

퓨필랩 모바일 동공 추적 장치를 위한 3차원 캘리브레이션 및 성능 평가 방법 (3-Dimensional Calibration and Performance Evaluation Method for Pupil-labs Mobile Pupil Tracking Device)

문지훈*, 신동원*, 호요성***
(Ji-Hun Mun, Dong-Won Shin, Yo-Sung Ho)

요약

동공 추적 기술은 스마트 장치와 연계하여 사용자에게 편의를 제공할 수 있는 효율적인 정보 제공 수단으로 사용될 수 있다. 본 논문에서는 Pupil-labs에서 제작한 모바일 동공 추적 장치를 사용하여 사용자의 응시점 거리를 측정하고, 정확도와 정밀도를 분석하는 실험 수행결과를 보인다. 이를 기반으로 동공 추적 장치가 측정하는 동공의 응시점 위치와 대상 타겟과의 오차를 비교한다. 모바일 동공 추적 장치도 한 종류의 카메라이기 때문에 사용하기 전에는 반드시 캘리브레이션 작업을 수행해야 한다. 일반적으로 사용하는 2차원 캘리브레이션 방법뿐만 아니라, 3차원 캘리브레이션 수행 방법에 대해 설명한다. 3차원 캘리브레이션은 2차원 캘리브레이션 결과보다 높은 정확도를 갖기 위해 임의의 평면을 설정하여 다양한 3차원 공간상에서 캘리브레이션을 수행하는 과정을 의미한다. 3차원 캘리브레이션의 효율성을 보이기 위해 실험결과에 대한 분석 결과를 설명한다. 또한 전반적인 장치의 사용 방법과 장치를 통해 얻을 수 있는 다양한 정보를 소개한다.

■ 중심어 : 3차원 캘리브레이션, 동공 추적, 퓨필랩 장치, 응시점 거리 측정

Abstract

Pupil tracking technologies can be used as an efficient information provider means that provides convenience to the user by connecting with a smart device. In this paper, we measure the distance of user gaze point using the pupil tracking device which produced by Pupil-labs, also shows the experimental result with analyzing accuracy and precision. Based on that the pupil gaze point location which tracked by pupil tracking device is compared with object target in terms of error. Since the mobile pupil tracking device is also one kind of camera, we have to perform the calibration before using the device. Not only generally used 2-dimensional calibration, but also 3-dimensional calibration method is explained. To get the improved accuracy of 2-dimensional calibration result, the 3-dimensional calibration set an imaginary plane and executes the calibration in various 3-dimensional spaces. To show the efficiency of 3-dimensional calibration, we analyze the experimental result. It also introduces various using methods and information that can be obtained through the device.

■ keywords : 3-Dimensional calibration, Pupil tracking, Pupil-labs device, Gaze point distance measurement

I. 서론

아이트래킹 혹은 동공 추적이라 불리는 양안 응시점 추적 기술은 눈동자의 움직임을 감지하여 시선의 위치를 추적하는 방법을 의미한다. 가상 회의 시스템의 경우 동공 추적 기술을 사용하면 깊이영상을 이용하여 눈맞춤을 수행하는 방법[1]보다 더 자연스러운 눈맞춤 결과를 얻을 수 있다. 일반적으로 동공 추적 기술은 크게 비디오 분석 방식, 콘택트렌즈 방식, 그리고 센서부착 과 같이 3가지로 나눌 수 있다[2].

비디오 분석 방식은 실시간 카메라 영상 분석을 통해 동공의

움직임을 검출하고, 각막에 반사된 위치를 기준으로 응시점의 방향을 계산한다. 콘택트렌즈 방식은 거울이 내장된 콘택트렌즈의 반사된 빛이나 코일이 내장된 콘택트렌즈의 자기장을 이용하여 동공의 움직임을 파악 한다. 마지막으로 센서 부착 방식은 눈 주위에 센서를 부착하여 동공의 움직임에 따른 전기장의 변화를 감지하여 동공의 움직임을 검출하는 방법을 의미한다.

본 논문에서는 비디오 분석 방식을 이용하는 pupil 장치와 기존에 사용하던 2차원 캘리브레이션 결과의 정확도를 높이기 위해 3차원 공간상에서 캘리브레이션을 하는 방법을 설명한다. 2차원 캘리브레이션은 단일 평면에서만 캘리브레이션을 수행하기 때문에 공간적인 상황을 고려하지 않은 결과를 보인다. 이러

* 학생회원, 광주과학기술원 전기전자컴퓨터공학부

** 정회원, 광주과학기술원 전기전자컴퓨터공학부

이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 '범부처 Giga KOREA 사업'의 지원을 받아 수행된 연구임 (GK17C0100, 기가급 대용량 양방향 실감 콘텐츠 기술 개발)

한 한계점을 보완하기 위해 3차원 캘리브레이션을 수행함으로써 캘리브레이션의 정확도를 높게 된다.

