 가장 가까운 깊이와 가장 먼 깊이에서의 주시점들과의 관계를 통해 시선의 방향 범위를 알 수

있고, 동공중심사이 거리를 통해 각각의 깊이에서의 동공 중심사이 거리를 알 수 있다. 이 과정은 다음의 그림 12에 표시되어 있다.

3. 3차원 입체영상과 상호작용

우리는 입체영상에 대해 시선기반 3차원 상호작용을 위해 우리의 3차원 시선 측정 알고리즘을 적용하였다. 3차원 콘텐츠는 OpenGL Performer를 사용하여 제작한 후 스테레오 디스플레이에 시현하였다. 3차원 콘텐츠는 3차원 공간에서 멀리 위치한 과녁과 가까이에 위치한 화살로 구성되어 있다. 그림 13은 시선기반 3차원 상호작용의 데모 시나리오를 보여준다. 데모 시나리오에는 3단계로 구성되어 있다. 먼저 시선의 방향과 깊이를 이용하여 화살을 선택한 다음 표적이 되는 과녁을 바라본다. 마지막으로 화살이 표적점에 날아간다. 각각 다른 깊이에 위치한 화살을 볼 경우 깊이에 대한 정보가 창으로 표시된다. 따라서 화살이 선택 되면 화살에 해당하는 깊이가 알림창으로 나타나고 그 때 과녁을 바라보면 과녁의 깊이가 알림창으로 표시된 후 화살이 날아간다.

