

적응적 패럴랙스 베리어를 위한 사용자 위치 추적 방법

강석훈*

Estimating Location in Real-world of a Observer for Adaptive Parallax Barrier

Seok-Hoon Kang *

*Professor, Department of Embedded Systems Engineering, Incheon National University, Incheon, 22012 Korea

요 약

이 논문에서는 적응적 패럴랙스 베리어 방식에서, 시청영역을 제어할 수 있도록 사용자의 위치를 추적하는 방법을 제안한다. 얼굴자세에 강건한 양안거리 측정을 위해, 형태모델과 랜드마크 기반인 CLM으로 자세를 추정한다. 카메라와의 상관관계로, 거리와 수평위치를 거리로 변환한다. 사용자의 눈의 위치에 따라 적응적 패럴랙스 베리어의 화소간격을 조정하고, 베리어를 이동해 시청영역을 조정한다. 이 논문에서는 60cm부터 490cm의 범위에서 사용자를 추적하는 방법을 제안하고, 카메라 영상의 해상도에 따른 에러, 측정 가능 범위, fps를 측정하였다. 그 결과, 사용자를 평균 3.1642cm의 절대오차 범위내로 측정 가능하였으며, 영상의 해상도에 따라 320x240에서 약 278cm, 640x480에서 약 488cm까지, 그리고 1280x960에서 약 493cm까지를 측정할 수 있었다.

ABSTRACT

This paper propose how to track the position of the observer to control the viewing zone using an adaptive parallax barrier. The pose is estimated using a Constrained Local Model based on the shape model and Landmark for robust eye-distance measurement in the face pose. Camera's correlation converts distance and horizontal location to centimeter. The pixel pitch of the adaptive parallax barrier is adjusted according to the position of the observer's eyes, and the barrier is moved to adjust the viewing area. This paper propose a method for tracking the observer in the range of 60cm to 490cm, and measure the error, measurable range, and fps according to the resolution of the camera image. As a result, the observer can be measured within the absolute error range of 3.1642cm on average, and it was able to measure about 278cm at 320x240, about 488cm at 640x480, and about 493cm at 1280x960 depending on the resolution of the image.

키워드 : 카메라처리, 형태모델, 랜드마크, 패럴랙스 베리어, CLM

Keywords : Camera, Shape Model, Landmark, Parallax Barrier, CLM

Received 9 September 2019, Revised 17 September 2019, Accepted 27 September 2019

* Corresponding Author Seok-Hoon Kang(E-mail:hana@inu.ac.kr, Tel:+82-32-835-8760)

Professor, Department of Embedded Systems Engineering, Incheon National University, Incheon, 22012 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2019.23.12.1492>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

무안경 3차원 디스플레이는 기본적으로 좌, 우안에 각각 다른 영상을 투사시켜 사용자(관측자)가 3D 효과를 느낄 수 있도록 제어한다. 무안경 3차원 디스플레이는 지속적으로 발전하는 분야이며, 상업적으로 유망한 분야이다[1]. 그러나 해상도가 줄어들거나 시점에 제약을 받는 등의 문제점이 있다[1,2]. 디스플레이는 좌/우 영상을 교차로 다른 방향으로 출력하는 것이 원리이다 [2-4]. 이 좌/우 영상이 사용자의 좌/우안에 적절히 투영되어야 한다. 즉, 적절히 투영될 수 있는 위치를 말하는 무안경 3차원 디스플레이는 시청영역이 존재한다. 단가와 호환성 등을 고려하면 양안시차 디스플레이가 최적의 방향이 될 수 있다. 패럴랙스 베리어 관련 기술과 원통렌즈격자 관련 기술을 포함하고 있다. 그러나 이 방법으로는 시청영역이 제한 받을 수 있으므로, 이 시청영역을 제어하기 위한 기술이 필요하다. 또한 사용자가 시청영역에 위치해 있지 않으면 크로스톡 현상이 발생한다 [4]. 사용자가 해당 시점 위치의 영상 정보가 아닌, 주변 시점 위치의 영상 정보를 섞어 보게 되며, 주변 시점 영상정보의 간섭으로, 영상 흐림 현상을 일으킨다. 따라서, 무안경 3차원 디스플레이에서 크로스톡 저감 기술 개발은 중요하다. 크로스톡 저감 기술은 크게 하드웨어 기반 저감 방법과 소프트웨어 기반 저감 방법이 있다[5]. 소프트웨어 방식에는 크로스톡 역보상 필터링[5]과 깊이 재배치[6] 방법 등이 있다.