2장에서는 pupil-labs 장치에 대한 구성과 사용되는 동공 추적 알고리즘, 2차원 및 3차원 캘리브레이션 방법에 대해 설명하고 3장에서는 동공 추적 실험을 위해 구성된 실험 환경을 설명한다. 이어서 4장에서는 실험 결과를 보이고 이를 분석하며 5장에서 실험 결과를 통해 얻을 수 있는 결론을 설명한다.

II. 관련 연구

기존 HMD(head mount display)장치들과 마찬가지로 pupil-labs의 동공추적 장치도 그림 1과 같은 형태로 구성되어 있다. 장치에 부착된 월드카메라는 사용자가 바라보는 전방시야를 보여주며 양안카메라는 양안 동공의 움직임을 파악하는 역할을 한다. 헤드셋 장치를 사용하는 사람마다 눈의 위치가 다르기 때문에 월드카메라와 양안카메라의 위치도 사용자에 따라 변하게 된다. 그렇기 때문에 사용자가 바뀔 때 마다 캘리브레이션을 새로 수행해야 할 필요가 있다[3].



그림 1. Pupil-labs의 동공추적 장치

Pupil-labs 헤드셋 장치를 PC에 연결한 뒤 pupil-labs에서 제공하는 SDK(software development kit)를 사용할 경우 그림 2와 같이 월드카메라와 양안카메라에서 비춰지는 화면을 확인할 수 있다.



그림 2. 동공추적 장치의 카메라로부터 인식되는 영상의 종류

1. 동공 추적 원리의 이해

Pupil-labs 헤드셋 장치는 부착되어있는 양안카메라와 월드카메라로부터 받아들여지는 영상 데이터를 이용하여 양안의 응시점 위치를 파악하게 된다. 그림 3은 Pupil-labs 헤드셋 장치에서 수행하는 동공 추적 알고리즘의 순서도를 나타낸다.

그림 3의 1a와 1b는 각각 동공을 비추는 카메라와 사용자의 정면을 비추는 월드카메라로부터 받아들인 영상을 나타낸다. 그림 3의 2는 동공 카메라에서 동공 추적 알고리즘을 통해 동공의 위치를 찾아내는 과정을 보인 것이다. 그림 3의 3에서는 동공의 위치로부터 동공이 바라보는 초점에 대한 정보를 월드카메라로부터 받아들여지는 영상의 위치에 매핑하는 과정을 나타내며, 그림 3의 4는 이러한 일련의 과정을 실시간으로 저장하고 스트리밍 하는 과정을 나타낸다[4]. 월드카메라와 양안카메라로 동공의 위치를 찾아내고 응시점을 추적하는 과정은 실시간으로 스트리밍이 가능하며 또한 녹화를 할 수 있다.

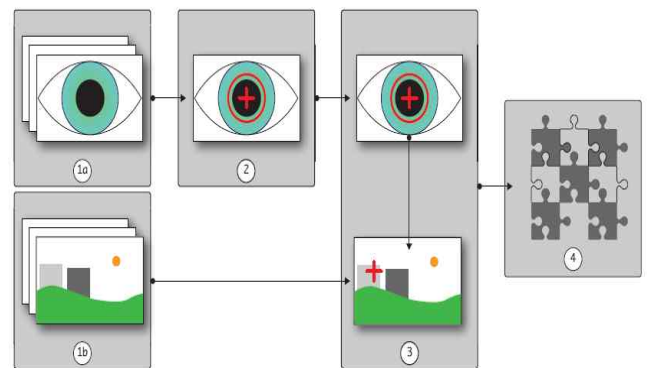


그림 3. Pupil-labs헤드셋 장치의 동공 추적 순서도

동공 추적 순서도로 미루어보아 Pupil-labs헤드셋 장치에서 수행해야 하는 가장 중요한 알고리즘은 양안카메라로부터 정확하게 동공의 위치를 찾아내는 것이다. 그림 4는 촬영된 안구 영상에서 동공의 위치를 찾는 알고리즘의 순서를 나타내고 있다.

