

# 감성 인터랙션 과정에서의 시선움직임 분석을 위한 시선 엔트로피 활용방안에 관한 고찰

이예진, 홍주표, 정광태\*  
한국기술교육대학교 디자인공학과

## A Basic Study on the Use of Gaze Entropy in the Emotional Interaction Process

Yejin Lee, Joo Pyo Hong, Kwang Tae Jung\*  
Department of Industrial Design Engineering, Korea University of Technology and Education

**요약** 본 연구는 감성 인터랙션 과정에서의 시선움직임을 분석하기 위한 척도로서 시선엔트로피의 활용 가능성을 알아 보기 위한 목적으로 수행되었다. 시선움직임은 인터랙션의 적합성을 평가하는데 유용한 도구로 활용되어 왔다. 시선 움직임을 분석하는 기존의 척도들은 특정 요소의 분석이나 전체적인 시선움직임의 패턴을 파악하는 측면에서는 효과적이지만, 시선움직임의 특성을 전체적 측면에서 정량화하는데 한계를 갖고 있다. 그러한 측면에서 시선움직임에 정보이론의 개념을 도입한 시선엔트로피의 활용에 관한 연구가 진행되어 왔다. 하지만 시선엔트로피를 활용한 연구사례들의 종합적 분석과 인터랙션 평가를 위한 척도로서의 활용가능성을 연구한 사례는 없었다. 그러한 측면에서 본 연구에서는 시선엔트로피를 활용한 연구사례들에 대한 문헌연구를 수행하였고, 감성 인터랙션 과정에서의 시선움직임 분석을 위한 척도로서의 활용가능성을 연구하였다. 감성 인터랙션 과정에서 긍정적 감성인식을 갖는 그룹의 히트맵 엔트로피가 부정적 감성인식을 갖는 그룹보다 높게 나타남을 연구를 통하여 알 수 있었다. 본 연구의 결과는 향후 인간-기계 인터랙션 과정에서의 시선움직임을 평가하기 위한 척도로서의 시선엔트로피의 활용에 관한 가이드로 활용될 수 있다.

**Abstract** This study examines the possibility of using gaze entropy as a measure to analyze gaze movement in the emotional interaction process. Eye movement has been a useful tool for evaluating the suitability of an interaction. Existing measures for analyzing gaze movement are effective in terms of specific elements or for understanding the overall gaze movement pattern, but they have limitations in quantifying the characteristics of gaze movement from overall aspects. In this regard, research has been conducted on the use of gaze entropy, which introduced the concept of information theory in gaze movement. However, no one has studied the possibility of using gaze entropy as a measure for interaction evaluation, and there has been no comprehensive analysis of research using gaze entropy. In this regard, we conducted a literature review of research using gaze entropy, and investigated its applicability as a measure for gaze movement analysis in the emotional interaction process. In emotional interactions, we found that the heat map entropy of a group with positive emotional recognition was higher than that of a group with negative emotional recognition. The results of this study can be used as a guide to the use of gaze entropy to evaluate gaze movement in the human-machine interaction process.

**Keywords** : Emotional Interaction, Gaze Movement, Gaze Entropy, Heat Map Entropy, Literature Survey

---

This paper was supported by 2021 Education and Research Promotion Project of KOREATECH.

This results was supported by "Regional Innovation Strategy (RIS)" through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(MOE)(2022RIS-004).

\*Corresponding Author : Kwang Tae Jung(Korea University of Technology and Education)

email: ktjung@koreatech.ac.kr

Received March 30, 2022

Revised April 29, 2022

Accepted May 6, 2022

Published May 31, 2022

## 1. 서론

인간과 기계사이의 인터랙션 과정에서 인간은 80% 이상의 정보를 시각을 통하여 받아들인다[1]. 인터랙션 과정에서의 시각의 중요성 때문에 시선추적에 관한 다양한 연구들이 진행되어 왔다. 1950년대에서부터 아이트래킹(eye tracking)은 인간의 무의적인 반응과 행동을 측정하기 위해 심리학 분야에서 처음 활용되어 왔다[2]. 아이트래킹은 사용자의 생각을 암시적(implicit)으로 측정할 수 있는 대표적인 생체신호로, 많은 연구들에서 피실험자의 시각의 특성, 사고과정, 그리고 행동을 분석하기 위하여 효과적으로 활용되어 왔다.

아이트래킹의 정량적 측정지표으로는 응시시간, 최초 응시, 응시비율, 응시횟수, 동공크기변화가 대표적이다[2]. 응시시간은 인간의 시선이 특정 요소에 머문 시간을 말하고, 최초응시는 특정 요소를 최초로 응시하는데 까지 걸린 시간을 말한다. 그리고 응시비율은 시선의 전체 응시시간 중에서 특정 요소에 시선이 머문 시간을 말하고, 응시횟수는 특정 요소를 응시한 횟수를 말한다[3]. 이들 정량적 지표들은 특정 요소의 중요성이나 주의 정도를 분석하는데는 용이하게 활용할 수 있는 정량적 지표이지만 전체적인 시선움직임을 분석하는 측면에서는 적합하지 못하다.

시선움직임의 전체적 특성을 분석하기 위하여 효과적으로 활용될 수 있는 측정지표로는 게이즈플롯(gaze plot)과 히트맵(heatmap)이 있다. Fig. 1은 자동차 전면 이미지를 보는 한 사람의 게이즈 플롯과 히트맵을 나타낸 것으로, 그림에서 보는 것처럼 게이즈 플롯은 응시(fixation)의 순서와 위치 값을 시각화하여 나타내기 때문에 사용자의 시선 이동 순서를 파악하는데 용이하다. 여기서 응시가 표시되는 원의 크기는 응시시간(fixation duration)을 나타내며, 원안의 숫자들은 시선이 발생한 순서를 의미한다. 그리고 히트맵은 사용자가 응시한 지점을 다양한 색상으로 표현함으로써 특정한 요소를 얼마나 오랫동안 응시했는지 파악하는데 용이하다. 빨간색으로 표시된 구간은 가장 높은 응시횟수(fixation count)를 나타냄과 동시에 가장 높은 응시시간(fixation duration)을 나타낸다. 그리고 초록색은 가장 낮은 응시횟수 및 응시시간을 나타낸다.