그리고 적응적 패럴랙스 베리어가 연구되고 있다[7]. 패럴랙스 베리어 방식은 디스플레이의 앞에 장벽을 설치하여 디스플레이에서 투영되는 영상이 각도를 갖는 방식이고, 적응적 패럴랙스 베리어는 이 장벽의 배치를 변경하여 시청영역을 조정할 수 있다. 본 논문에서는 카메라를 통해 실제 사용환경에서 사용자의 위치를 추적하여 적응적 패럴랙스 베리어를 제어할 수 있는 정보를 제공하는 방법에 대해 제안한다.

II. 관련연구

무안경 시스템의 크로스톡을 해결하는 방법과 이와 관계가 있는 시청영역에 대한 연구는 다양하게 진행되었다[4,5]. 본 논문에서는 시청영역을 제어할 수 있는 적

응적 패럴랙스 베리어에 대해 보완할 수 있는 방법에 대해 제안한다. 사용자의 위치를 추정하고, 그에 따른 시청영역을 위치에 따라 조정하는 방식이다.

단일 카메라를 통해 실제 사용환경에서 사람의 위치를 추정하는 방법은 카메라로 입력받은 이미지에서 근거를 얻어내는 방식의 연구들이 진행되었다. [8]에서는 사람의 얼굴 크기를 이용해 6m까지의 거리를 추정하는 방법이 제안되었다. 여기에서는 마이크로 광학소자를 기반으로 무안경 입체 디스플레이를 제시하였다. 유사한 연구로 양안거리를 기준으로 사람과의 거리를 추정하는 방식이 연구되었다. 이 연구에서는 양안거리에 따른 거리를 수집하여 카메라를 통해 인식한 양안거리에 따라 기본설정을 선택하는 방식을 제안하였다. 양안거리는 [9]에서도 활용되었다. 이 연구에서는 스마트폰의 카메라를 이용하여 스크린과 얼굴의 거리를 구하는 방식을 제안하였다. 눈 검출을 통해 양안거리를 얻고, 스크린과의 거리의 관계를 수식화 하는 방식을 제안했다.

이외에도 단일카메라를 이용해 거리를 추정하는 방식이 있다[10]. 기존 거리 측정 방식은 여러 장의 이미지 혹은 특정 속성을 필요로 한 것이며, 이 연구는 스마트폰의 방향과 시청 각도를 고려하여 교정하는 방법을 통해 화소들을 역투사 한다. 그리고 확대비율에 의해 화소의 거리를 실제거리로 변환시킨다.

또한 다시점 영상처리를 이용하여 무안경 3차원 디스플레이의 크로스톡 저감을 위한 연구도 진행되었다 [5]. 이 연구에서는, 깊이 영상 특성에 따라 깊이 정보를 적응적으로 변경하고, 크로스톡 역보상 필터의 가중치를 효과적으로 조절하여 3차원 영상의 선명도를 회복하였다. 3차원 영상의 화질 열화를 최소화하면서 크로스톡을 줄였으며, 블러 매트릭 비율을 높일 수 있었다. 그리고, 완전 시차 재현을 위한 시점이미지 다중화에 있어서 육각형 마이크로렌즈 어레이에 적합한 서브픽셀 다중화 알고리즘 개발을 위한 연구도 있다[11-17]. 렌티큘러 렌즈 기반의 시점이미지 다중화 알고리즘을 2차원으로 확장하고, 육각형 마이크로 렌즈 어레이의 렌즈 셀 배열과 형상에 적합하도록 변형하는 과정이다. 1차원 렌즈에서의 시점번호 계산 알고리즘을 2차원 렌즈로 확장하여, 육각형 마이크로 렌즈 어레이에 적합한 서브픽셀 다중화 알고리즘을 개발하였고, 16 × 19 시점의 수평 및 수직 시점이미지로 서브픽셀 다중화를 수행하여 일정 시청거리에서 상하 및 좌우시차가 모두 재현되도록

하였다. 이밖에도 “eye space” 개념에 기반한 무안경 3차원 입체디스플레이에 관한 연구도 최근에 진행되고 있다[1]. “eye space”는 패럴랙스 베리어와 슬릿의 폭을 조정하여 가능한 다수의 뷰를 가지는 것을 의미하는 것이다.