그림 4의 1과 같이 양안카메라로부터 전달받은 영상으로부터 동공의 응시점을 찾기 위해 우선 에지 영역 검출을 통해 안구의 영역을 분리한다. 그리고 그림 4의 2와 같이 분리된 영역에서 색상 분포를 히스토그램으로 분석하여 그림 4의 3과 같이 검정색 영역이 많이 분포된 곳을 찾아낸다. 그리고 그림 4의 4처럼 검정색이 많이 분포된 영역에 대해 경계 영역을 다시 검출하고 보정을 통해 그림 4의 5와 같이 안구의 경계 부분을 정확히 찾아낸다. 마지막으로 원형의 중심을 찾는 함수를 사용하여 그림 4의 6과 같이 안구에서 동공의 중심 위치를 찾게 된다.

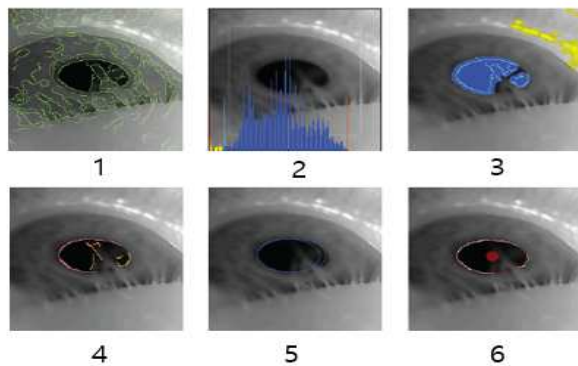


그림 4. 동공 추적 알고리즘

2. 2차원 캘리브레이션

Pupil-labs에서 제공하는 타겟을 이용한 2차원 캘리브레이션 방법으로 스크린 마커, 수동 마커, 단독 마커 그리고 자연 영상을 사용하는 방법을 설명하고 있다[5]. 일반적으로 가장 많이 사용되는 스크린 마커 기반 캘리브레이션은 그림 5와 같이 수행되어진다.

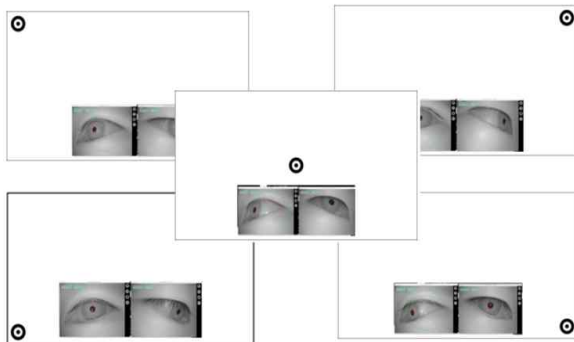


그림 5. 스크린 마커 캘리브레이션

이 방법은 모니터의 서로 다른 위치에 나타나는 5개의 타겟을 바라보며 양안카메라를 통해 받아들여진 영상에서 동공의 위치를 파악하여 캘리브레이션을 수행한다. 스크린 마커 캘리브레이션을 수행할 때 주의해야 할 점은 월드카메라로부터 촬영되는 전체 영상이 모니터 혹은 스크린을 최대한 가득 채울 수 있도록 하는 것이다. 월드카메라가 사용자가 바라보는 시점의 영상이기 때문에 캘리브레이션 후 동공 응시점의 정확도에 영향을 줄 수 있다.

수동 마커 기반 캘리브레이션 방법은 스크린 마커 방법과 동일하지만 타겟의 위치가 모니터가 아닌 그림 6과 같이 실제 공간상에서 나타나게 된다. 각 타겟 위치별로 응시점 위치가 파악되면 수동으로 타겟의 위치를 변경해가며 캘리브레이션을 수행한다.