게이즈 플롯과 히트맵은 전체적인 시선움직임을 한눈에 알아보기 쉽게 나타내 줄 수 있는 시각화 자료이다. 하지만 정량적인 값을 도출하지 못하기 때문에 시선의 특성을 비교하기엔 어려움이 있다. 게이즈 플롯의 경우,

시선이 발생한 순서가 얼마나 분산되어있고 어떠한 패턴으로 발생되었는지에 대한 정량적 지표를 제공하지 않는다. 물론 시선의 응시가 이루어진 순서를 숫자로 표시하긴 하지만 시선 움직임이 많을 경우 숫자들이 겹쳐져 표시되기 때문에, 시선의 패턴 및 분산정도를 파악하기 어렵다는 단점이 있다. 히트맵의 경우, 특정요소를 얼마나 오랫동안 응시하였는지 대략적으로 파악하는 것은 가능하지만, 그에 대한 정량적인 값을 제공하지는 않는다. 특히 계기눈금, 축구경기 등과 같이 계속적으로 변화하는 연속적인 자극의 경우에는 표현이 어렵다는 한계점이 있다[4].



Fig. 1. Gaze plot (left) and heatmap (right)

이상에서 설명한 바와 같이 기존의 시선움직임에 대한 정량화 지표와 게이즈플롯, 그리고 히트맵은 시각정보의 수용 과정에서 시선의 전체적 움직임을 정량적으로 분석하는데 있어 한계가 있음을 알 수 있다. 이러한 한계점을 해결하기 위하여 게이즈 플롯과 히트맵에 엔트로피 개념을 도입하여 시선의 분산정도나 주의 정도를 볼 수 있는 여러 연구 사례들이 진행되어 왔다[5]. 하지만, 시선엔트로피의 활용 방법과 사례들에 대하여 종합적으로 분석하고 인터랙션 관점에서 그 활용가능성을 연구한 사례는 없었다. 인간은 자동차와 같은 기계 시스템과의 인터랙션 과정에서 대부분의 정보를 시각을 통하여 받아들이기 때문에, 인터랙션 과정에서의 시선움직임을 분석하기 위한 척도로서 시선엔트로피는 중요한 지표로 활용될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 선행된 시선엔트로피가 활용된 연구사례를 통하여 현재까지 어떠한 분야에서 연구가 되어 왔는지 동향을 파악함과 동시에 시선엔트로피에 관한 각각의 방법들에 대한 특징을 분석하여 향후 인터랙션 과정에서의 시선움직임을 분석하기 위한 시선 엔트로피의 활용에 관한 근거를 제공하고자 한다.

## 2. 시선엔트로피 활용 연구사례

본 연구에서는 1999년부터 2021년까지 국내외의 다

양한 분야에서 시선엔트로피를 활용한 연구사례 논문들을 대상으로 분석하였다. 연구사례에 포함된 분야는 의료, 영상, 항공, 인지, 디자인, 광고, 교육, 교통, 스포츠, 원자력발전소 등의 여러 분야를 포함하고 있다.

의료분야에서는 디스플레이의 효과성 평가, 장애투진 그룹의 시선특성분석, 의사들의 전문지식수준평가 등에 시선엔트로피가 활용되었다. Jungk et al.[6]은 마취사들이 환자의 혈류(Hemodynamic)을 모니터링하는 Ecological display, Profilogram display, Trend display의 3가지 디스플레이 평가하였다. 마취사들에게 환자들의 상태가 정상수치에 도달하도록 디스플레이의 수치를 보고 조치를 취하게 하는 과제를 주고 과제 실패율과 게이즈 엔트로피 값의 관계를 살펴보았다. 과제 효율 면에서 Trend display가 과제실패율이 가장 높았고 Ecological display가 실패율이 가장 낮았는데, Trend display가 가장 높은 게이즈 엔트로피 값을 나타내었고, Ecological display가 가장 낮은 엔트로피 값을 나타내었다. 이를 통하여 이해하기 쉽게 설계된 디스플레이일수록 전략적인 시선경로 값을 갖기 때문에 낮은 엔트로피를 나타낸다고 하였다.

Shic et al.[7]은 자폐증이 있는 아이들의 얼굴을 스캔하는 방식이 어린 시절에 어떻게 변화하는지 알아보기 위해 게이즈 엔트로피를 활용하였다. 2살과 4살 그룹을 다시 정상과 자폐증 아이로 나누어 총 4그룹으로 나누고 10초간 얼굴사진을 보는 과정에서의 시선움직임을 아이트래커로 측정하였다. 자폐증을 가진 아이는 전반적으로 얼굴의 중요부위(눈, 입)와 중요하지 않은 부위(코, 머리, 몸통 등)의 시선분산이 높아 게이즈 엔트로피가 정상아이보다 높게 나타났다. 또한 정상아이들은 4살 그룹에서 눈 또는 입과 같은 중요 부위에 시선분포가 많아지면서 엔트로피가 높아지는 반면, 자폐증을 가진 아이는 게이즈 엔트로피 값에 차이를 보이지 않았다.

Alzubaidi et al.[8]은 방사선과 의사들의 경력수준에 따라 X-ray를 읽고 해석하는 과정에서의 시각적 특성을 연구하였다. 의사경력수준이 다른 5명의 피실험자를 대상으로 20개의 흉부사진을 읽고 해석하는 과정을 아이트래커로 측정하는 실험을 수행하였다. 의사경력수준이 높을수록 정형화된 시각적 패턴을 보이며 게이즈 엔트로피가 낮아지는 경향을 보였다.

영상 분야에서는 영상기술의 효과에 따라 사용자들의 시선특성을 알아보는데 시선 엔트로피가 활용되었다. Jordan et al.[9]은 VR 환경에서 스트레스에 따른 사용자들의 시선특성을 알아보기 위한 연구를 진행하였다.

