

## 동공 명암 차 현상의 최적 조건에 대한 고찰

\*김정욱 \*\*장성걸 박종일†

한양대학교 컴퓨터소프트웨어학과

\*jukim@mr.hanyang.com

## Study on the Best Condition of Bright-dark Pupil Phenomenon

\*Jeonguk Kim \*\*Xingjie Zhang Jong-Il Park†

Dept. of Computer Software, Hanyang University

### 요약

본 논문에서는 동공 검출 기반 눈 검출 및 추적 시스템을 구현하기 위한 방법의 최적 조건을 제안한다. 이러한 시스템을 구현하려면, 구현하기 위해 사용하는 동공 명암 차 현상이 어떠한 환경과 시스템을 갖춰야 하는지에 대한 정보가 필요하다. 본 논문에서는 어떠한 조건에서 동공 명암 차 현상이 확실하게 검출이 되는지를 실험하였다. 실험결과 본 논문의 실험 환경 내에서 카메라 렌즈와 눈 사이의 거리가 60cm에서 80cm사이일 때, 조명의 세기가 강할수록 동공 명암 차 현상이 강인하게 검출되는 것을 확인하였다.

### 1. 서론

얼굴을 촬영하여 실시간으로 눈 검출 및 추적하는 연구들이 활발히 진행되고 있다[1-2]. 눈을 검출하고 추 적하기 위해서는 몇 가지의 방법이 있는데, 그중에서 동공 명암 차 현상을 이용한 방법이 눈 검출 및 추적에 가장 효과적이라고 알려져 있다. 하지만 이 방법을 사용하기 위해서는 어떤 환경과 시스템을 갖춰야 하는지에 대한 정보가 필요하다. 하지만 기존 논문들에서는 이러한 구체적인 환경과 시스템을 제시하고 있지 않아 동공 명암 차 현상 시스템을 사용하기 위한 최적의 조건을 알 수가 없다. 본 논문에서는 다양한 실험을 통해 어떠한 조건일 때 동공 명암 차 현상이 가장 강인하게 검출되는지를 분석한다. 그러기 위해서 다음의 조건들을 제시한다.

- 1) 카메라 렌즈와 촬영되는 눈이 얼마나 떨어져있어야 현상이 잘 나타나는가.
  - 2) 적외선 조명의 세기가 어떨 때 현상이 잘 나타나는가.
- 위의 두 조건을 독립변수로 설정하여 각각의 실험을 통해 최적의 조건을 찾는다.

### 2. 동공 명암 차 현상

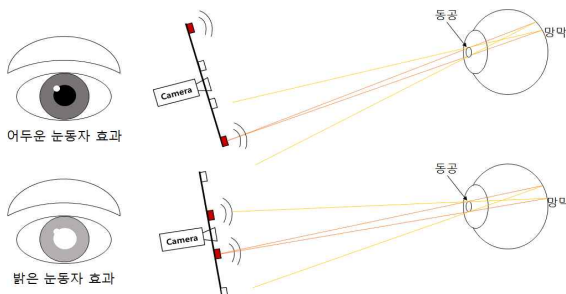


그림 1. 동공 명암 차 현상의 원리

그림 1에서와 보는 바와 같이 적외선 카메라 및 조명 환경에서 카메라 렌즈와 조명사이의 거리에 따라 눈의 동공의 색이 극명하게 대비된다. 조명에서 나온 빛이 동공을 지나 안구 내부에서 반사되어 렌즈로 도달하게 되면 밝은 동공으로 보이고, 그렇지 못하면 어두운 동공으로 보이게 된다. 이 현상을 이용한 눈 검출 시스템 원리는 한 카메라에서 렌즈와의 거리가 가까운 조명과 먼 조명을 교차로 비추어 극명하게 대비되는 동공의 차이를 이용하여 동공만 검출하는 것이다[3-4].

### 3. 실험 환경 및 실험 방법

실험을 위한 시스템 구성은 그림 2와 표 1과 같다.

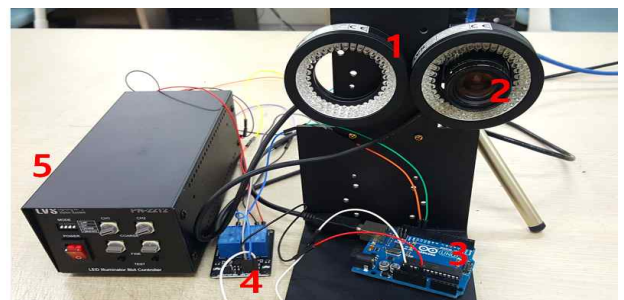


그림 2. 실험을 위한 하드웨어 시스템

표 1. 시스템 구성표

항목	설명
1	IR 조명 LVS DLA2-68R-IR850(오른쪽)/940(왼쪽)
2	IR 카메라 Point Grey fleas3 VITA1300(구경 24mm)
3	제어보드 Arduino Uno
4	스위치 2ch 기계식 릴레이 스위치
5	컨트롤러 LVS 2ch PN2212

† 교신 저자

컨트롤러로 적외선 조명의 세기를 15단계로 나누어 컨트롤 할 수 있도록 하였고, 아두이노와 릴레이 스위치를 사용하여 조명의 On/Off와 릴레이를 컨트롤 할 수 있도록 설계하였다. 주의할 점은 결과가 렌즈구경의 크기와 조명과의 거리에 따라 달라진다는 점이다. 본 논문에서는 렌즈 구경 24mm와 조명 구경 34mm이고 렌즈와 조명사이의 거리는 5mm 인 실험환경에서 실험하였다.