III. 본 론

무안경 디스플레이는 좌측 눈과 우측 눈에 각각 다른 이미지가 투영되도록 동작해야한다. 이 논문에서는 그림 1과 같이, 사용자의 각 눈이 디스플레이로부터 실제 어디에 위치해 있는지 계산한다. 사용자의 자세와 관계없이 추적할 수 있도록 이미지에서 형태모델을 기반으로 추적하고, 3차원 형태모델로 변환한다. 마지막으로 이 형태모델의 눈들의 위치를 실제 단위로 변환한다. 절대적인 위치들을 이용해 적응적 패럴랙스 베리어가 크로스톡을 발생시키지 않고 사용자에게 적합한 영상을 보일 수 있도록 조정한다.

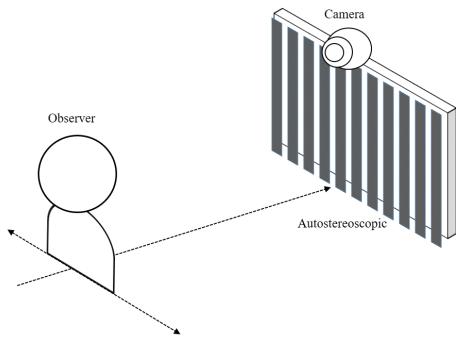


Fig. 1 Autostereoscopic system with tracking Observer

3.1. 형태모델에서 사용자의 얼굴 추적

이 논문에서는 눈과 눈 사이의 거리를 이용해 사용자의 실제 거리를 얻는다. 사용자는 디스플레이를 항상 정면으로 응시하는 것이 아니라, 다양한 각도에서 응시할 수 있다. 카메라 기준으로 사용자의 자세를 추정하는 방법이 필요하다.

이 논문에서는 얼굴의 자세를 추정할 수 있고, 눈의 특징점을 찾는 방법을 사용하였다[13]. 일반적으로 사용되는 얼굴의 특징들로 구성된 형태모델 기반의 추적

기법 중 CLM(Constrained Local model)은 특징점 주변의 화소들을 패치로 구성하고, 추적하여 형태모델을 정렬한다.

형태모델을 얻기 위해 학습데이터에 대해 PDM(Point Distribution Model)을 사용하고, 확률적 모델을 얻어낸다. 학습세트는 n개의 레이블을 붙인 랜드마크 $x=(x_1, x_2, \dots, x_n, y_n)$ 와 상응하는 이미지들로 구성이 되어있다. 랜드마크로 구성된, 학습세트의 형상들은 변형, 크기, 회전정보 등이 다르기 때문에, GPA(Generalized Procrustes Analysis)를 이용해 정렬한다. 정렬 후 평균 형태 \bar{x} 를 구한다. 그리고, PCA(Principal Component Analysis)를 계산하여 고유벡터와 고유값을 $2n \times 2n$ 공분산 행렬 S 로부터 얻는다. 고유벡터는 주모드이고, 고유값은 상응하는 분산을 표현한다. 이 과정을 통해 아래와 같이 새로운 형태 x 를 정의할 수 있다.

$$x = \bar{x} + Pb \tag{1}$$

이제 사용자의 얼굴에 맞춘 새로운 도형을 생성한다. CLM은 각 랜드마크의 주변 11×11 화소로 패치를 구성한다. 이 패치의 응답맵을 계산하고, 정렬된 형태에 대해 응답이 최대가 되도록 생성한다. [13]에서 제안된 평균이동을 사용해 최적화 계산 방식이 좋은 결과를 얻었다. 응답을 계산하고, 형태모델을 선형화한다. 선형화된 형태모델에 대해 평균이동벡터를 계산하고, PDM 파라미터 Δp 를 계산해 PDM 파라미터 p 를 업데이트한다. 이 과정은 p 가 수렴될 때까지 반복된다. PDM 파라미터 p 가 수렴되어 얼굴에 맞춰진 형태모델을 얻을 수 있다.

여기서 얻은 형태모델은 변형된 2차원 형태모델이고, 결과로부터 눈 사이의 거리를 추정하기 위해 머리의 자세를 추정하는 방법은 다음 절에서 설명한다.

3.2. 자세 추정

앞에서 사용자에게 맞춘 형태모델을 얻는 방법을 구하였다. 이 절에서는 머리 자세를 추정하는 방법에 대해 설명한다. 이 논문에서는 그림 2와 같은 POSIT(Pose from Orthography and Scaling with Iteration)[6]을 기반한다.

