

## 사용자 응시지점 정보기반 시선 추적 시스템 신뢰도 측정 기법

김병진\*, 강석주\*\*

### 요약

본 논문에서는 사용자 시선 추적에 사용되는 시선 추적기의 정확도 향상 및 이를 분석하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법에서는 시선 좌표와 색 정보를 추출하여 정확한 동공 정보를 기반으로 만들어진 사용자 profile 정보를 추출한 후 이를 기반으로 시선 추적기가 부착된 디스플레이에서 고르게 높은 정확도를 유지 하도록 한다. 이 때 사용자 profile 정보 추출 시 응시 시간에 따른 정확도의 변화 또한 추정하여 최적의 파라미터 값을 추출한다. 시선 추적의 정확도에 대한 실험 결과 짧은 시간으로 특정 지점을 응시할 경우 시선 추적의 정확도가 낮게 측정되지만, 응시 시간을 2초 이상의 유지 시 80% 이상의 높은 시선 추적 정확도가 측정됨을 알 수 있었다.

키워드 : 시선 추적, 이미지 교정, 응시 지점

## Reliability Measurement Technique of The Eye Tracking System Using Gaze Point Information

Byoung-jin Kim\*, Suk-ju Kang\*\*

### Abstract

In this paper, we propose a novel method to improve the accuracy of eye trackers and how to analyze them. The proposed method extracts a user profile information created by extracting gaze coordinates and color information based on the exact pupil information, and then, it maintains a high accuracy in the display. In case that extract the user profile information, the changes of the accuracy for the gaze time also is estimated and the optimum parameter value is extracted. In the experimental results for the accuracy of the gaze detection, the accuracy was low if a user took a short time in a specific point. On the other hand, when taking more than two seconds, the accuracy was measured more than 80 %.

Keywords : Eye tracking, Image calibration, Gaze point

## 1. 서론

※ Corresponding Author : Suk-Ju Kang

Received : August 29, 2016

Revised : October 15, 2016

Accepted : October 20, 2016

\*\* Sogang University, Department of Electronic Engineering

Tel: +82-2-705-8466

email: sjkang@sogang.ac.kr

▣ This research was supported by a grant (16CTAP-C114672-01) from infrastructure and transportation technology promotion research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

시선 추적(Eye-Tracking)기술은 사용자의 시선을 추적하는 기술로, HCI(Human Computer Interaction)분야, 마케팅 분야 등에서 활용 가치를 보이고 있다. 특히 최근에는 차량용 인터페이스로 사용하기 위해서 다양한 연구가 진행되고 있다. 이러한 시선 추적 기술은 차세대 인터페이스의 수단으로 기존 서비스의 혁신적인 고도화를 목적으로 개발이 진행 중이며, 특히 마케팅 분야에서 상품의 디자인, UI(User Interface)에 따른 고객 반응을 분석하는데 사용되고 있다<sup>[1][2][3]</sup>.

대표적인 사례로 공공장소에서 길 찾기 향상을 위한 시각적 단서로서 지하철역내 시설물에 대하여 시선 추적 장치를 활용한 실험을 진행하여 시지각 주목성을 평가하는 연구가 진행되었다<sup>[4][9][10]</sup>. 해당 논문에서는 시선추적 실험을 통한 공공 환경 시설물의 사용자의 시선 주목성에 대한 특성을 파악하고, 상대적으로 주목성이 높은 환경 시설물에 대한 디자인 개발을 모색해야 할 필요성에 대해 분석하였다.

이러한 시선 추적 기술은 크게 영상분석 방식, 콘택트 렌즈 방식 그리고 센서 부착 방식의 3가지 방식이 주로 사용된다<sup>[5]</sup>. 먼저 비디오 분석 방식은 실시간 카메라 이미지의 분석을 통해 동공의 움직임을 검출하는 형태로, 각막에 반사된 동공 위치를 기준으로 시선의 방향을 계산하는 형태다. 다음 콘택트 렌즈 방식은 거울 내장 콘택트 렌즈의 반사된 빛이나, 코일 내장 콘택트 렌즈의 자기장을 이용하는 형태로, 편리성은 떨어지는 반면 정확도가 높다는 장점이 있다. 마지막 센서 부착 방식은 눈 주위에 센서를 부착하여 눈의 움직임에 따른 전기장을 이용하는 형태로, 눈을 감고 있는 특수한 경우 (수면 상태 등)에도 눈의 움직임 검출이 가능하다는 특징이 있다. 위

세 가지 시선 추적 기술 중 가장 보편적으로 사용되는 방법으로 비디오 분석 방식이 있다. 콘택트 렌즈 방법과 센서 부착 방법의 경우 카메라 이외 다른 기구가 추가되어 측정을 진행해야 하는 반면, 비디오 분석 방식은 카메라 기기 하나로 시선 추적이 가능하기 때문에 현재 시선 추적을 위해 가장 보편적으로 사용된다.