실험은 빛이 전혀 들지 않는 암실에서 진행하였다. 카메라와 조명을 고정한 후 렌즈와 눈 사이의 거리를 30cm부터 130cm까지 10cm 간격으로 10등분을 하여 점차 멀어지는 방향으로 촬영하였고, 각 거리마다 15단계의 조명 세기로 비추어 촬영하여 눈 영상 데이터를 얻었다.

정확하고 수치화 된 실험 결과를 얻고자, 15단계로 나눈 조명의 세기를 수치화 하였다. 적외선 조명이기 때문에 조도계를 이용한 조도측정을 할 수가 없어, 파장에 따른 빛의 강도와 광 에너지를 분석할 수 있는 분광복사기(spectroradiometer)를 이용하여 적외선 조명을 분석하였다.

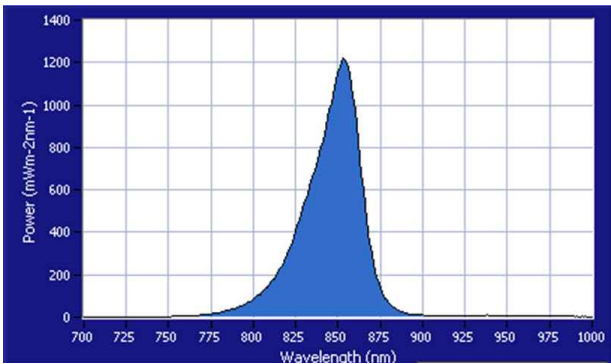


그림 3. 적외선 조명을 분광복사기로 분석한 그래프

적외선 조명을 분광복사기로 분석하게 되면 그림 3과 같은 그래프를 얻을 수 있다. 본 논문의 실험에서 조명의 세기를 조명에서 나온 빛의 광 에너지로 기준하였고, 이는 위 그림 3의 그래프에서 750nm~900nm의 광 에너지를 적분하여 면적을 계산한 값으로 조명의 세기를 정의하였다. 조명의 세기 15단계를 수치화한 것은 다음 표2와 같다.

표 2. 조명 세기 단계에 따른 광 에너지

단계	광에너지(mW/m <sup>2</sup> )	단계	광에너지(mW/m <sup>2</sup> )
1	4518.23	9	27629.1
2	7271.51	10	30544.6
3	10020	11	33418.3
4	13145	12	36373.1
5	16002.9	13	39303.5
6	18913.4	14	42274.7
7	21808.7	15	44835
8	24713.8		

#### 4. 실험결과

실험으로 얻은 데이터 중에서 거리마다 가장 강한 조명의 세기로 촬영한 이미지로 분석을 하였다. 그림 4와 같이 밝은 동공 영상에서 어두운 동공 영상을 뺀 후, 밝기 값에 대한 임계값(threshold)을 주어 이진화를 하였다. 한계점을 조정하면서 영상에서 동공만 검출되기 시작

하는 최소의 임계값을 구하였다. 이는 동공 영역에서의 최소 Brightness 값이라고 할 수 있다.



그림 4. 차영상 하여 동공 영역을 얻는 과정

이와 같은 값을 얻는 이유는 동공의 최소 Brightness값이 높을수록 높은 임계값을 줄 수 있기 때문에 영상에서 동공만을 남기기가 용이해진다. 즉, 눈동자의 최소 Brightness 값이 높을수록 눈 검출이 더 강인해 진다.

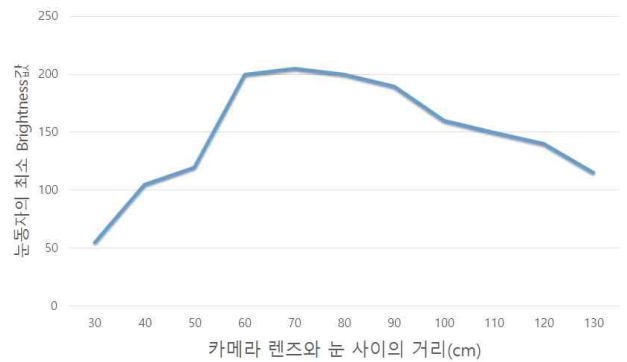


그림 5. Brightness - Distance 관계 그래프

그림 5의 결과를 보면, 30cm~70cm 구간에서는 거리가 증가함에 따라 눈동자의 최소 Brightness값이 비례하게 증가하였다. 70cm~130cm 구간에서는 거리가 증가함에 따라 눈동자의 최소 Brightness값이 일정하게 감소하였다. 이는 거리와 동공 명암 차 현상의 성능과 밀접한 관련이 있음을 보여준다. 그림 5의 결과에 따라 본 논문의 실험환경에서의 가장 최적화 된 눈과 카메라 사이의 거리는 60cm에서 80cm 사이라 정의하였다.