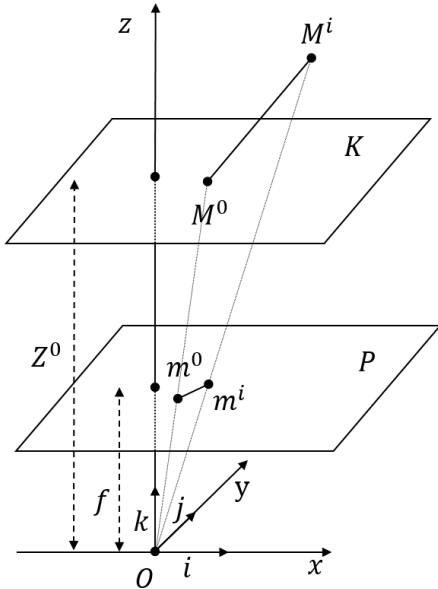


Fig. 2 Perspective projection and object point

앞의 과정에서 이미지에 대한 형태모델 \mathbf{x} 를 얻었다. 이 랜드마크의 좌표 (x_i, y_i) 를 m_i 로 나타낸다. 좌표축이 u, v, w 인 레퍼런스의 좌표계에서 특징점은 $M_0 + M_1 + \dots + M_i, \dots, M_m$ 로 표현하며, 좌표 (U_i, V_i, W_i) 를 갖고 있다. M_0 은 물체에 대한 참조 지점이다. 참조지점은 3차원 얼굴 형태모델로, 이미 알고 있는 좌표이다. M_i 의 카메라 좌표계에서의 좌표는 (X_i, Y_i, Z_i) 이다.

POSIT은 물체의 회전 행렬 \mathbf{R} 과 변형 벡터 \mathbf{T} 을 계산해 자세를 계산한다. 회전 행렬은 모델 프레임이 투영되는 카메라 프레임의 방향으로, 카메라 좌표계의 방향으로 구성된 행렬이다.

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} i_u & i_v & i_w \\ j_u & j_v & j_w \\ k_u & k_v & k_w \end{bmatrix} \quad (2)$$

회전 행렬은 벡터 $M_0 M_i$ 를 카메라 시스템에 정의된 좌표로 변환할 수 있다. 예를 들어, 행렬의 첫번째 열인 \mathbf{i} 와 벡터 $M_0 M_i$ 의 내적 $M_0 M_i \cdot \mathbf{i}$ 가 카메라 시스템에서 투영 좌표 X_i 를 제공한다. 마지막으로 단위 벡터 \mathbf{k} 는 외적 $\mathbf{i} \times \mathbf{j}$ 로 계산할 수 있다.

변형 벡터 $\mathbf{T} = (T_x, T_y, T_z)$ 는 투영의 중심 O 와 참조

지점 M_0 의 vector $\mathbf{O}M_0$ 이다. 이를 이미지 평면에서 다시 정의하면,

$$\mathbf{T} = \frac{Z_0}{f} \mathbf{O}m_0 \quad (3)$$

따라서, Z_0 을 얻음으로 변형 벡터를 얻을 수 있다. 즉, 자세 행렬 계산을 위해 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, T_0$ 가 필요하다.

POS(Pose from Orthography and Scaling)를 통해 선형시스템에 의한 자세를 찾을 수 있다. 이미지 m_i 의 좌표 (x_i, y_i) 와 M_0, M_i 의 관계는 아래와 같이 표현할 수 있다. $\mathbf{I} = (f/Z_0)\mathbf{i}$, $\mathbf{J} = (f/Z_0)\mathbf{j}$ 로 가정하면, 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} M_0 M_i \cdot \mathbf{I} &= x_i(1 + \epsilon_i) - x_0 \\ M_0 M_i \cdot \mathbf{J} &= y_i(1 + \epsilon_i) - y_0 \end{aligned} \quad (4)$$

\mathbf{I}, \mathbf{J} 가 계산되면, \mathbf{i}, \mathbf{j} 를 평준화하여 얻을 수 있으며, T_z 는 \mathbf{I} 와 \mathbf{J} 에 의해 얻어진다. 여기서 ϵ_i 값이 계산된다. 반복적 계산을 통해 ϵ_i 이 수렴하면, $\mathbf{i}, \mathbf{j}, T_0$ 을 얻을 수 있다. 결과적으로 \mathbf{i}, \mathbf{j} , 그리고 $\mathbf{k} = \mathbf{i} \times \mathbf{j}$ 로 회전행렬을 계산할 수 있으며, 변형 벡터 $\mathbf{O}M_0$ 에 Z_0 을 대입해 얻을 수 있다. 여기서 얻은 회전행렬은 각 눈에 해당하는 점들의 사이 거리를 3D 공간에서 얻을 수 있다. 이전 과정에서 계산된 회전행렬 \mathbf{R} 과 변형 벡터 \mathbf{T} 을 적용시켜 이미지에서 찾은 형태모델의 대상을 계산한다.