(그림 1)에서는 차량의 제어용 디스플레이에 시선 추적 인터페이스 적용에 대한 내용이다. 하지만 기존 연구된 일반적인 시선 추적 시스템 적용시 실제 사용자의 모니터 응시 지점과 시선 추적을 통해 분석된 사용자의 눈동자 움직임에 대한 정보 일치가 정확하지 않다는 문제점이 있다<sup>[6]</sup>. 따라서 (그림 1)에서와 같은 정확한 지점에 대한 정보 추출이 어려우며, 추출한 데이터를 통해 신뢰할 수 있는 결과 분석이 어렵다.

일반적으로 측정된 사용자의 동공정보는 실제 사용 환경에서 사용자의 시선 처리 습관, 응시 지점에 대한 동공의 움직임, 시선 추적을 진행하는 상황에서의 주변 환경에 따라 다양하게 나타날 수 있다<sup>[7]</sup>. 즉, 특정 사용자의 동공 정보를 기반으로 시선 추적을 진행하더라도, 모니터 상에서 사용자가 응시 지점과 시선 추적에서 인지하는 응시 지점 간에 차이가 발생 할 수 있다. 따라서 사용자 특성이 정확히 반영된 시선 추적 환경 개발이 매우 중요하다<sup>[8]</sup>. 이러한 문제점에 대해 시선 추적기의 사용자 동공 추적기의 인식 정도에 대한 비교 분석이 필요하다.

본 논문에서 제안하는 방법은 사용자의 실제 모니터 상의 응시 지점과 시선 추적 기기의 응시 지점 간의 보정을 통해서 정확한 응시 지점을 계산한다. 이를 바탕으로 사용자 시선의 x, y, z 축에 대한 좌표와 색 정보를 추출해서 사용자의 시선에 대한 위치 정보를 측정한다. 이상의 실험을 통하여 사용자의 동공 위치를 기반으로 한 시선 추적기의 실제 시선 추적에 대한 신뢰성 여부를 알아보려고 한다.

(그림 1) 차량용 인터페이스 적용 시 실제 응시 지점과 시선 추적기 결과의 불일치



(Figure 1) Inconsistency of the actual gaze point and the eye-tracking when applied to a vehicle interface

## 2. 본론

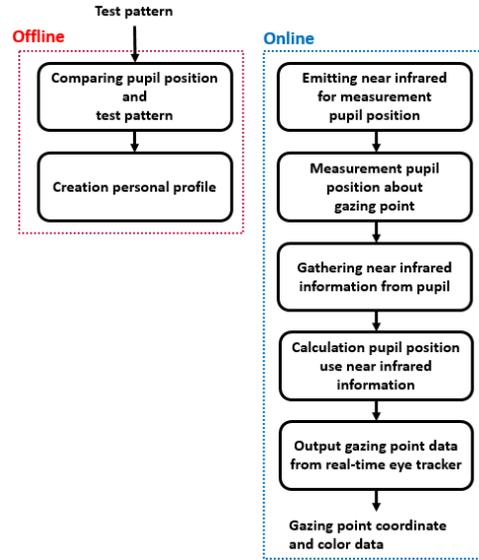
### 2.1 시선 추적 기반 제안한 시선 정보 신뢰성 추정 기법

제안한 방법은 (그림 2) 와 같다. 시선 추적을

진행하기 위해 용자의 동공 정보에 대한 고유 개인화 정보 생성이 선행 되어야 하는데, 이는 단순히 사용자의 동공 정보만을 측정하기 위함이 아닌, 사용자 개개인의 특성에 맞는 개인화 정보 data가 필요하기 때문이다. 사용자의 개인화 정보를 생성하는 과정은 (그림 3)과 같다.