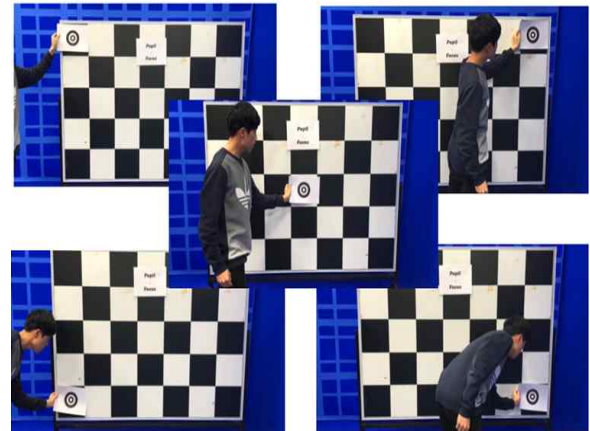


그림 6. 수동 마커 캘리브레이션

스크린 마커와 수동 마커 기반 캘리브레이션 과정은 캘리브레이션을 수행하기 위해 마커의 위치를 변경하지만 단독 마커 기반 캘리브레이션은 그림 7과 같이 마커를 고정 시킨 뒤 캘리브레이션을 수행하는 피험자가 위치를 바꿔가며 양안의 초점을 맞추는 방법이다. 단독 마커 캘리브레이션을 수행할 때 피험자는 다른 위치로 이동할 때 너무 빠른 속도로 움직이지 않아야 하며 수동마커 캘리브레이션을 진행할 때 마커의 위치가 변경될 때와 유사한 속도로 움직여야 한다. 피험자가 너무 빠른 속도로 움직이거나 느리게 이동할 경우 양안이 마커를 응시할 동안 정확하게 응시점이 마커의 위치에 정확하게 맺히지 않게 된다.

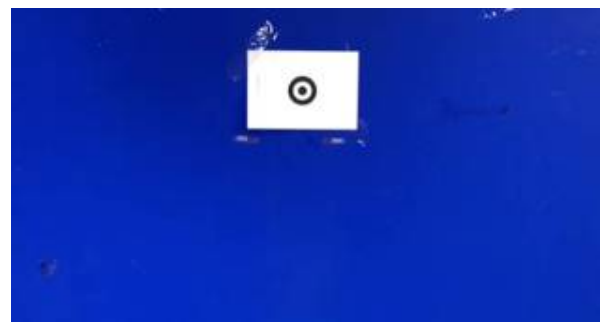


그림 7. 단독 마커 캘리브레이션

마지막으로 자연 영상 기반 캘리브레이션 방법은 앞서 수행한 캘리브레이션 방법들과 다르게 마커를 사용하지 않는다. 마커를 사용하지 않는 대신 그림 8과 같이 모니터상에 캘리브레이션 수행자가 임의로 타겟을 생성한 뒤 해당 타겟을 응시하여 캘리브레이션을 진행한다. 사용자가 임의로 생성할 수 있는 타겟의 수와 위치에는 제한이 없으며, 모니터상 어느 곳이든 타겟을 생성할 수 있다.



그림 8. 자연 영상 기반 캘리브레이션

위에서 설명한 캘리브레이션 방법들은 모니터 혹은 실제 공간의 평면, 즉 2차원 공간에서 수행되었다. Pupil-labs 헤드셋 장치를 이용한 사용자 동공 응시점 위치 추적은 2차원 공간상의 캘리브레이션 방법으로도 충분히 가능하다. 하지만 사용자와 동공의 응시점 사이의 실질적인 거리를 정확하게 측정하기 위해 다른 방법의 캘리브레이션 과정이 필요하다.

3. 3차원 캘리브레이션

Pupil-labs 장치에 부착되어 있는 양안카메라를 통해 동공의 응시점이 파악되면 월드카메라 정보에 응시점 위치를 매핑하여 사용자의 응시점을 나타낼 수 있다. 하지만 이는 평면 정보이기 때문에 응시점 위치만으로는 사용자와 실제 초점 거리와의 거리를 정확하게 파악할 수 없다. 이 문제를 해결하기 위해 3차원 캘리브레이션 방법을 제안하였다.

3차원 캘리브레이션은 2차원 캘리브레이션 방법과 유사하지만 타겟의 위치를 가상의 3차원 공간을 지정한 뒤 임의로 타겟을 위치시킨다는 차이점이 있다. 3차원 공간상의 캘리브레이션은 그림 9와 같이 진행된다. 일반적으로 2차원 캘리브레이션은 5곳에 지정된 위치에 타겟을 고정시킨 뒤 진행했지만, 3차원 캘리브레이션에서는 정확한 캘리브레이션 결과를 얻기 위해 3차원 공간상 임의의 평면 9곳에 타겟을 위치시켰다.

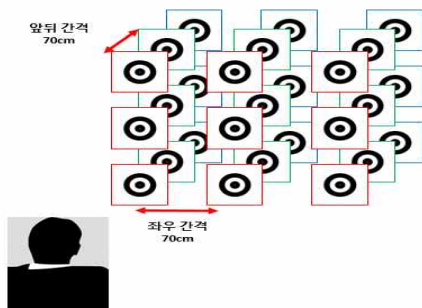


그림 9. 3차원 캘리브레이션의 타겟 위치

3차원 캘리브레이션을 수행과정에서 타겟이 위치하는 곳은 총 27곳이며, 실험 수행을 위해 타겟 간 앞뒤, 좌우 간격을 70cm떨어진 곳에 위치시켰다.