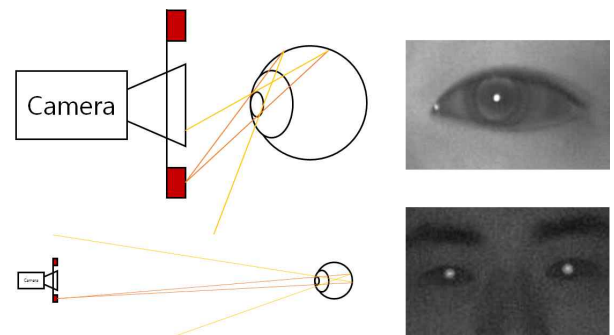


그림 6. 거리가 30cm(위), 130cm일 때(아래)의 눈 영상과 원리

이러한 결과가 나온 이유는 그림 6을 보면 알 수 있다. 짧은 거리에서는 조명에서 동공으로 들어가 반사되어 나온 빛이 렌즈 전체에 도달하지 못한다. 그림 6의 30cm거리에서 찍은 눈 영상을 보면 테두리만 열게 빛나는 것을 확인할 수 있다. 먼 거리에서는 조명에서 동공으로 들어가 반사되어 나온 빛이 렌즈 전체에 문제없이 도달하지만, 거리가 멀어질수록 빛이 광범위하게 퍼져버려서 결국 렌즈에 도달하는 빛의 양은 줄어들게 된다. 그림 6의 130cm 거리에서 찍은 눈 영상과 같이 밝은 동공 현상이 잘 나타나나, 동공의 Brightness 값이 낮고 흐리다.

다음은 동공 명암 차 현상을 검출하는 데에 최적의 조명 세기를 찾기 위한 실험의 결과이다.

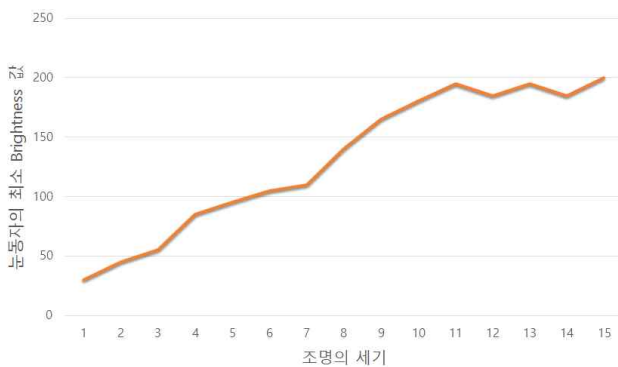


그림 7. Brightness - Intensity 관계 그래프

가장 성능이 좋았던 거리 70cm에서 조명 세기 1단계부터 15단계까지를 분석하였다. 결과는 그림 7과 같이 조명의 세기가 강할수록 동공 명암 차 시스템의 성능이 좋았다. 조명의 세기 1단계부터 10단계까지 직선에 가까운 성능 증가를 보이다가 11단계부터는 동공의 최소 Brightness 값이 증가하지 않고 비슷하게 성능을 유지하는 실험결과를 얻을 수 있었다. 따라서 조명의 광 에너지가 33418.3mW/m<sup>2</sup> 이상 되었을 때, 최적으로 동공 명암 차 현상을 검출할 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 동공 명암 차 눈 검출 시스템을 구현하기 위해 필요한 동공 명암 차 현상에 대한 최적의 조건을 제시하였다. 실험결과 카메라 렌즈와 눈 사이의 거리가 60~80cm가 되었을 때 가장 높은 성능이 나타났고, 조명의 세기가 강할수록 높은 성능이 나타나다 조명 세기 33418.3mW/m<sup>2</sup> 이상부터는 일정한 성능이 나타났다.

향후 연구에서는 최적의 조건을 가진 동공 명암 차 시스템에서 백열등, 태양광과 같은 외부 조명환경과 안경을 착용한 상태에서도 강한 눈동자 검출이 가능한 시스템을 구현할 계획이다.

## 감사의 글

“본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음”

(IITP-2016-H8601-16-1005)

## 참고문헌

- [1] 김정규, 이창정, 박종승, “눈동자 검출 및 시선추적을 통한 간접 인터페이스 제어 시스템,” 한국정보기술학회논문지, 6(4), pp. 158-164. (2008)
- [2] 최진모, 송혁, 박상현, 이철동, “운전자 졸음 인식 시스템 구현,” 한국통신학회논문지, 37(8), pp. 711-720, (2012)
- [3] Morimoto, Carlos Hitoshi, et al. “Pupil detection and tracking using multiple light sources.” Image and vision computing 18.4, pp. 331-335, (2000)
- [4] Morimoto, Carlos Hitoshi, et al. “Keeping an eye for HCI.” Computer Graphics and Image Processing, Proceedings. XII Brazilian Symposium on. IEEE, (1999)