먼저, 시선 추적 시스템에 내장된 근적외선이 방사되고, 시선 추적 시스템은 근적외선에 반사된 여러 정보 중, 동공의 정보를 파악하여 사용자 동공의 위치를 측정한다. 동공의 위치를 파악하는 단계가 완료되면, 이를 기반으로 실제 동공의 움직임 정보를 측정하는 단계가 진행된다. 동공의 정확한 위치 파악을 위해서 근적외선(near infrared ray)을 사용하며, 이는 다른 빛 파장에 비해 근 적외선은 외부 조명 환경에 영향을 민감한 정도가 상대적으로 적으며, 실질적 시선 추적에 필요한 동공의 중심점과 각막에 반사된 빛의 양을 측정하는데 용이하기 때문이다. 즉, 오검출로 인한 동공 정보의 왜곡을 최대한 적게 하기 위해 근적외선이 사용된다. 다음으로 시선 추적 시스템으로 정확한 동공의 움직임 정보를 측정하기 위한 다양한 형태의 시험용 견본과 동공의 위치 비교를 수행한다. 구체적인 시험용 견본은 검은색 바탕에 분홍색 점이 화면 중앙에 발생한다. 사용자가 모니터의 중앙에 나타난 분홍색 점을 응시하면, 본격적인 동공의 움직임을 측정하기 위해 분홍색 점은 화면의 주변

(그림 2) 제안하는 블록 다이어그램

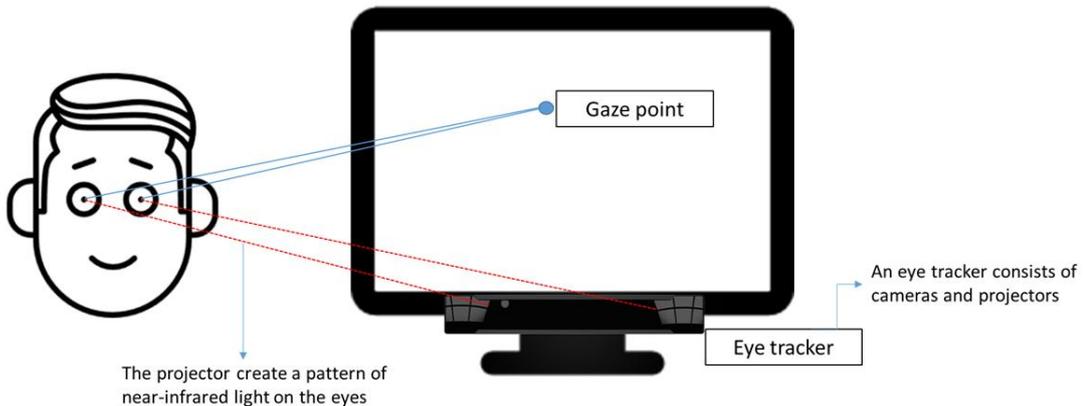


(Figure 2) Proposed block diagram

부에 분포되어 사용자가 응시하도록 한다.

정확한 시선 추적을 위해서는 (그림 3)과 같이 시선 추적기를 이용하는 사람이 특정 지점을 응시하는 동안의 동공의 움직임에 대한 근적외선 정보를 파악하는데, 이는 각 지점에 대해 사용자가 응시 하는 동안 동공 움직임 패턴 분석에 용

(그림 3) 시선 추적 시스템을 이용한 동공 위치 파악



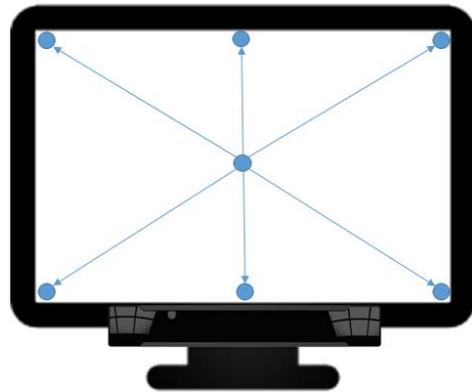
(Figure 3) Pupil position recognition using eye tracking system

이하기 때문이다. 사용자가 각 포인트를 응시하고, 동공의 데이터가 충분히 확보가 되면 해당 포인트에 위치한 분홍색 점이 사라진다. 정확한 동공의 움직임을 측정하기 위해 화면에 분포된 분홍색점이 모두 사라질 때까지 해당 과정을 수행한다. 사용자 동공의 위치와 움직임에 대한 고유 개인화 정보 data가 생성된다. 시험용 견본에 사용되는 동공 움직임을 파악하기 위한 분홍색 점은 총 7개가 발생하며, 이를 측정하기 위한 시간은 사용자의 특성에 따라 다르지만, 일반적으로 30초 내외면 사용자 개인의 동공 개인화 정보 data생성이 가능하다.

