

서브 홀로그램 디스플레이를 위한 하이브리드 카메라 기반 동공 추적

*추현곤 박민식 김현의 문경애 김진웅

한국전자통신연구원

*hyongonchoo@etri.re.kr

Pupil tracking using Hybrid camera setup for Subhologram display

*Choo, Hyon-Gon Park, Min-Sik Kim, Hyun Eui Moon, Kyung Ae Kim, Jin Woong

요약

서브 홀로그램 디스플레이는 디지털 홀로그래피 디스플레이의 제한된 시역을 관찰자의 동공 크기로 맞게 구현하여 사용자가 더 넓은 범위에서 더 큰 영상을 느끼도록 만드는 홀로그래픽 디스플레이이다. 본 논문에서는 서브홀로그램 방식에서 시야창 문제를 해결하기 위해, Depth 카메라와 스테레오 카메라의 하이브리드 구성을 이용하여 정밀한 사용자 동공 추적 기법에 대해서 제안한다. 저해상도의 깊이 카메라의 얼굴 인식 정보를 바탕으로 고해상도 스테레오 카메라에서의 얼굴 및 눈의 후보 영역을 찾고, 고해상도 스테레오 카메라에서 후보 영역 내의 동공 위치를 찾아서 빠르면서도 정밀한 동공 추적이 가능하도록 하였다.

1. 서론

디지털 홀로그래피 디스플레이 기술은 광변조기(SLM)를 기반으로 레이저와 같은 빛의 회절 현상을 이용하여 3차원 공간에 입체 영상을 출력하는 기술이다. 일반적으로 광변조기의 픽셀 크기의 제한으로 인해 홀로그램을 관찰할 수 있는 영역이 매우 제한적이며, 작은 크기의 영상만을 볼 수 있다는 단점을 가지고 있다.

이를 위한 접근 방법으로 서브 홀로그램 디스플레이 기술이 있다 [1, 2]. 서브 홀로그램 디스플레이는 디지털 홀로그래피 디스플레이의 제한된 시역을 관찰자의 동공 크기로 맞게 구현하여 사용자가 더 넓은 범위에서 더 큰 영상을 느끼도록 만드는 홀로그래픽 디스플레이이다. viewing window가 아주 제한되어 있지만 대화면의 홀로그래픽 디스플레이를 구현할 수 있으며, 홀로그램의 생성 계산 부담을 줄일 수 있다는 장점을 가지게 된다.

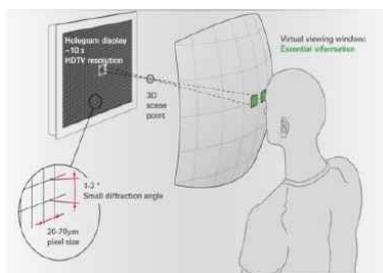


그림 1. 서브 홀로그램 디스플레이 구조[1]

이러한 서브 홀로그래피 디스플레이에서는 관찰자의 정확한 동공 위치에 디스플레이 시역을 맞추는 작업이 매우 중요하다. 동공 추적 기술의 경우, 사용자의 동공의 위치를 찾기 위해서 일반적으로 얼굴 인식하고, 인식된 얼굴로부터 눈의 위치를 찾아서 이용하는 방법을 사용한다

[3, 4]. 3차원의 동공 위치를 찾기 위해서는 스테레오 구성의 카메라의 좌우 위치관계를 이용하거나, 키넥트와 같은 Depth 카메라를 이용할 수 있다. Depth 카메라를 이용하는 경우, 3차원 Depth 정보와 함께 얻어진 2차원 영상 정보로부터 정확한 얼굴의 위치를 찾을 수 있으나, 일반적으로 해상도가 낮아서 눈의 위치가 부정확해 지고, 특히 동공의 경우 구분이 어려운 경우가 발생한다. 스테레오 카메라의 경우, 고 해상도의 카메라를 스테레오 구성을 통해 위의 Depth 카메라의 문제를 해결할 수 있으나, 계산량이 많아지고 각각의 좌우 영상에서 얼굴 및 눈을 찾아내는 오류가 발생하기 쉽다는 단점이 있다.