VR의 관점이 바뀔 때, 스트레스에 노출된 그룹은 시선 엔트로피가 감소하는 경향을 보였다.

Ahn et al.[10]은 입체영상을 보고 느끼는 편안함을 정량적으로 측정하는 측정할 방법을 제시하였다. 화면의 입체정도가 높아질수록 히트맵 엔트로피가 증가하였다.

Fajnzyber et al.[11]은 비사실적 렌더링 3D화면에 서의 사용자의 시선특성이 어떻게 달라지는지 알아보기 위한 연구를 수행하였다. 연구의 결과로 비사실적 렌더링 3D화면을 볼 때의 게이즈 엔트로피가 사실적 렌더링 3D화면을 볼 때 보다 낮게 나타났다.

항공분야에서는 Scarella et al.[12]이 공항 입·출항의 비행시 비행 단계를 시각의 특성에 따라 분류할 수 있을지에 대한 연구를 수행하였다. 활주로와 평행한 방향으로 비행하며, 바람이 뒤에서 불어오는 downwind leg 구간에서는 Saccade와 게이즈 엔트로피가 높게 나타났으며, 착륙하는 구간에서는 Saccade와 게이즈 엔트로피가 낮게 나타났다. 따라서 아이트래커로 측정된 시선특성으로 비행구간단계를 나누는 것이 의미가 있음을 시사하였다.

Lee et al.[13]은 항공기의 착륙단계에서 조종사의 전문지식수준에 따른 시선 움직임 특성을 비교하였다. 착륙 시 참조해야 하는 조종석 내·외부의 인터페이스를 8개의 관심 구역(AOI; Area Of Interest)으로 지정하고, 조종사의 전문지식수준(학생 조종사, 기성 조종사)에 따라 AOI별 시선 추적의 정량화 척도(Visit frequency, Dwell time ratio, Gaze entropy)를 종속변수로 두고 시선 특성을 분석하였다. 기성 조종사는 외부 시야계에서 학생 조종사보다 유의하게 높은 게이즈 엔트로피를 보였고, 학생 조종사는 내부 시야계에서 기성 조종사보다 유의하게 높은 게이즈 엔트로피를 보였다. 이를 통하여 항공기 착륙 단계에서 기성 조종사는 외부시야 환경을 중심으로 비행환경의 변화를 예측하고, 학생 조종사는 계기 환경을 중심으로 비행환경의 변화를 예측한다고 주장하였다.

인지특성을 밝혀내기 위한 연구도 진행되었다. Raptis et al.[14]은 장 의존도 (field dependance)에 따라 시선의 특징이 어떻게 달라지는지 연구하였다. FD(Field Dependent)유형의 사람은 배경으로부터 구체적인 도형을 구별해 내기 힘들며, FI(Field Independent)유형의 사람은 배경으로부터 구체적인 도형의 구별을 잘하는 인지특성을 가진다. 이때, 시선엔트로피의 경우, FD그룹에서 쉬운 난이도와 어려운 난이도일 때 높은 게이즈 엔트로피의 값을 나타내었고, FI그룹의 경우 쉬운 난이도에

서 가장 높은 게이즈 엔트로피를 가지며 난이도가 어려워질수록 게이즈 엔트로피의 값은 급격히 낮아지는 경향을 보였다. 히트맵 엔트로피를 보면, FD그룹의 경우 전반적으로 높은 히트맵 엔트로피를 보이지만 상대적으로 난이도가 높아질수록 히트맵 엔트로피가 낮아지는 경향이 나타났다. FI그룹의 경우 쉬운 난이도에서 높은 히트맵 엔트로피가 나타났으며, 난이도가 올라갈수록 게이즈 엔트로피에서와 마찬가지로, 히트맵 엔트로피가 급격히 낮아지는 경향을 보였다.

Ebeid et al.[15]은 왜곡된 이미지를 알아챈 사람과 알아채지 못한 사람 간의 게이즈 엔트로피가 차이를 보이는지 연구하였다. 실험 자극으로 점으로 표현된 유명 예술작품 또는 랜드마크 이미지를 사용하였다. 이때 이미지의 인식여부에 따른 게이즈 엔트로피로 분석하였다. 자극물을 인식한 피실험자는 인식하지 못한 피실험자보다 게이즈 엔트로피와 히트맵엔트로피가 높아지는 경향을 보였다.

Krejtz et al.[16]은 호기심에 따라 작품을 감상할 때 시각적 특징이 어떻게 달라지는지 알아보기 위하여 마코프 엔트로피와 샤넨 엔트로피를 활용하였다. 49명의 피실험자에게 3가지의 미술작품을 간단히 보여주는 방식으로 진행되었다. 그 결과 두 개로 AOI를 설정하였을 때보다 세 개로 설정하였을 때 게이즈 엔트로피가 높아짐을 알 수 있었으며, 작품에 대한 호기심이 높을수록 특정한 패턴을 보이기 때문에 마코프 엔트로피는 유의하게 낮아졌다. 그리고 작품에 대한 선호도가 높을수록 낮은 마코프 엔트로피와 높은 샤넨 엔트로피를 보였다.

시선 엔트로피를 활용하여 인터페이스의 효과성을 알아내기 위한 연구도 진행되었다. Bhavsar et al.[17]은 화학 관련 산업의 제어실 운전원들의 인지행동을 이해하기 위한 연구를 수행하였다. 제어실 운전 과제를 주고 과제에 성공한 그룹과 실패한 그룹의 시선 특성을 분석하였다. 과제에 성공한 그룹은 정형화된 시선 특성을 보이기 때문에, 실패한 그룹보다 시선엔트로피가 낮게 나타났다. 연구의 결론에서 시선엔트로피는 운전자의 현재 운전 수준을 측정하는 지표로 활용될 수 있으며, HMI를 평가하는 방법으로도 활용될 수 있다고 주장하였다.

Lee et al.[5]은 원자력발전소 HMI에서의 상황인식과 시선엔트로피의 관계에 대한 연구를 진행하였다. 그 결과 샤넨엔트로피와 마코프 엔트로피는 상황인식과 유의한 음의 상관관계를 보였지만, 히트맵 엔트로피는 유의한 상관관계를 보이지 않았다.