이상의 과정을 통해 시선 추적을 진행하기 위한 사용자 동공의 정보에 대한 개인화 정보 data가 저장되고, 이를 바탕으로 실질적 시선 추적이 실행된다. 개인화 정보가 입력된 상태에서 시선 추적 시스템을 구동 시 시선 추적 시스템은 사용자의 동공의 위치를 파악하기 위해 내장된 근적외선 projector를 가동하고, 반사된 근적외선 정보와 개인 동공에 대한 개인화 정보 데이터를 기반으로 시선 추적을 진행한다. 시선 추적이 진행되는 동안 시선 추적 시스템은 실시간으로 사용자의 현재 응시 지점을 분석해 화면상에 나타낸다.

이와 같이 시선 추적에 앞서 offline으로 동공 움직임 측정을 위해 진행된 동공위치와 시험용

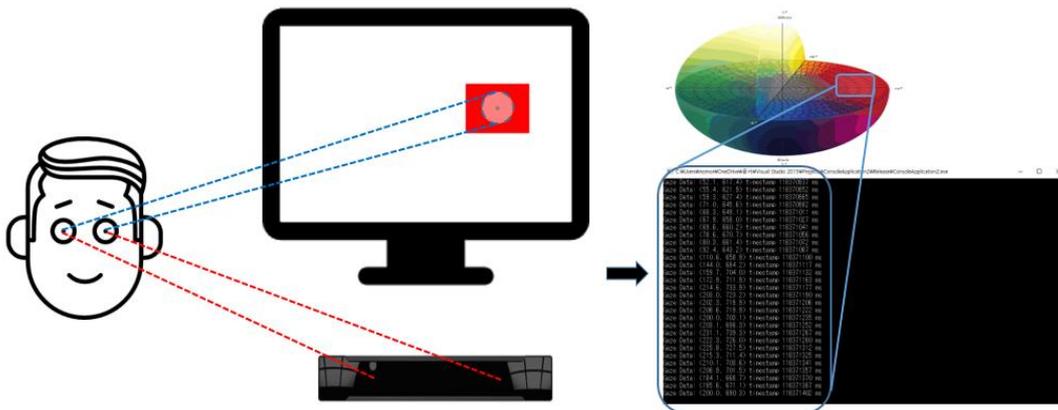
(그림 4) 시선 추적 시스템 보정



(Figure 4) Eye tracking system calibration

견본을 비교하는 과정은 반사된 근적외선 정보 분석에서 발생 할 수 있는 오차에 대한 보정을 진행하기 위함이다. (그림 4)와 같이 화면의 모든 영역에 대한 시험용 견본을 적용하여 사용자의 동공의 위치를 파악하는 것이 어렵기 때문에, (그림 4)와 같이 시선 추적 시스템의 시선 추적을 위한 보정과정은 사용자의 동공 개인화 정보

(그림 5) 응시 지점에 대한 좌표 및 색 정보 추출



(Figure 5) Coordinate and color information extraction for gaze points

data확보를 효율적으로 진행하기 위한 필수적인 과정이다.

다음으로 해당 위치에 대한 좌표 및 색 정보를 추출하는 방법이다. 실험에 사용된 시선 추적기에서 제공되는 software development kit를 이용, 실시간 구동되는 시선 추적기 엔진에 접근한다. 사용자의 동공 정보를 기반으로 한 시선 추적을 진행 시, 시선 추적기 엔진에는 실시간으로 사용자가 응시하는 지점에 해당하는 화면의 정보가 streaming된다. 이 정보는 snapshot형태로 시스템에서 정보를 처리하며, ‘응시 지점에 대한 좌표 정보’, ‘시선 추적기의 구동 시간’ 등의 정보가 저장 된다. (그림 5)와 같이 해당 실험에서는 개발자용 sdk를 이용해 사용자가 현재 모니터에 응시하고 있는 지점에 대한 ‘좌표 정보’와 이 지점에

공 인지 범위는 45~100이며, 초당 60Hz의 속도로 구동하며, 윈도우10에서 사용 가능하다.