자세행렬 \mathbf{P} 가 다음과 같이 정의될 때,

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} i_u & i_v & i_w & T_x \\ j_u & j_v & j_w & T_y \\ k_u & k_v & k_w & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

이미지 평면에서 현재 형태모델 \mathbf{x} 에 따른 카메라 좌표계의 3차원 형태모델 $\mathbf{X} = \mathbf{P}M_i$ 를 얻을 수 있다. \mathbf{X} 의 좌표 (X_i, Y_i, Z_i) 의 중에서 눈에 해당하는 위치가 시정 영역에 포함될 수 있도록 계산한다.

3.3. 패럴랙스 베리어의 재조정

사용자의 위치까지의 거리와 수평위치에 따라 시정 영역을 제어하여야 한다. 그림 3에서의 관계를 통해 시정거리 z 는 아래 수식과 같다.

$$z = g\left(\frac{e+i}{i}\right) \quad (6)$$

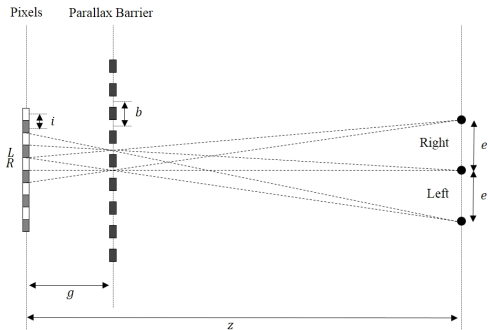


Fig. 3 The design of Parallax Barrier

예를 들어, 평균적 양안 거리가 65mm이고, 디스플레이의 화소간격 i 가 0.1mm, 그리고 디스플레이와 패럴랙스 베리어의 간격 g 가 1.15mm라고 가정하면, 위 관계에 의해 적합한 시정거리는 750mm이다.

현재 사용자의 거리를 계산하기 위해 양안거리와 깊이의 관계에 대한 상관관계를 얻는다[8]. 또한, 깊이에 따른 카메라의 폭을 얻는다. 이 과정을 통해 양안거리에 따라 사용자의 깊이값을 실제로 알 수 있다. 또한 수평 변형값을 얻기 위해 카메라의 시정각도를 선형값으로 얻을 수 있다.

위 관계를 통해 사용자의 거리로 패럴랙스 베리어의 화소간격을 설정할 수 있다. 이전 과정에서 계산된 카메라 좌표계에서 3D 형태모델의 좌측 눈의 좌측 끝 좌표 M_{ll} 과 우측 끝 M_{lr} , 우측 눈의 좌측 끝 좌표 M_{rl} 과 우측 끝 M_{rr} 로 양쪽 눈의 중심의 좌표를 $E_l = (M_{ll} + M_{lr})/2$, $E_r = (M_{rl} + M_{rr})/2$ 로 계산하여, (x_l, y_l, z_l) , (x_r, y_r, z_r) 로 갖고있다. 화소거리 $\|E_l E_r\|$ 를 유클리드 거리로 얻을 수 있다.

$$\|E_l E_r\| = \sqrt{(x_l - x_r)^2 + (y_l - y_r)^2 + (z_l - z_r)^2} \quad (7)$$

이 거리에 적합한 패럴랙스 베리어 갭 b 를 그림의 관계에 따라 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$b = 2i \left(\frac{\|E_l E_r\| - g}{\|E_l E_r\|} \right) \quad (8)$$

또한, 사용자의 수평위치에 따라 패럴랙스 베리어를 이동시킨다. 이동시켜야 하는 양 s 는 사용자 눈의 중심 $x_c = (x_r + x_l)/2$ 를 이용하여 아래와 같은 관계로 표현할 수 있다.

$$s = x_c \frac{g}{g + \|E_l E_r\|} \quad (9)$$

이 계산을 통해 사용자의 위치에 따라 시정영역을 제어할 수 있는 패럴랙스 베리어의 조정 값들을 얻는다.