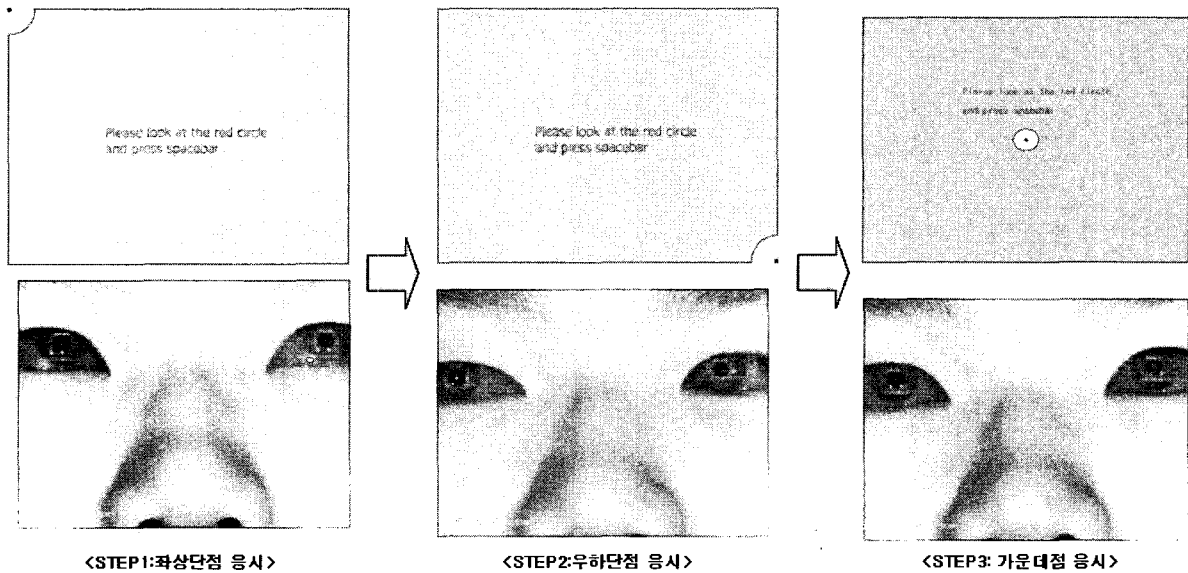


그림 12. 사용자 보정
Fig 12. Personal Calibration

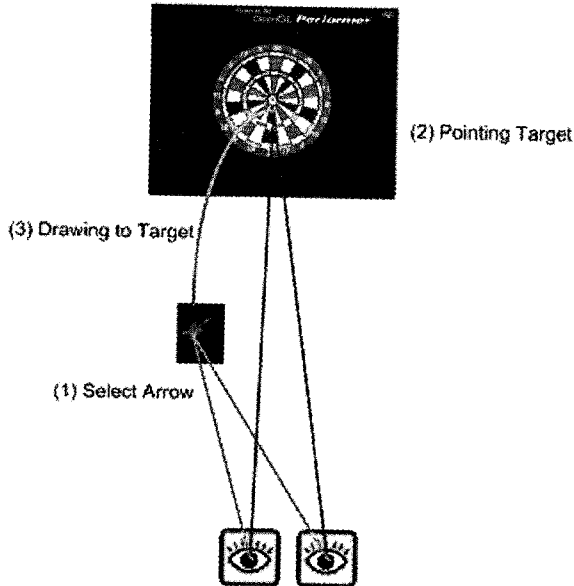


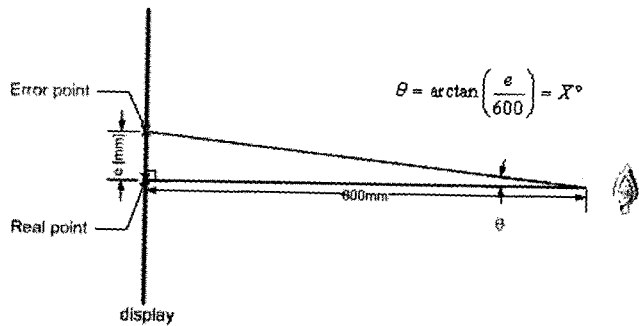
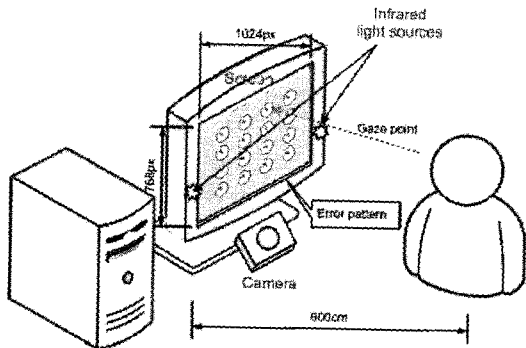
그림 13. 입체영상의 3차원 시선 상호작용 시나리오
 Fig 13. Scenario of 3D Gaze Interaction to Stereo Contents

IV. 평가

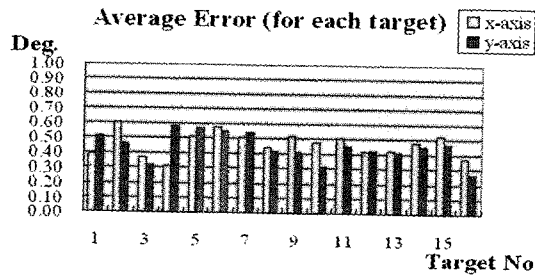
1. 시선 방향

본 시스템의 정확도는 스크린 상 위치를 알고 있는 16개의 고정점을 사용자가 바라보게 함으로써 측정되었다. 모니터로부터 600mm 떨어져 있는 4명의 피실험자로 하여금 16개의 점을 차례대로 바라보게 하였고, 전체를 3번 반복하여 그 결과를 기록하였다. 모니터 해상도는 1024(x축) x 768(y축)이고, 모니터의 크기는 340mm(x축) x 270mm(y축)이므로 화소당 길이는 0.33 x 0.35(mm/px)이다.

4명의 피실험자에 대한 평균오차는 x축에 대해서 9pixel~19pixel이고, y축에 대해서 9pixel~18pixel이다. 실제위치 화소값과 오차위치 화소값을 mm로 환산하여 이를 눈에서의 각도(θ (Degree))로 나타낸 결과 0.3~0.6도 사이에 분포하며 0.6도 보다 큰 오차는 없다.