본 논문에서는 서브홀로그램 방식에서 시야창 문제를 해결하기 위해, Depth 카메라와 스테레오 카메라의 하이브리드 구성을 이용하여 정밀한 사용자 동공 추적 기법에 대해서 제안한다. 깊이 카메라의 얼굴 인식의 정확도와 고해상도 스테레오 카메라의 정밀도를 이용하여 서브 홀로그램을 위한 정밀한 동공추적이 가능하도록 하였다.

2. 하이브리드 카메라 기반 동공 추적

2.1 하이브리드 카메라 구성

본 논문에서는 Depth 카메라의 낮은 해상도 문제를 해결하고, 스테레오 카메라의 계산량을 줄이기 위해, Depth 카메라와 스테레오 카메라를 하이브리드 방식으로 구성한 홀로그래피 디스플레이를 위한 동공 추적 방법에 대해서 제안한다. 제안하는 방법은 Depth 카메라의 Depth 정보에 기반하여 얼굴과 눈의 위치를 찾고, 이에 대응하는 스테레오 카메라의 좌표를 추정하여 동공 위치를 검출한다. 홀로그램 디스플레이에서는 스테레오 카메라에서 추출된 동공 좌표를 통해 홀로그램 디스플레이의 시역을 계산하고 이 시역에 낮도록 광원의 방향을 조절하여 홀로그램 이미지를 출력한다.

2.2 키넥트를 이용한 눈 영역 검출

제안하는 논문에서의 Depth 카메라로는 키넥트 카메라를 이용하였다. 키넥트 카메라를 이용한 얼굴 및 눈영역 검출에 있어서는 키넥트 SDK API에 포함되어 있는 Face Tracking 라이브러리를 이용하였다 [5]. Face Tracking 라이브러리를 이용하면 87개의 얼굴 특징의 좌표를 전달하며, 이에 대한 3차원 좌표를 얻을 수 있다. 그러나, 그림 2의 (b)에서 보이는 바와 같이 키넥트를 이용한 눈의 검출의 경우, 홀로그래프의 3차원 좌표로 그대로 이용하기에 어려움이 있다.

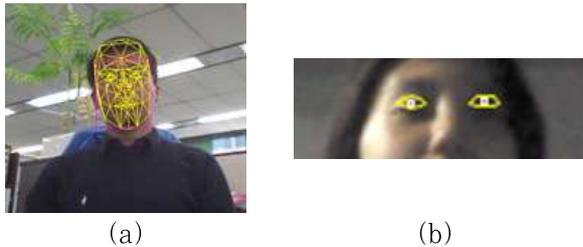


그림 2. 키넥트를 이용한 눈 영역 검출

2.3 스테레오 카메라를 이용한 동공 위치 검출

키넥트 카메라를 통해 얻어진 눈 후보 좌표에 대해서 카메라로부터 3차원 좌표를 얻어지면, 스테레오 카메라의 좌우 각각의 영상의 위치에 해당하는 좌표를 계산한다. 이를 위해서는 캘리브레이션 방식을 이용하여 키넥트 카메라와 스테레오 카메라 사이의 mapping matrix를 우선 계산해야 한다. 키넥트 카메라의 3차원 좌표와 스테레오 카메라의 2차원 좌표의 관계는 3차원 정보의 2차원 프로젝션으로 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

위에서 행렬 P를 얻어내는 과정은 다음과 같이 추정이 가능하다.

$$\min \sum_i \{ (x_i, y_i) - P(X_i, Y_i, Z_i) \}^2 \quad (2)$$

위의 식(2)를 풀기위한 대응 관계는 카메라 캘리브레이션 과정에서 사용되는 체커보드 영상에 대한 대응 관계를 이용할 수 있다.