III. 2차원 및 3차원 캘리브레이션

양안의 응시점 추적 실험을 위해 통제된 실험 환경을 구성하고 기존의 모니터링 시스템보다 개선된 응시점 좌표 확인 방법을 적용하였다. 또한 응시점 추적 결과의 타당성을 수치적으로 입증하기 위한 비교 방법을 설명한다.

1. 실험 환경 설정

Pupil-labs 헤드셋 장치를 이용한 실험을 진행하기 위해 임의의 테스트베드를 제작했다. 장치에 부착되어있는 양안카메라가 동공을 추적할 때 동공에서 반사되는 빛에 의해 동공 추적이 정확하게 이루어지지 않는 문제[6]를 사전에 방지하기 위해 그림 10과 같이 일정한 조도 환경을 구성했다. 조도 환경에 따라 다른 실험 결과를 얻을 수 있지만 본 논문에서는 캘리브레이션의 정확성과 이에 따른 피험자와 타겟간의 실제 거리를 측정하는 것을 목표로 하기 때문에 조도 환경은 고정 변수로 두었다.

조도 환경을 고정하고 실험을 진행하기 때문에 양안카메라의 조리개 값도 동공 검출이 잘 되는 조건으로 고정을 함으로써 조도 환경이 양안 응시점 검출 결과에 영향을 주지 않도록 하였다.



그림 10. 균일 조도 환경 시스템

양안의 응시점 추적 위치 결과는 그림 11과 같이 녹화된 영상에서 녹색 점의 위치에 따라 피험자가 바라보고 있던 동공의 위치를 알 수 있다. 그림 11에서 검출된 원형의 형태가 매끄럽지 못한 것은 양안 추적 영상이 30fps(frame per second)로 녹화되는 과정에서 연속적으로 검출된 양안의 응시점 위치가 이전 프레임의 검출 결과와 겹쳐 보이기 때문이다.



그림 11. 양안 응시점 위치 검출 결과

Pupil-labs에서 제공하는 기본 SDK를 사용 할 경우 그림 2와 같이 웹드카메라로부터 받아들이는 정면 영상과 양안카메라로부터 비춰지는 좌안, 우안 영상만을 확인할 수 있다. 하지만 응시점 추적에 따른 피험자와 타겟의 실제 검출 위치를 실시간으로 확인하기 위해 제공되는 SDK를 수정하여 그림 12와 같이 디스플레이 상단에 나타나 있는 것과 같이 응시의 x, y 및 z(피험자와 타겟의 거리)값을 모니터링 할 수 있도록 변경하였다.



그림 12. 실시간 응시점 좌표가 확인 가능한 수정된 SDK

2. 성능 평가 방법

2차원 공간에서 pupil-labs장치에 대한 각 캘리브레이션 방법의 수행 결과를 분석하기 위해 양안 응시점 위치에 대해 정확도와 정밀도를 계산하여 비교했다. 동공의 응시점 추적결과를 식 (1)과 식 (2)와 같이 정확도(accuracy)와 정밀도(precision) [7] 값을 계산하여 수치적으로 확인 할 수 있다.

$$Accuracy = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n distance \quad (1)$$

$$Precision = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n residual^2} \quad (2)$$

그림 13은 정확도와 정밀도를 다양한 데이터 측정 결과에 따라 다르게 검출된 실험 결과 예시를 보이고 있다.

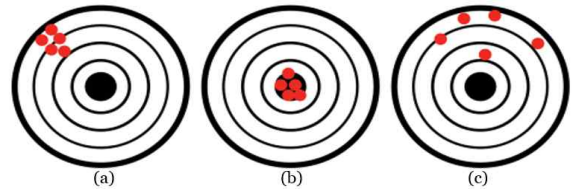


그림 13. 데이터 측정 결과에 따라 다른 정확도와 정밀도

그림 13의 a는 낮은 정확도를 갖지만 높은 정밀도를 갖는 실험 측정 결과를 나타낸다. 그림 13의 b는 정밀도와 정확도가 모두 높은 이상적인 형태의 실험 측정 결과를 의미한다. 마지막으로 그림 13의 c는 정확도와 정밀도가 모두 낮은 결과를 보이고 있다. 즉, 정확도는 원형 타겟의 중심에 가깝게 측정이 된 경우 높은 정확도를 갖는다고 할 수 있으며, 측정된 데이터들이 특정 영역에 몰려서 나타날 경우 높은 정밀도를 갖는다고 할 수 있다[8].