(a)



(b)

그림 14. 시선 방향의 정확성 평가

Fig 14. Accuracy evaluation of our gaze direction estimation

그림 14(a)의 왼쪽그림은 오차를 측정하는 시스템을 나타낸 그림이며, 오른쪽 그림은 오차에 대해서 각도로 표시하는 방법을 나타내었다. 그림 14(b)에서는 4명의 피실험자들에 대한 각도 오차값을 평균을 구하여 그래프로 나타내었다. 그래프의 x축은 이미 알고 있는 16개의 고정점의 번호를 의미하며, y축은 오차에 대한 각도를 나타낸다. 그림에서 X-axis는 모니터의 가로방향을 의미하며, Y-axis는 모니터의 세로방향을 의미한다.

이전의 시선방향 추출 시스템과 비교하면, Sheng Wen Shih는 스테레오 카메라를 사용하여 각막중심과 동공중심을 찾은 후 이 두 점으로부터 벡터를 구해 시선방향을 알아내었다. 이 시스템의 정확도는 약 1도의 오차를 갖는다^[3].

2. 3차원 시선 방향과 깊이

평가는 본 시스템의 객체 선택의 정확성에 대해 측정하였으며, 방향과 깊이에 대해서 각각 다른 깊이에 존재하는 화살을 사용자가 1초 이내에 선택하여 다트 표적점에 이동 시킴으로써 측정되었다. 3명의 피실험자가 화살을 임의의 순서를 가지고 각각의 화살마다 10번씩 30번을 선택했을 때 피실험자가 원하는 화살의 선택여부에 대한 평가이다. 정확하게 선택되었는지는 선택된 화살과 그 깊이를 알려주는 창을 통하여 알 수 있으며, 또한 선택된 화살의 이동여부를 통해 알 수 있다. 그림 15는 3차원 시선추정의 정확성

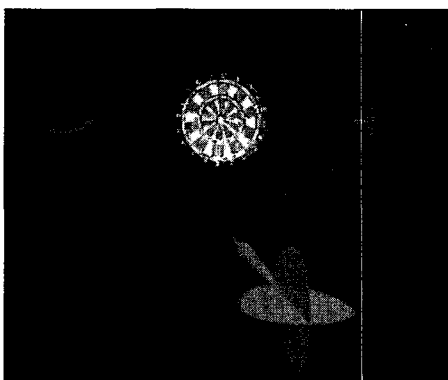


그림 15. 3차원 시선 방향과 깊이의 정확성 평가 3D 콘텐츠
Fig 15. 3D contents for the proposed algorithm accuracy evaluation

평가를 위해 사용한 화살과 과녁의 이미지를 나타내었다. 화살과 과녁이 각각 다른 깊이에 위치하도록 하였다. 실제로는 3차원 스테레오 디스플레이를 사용하여 입체영상으로 보게 된다. 그에 대한 결과는 표 1에 나타나있다. 3명의 피실험자에 대해서 총 30번 중 2번이내의 오차를 가져 최소 93%의 정확성을 나타내었다.

표 1. 3차원 시선 측정의 정확성 평가
Table 1. Accuracy Evaluation of 3D Gaze Estimation

피실험자	정확성
1	97% (29/30)
2	93% (28/30)
3	93% (28/30)

V. 결론

본 논문에서는 패럴랙스 배리어 입체 디스플레이에 나타나는 3차원 콘텐츠에 대해서 시선을 기반으로 하는 상호작용 기법을 설명하였다. 이 시스템의 장점은 한 대의 카메라와 두 개의 적외선 광원만이 사용되어 많은 자원을 필요로 하지 않고, 간단한 사용자보정 과정을 포함한다. 이 시스템에 동공중심사이거리(PCD) 개념을 도입하여 시선방향(2차원 좌표) 뿐만 아니라 깊이 정보를 추출하여 스테레오 디스플레이의 입체영상에 대해서 시선기반 3차원 상호작용 알고리즘을 제안하였다. 시선 방향의 정확성에 대한 평가에서 16개의 고정점에 대해서 9~18pixel(0.3~0.5degree)의 오차 값을 나타냈으며, 시선의 깊이에 대한 평가에 대해서는 약 94.5%의 정확성을 나타내었다. 이를 통하여 3D 게임, 3D 가상공간, 3DTV 등과 같은 스테레오 디스플레이와의 새로운 상호작용 가능성을 제시하였다. 이는 3D 디스플레이나 가상공간과 인간과의 상호작용 연구에 또 다른 주제가 될 것이다.