GU et al.[18]은 웹페이지에서 심미성을 정량적으로

측정하기 위해 아이트래킹을 활용하였다. 40개의 웹페이지를 대상으로 심미성이 높다고 평가한 그룹과 낮다고 평가한 그룹으로 나누고, 시선 엔트로피를 측정하여 상관성을 분석하였다. 그 결과로, 게이즈 엔트로피는 심미성과 유의한 결과를 보이지 않았고, 히트맵 엔트로피와 심미성은 음의 상관관계를 보였다.

광고 분야에서는 광고를 볼 때 소비자들의 시선 움직임 특성을 알아보기 위하여 시선 엔트로피를 활용한 연구들이 진행되어 왔다. Hooge et al.[19]은 광고에서 브랜드 로고를 볼 때까지의 시선 움직임 특성을 알아보기 위하여 게이즈 엔트로피를 활용하였다. 48명의 피실험자들을 대상으로 광고를 볼 때의 게이즈 엔트로피와 로고의 최초응시(first fixation) 시간의 상관관계를 알아보았다. 그 결과 게이즈 엔트로피와 최초응시시간은 높은 양의 상관관계를 나타내었으며, 이는 엔트로피가 높아질수록 로고를 처음으로 응시할 때 까지의 시간이 오래 걸림을 의미한다. 따라서 시선 가이던스가 잘된 광고일수록 낮은 엔트로피를 갖는다고 주장하였다.

교육 분야에서는 Chanijani et al.[20]가 물리학의 문제를 풀 때 세 가지 교육수준의 학생에 따라 어떠한 시각적 특성을 갖는지에 대해 알아보기 위해 게이즈 엔트로피를 활용하였다. 물리학 문제는 벡터표시, 표, 다이어그램의 시각적 자료로 표시되었으며 문제를 푸는 동안 피실험자의 시선 움직임을 아이트래커로 측정하였다. 교육수준이 낮을수록 높은 게이즈엔트로피를 나타내었다. 이는 벡터, 표, 다이어그램 간의 시선이 더 자주 분산되었으며, 질문자체에 시선을 오래두는 경향을 보였음을 알 수 있다. 반면 교육수준이 높을수록 그 반대의 시선 특성을 나타내었다.

교통 분야에서는 Gotardi et al.[21]가 운전 시 불안감이 운전자의 시선특성에 어떠한 변화를 주는지 알아보고자 게이즈 엔트로피를 활용하였다. 실험은 숙련된 16명의 운전자에게 가상의 고속도로를 달리는 운전시뮬레이션으로 진행되었다. 100~120km의 속도를 유지하면서 장애물을 피해 달리는 과제를 준 뒤 중간중간 교통소음, 외부카메라의 촬영, 자존심을 훼손시키는 지시, 평가 등으로 불안감을 조성하였다. 불안감이 증폭될수록 자동차도로와 계기판에 응시시간(fixation duration)이 높아졌으며, 게이즈 엔트로피가 더 높아지는 결과를 나타내었다.

스포츠 분야에서는 Ryu et al.[22]가 배드민턴 운동에서 서브 시 숙련자(1년이상 경력)와 비숙련자간의 시선 탐색 전략의 차이를 알아보기 위해 게이즈 엔트로피를

활용하였다. 숙련자의 경우에는 숏서브 시에 네트를 집중적으로 보며, 롱서브 시에는 윗 공간을 초보자보다 더 많이 보는 것으로 나타났다. 그리고 숙련자의 게이즈 엔트로피가 초보자보다 더 높게 나타났다. 이를 통하여 서브를 넣을 때 숙련자는 초보자보다 더 많은 시각적 탐색을 하고 있음을 주장하였다.

이상의 연구 사례들을 통하여 시선 엔트로피는 인간의 시선 움직임을 분석하기 위하여 다양한 분야에서 효과적으로 활용되어 왔음을 알 수 있다. 따라서 인간과 기계 사이의 인터랙션 과정에서의 시선 움직임 분석을 위해서도 시선 엔트로피가 효과적으로 활용될 수 있음을 생각하여 볼 수 있다.

### 3. 연구 사례를 통한 시선엔트로피의 측정방법 및 특징 분석

시선엔트로피 활용에 관한 연구사례들을 통하여 게이즈 플롯으로부터 시선움직임에 관한 시선엔트로피로 샤넌엔트로피(Shannon entropy)와 마코프엔트로피(Markov entropy)가 활용되고 있었음을 알 수 있었다. 또한 히트맵으로부터 시선움직임을 정량하기 위하여 히트맵 엔트로피가 활용됨을 알 수 있었다. 따라서 본 절에서는 인터랙션과정에서의 시선움직임을 정량화하기 위한 척도로서 게이즈 플롯과 히트맵의 엔트로피를 활용한 정량적 측정방법에 대해 탐구하고 이를 통하여 현재 분석방법의 특징 및 한계점에 대해 분석하였다.

#### 3.1 샤넌 엔트로피(Shannon entropy)와 드웰타임 엔트로피(Dwell tile entropy)

클로드 샤넌(Claude Shannon)은 최초로 0과 1의 이진법(bit)을 통해 문자는 물론 소리, 이미지 등의 정보를 전달하는 방법을 연구하였고, 이를 통하여 정보이론(information theory)의 개념을 정의하였다. 정보는 불확실한 상황을 감소시켜주는 지식을 의미한다. 정보량의 단위는 bit(binary digit)로 정의되며, 1 bit는 실험 가능성이 같은 2개의 대안 중 하나가 명시 되었을 때, 우리가 얻는 정보량을 말한다. 따라서 불확실성이 높아지면 평균 정보량이 높아지게 된다. 즉, 각 대안의 발생확률이 같을 경우 평균정보량은 최대가 된다. 여기서 평균정보량을 엔트로피라고 정의한다[1].