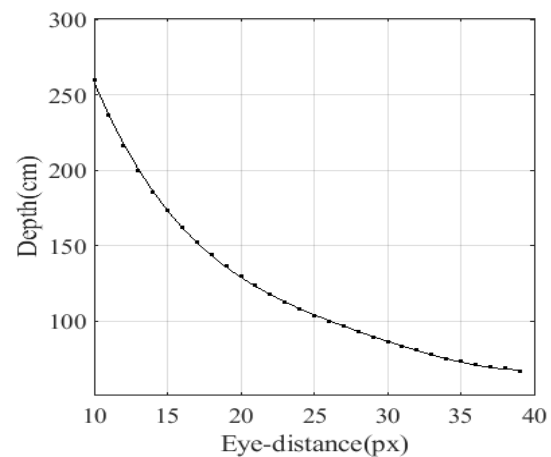
IV. 실험결과

실험에서는 본 논문에서 제안하는 사용자 추적의 정확도를 검증한다. 실험에서의 거리 범위는 60cm부터 300cm까지이며, 사용자의 머리 자세는 자유롭다. 먼저 사용되는 카메라에 대한 초기 조정이 필요하다. 조정은 카메라의 이미지의 화소 단위에 대해 실제거리로 변환하는 정보를 얻어야 한다. 카메라의 거리에 따라 카메라가 허용하는 영역을 실제로 알아내야한다. 또한, 눈 사이의 거리에 따라 카메라로부터의 깊이를 계산하는 모델이 필요하다.

그림 4는 실험 환경에서의 카메라 조정을 나타낸다. 카메라로부터의 깊이에 따른 영역은 선형모델로 얻어질 수 있다.

조정 과정으로 얻은 모델을 통해 사용자의 $\|E_l E_r\|$ 로 현재 깊이를 알 수 있다. 그리고, 깊이에 따라 카메라의 허용 수평영역에 대입해 비례적으로 수평위치를 추정할 수 있다.

카메라를 기반으로 하는 사용자의 추적은 환경 구성에 따른 성능의 변화도 다양하게 나타나게 된다. 그래서 표 1과 같이 해상도에 따른 양안거리와 가용 거리를 측정했다.



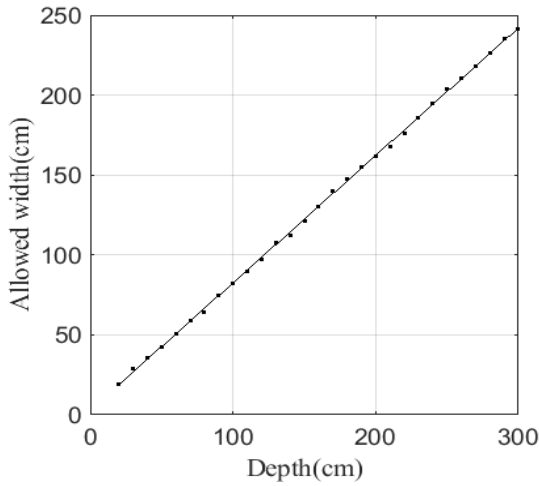


Fig. 4 Allowed Image area(horizontal) with depth(cm) and depth according to the eye-distance of observer

Table. 1 Eye-distance and Max. distance according to Resolutions

Resolution	Eye distance(1m)	Eye distance(2m)	Eye Distance / Maximum Distance
320x240	26.0845px	14.7958px	12.7264px / 278cm
640x480	57.0332px	30.8307px	14.1224px / 468cm
1280x960	82.9992px	41.2978px	18.4313px / 493cm

표 1은 320x240, 640x480, 1280x960의 이미지 해상도에서 눈 사이의 거리를 측정했을 때의 값들을 나타낸다. 추적 중인 이미지에 픽셀이 많아지면 더 조밀한 간격으로, 더 먼 거리의 있는 사용자의 위치까지 추정해 낼 수 있다. 표에서 최대 거리는 실험에 의한 오차 범위가 5cm이하의 경우, 얼굴 자세에도 문제없이 추적을 할 수 있는 최대 범위를 측정한 값이다.

다만, 높은 해상도의 영상을 처리하는 경우의 fps는 낮은 수치를 보인다. 이 실험의 환경에서는 각각 평균적으로 약 30fps, 27fps, 11fps로 사용자를 추적했다.

위 결과를 기반으로 사용자의 위치에 따라 적절한 해상도를 선택하며 추적을 시도했다.

영상에 대한 연산 속도는 추적 성능에 영향을 미친다. 긴밀하게 연속된 영상일수록 위치의 자연스러운 흐름

으로 추적이 이뤄지기 때문이다. 반면에 fps가 떨어지면, 각 위치가 급격히 변하기 때문에, 추적성능의 저하로 나타난다. 실험을 통해 230cm까지는 (a) 320x240, 240cm~340cm는 (b) 640x480이며, 340cm 이상의 거리에서는 1280x960 해상도의 영상으로 추적하도록 설계했다. 이는 그림 5에 나타내었다.