참고문헌

[1] Takehiko Ohno, Naoki Mukawa, Atsushi Yoshikawa , "FreeGaze : A Gaze Tracking System for Everyday Gaze Interaction," Eye

Tracking Research & Application(ETRA) Symposium, pp. 125-132, 2002.

[2] David Beyer, Myron Flickner, "Eye Gaze Tracking Using an Active Stereo Head," Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Vol. 2, pp. 451-458, 2003.

[3] Sheng Wen Shih, Jin Liu, "A novel Approach to 3-D Gaze Tracking using Stereo Cameras," IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics part B: Cybernetics, Vol. 34, no. 1, pp. 234-245, Feb, 2004.

[4] M. Mon-Williams, James R. Tresilian, Anna Plooy, John P. Wann, Jack Broerse, "Looking at the Task in Hand: Vergence Eye Movements and Perceived Size," Experimental Brain Research. Vol. 117, no. 3, pp. 501-506, 1997.

[5] Sheely L. Ames and Neville A. McBrien, "Development of a Miniaturized System for Monitoring Vergence during Viewing of Stereoscopic Imagery using a Head Mounted Display," Proc. of SPIE-IS&T Electronic Imaging, SPIE Vol. 5291, pp. 25-35, 2004.

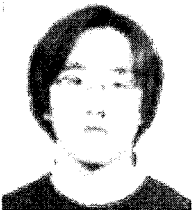
[6] 박진우, 권용무, 손광훈, "동공과 글린트의 특징점 관계를 이용한 시선 추적 시스템", 한국방송공학회 논문지, 제 11권 제 1호, pp. 80-89, 2006년 3월

저 자 소 개



기 정 석

- 2003년 : 한국항공대학교 항공전자공학과 학사
- 2006년 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 석사과정
- 주관심분야 : 3차원 시선 추적, 3차원 실내 환경 모델링



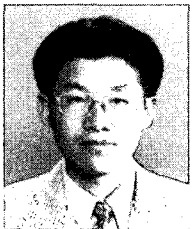
전 경 원

- 2006년 : 고려대학교 전자공학과 학사
- 2006년 ~ 현재 : 고려대학교 전기전자공학과 석사과정
- 주관심분야 : 3차원 시선 추적, 3차원 실내 환경 모델링



조 상 우

- 2005년 : 서강대학교 전자공학과 학사
- 2005년 ~ 현재 : 고려대학교 전기전자공학과 석사과정
- 주관심분야 : 3차원 시선 추적, 3차원 실내 환경 모델링



권 용 무

- 1980년 : 한양대학교 전자공학과 학사
- 1983년 : 한양대학교 전자공학과 석사
- 1992년 : 한양대학교 전자공학과 박사
- 1983년 ~ 현재 : 한국과학기술연구원 영상미디어연구센터 연구원, 선임연구원, 책임연구원
- 주관심분야 : 실감미디어, 3차원 영상, 인터랙션미디어

 저 자 소 개



김 성 규

- 1989년 : 고려대학교 물리학과 학사
- 1991년 : 고려대학교 물리학과 석사
- 2000년 : 고려대학교 물리학과 박사
- 1999년 ~ 2001년 : Telecommunications Advancement Organization, Japan(PostDoc)
- 2001년 ~ 현재 : 한국과학기술연구원 영상미디어연구센터 선임연구원
- 주관심분야 : Multi-focus display system, Digital holography, Floating image system



손 광 훈

- 1983년 : 연세대학교 전자공학과 학사
- 1985년 : Univ. of Minnesota, Dept. of EE
- 1991년 : North Carolina State Univ. Dept. of ECE
- 1995년 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학부 조교수, 부교수, 교수
- 주관심분야 : 3차원 동영상 CODEC, 3차원 혼합현실 콘텐츠 기술, 3D 얼굴인식 기술