발생확률이 동일할 때의 엔트로피는 다음의 수식에 의

하여 계산된다. 여기서 N은 동일한 발생확률을 갖는 실현가능한 대안의 수를 말한다.

$$H = \log_2 N \quad (1)$$

반면, 대안의 발생확률이 동일하지 않을 경우의 엔트로피는 다음의 수식에 의하여 계산된다. 여기서  $p_i$ 는 대안  $i$ 의 발생확률을 말한다.

$$H = \sum_{i=1}^N p_i \log_2 \frac{1}{p_i} \quad (2)$$

이를 통하여 시선움직임 분석을 위한 샤넌엔트로피를 정의하면, 대안  $i$ 의 발생확률은  $i$ 번째 AOI를 응시(fixation)할 확률로 정의할 수 있다. 이때  $i$ 번째 AOI의 응시확률은  $i$ 번째 AOI의 응시횟수(fixation count)를 모든 AOI들의 총응시횟수(total AOI fixation count)로 나눈 값으로 계산된다. 따라서 시선움직임에 대한 샤넌엔트로피는 다음과 같이 정의된다. 여기서  $P_i$ 는  $i$ 번째 AOI의 응시확률을 나타낸다.

$$H = - \sum_{i=1}^N P_i \log_2 P_i \quad (3)$$

따라서 샤넌 엔트로피는 AOI 간의 시선의 이동패턴은 고려하지 않고 AOI를 응시한 확률로만 계산된다. 따라서 높은 샤넌엔트로피는 사용자가 모든 AOI들을 거의 유사한 비율로 응시했음을 의미한다. 그리고 낮은 샤넌엔트로피는 특정 AOI를 응시한 비율이 높았음을 의미한다 [16]. Krejtz et al.[16]은 작품의 특정 부분에 대한 관심 정도를 측정하는데 샤넌엔트로피를 활용한 바 있다.

드웰타임 엔트로피는 엔트로피의 계산 방식이 샤넌 엔트로피와 동일하다. 다만, 드웰타임 엔트로피에서는  $P_i$ 를  $i$ 번째 AOI의 응시시간(fixation duration)을 전체 AOI들의 총응시시간으로 나누어 계산한다.

#### 3.2 마코프 엔트로피(Markov entropy)

마코프 엔트로피는 샤넌 엔트로피가 시선의 이동패턴을 효과적으로 반영하지 못한다는 한계 때문에 활용되기 시작하였다. 마코프 엔트로피는 마코프 체인(Markov chain)모델을 샤넌엔트로피에 적용하여 도출된 개념이

다. 마코프 체인이란 시계열 데이터의 예측을 통계적으로 다루는 확률과정으로, 마코프 엔트로피는 특정 시점에서의 상태집합(state space)과 상태 간의 이동확률을 나타내는 전이행렬(transition matrix)을 활용하여 구한다. 여기서 상태집합은 각 AOI의 초기확률의 집합으로 정의되고, 전이행렬은 각 AOI 간의 전이확률의 행렬로 정의된다.  $i$ 번째 AOI의 초기확률  $P_i$ 는  $i$ 번째 AOI의 응시횟수를 전체 AOI의 총 응시횟수로 나눈 값이고,  $i$ 번째 AOI에서  $j$ 번째 AOI로의 전이확률  $P_{ij}$ 는  $i$ 번째 AOI에서  $j$ 번째 AOI로 이동한 횟수를 전체 AOI 간 이동횟수로 나눈 값이다. 이때 마코프 엔트로피는 다음 식과 같이 정의된다[7].

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \sum_{j \neq i} P_{ij} \log_2 P_{ij} \quad (4)$$

마코프 엔트로피는 시선 이동의 방향성을 반영한다는 장점을 갖는다(Shic at al., 2008). 하지만 마코프 엔트로피는 시선이동의 순서를 바탕으로 시선 움직임의 복잡도를 나타내는 지표로, AOI에 머문 시간을 반영하지 못한다는 단점을 갖는다. 즉, 1번 AOI에 1초 머물고 2번 AOI에 1초 머문 경우와 1번 AOI에 2초 머물고 2번 AOI에서 1초 머문 경우를 동일하게 반영한다.

### 3.3 Heat map entropy

히트맵은 시선이 가장 오래 머문 지점으로부터 적게 머문 지점까지 가우시안 분포의 형태를 갖는다고 가정할 수 있다. 이러한 가정 하에 가우시안 분포를 활용하여 히트맵으로부터 히트맵 엔트로피를 계산할 수 있다. 만약 화면의 픽셀이 1,280×800의 해상도를 갖는다면 총 1,280개의 X 좌표와 800개의 Y 좌표로 이루어진 좌표의 조합을 만들 수 있다. 시선이 특정 픽셀  $(x_i, y_i)$ 을 중심으로 가우시안 분포를 따른다고 가정할 때 히트맵을 형성하는 시선의 연속확률분포는 다음의 수식으로 표현된다[4].

$$f_{XY}(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{(x-x_f)^2 + (y-y_f)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5)$$

여기서  $s$ 는 표준편차로 시선추적에서는 시각(visual angle)을 의미하며, 사용자가 화면을 볼 때 인지할 수 있는 픽셀의 범위를 의미한다. Liu et al.[4]의 연구에 근거

하면  $s$ 는 50 픽셀의 값을 갖는다.