실제 사용자의 위치의 절대 오류값 ψ 는 그림 6과 같이 측정된다. 그림 6은 실험 범위 내에서 평균 절대오차를 보인 것이다. 패럴랙스 베리어는 수평 배치로 구성되어 있기 때문에, 사용자의 깊이와 수평위치를 측정한다. 최대 거리를 490cm까지를 대상으로 실험한 결과, 사용자를 추적하고 있는 동안에는 평균 3.1642cm의 오차를 얻었다. 거리가 멀수록 fps의 저하로 인해 움직임에 대한 추적을 놓치는 빈도가 높아지며, 머리의 자세가 정면에서 크게 회전되는 것에 대해 오차율이 높아진다.

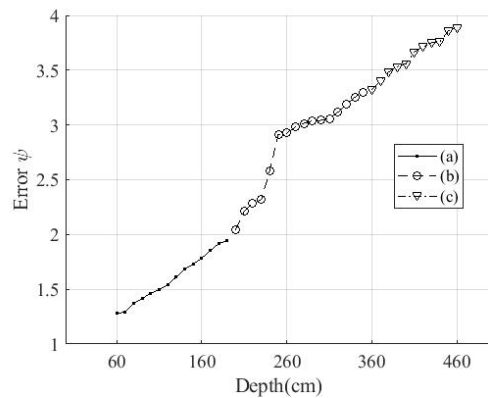


Fig. 5 Camera Resolution & Average Error (a) 320x240 (b) 640x480 (c) 1280x960

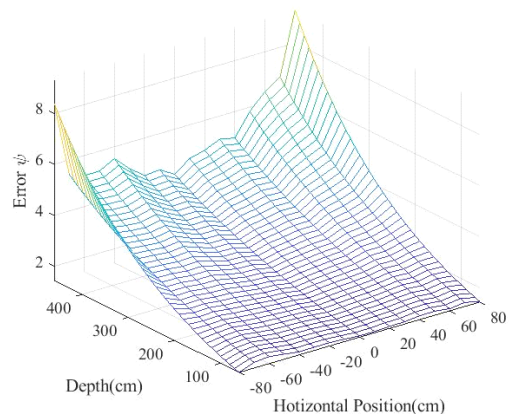


Fig. 6 Absolute error with the position of observer

V. 결론

무안경 3차원 디스플레이 시스템은 기대가 높은 분야이다. 양안에 각 이미지를 투사시키는 기법이 핵심인 이 분야에서, 사용자의 눈의 위치를 실제의 정보로 변환하는 방식은 매우 중요하다. 이 논문에서는 적응적 패럴랙스 베리어의 시청영역을 제어하기 위해 사용자의 위치를 추정하는 방법에 대해 제안했다. 이 연구에서는 깊이 카메라를 사용하지 않으며, 양안거리로 사용자의 깊이를 획득했다. 형태모델을 3차원으로 계산하여, 사용자의 자세에 강건하게 정보를 얻을 수 있었으며, 양안거리를 보다 정확하게 추적할 수 있었다. 기존의 연구는 가까운 거리나 얼굴에 착용한 상태에서 양안거리를 측정하고, 이를 활용하는 연구가 이루어지고 있으나, 본 논문에서는 실제 사용 환경에서의 거리를 고려하여 방법을 제안하고 실험을 진행하였다.

영상의 해상도에 따라 320x240에서 약 278cm, 640x480에서 약 488cm까지, 그리고 1280x960에서 약 493cm까지를 측정할 수 있었다. 해상도가 높은 경우, 더욱 먼 거리까지 조밀하게 측정할 수 있었지만, 연산량이 높아지기 때문에 추적 속도와의 관계를 고려해야 한다. 추적 중에 거리에 따라 카메라의 해상도를 변경하며 최적의 성능으로 동작할 수 있다.