키넥트 카메라의 좌표가 2D 영상의 눈 중심 좌표로 변환되면, 실제 동공의 위치를 추정한다. 키넥트 카메라를 통해 얻어지는 눈의 위치는 항상 에러를 포함할 수 있으므로 눈의 위치를 중심으로 하여 동공의 중심을 찾는다. 동공 위치를 찾는 방법은 크게 2단계로 접근한다. 먼저 눈 주위에서 가장 어두운 부분이 동공이라는 점을 가정하여 Local thresholding을 이용하여 동공의 후보영역을 찾는다. 후보영역이 하나 이상일 경우, 모양의 가로 세로의 비가 유사한 영역을 선택한다. 동공 영역이라고 추정되는 경우, 기하학적 중심을 계산하여 동공 위치로 판단한다.

스테레오 카메라의 좌우 카메라에서 좌안과 우안의 위치를 각각 계산하고, 캘리브레이션 과정에서 얻어진 카메라 파라미터를 이용하여 동공의 3차원 위치를 추정한다.

3. 구현 및 실험

본 논문의 구현을 위해 그림과 같이 키넥트 카메라와 스테레오 카메라를 홀로그래피 디스플레이 전면에 설치하였다. 스테레오 카메라의 해상도는 좌우 각각 1600 x 1200 이며, 조명은 홀로그래피 디스플레이 환경을 고려하여 적외선 조명을 이용하였다.



그림 3. 시스템 구성 및 동공 추적 결과

그림 3의 결과에서 우측 상단에 키넥트로 얻어지는 영상과 눈의 영역을 표시하였으며, 아래에서는 해당 눈의 영역을 스테레오 영상에 매핑한 결과를 나타내었으며, 좌측 상단에는 이 영역을 중심으로 동공의 위치를 새롭게 계산할 결과를 보여주었다. 그림의 결과에서 보인바와 같이 제안하는 방법이 더 정밀한 동공위치를 찾을 수 있음을 보여주었다.

4. 결론

본 논문에서는 깊이 카메라와 스테레오 카메라의 하이브리드 구성을 이용하여 서브홀로그래프를 위한 동공 추적 기법에 대해서 제안하였다. 구현결과로부터 키넥트 카메라로부터 얻어온 얼굴 후보 정보를 기반으로 하여 고해상도의 스테레오 카메라의 동공 추적의 정확도 및 처리 시간을 줄일 수 있음을 알 수 있었다.

향후 동공 추적에서 얻어진 3차원 좌표와 홀로그래피 디스플레이 3차원 좌표와의 보정 작업을 통해 동공 추적과 연동되는 서브홀로그래프 디스플레이를 개발할 예정이다.

* 본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업융합원천 기술개발사업의 일환으로 수행하였음.[MKE-2013-10039169, 디지털 홀로그래픽 3D 디스플레이 및 기록 시스템 원천 기술 개발]

참고문헌

[1] R. Häussler and H. Stolle., Real-Time Holography, <http://www.3dathome.org>.
 [2] R. Haussler, A. Schwerdtner, and N. Leister, "Large holographic displays as an alternative to stereoscopic displays," Proc. SPIE 6803, 68030M (2008).
 [3] A. Schwerdtner, N. Leister, R. Häussler, and S. Reichelt, "Eye-tracking solutions for real-time holographic 3-D display," Soc. Inf. Display Digest (SID'08), 345 - 347 (2008).
 [4] Ji Woo Lee, Chul Woo Cho, Kwang Yong Shin, Eui Chul Lee, and Kang Ryoung Park, "3D gaze tracking method using Purkinje images on eye optical model and pupil", Optics and Lasers in Engineering, Volume 50, Issue 5, Pages 736 - 751 (2012).
 [5] Kinect for Windows SDK, <http://msdn.microsoft.com>