만약 한 화면에 여러 개의 히트맵 시선분포가 형성되어 있을 경우, 분포 간 가중치를 주어 하나의 연속확률분포로 표현해주는 것이 필요하다. Ahn, et al.[10]의 연구에서는 한 화면에 형성된 시선의 분포들에 각각 동일한 가중치를 주었지만, 히트맵의 분포는 응시시간에 따라 그 분포의 높이가 다르므로 모두 동일한 가중치를 주는 것은 문제가 있다. 따라서 Gu et al.[18]는 응시시간(fixation duration)에 따라 가중치를 다르게 부여하여 다음 식과 같이 히트맵의 결합확률분포 함수를 정의하였다.

$$\tilde{f}_{XY}(x,y) = \sum_1^{f_{num}} d_f \times \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{(x-x_f)^2 + (y-y_f)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (6)$$

여기에서  $f_{num}$ 은 응시횟수이고  $d_f$ 는 각 응시분포의 가중치이다. 이 결합확률분포 함수를 활용하여 다음 식과 같이 히트맵 엔트로피를 계산할 수 있다.

$$H = - \sum_{xy} \tilde{f}_{XY}(x,y) \log \tilde{f}_{XY}(x,y) \quad (7)$$

### 3.4 시선엔트로피의 특징

샤넌 엔트로피와 마코프 엔트로피는 AOI들에 대한 응시횟수와 시선의 이동을 기반으로 계산되기 때문에 AOI의 개수에 영향을 받는다. 일반적으로 AOI의 개수가 커질수록 샤넌과 마코프 엔트로피는 증가하는 경향을 보인다. 이는 AOI의 개수가 많아질수록 시선이동의 불확실성이 증가하기 때문이다. 따라서 AOI의 개수에 의한 영향을 배제하기 위한 표준화 작업이 필요하다[16]. Gu at al.[18]은 AOI의 개수나 AOI의 크기가 다른 경우, 상대 엔트로피(Relative entropy)를 계산하는 방법을 제시하였다. 상대 엔트로피는 실제 엔트로피를 발생가능한 최대 엔트로피로 나눈 비율을 의미한다.

$$H_{re} = \frac{H}{H_{max}} \quad (8)$$

샤넌 엔트로피와 마코프 엔트로피는 숙련자와 비숙련자의 시선이동 패턴에 차이가 있는지 분석하는 경우에 효과적으로 활용할 수 있다. 선행연구에서는 숙련자의 경우는 빠르게 필요한 요소들을 읽어 내기 때문에 대부분 전략적인 시선경로값을 나타내었다. 따라서 숙련자의

경우 낮은 샤넨 및 마코프 엔트로피 값을 나타내었고 초보자의 경우 높은 엔트로피 값을 나타내었다. 물론 대부분의 보편적인 숙련자와 비숙련자일 경우에 해당하며 이는 연구대상의 특성에 따라 해석이 달라질 수 있다.

또한 샤넨 및 마코프 엔트로피는 화면 디자인에 대한 패턴 분석에서도 유용하게 활용할 수 있다. 이해하기 쉽게 설계된 화면 디자인일수록 전략적인 시선경로를 갖기 때문에 낮은 엔트로피를 나타냄을 알 수 있다.

히트맵 엔트로피는 순서에 대한 정보는 알 수 없으나 관심정도를 측정하기에 적합한 척도이다. GU, et al.[18]의 연구에서 웹사이트의 심미성을 정량적으로 측정하기 위해 게이즈 엔트로피를 활용하였을 때 심미성과 연관성이 나타나지 않았지만 히트맵 엔트로피를 활용하였을 때는 높은 상관관계가 존재함을 확인하였다. 또한 Krejtz et al.[16]의 연구에서도 작품에 선호도가 높을수록 높은 히트맵 엔트로피를 보였다. 히트맵 엔트로피가 샤넨이나 마코프 엔트로피보다 인간의 관심정도를 측정할 때 적합한 이유는 히트맵은 시선의 주의 강도를 나타내는 시각화 결과이기 때문이다. 따라서 히트맵 엔트로피를 시각 주의 엔트로피(visual attention entropy)라고도 한다.

#### 4. 감성 인터랙션 과정에서의 시선움직임 분석을 위한 시선엔트로피 활용

인간은 외부로부터 주어지는 자극을 통하여 감성을 형성하게 되고, 감성이 형성되면 인간은 그에 따른 적합한 행위를 수행하게 된다. 좋은 감성은 긍정적 행위를 동반하고, 나쁜 감성은 부정적 행위나 결과를 동반할 가능성이 높다. 외부로부터 주어지는 자극을 통하여 형성되는 감성과 시선엔트로피의 관계를 파악하는 것은 감성 인터랙션의 적합도를 판단하는데 중요한 결과로 활용될 수 있다. 그러한 측면에서 본 연구에서는 자동차의 외형에 대한 감성 인터랙션 과정에서의 시선 움직임 분석하기 위한 척도로서 시선엔트로피의 활용 가능성을 알아보기 위한 간단한 실험을 수행하였다.

##### 4.1 실험

본 연구에서는 피실험자로 남녀 대학생 10명을 대상으로 자동차 외형 디자인에 대한 감성을 평가하는 실험을 수행하였다. 피실험자들은 실험을 희망하는 대학생

중에서 색맹이나 색약이 없고, 1.0 이상의 정상시력을 가진 학생들 중에서 선발되었고, 피실험자의 평균 연령은 24.2세(SD=1.73세)였다.

피실험자들의 시선움직임을 측정하기 위하여 본 실험에서는 시선추적장비로 Tobii Pro Glasses 2를 사용하였다. 피실험자들은 시선추적기를 착용한 상태에서 65인치 모니터에 제시되는 자동차의 외관이미지를 보고 디자인의 감성 선호도를 평가하는 실험을 수행하였다. 모니터와 피실험자 사이의 시선 거리는 2m를 유지하도록 하였다. 실험에는 Fig. 2에서 볼 수 있는 동급의 SUV 차량의 이미지를 사용하였다. 색상과 브랜드의 영향을 배제하기 위하여 실험에 활용한 차량은 흰색으로 통일하였고, 자동차에 포함된 로고를 제거를 제거한 이미지를 사용하였다.



Fig. 2. Experimental stimuli

##### 4.2 시선 엔트로피의 계산

본 연구에서는 시선 엔트로피로 샤넨 엔트로피, 드웰타임 엔트로피, 히트맵 엔트로피를 활용하였다. 샤넨 엔트로피는 AOIs에 대한 응시횟수를 근거로 계산되고 드웰타임 엔트로피는 AOIs에 대한 응시시간을 근거로 계산되었다[16]. 히트맵 엔트로피는 시선의 응시 강도를 나타내는 히트맵을 근거로 계산되었다. 히트맵은 시선이 가장 오래 머문 위치를 중심으로 하여 적게 머문 위치까지 가우시안 분포의 형태를 갖는다는 가정하에 엔트로피를 구하였다[19].