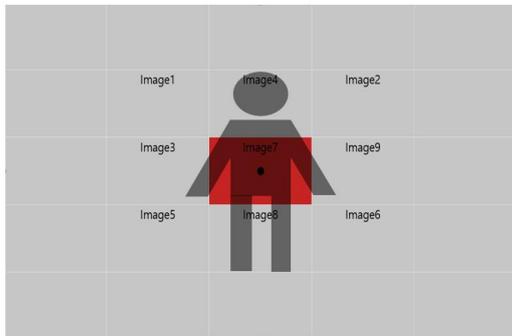
시선 추적 시스템의 제안한 시선 추적 기반 신

<표 1> 사용자1에 대한 동공 추적 정확도 측정

Test Image	Gazing measurement accuracy				
	1second Ratio(%)	1.5second Ratio(%)	2second Ratio(%)	2.5second Ratio(%)	3second Ratio(%)
Image1	74.1	81.8	85.8	90.6	91.7
Image2	70.6	79.1	89.1	88	92
Image3	75	84.2	100	89.4	90.6
Image4	67.9	97	85.8	86.6	90
Image5	60.3	78.4	83.1	98.4	96.2
Image6	69.8	77.1	83.1	84.4	86.9
Image7	90	82.4	100	100	100
Image8	67.2	68	86	81.3	84.8
Image9	72.4	68.9	86.8	86.7	91
Mean	71.9	79.4	88.8	89.4	91.4

<Table 1> Result of eye-tracking accuracy for user1

(그림 6) 실험 테스트 이미지



(Figure 6) Experiment test image

해당하는 ‘RGB정보’를 추출하여, 시험용 이미지를 구동했을 때의 사용자 응시 지점에 대한 정보를 측정한다. 측정된 정보를 기반으로, 시험용 이미지에서 사용자가 응시한 red zone에 대한 정보를 분석하여 응시 정확도를 비교한다.

이러한 과정을 통해서 제안한 시선 추적 기반 시선 정보 신뢰성 측정 시스템 동작이 가능하며, 사용자의 정확한 시선 정보 계산이 가능하다.

### 3. 실험 결과

해당 실험에 사용된 시선 추적기는 ‘Tobii’사의 ‘Tobii eyeX’모델을 이용했다. 해당 시선 추적기의 동

<표 2> 사용자2에 대한 동공 추적 정확도 측정

Test Image	Gazing measurement accuracy				
	1second Ratio(%)	1.5second Ratio(%)	2second Ratio(%)	2.5second Ratio(%)	3second Ratio(%)
Image1	21.6	60	67.2	79.2	89.2
Image2	33.3	60.1	67.5	76.6	88.9
Image3	65.6	100	89	93.2	87.7
Image4	61.7	100	100	87.5	100
Image5	55	40.2	79.7	86.2	76.6
Image6	30.5	67.6	77.9	77.7	69.9
Image7	78	70.1	82.1	91.6	99.4
Image8	46.2	64.2	72.3	73.6	86.3
Image9	66	68.1	78.8	86.2	84.6
Mean	58.8	78.2	79.4	83.5	87

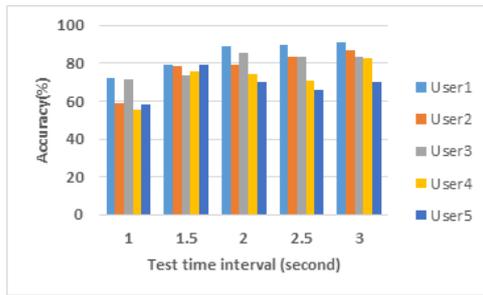
<Table 2> Result of eye-tracking accuracy for user2