Pupil-labs장치를 이용한 검출 결과의 정확도는 타겟의 위치와 검출된 동공의 응시점 위치와 차이를 의미하고, 정밀도는 검출된 동공의 위치들이 얼마나 조밀하게 밀집되어 있는지 보여주는 것을 의미한다.

그림 14와 같이 모니터에 타겟들을 3cm로 간격을 주고 이웃한 타겟들과 미리 지정한 간격만큼 이격하여 배치한 뒤 양안 응시점 추적 결과 데이터에서 x축 응시점 거리 측정 결과를 비교한다. Pupil-labs 장치를 이용하여 검출된 양안 응시점의 x축 방향 측정 결과가 모니터상에 x축 방향으로 배치한 타겟 간격과 매우 근사하게 측정될수록 높은 정확도를 갖는 것을 알 수 있으며, 임의의 위치에서 응시점 거리가 지속적으로 측정 될 경우 높은 정밀도를 갖는 것으로 판단할 수 있다.

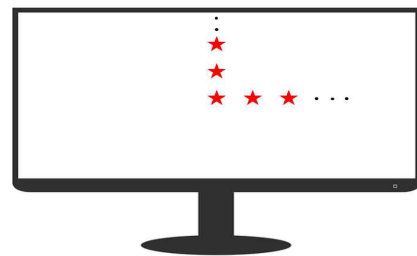


그림 14. 2차원 캘리브레이션 정확도 및 정밀도 검사를 위한 타겟

3차원 캘리브레이션을 수행한 뒤 이에 대한 양안의 응시점 거리 측정 정확도 분석을 수행하기 위해 임의로 실험 타겟을 구성했다. Pupil-labs장치를 사용하는 피험자가 응시해야 할 타겟을 그림 15와 같이 지정했다. 위 아래 단어 사이에 위치 별모양도형을 피험자가 약 15초 동안 응시하도록 유도하였고 이 도형의 위치가 목표 타겟의 정 중앙이 된다.

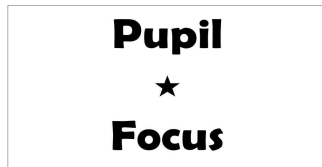


그림 15. 응시점 추적 확인 실험을 위한 타겟

Pupil-labs장치를 사용하는 피험자와 타겟과의 거리를 3m~30cm로 바꿔가며 실험을 진행했다. 3m에서 1m까지는 1m간격으로 거리를 좁혀가며 응시점 위치를 파악하고, 1m부터 30cm까지는 10cm간격으로 거리를 줄여가며 응시점을 위치를 파악한다. 3m부터 1m까지는 원거리 응시점 추적을 위함이고 1m부터 30cm까지는 근거리 응시점 추적을 위해 임의로 실험 과정을 설정했다.

IV. 실험 결과 및 분석

본 논문에서는 3차원 캘리브레이션 수행 후 캘리브레이션의 정확성을 검증하기 위해 원거리 및 근거리 타겟에 대한 응시점 추적 실험을 2차원 캘리브레이션 실험 환경과 다르게 설정하여 진행했다. 모니터상에 타겟을 사용하는 대신 3차원 공간에서 피험자와 일정 간격 이격된 거리에 타겟을 두고 응시점 거리를 측정하도록 실험 환경을 구성했다.

표 1은 2차원 캘리브레이션을 수행 한 후 그림 14와 같이 모니터에 일정한 간격으로 위치한 타겟에 대한 양안 응시점 추적 결과를 수치적으로 분석한 결과를 나타낸다. 실험 결과 3cm 간격으로 이격된 타겟의 위치가 양안 응시점 추적 결과 x좌표 평균과 유사하게 거리가 증가하는 경향성으로 미루어보아 캘리브레이션이 잘 수행되었음을 알 수 있다.

표 1. 2차원 캘리브레이션 실험 결과

x축 타겟 위치 (cm)	정확도	정밀도	응시점 추적 결과 x좌표 평균
0	0.394	0.413	0.393
3	0.858	0.178	3.856
6	1.162	0.358	7.138
9	1.393	0.244	10.393
12	1.494	0.298	13.494
15	1.640	0.376	16.638
18	0.983	0.501	21.977
21	0.551	0.591	23.643
27	1.604	0.612	25.445

그림 16은 2차원 캘리브레이션 실험 결과를 기반으로 x축 응시점 추적 실험 결과를 그래프로 나타낸 것이다.