##### 4.3 감성 인터랙션과 시선엔트로피

본 연구에서는 자동차 외관디자인에 대한 감성인터랙션의 결과로서 감성 선호도가 높은 그룹과 낮은 그룹간의 시선엔트로피에 유의한 차이가 있는지를 분석하였다. 디자인의 선호도를 높게 평가한 그룹과 낮게 평가한 그룹의 시선엔트로피의 평균을 나타내는 Fig. 3을 보면, 히트맵 엔트로피는 선호도가 높은 그룹에서 2.19 bits, 낮은 그룹에서 1.30 bits로 선호도가 높은 그룹의 평균이 더 높게 나타났다. 그리고 그 차이는 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ( $F=5.362, p=0.033$ ).



반면 샤넌 엔트로피( $F=0.440$ ,  $p=0.516$ )와 드웰타임 엔트로피( $F=0.048$ ,  $p=0.830$ )는 유의한 차이를 보이지 않았다.

이러한 사실로부터 감성 인터랙션 과정에서 긍정적 감성 인식을 갖는 피실험자들은 부정적 감성인식을 갖는 피실험자들보다 외관디자인의 구성요소들을 시각적으로 탐색하는데 특정 요소에 편중되지 않고, 여러 요소들을 더 고르게 탐색하는 것을 알 수 있다.

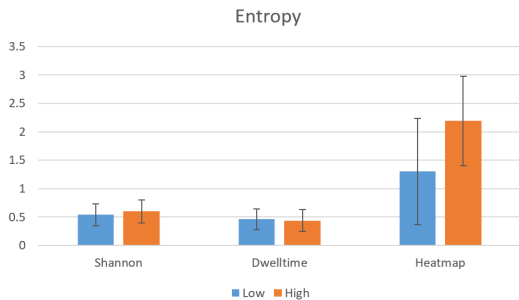


Fig. 3. Gaze entropies with emotional preference

## 5. 결론

본 연구는 시선엔트로피가 활용된 연구사례를 통하여 인간-기계 인터랙션의 적합도, 특히 감성인터랙션을 분석하기 위한 시선엔트로피의 활용 가능성을 알아보기 위하여 진행되었다. 문헌연구를 통하여 다양한 분야에서 시선측정 시각화 도구인 게이즈 플롯과 히트맵의 정량화 방법에 대해 조사하였고 이를 통하여 현재 연구동향과 시선 엔트로피의 특징을 알아보았다. 시선엔트로피를 활용한 연구들은 의료, 영상, 항공, 인지, 디자인, 광고, 교육, 교통, 스포츠의 여러 분야에 걸쳐 진행되었다. 이를 통하여 게이즈 플롯이 샤넌 엔트로피와 드웰타임 엔트로피, 그리고 마코프엔트로피를 계산하기 위한 근거로 활용되고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 게이즈 플롯에서 AOI개수가 많아질 때 이를 표준화 해주는 방법에 대하여 고찰하였다. 선행 연구로부터 게이즈 엔트로피는 숙련자와 비숙련자간의 시선특성 차이 또는 인터페이스의 효과성 평가에 유용한 것을 확인할 수 있었다.

그리고 히트맵 엔트로피의 경우, 가우시안분포를 활용하여 시선 응시의 분산정도에 대한 계산이 가능하다는 것을 확인하였다. 게이즈 엔트로피는 시선응시 횟수와 순서를 기반으로 한 척도이기 때문에 시선의 응시 강도는 고려해주시 못하는 반면, 히트맵 엔트로피는 시선의

응시강도를 기반으로 한 척도이기 때문에 특정한 인터페이스 구성요소에 대한 관심정도를 측정할 때에는 히트맵 엔트로피가 더 효과적으로 활용될 수 있음을 알 수 있었다.

시선 엔트로피에 관한 문헌 연구를 통하여 인터랙션 과정에서의 시선움직임을 분석하기 위한 척도로 시선 엔트로피가 활용될 수 있음을 알 수 있었고, 이에 대한 실험적 검증을 위하여 본 연구에서는 감성인터랙션 과정에서의 시선움직임에 관한 실험을 수행하였다. 그 결과 히트맵 엔트로피는 감성 인터랙션 과정에서의 감성인식을 해석하는데 적합한 척도로 활용될 수 있음을 알 수 있었다.

본 연구의 결과는 인간과 기계사이의 다양한 인터랙션 과정이나 사용자 인터페이스 디자인 평가를 위하여 시선 엔트로피의 활용이 가능함을 제시하고 있다. 특히 현대와 미래의 핵심 기술들이 집약되어 개발되고 있는 자율주행차, UAM(Urban Air Mobility)과 같은 모빌리티 제품의 HMI 설계 적합성 평가를 위한 기술로도 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 문헌조사와 감성 인터랙션을 중심으로 한 간단한 실험을 통하여 시선 엔트로피의 활용성에 대하여 알아 보았다. 향후 다양한 인간-기계 시스템에서의 인터랙션 사례와 다양한 연령층을 대상으로 한 실험적 연구를 통하여 인터랙션 과정에서의 시선 움직임 분석을 위한 시선 엔트로피의 활용가능성을 다양한 관점에서 확인해야 할 것이다.