이 연구에서 더 나아가, 카메라 조정에서 실제 양안거리를 측정할 수 있는 기법을 적용시켜 더 나은 결과를 얻어낼 수 있을 것이라 기대한다. 또한, 변환된 특징점 계산으로 실제 좌표를 얻는 방식이 연구될 수 있다. 또한, 본 논문의 방식으로 사용자의 실제 위치를 추정하는 기법은 다양한 분야에서 활용될 수 있다. 예를 들어, 시선 추적과 카메라를 통해 3D 형태를 구성하는 기법 등과 관련이 있다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by Incheon National University (International Cooperative) Research Grant in 2015 (2015-1675)

REFERENCES

- [1] Y. Meng, Z. Yu, C. Zhang, Y. Wang, Y. Liu, H. Ye, and L. Chen, Numerical simulation and experimental verification of a dense multi-view full-resolution autostereoscopic 3D-display-based dynamic shutter parallax barrier, *Optical Society of America*, vol. 88, no. 5, 2019.
- [2] N. A. Dodgson, Autostereoscopic 3D displays. *Computer (by the IEEE Computer Society)*. vol. Aug 1(8) , pp. 31-36, 2005.
- [3] J. P. McIntire, Paul R. Havig, Eric E. Geiselman, Stereoscopic 3D displays and human performance: A comprehensive review, *Displays (Elsevier)* 35 pp. 18 - 26, 2014.
- [4] A. Woods, Understanding crosstalk in stereoscopic displays. Keynote Presentation, *Three-Dimensional Systems and Applications Conference*, Tokyo, Japan, May. 19, pp. 19-21, 2010.
- [5] S. Y. Kim, J. S. Lee, S. M. Choi, Crosstalk Reduction of Glasses-free 3D Displays using Multiview Image Processing, *JOURNAL OF BROADCAST ENGINEERING*, vol. 1, 66-75, 2016.
- [6] D. F. DeMenthon, L. S. Davis, Model-based object pose in 25 lines of code, *International journal of computer vision*, Jun. 1;15(1-2), pp. 123-141, 1995.
- [7] S. Y. Yi, H. B. Chae, S. H. Lee, Moving parallax barrier design for eye-tracking autostereoscopic displays, *3D-TV Conference IEEE, The True Vision-Capture, Transmission and Display of 3D Video*, May. 28, pp. 165-168, 2008.
- [8] R. Ka, M. S. Hossain, M. A. Bhuiyan, T. Zhang, M. Hasanuzzaman, H. Ueno. Person to camera distance measurement based on eye-distance, *Third International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering, IEEE*, Jun. 4, pp. 137-141, 2009.
- [9] I. Konig, P. Beau, K. David. A new context: Screen to face distance, *8th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT)*, Apr. 2, pp. 1-5, 2014.
- [10] S. Chen, X. Fang, J. Shen, L. Wang, and L. Shao, Single-image distance measurement by a smart mobile device. *IEEE transactions on cybernetics*. vol. 47, no. 12, pp. 4451-4462, 2017.
- [11] H. M. Eum, G. S. Lee, Sub-pixel Multiplexing for Autostereoscopic Full Parallax 3D, *Journal of Korea Multimedia Society*, vol. 12, pp. 2009-2015, 2017.
- [12] T. F. Cootes, C. J. Taylor, D. H. Cooper, J. Graham. Active shape models-their training and application. *Computer*

- vision and image understanding*, vol. 61, no. 1, pp. 38-59, 1995.
- [13] J. M. Saragih, S. Lucey, and J. F. Cohn, Deformable model fitting by regularized landmark mean-shift. *International Journal of Computer Vision*, vol. 91, no. 2, pp. 200-215, 2011.
- [14] M. T. Shoani, S. H. Amin, I. M. Sanhoury. Determining subject distance based on face size. *10th Asian Control Conference (ASCC), IEEE*, May. 31, pp. 1-6, 2015.
- [15] G. Chidichimo, A. Beneduci, V. Maltese, S. Cospito, A. Tursi, P. Tassini, and G. Pandolfi, 2D/3D switchable displays through PDLC reverse mode parallax barrier, *LIQUID CRYSTALS*, vol. 45, no. 13 - 15, pp. 2132 - 2138, 2018.
- [16] H. Kakeya, K. Okada, H. Takahashi, Time- Division Quadruplexing Parallax Barrier with Subpixel- Based Slit Control, *ITE Transactions on Media Technology and Applications*, vol. 6, no. 3, pp. 237-246, 2018.
- [17] B. Nadella, "Eys Detection and Tracking and Eye Gaze Estimation," *Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange*, HSST, ISSN : 2508-9080, vol. 1, no.2, Jun. (2015), pp. 25-41, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.21742/APJCRI.2015.06.04>.



강석훈(Seok-Hoon Kang)

1995년 8월 한양대학교 전자통신공학과 공학박사
2004년 3월 ~ 현재 인천대학교 임베디드시스템공학과 교수
※관심분야 : 인공지능, 딥러닝, 인식시스템, 디스플레이