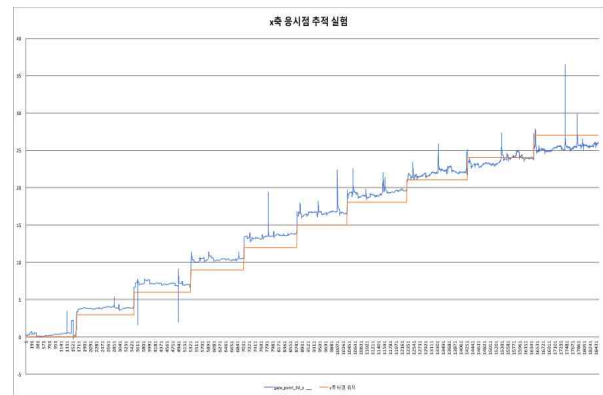


그림 16. 2차원 캘리브레이션 결과 x좌표 값의 측정 결과

표 2는 원거리 응시점 추적 결과에 대한 정확도와 정밀도 그리고 타겟과 피험자와의 실제 거리에 대한 측정 값을 나타낸다.

표 2. 원거리 응시점 추적 결과

z축 타겟 위치 (cm)	정확도	정밀도	응시점 추적 결과 z좌표 평균
100	45.562	77.107	100.771
200	39.672	76.562	218.038
300	70.562	118.686	306.942

측정 결과 타겟과 피험자의 거리(z 좌표 값)를 측정한 평균 값이 선형적으로 타겟의 위치에 따라 증가하는 것을 그림 17에서 확인할 수 있다.

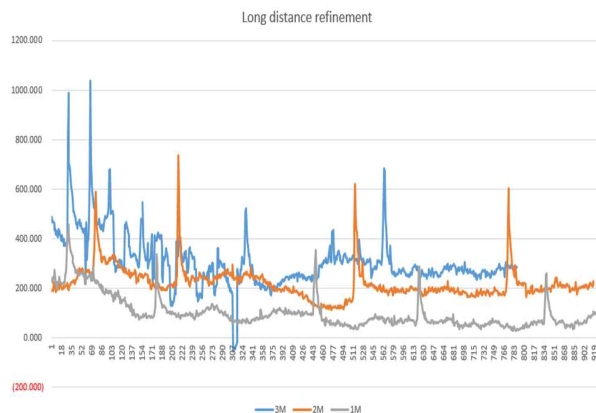


그림 17. 원거리 응시점 추적 결과 z좌표 값의 변화

원거리 응시점 추적 결과와 다르게 근거리 응시점 추적 결과는 거리에 따라 타겟과 피험자와의 거리가 선형적으로 증가하거나 감소하지 않는 결과를 보였다. 표 3은 근거리 타겟 이동에 따른 정확도와 정밀도 그리고 타겟과 피험자 사이의 실제 거리 측정 결과를 나타낸다.

근거리 응시점 추적에 대한 정확도와 정밀도가 원거리 응시점 추적 결과의 정확도와 정밀도에 비해 값이 작은 것으로 미루어보아 더 정밀하게 측정된 것을 알 수 있다.

표 3. 근거리 응시점 추적 결과

z축 타겟 위치 (cm)	정확도	정밀도	응시점 추적 결과 z좌표 평균
30	1.086	1.530	29.895
40	2.722	1.529	37.449
50	3.054	2.314	47.356
60	1.550	2.865	61.721
70	25.432	2.317	44.945
80	36.080	2.889	44.484
90	38.107	5.868	52.445
100	50.195	3.302	50.367

근거리 응시점 추적에 대한 타겟과의 거리 측정 결과 그래프를 그림 18에서 확인할 수 있다. 30cm~60cm까지는 선형적으로 증가하는 경향을 보이지만 70cm~100cm 위치에서는 정확하지 않은 거리 값이 측정되었다.

캘리브레이션을 통해 동일한 파라미터를 사용함에도 불구하고 원거리 100cm와 근거리 100cm의 경우 z좌표의 평균값에 차이가 발생한다. 이 문제는 pupil장치 사용시 촬영 설정 환경별로 따로 촬영 할 경우 장치의 불안정성으로 인해 오차가 발생하기 때문에 나타난다.

또한, 70cm~100cm 위치에서 응시점 추적 결과에 대한 z좌표 값의 평균이 선형적으로 증가하지 않는 이유는 눈동자의 깜빡임에 의해 연속적으로 촬영이 진행 중이어도 정확하게 동공의

초점 위치를 찾지 못하기 때문이다. 즉, 캘리브레이션 뿐만 아니라 실험 중 동공의 추적이 연속적으로 이루어질 수 있는 조건을 구성하는 것도 정확한 실험 결과를 얻도록 하는 중요한 요인이 될 수 있다.