<표 3> 사용자3에 대한 동공 추적 정확도 측정

Test Image	Gazing measurement accuracy				
	1second Ratio(%)	1.5second Ratio(%)	2second Ratio(%)	2.5second Ratio(%)	3second Ratio(%)
Image1	80.3	81.9	94.4	88.8	98.6
Image2	77.9	79.7	91.7	99.1	100
Image3	76.2	79.6	85	80.5	82.8
Image4	100	87.3	87.9	91.2	90.1
Image5	58.3	68	65.4	71.1	74.6
Image6	47.2	76.3	78.3	60.5	74.6
Image7	63.9	82.8	95.7	100	87.9
Image8	63.6	35.5	89.8	77.3	50
Image9	75.5	69.8	83.6	83	92.2
Mean	71.4	73.4	85.8	83.5	83.4

<Table 3> Result of eye-tracking accuracy for user3

(그림 7) 시선 추적 정확도 평균값



(Figure 7) Average of eye tracking accuracy results

뢰성 측정 시스템의 성능을 측정하기 위해 시선 추적 시스템 실제 사용자의 화면 응시 지점에 대한 정보와 시선 추적 시스템에서 인지한 사용자의 응시 지점의 좌표 측정값을 비교한다. 신뢰도 측정을 위해 실험에 사용된 이미지는 (그림 6) 같이 구성한다.

(그림 6) 에서 알 수 있듯 빨간 사각형은 해당 영역의 범위 안에서 발생하며, 총 9장의 시험용 이미지가 사용된다. 피사용자는 흰 바탕에 나타난 빨간 사각형을 응시하며, 본 실험에서는 실제 사용자가 빨간 사각형을 응시 하는 지점과, 시선 추적 시스템에서 인지한 사용자의 동공 움직임 좌표에 대한 데이터를 비교하는 과정을 진행한다. 빨간 사각형은 일정한 순서로 발생하지 않고, 실험자가 미리 설정한 무작위 순서로 진행된다. 이를 통해, 실험 전 측정된 피사용자의 동공 개인화 정보 data에 기반 한 시선 추적 시스템의 시선 추적 정확도를 측정 하고자 한다. 해당 실험에서는 피사용자의 목표 영역 즉, 빨간 사각형 응시에 대한 실험 집중도를 높이기 위해 빨간 사각형의 가운데 지점에는 검은 점을 추가하였다. 또한 시험용 이미지 사이에는 녹색 배경의 이미지를 추가하였는데, 이는 실험을 진행함에 있어 발생할 수 있는 사용자의 눈의 피로도를 고려하기 위함이다. 실험 진행 시간은 시험용 이미지에 설정한 시간에 따라 최소 18초에서 최대 54초로 제한하여 사용자의 집중도를 일정하게 유지 하도록 했다. (그림 7)에서 알 수 있듯 시험용 이미지를 응시하는 시간이 길어질수록 정확도가 높게

측정됨을 알 수 있다.

<표 1>, <표 2>, <표 3>의 데이터는 해당 실험을 진행하여 측정된 시선 추적의 정확도 정도를 정리한 것이다. 실험 결과를 통해 다음 사항을 확인 할 수 있다.

사용자의 특성에 따라 Gazing measurement accuracy가 다양하게 나타나지만 2초 이후의 측정값을 비교하면, 사용자 모두 80%이상의 높은 수치로 일치함을 확인할 수 있다. 즉, 시선 추적 시스템에서 근적외선을 통해 측정된 사용자의 동공에 대한 개인화 정보 data를 기반으로 한 시선 추적이 신뢰할 만한 수준으로 동작함을 알 수 있으며, 응시 시간이 길수록 시선 추적의 정확도가 향상됨을 알 수 있다.

실험 결과표에서 시험용 이미지의 'Image5', 'Image6', 'Image8'의 수치를 다른 시험용 이미지의 결과 값과 비교해 볼 필요가 있다. 해당 이미지의 결과 값은 사용자의 Gazing measurement accuracy의 해당 시간의 평균값보다 작음을 알 수 있다. 정확도가 다른 이미지에 비해 낮은 이유는 다음과 같다. 해당 이미지들은 (그림 6)에 있는 시험용 이미지에서 3행에 있는 세 개의 사각형에 각각 위치한다. 이 세 개의 사각형 위치에서 전체 평균값보다 정확도가 낮게 측정된 것은 사용자 동공 개인화 정보 data의 신뢰성을 높이기 위해 진행된 보정과 관련이 있다. 실험에 사용된 시선 추적 시스템에서 시선 추적의 정확도를 향상하기 위해 진행된 보정은 시선 추적 시스템이 부착된 화면의 중심과 사각 화면의 측면을 기준으로 진행되었다.