## References

- [1] B. Y. Jeong, D. K. Lee, Modern Ergonomics, Minyoung Publishing Co., 2009.
- [2] H. K. Park, "A Study on Evaluating Visual Attention of Public Environment Facilities in Subways by Using Eye tracking Method", *Archives of Design Research*, Vol.23, No.1, pp.238-247, 2010.
- [3] Tobii Pro Lab, User's Manual, Ver. 1, 2019.
- [4] Y. Liu, L. K. Cormack, A. C. Bovik, "Dichotomy between luminance and disparity features at binocular fixations", *Journal of vision*, Vol.10, pp.23-23, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1167/10.12.23>
- [5] Y. Lee, K. Jung, H. Lee, "Use of gaze entropy to evaluate situation awareness in emergency accident situations of nuclear power plant", *Nuclear Engineering and Technology*, Vol.54, No.4, pp.1261-1270, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.net.2021.10.022>
- [6] A. Jungk, B. Thull, A. Hoeft, G. Rau, "Ergonomic evaluation of an ecological interface and a



- profilogram display for hemodynamic monitoring”, *Journal of clinical monitoring and computing*, Vol.15, pp.469-479, 1999.  
DOI: <https://doi.org/10.1023/a:1009909229827>
- [7] F. Shic, K. Chawarska, J. Bradshaw, B. Scassellati, “Autism, eye-tracking, entropy”, *Proceedings of 2008 7th IEEE International Conference on Development and Learning*, IEEE, CT, USA, pp.73-78, 2008.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/DEVLRN.2008.4640808>
- [8] M. Alzubaidi, A. Patel, S. Panchanathan, J. Black, “Reading a radiologist’s mind: monitoring rising and falling interest levels while scanning chest x-rays”, *Proceedings Volume 7627, Medical Imaging 2010: Image Perception, Observer Performance, and Technology Assessment*, International Society for Optics and Photonics, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, CA, USA, pp.128-137, 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.1117/12.844521>
- [9] J. Jordan, M., Slater, “An analysis of eye scanpath entropy in a progressively forming virtual environment”, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol.18, No.3, pp.185-199, 2009.  
DOI: <https://doi.org/10.1162/pres.18.3.185>
- [10] S. Ahn, J. Kim, H. Kim, S. Lee, “Visual attention analysis on stereoscopic images for subjective discomfort evaluation”, *Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*, IEEE, WA, USA, 2016. pp.1-6, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICME.2016.7552998>
- [11] V. Fajnzylber, L. González, P. Maldonado, R. D. Villar, R. Yáñez, S. Madariaga, M. Magdics, M. Sbert, “Augmented film narrative by use of non-photorealistic rendering”, *Proceedings, of 2017 International Conference on 3D Immersion (IC3D)*, IEEE, Brussels, Belgium, pp.1-8, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/IC3D.2017.8251912>
- [12] S. Scanella, V. Peysakhovich, F. Ehrig, F. ehais, “Can flight phase be inferred using eye movements? Evidence from real flight conditions”, *Proceedings of 18th European Conference on Eye Movements*, Vienna, Austria, 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2721.2409>
- [13] W. J. Lee, C. H. Kim, S. H. Kim, “Comparison of Eye Tracking Features between Expert and Novice Pilots during Landing”, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, Vol.37, No.6, pp.713-720, 2018.
- [14] G. E. Raptis, C. A. Fidas, N. M. Avouris, “On implicit elicitation of cognitive strategies using gaze transition entropies in pattern recognition tasks”, *Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp.1993-2000, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.1145/3027063.3053106>
- [15] I. A. Ebeid, N. Bhattacharya, J. Gwizdka, “Evaluating The Efficacy of Real-time Gaze Transition Entropy”, *Research Gate*, Vol.1, No.1, pp.1-8, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36376.03846/1>
- [16] K. Krejtz, T. Szmjdt, A. T. Duchowski, I. Krejtz, “Entropy-based statistical analysis of eye movement transitions”, *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, ACM, pp.159-166, 2014  
DOI: <https://doi.org/10.1145/2578153.2578176>
- [17] P. Bhavsara, B. Srinivasan, R. Srinivasan, “Quantifying situation awareness of control room operators using eye-gaze behavior”, *Computers & chemical engineering*, Vol.106, No.2, pp.191-201, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2017.06.004>
- [18] Z. Gu, C. Jin, Z. Dong, D. Chang, “Predicting webpage aesthetics with heatmap entropy”, *Behaviour & Information Technology*, Vol.40, 676-690, 2021.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/0144929X.2020.1717626>
- [19] I. Hooge, G. Camps, “Scan path entropy and arrow plots: Capturing scanning behavior of multiple observers”, *Frontiers in Psychology*, Vol.4, pp.1-10, 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00996>
- [20] S. S. M. Chanijani, P. Klein, S. S. Bukhari, J. Kuhn, A. Dengel, “Entropy based transition analysis of eye movement on physics representational competence”, *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct*. ACM, Heidelberg, Germany, pp.1027-1034, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.1145/2968219.2968564>
- [21] G. Gotardi, P. Schor, J. V. D. Kamp, M. Navarro, D. Gorh, G. Savelsbergh, G., P. F. Polastri, R. Oudejans, S. T. Rodrigues, “The influence of anxiety on visual entropy of experienced drivers”, *Proceedings of the 3rd Workshop on Eye Tracking and Visualization*, pp.1-4, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1145/3205929.3205936>
- [22] D. H. Ryu, S. H. Song, D. W. Han, “Visual search strategies in badminton serve on expertise levels”, *Korean Journal of Sport Science*, Vol.29, No.2, pp.362-375, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.24985/kjss.2018.29.2.362>

---

이 예 진(Yejin Lee)

[정회원]



- 2011년 7월 : Fudan Univ. 학사
- 2019년 8월 : 한국기술교육대학교 디자인공학과 (인간공학석사)
- 2019년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 디자인공학과 박사과정

<관심분야>

인간공학, 감성공학

---

홍 주 표(Joo Pyo Hong)

[정회원]



- 1996년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (기계설계학석사)
- 2001년 8월 : 서울대학교 기계항공공학부 (기계공학박사)
- 2002년 1월 ~ 2006년 2월 : 삼성 전자 반도체총괄 책임연구원
- 2006년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 디자인공학과 교수

<관심분야>

디자인제조공학, 모빌리티 인터페이스

---

정 광 태(Kwang Tae Jung)

[정회원]



- 1990년 2월 : KAIST 산업공학과 (산업공학석사)
- 1996년 2월 : KAIST 산업공학과 (산업공학박사)
- 1996년 3월 ~ 1997년 2월 : 한국 원자력연구원 박사후연구원
- 1997년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 디자인공학과 교수

<관심분야>

인간공학, UI/UX