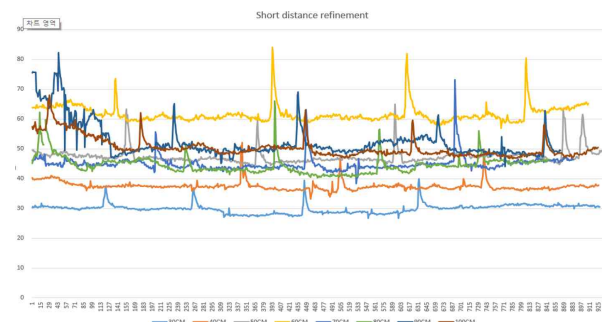


그림 18. 근거리 응시점 추적 결과 z좌표 값의 변화

V. 결 론

본 논문에서는 정확한 응시점 거리 측정을 위해 기존의 2차원 캘리브레이션 방법과 함께 3차원 캘리브레이션 방법을 제안한다. 임의의 가상 평면을 설정하여 2차원 평면의 캘리브레이션 과정을 3차원으로 확장시킴으로써 기존 2차원 캘리브레이션보다 정밀한 결과를 얻도록 하였다. 양안 응시점 위치 뿐만 아니라 타겟과 피험자의 응시점 거리를 측정하여 거리에 따라 측정 결과의 값이 변하는 경향성 분석을 진행했다. 또한, 측정된 응시점 데이터의 정확도와 정밀도를 분석함으로써 수치적으로 장치의 신뢰도를 확인할 수 있었다.

REFERENCES

- [1] 이상범, 호요성, "Kinect 깊이 카메라를 이용한 가상시점 영상생성 기술," *스마트미디어저널*, 제1권, 제3호, 29-35쪽, 2012년 9월
- [2] 강윤식, 호요성, "실감방송을 위한 3차원 영상 촬영 및 3차원 콘텐츠 제작 기술," *스마트미디어저널*, 제1권, 제1호, 14-20쪽, 2012년 3월
- [3] 문지훈, 신동원, 강민구, 호요성, "퓨필랩 모바일 동공 추적 장치의 이해와 양안 응시점 거리 추적," *스마트미디어 춘계학술대회*, 1-4쪽 2018년 4월
- [4] Pupil-lab user guide document(2018). <https://docs.pupil-labs.com/#user-docs> (accessed Feb., 12. 2018)
- [5] Pupil-lab user guide document about various calibration methods(2018). <https://docs.pupil-labs.com/#user-docs/Calibration> (accessed Feb., 12. 2018)

- [6] X. Liu, F. Xu, and K. Fujimura, "Real-time Eye Detection and Tracking for Driver Observation under Various Light Conditions," *Intelligent Vehicle Symposium*, pp. 1-6, 2003.
- [7] F.E. Grubbs, "Error of Measurement, Precision, Accuracy and the Statistical Comparison of Measuring Instruments," *Technometrics*, vol. 15, no. 1, 1973.
- [8] E. Harvey, M. Shortis, M. Stadler, and M. Cappel, "A Comparison of the Accuracy and Precision of Measurements from Single and Stereo-video Systems," *Marine Technology Society Journal*, vol. 36, no. 2, pp. 38-49, 2002.

 저 자 소 개



문 지 훈(학생회원)

2013년 전북대학교 전자공학부 졸업.
 2015년 광주과학기술원 정보통신공학부 석사 졸업
 2015~ 광주과학기술원 전기전자컴퓨터공학부 박사과정

<주관심분야 : 라이트필드 깊이 획득, 3차원 객체 복원, 학습기반 모델링>



신 동 원(학생회원)

2013년 금오공과대학교 컴퓨터공학부 학사 졸업
 2015년 광주과학기술원 정보통신공학부 석사 졸업
 2015년~ 광주과학기술원 전기전자컴퓨터공학부 박사과정

<주관심분야 : 3D 영상처리, 증강현실, 컴퓨터 비전, 머신러닝>



호 요 성(정회원)

1981년 서울대학교 전자공학과 학사
 1983년 서울대학교 전자공학과 석사
 1989년 University of California, Santa Barbara, Department of Electrical and Computer Engineering 박사

1983년 ~ 1995년 한국전자통신연구소 선임연구원
 1990년 ~ 1993년 미국 Phillips 연구소, Senior Research Member
 1995년 ~ 현재 광주과학기술원 전기전자컴퓨터공학부 교수

<주관심분야 : 디지털 신호처리, 영상신호 처리 및 압축, 멀티미디어 시스템, 디지털 TV와 고선명 TV, MPEG 표준, 3차원 TV, 실감방송>