(그림 4) 에서와 같이 보정을 진행함에 있어서 화면 전체 영역에 대해서는 고려하지 못하고 있다. 이로 인해 보정을 진행하는 지점과 상대적으로 떨어져 있는 'Image5', 'Image6', 'Image8'의 경우 정확도가 평균에 비해 낮게 측정됨을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 사용자 시선 추적에 사용되는 시선 추적기의 정확도 향상시키기 위한 방법을 제안한다. 제안한 방법에서는 시선 추적 시 좌표와 색 정보를 사용하여 동공 정보를 추정한다.

이후 해당 데이터를 기반으로 만들어진 사용자 동공에 대한 개인화 정보를 추출하고 시선 추적기가 부착된 디스플레이에서 높은 정확도를 유지 하도록 한다. 또한 사용자 개인화 정보 추출 시 응시 시간에 따른 최적의 파라미터 값을 추출한다. 실험 결과 짧은 시간으로 특정 지점을 응시할 경우 시선 추적의 정확도가 낮게 측정되지만, 응시 시간을 일정 시간 이상의 유지 시 80% 이상의 높은 시선 추적 정확도가 측정됨을 알 수 있었다. 또한 시선 추적기가 측정한 개인화 정보를 보정하는 과정이 특정 영역에 국한되어 있는 특성으로 인해, 보정이 고르게 진행되지 못함을 알 수 있다.

References

[1] H. H. Jang, "A study on interface Design Model from the Eye-tracking of Visual consciousness," Journal of Digital Design, vol. 11, no. 3, pp. 333-343, 2011.

[2] J. H. Lee, S, H, Choi "Sutdy of Relation Between Consumers Advertisement Attitude and Need for Co gnition for IoT-Implemented Advertisement," Journal of Digital Contents Society, vol. 16, no. 1, pp. 165-172, 2015.

[3] J. J. Lee, J, S, Kwon "Image Annotation System for Mobile Augmented Reality Envionment," Journal of Digital Contents Society, vol. 16, no. 3, pp. 437-444, 2015.

[4] Young-Lim Choi and Sae-Hong Cho, "Eye Tracking current state and application," Digital Contents Society Review, vol. 8, no. 1, pp. 9-14, Nov. 2012.

[5] Drewes. Heiko, "Eye gaze tracking for human computer interaction" LMU München: Faculty of Mathematics, Computer Science and Statistics Diss. Imu, 2010.

[6] Jong-Ha Kim, "Eye-tracking and Perception" Architectural Institute of Korea, vol. 58, no. 9, pp. 21-26, Sep. 2014.

[7] Xiaoyu Chen, Lifang Qiao, "Applicable Prospects of

Eye Tracking Technology in the Research of Landscape Visual Perception," International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering, Vol. 10, no. 10, pp. 111-118, Sep. 2015

[8] Editorial department , "Tobii Eye Tracking System" The HCI Society of Korea, pp2114-2110, Feb. 2009.

[9] S. W. Choi, Y. H. Kim, and S.-J. Kang, "Histogram Matching-based Power Reduction Technique for OLED Display," Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea, vol. 51, no. 1, pp. 137-144, 2014.

[10] Y. H. Kim, S. H. Kwon, S. K. Park, W. K. Kim, and J. I. Han, "Flexible Display Technology and Trend," Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea, vol. 35, no. 8, pp. 84-91, 2008.

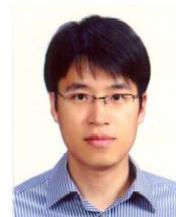
김 병 진



2015년 : 동아대학교(학사)  
2016년~현재 : 서강대학교 전자공학과 (석사과정)

관심분야 : 영상처리, 신호 및 시스템, 디스플레이 시스템 설계 등

강 석 주



2006년 : 서강대학교 (학사)  
2011년 : 포항공과대학교 대학원 (공학박사)

2011년~2012년: LG Display 회로 및 알고리즘 선임 연구원  
2012년~2015년: 동아대학교 전기공학과 교수  
2015년~현재 : 서강대학교 전자공학과 교수  
관심분야 : 동영상 부호화, 멀티미디어 신호처리, 디스플레이 시스템 설계 등