

표정 및 호흡 인식 기반 확증편향 시각화 시스템 개발

오동욱*¹, 변공규**², 변상원*², 최정인***³, 유선진****⁴

Development of a Confirmation Bias Visualization System based on Facial Expression and Respiration Recognition

Donguk Oh*¹, Gongkyu Byeon**², Sangwon Byeon*², Jung-In Choi***³, and Sunjin Yu****⁴

본 논문은 교육부의 재원으로 지역혁신중심대학(RISE)의 지원을 받아 수행된 글로벌대학사업의 결과입니다

요 약

본 연구는 개인화 알고리즘으로 인한 필터버블과 확증편향 문제를 조명하기 위해, 사용자의 생체 신호를 실시간 분석하여 편향 기제를 시각화하는 인터랙티브 시스템 '버블 유니버스'를 설계·구현하였다. 제안 시스템은 Unity와 OpenCV 기반의 표정 인식 모듈과 아두이노 아날로그 센서(DM439)를 활용한 호흡 감지 모듈을 통합하여, 감정 및 호흡 변화에 따라 정보 노출이 선택적으로 왜곡되는 과정을 구현한다. 전시 관람객 51명을 대상으로 한 사용자 평가에서 표정 인식 정확도는 90.2%, 호흡 인터랙션 반응성은 전체 긍정 응답을 기록하였으며, 전체 응답자의 92.2%가 확증편향에 대한 메타인지적 인식을 경험했다고 응답하였다. 이러한 결과는 생체 신호 기반 인터랙티브 인터페이스가 추상적인 인지 편향 개념을 정량적·경험적으로 전달하는 데 효과적임을 보여준다.

Abstract

This study presents Bubble Universe, an interactive system that visualizes filter bubbles and confirmation bias induced by personalized algorithms through real-time analysis of users' physiological signals, integrating facial expression recognition and respiration sensing to selectively distort information exposure. The system was implemented using Unity and OpenCV for facial expression recognition and an Arduino analog sensor (DM439) for respiration detection. A user evaluation with 51 exhibition visitors demonstrated a facial expression recognition accuracy of 90.2% and that 92.2% of participants experienced metacognitive awareness of confirmation bias, confirming the effectiveness of physiological signal - based interactive interfaces in conveying abstract cognitive bias concepts.

Keywords

filter bubble, interactive media art, confirmatory bias, openCV, unity, arduino

* 국립창원대학교 메타융합콘텐츠학부

- ORCID¹: <https://orcid.org/0009-0009-3037-0655>

- ORCID²: <https://orcid.org/0009-0003-0830-5239>

** 국립창원대학교 문화융합기술협동과정 박사과정

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8883-2925>

*** 국립창원대학교 인공지능공학과

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2959-2268>

**** 국립창원대학교 인공지능공학과 교수(교신저자)

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9292-4099>

· Received: Jan. 06, 2026, Revised: Feb. 02, 2026, Accepted: Feb. 05, 2026

· Corresponding Author: Sunjin Yu

Dept. of Artificial Intelligence Engineering, Changwon National University,
20 Changwondaehak-ro, Uichang-gu, Changwon-si, Gyeongsangnam-do,
51140, Korea

Tel.: +82-55-213-3098, Email: sjyu@changwon.ac.kr

I. 서 론

스마트폰과 SNS의 일상화로 인해 현대인은 시공간의 제약 없이 원하는 정보를 쉽게 얻을 수 있게 되었다. 그러나 정보의 과잉 공급으로 인해, 유튜브나 인스타그램 등의 플랫폼이 ‘알고리즘’으로 골라주는 콘텐츠에 점점 더 의존하여 정보를 소비하게 되었다. 한국언론진흥재단이 발표한 2024 소셜미디어 이용자 조사를 살펴보면, 온라인 동영상 플랫폼 사용자의 대다수인 77.1%가 별도의 검색 과정 없이 초기 화면에 제시된 추천 영상을 그대로 시청하는 것으로 나타났다[1]. 이는 정보 선택의 주도권이 사용자 개인의 주체적 탐색에서 알고리즘의 선별적 제공으로 이동했음을 시사한다. 이러한 알고리즘 주도형 정보 소비 패턴은 사용자가 선호하는 정보만을 반복적으로 노출하여 필터 버블(Filter bubble) 속에 고립시킨다[2]-[4]. 이는 결과적으로 개인의 확장방향(Confirmation bias)을 강화하는 기제로 작용한다[5].

확장방향은 자신의 신념과 일치하는 정보만을 선택적으로 수용하고, 상충하는 정보는 무의식적으로 배제하는 심리적 경향성이다. 선행 연구는 인간이 태도와 행동이 충돌할 때 발생하는 심리적 불편을 해소하기 위해 자신의 기존 태도를 강화하는 정보를 본능적으로 선호함을 규명하였다[6]. 문제는 이 과정이 이성적 판단보다는 무의식적이고 감정적인 기제에서 비롯되기 때문에, 텍스트나 언어를 통한 논리적 설명만으로는 개인이 자신의 편향성을 자각하거나 태도를 변화시키는 데 한계가 있다.

따라서 확장방향 문제를 해결하기 위해서는 스스로가 자신의 인지 과정에 오류가 있음을 깨닫게 하는 ‘메타 인지(Metacognition)적’ 접근이 필요하다. 일반적인 주입식 교육에서는 무의식적으로 작동하는 확장편향을 제어하기 어렵다. 그렇기에 본인의 편향된 정보 수용의 상태를 은유적으로 시각화하여 보여주고 더 나아가 이를 체험하게 만드는 인터랙티브 전시 콘텐츠를 만드는 것이 직관적으로 스스로를 성찰하게 하는 계기를 마련할 수 있다.

이에 본 연구는 관람객의 생체 신호(표정, 호흡)를 실시간 데이터로 변환하여 확장편향의 메커니즘을 시각화하는 인터랙티브 시스템 ‘버블 유니버스’

를 설계 및 구현한다. 본 시스템은 Unity 엔진, 컴퓨터 비전(OpenCV), 아두이노 센서 제어 기술을 융합하여 구축되며, 사용자의 감정 상태가 시각 정보를 왜곡시키는 과정을 물리적으로 구현함으로써 확장편향의 개념을 효과적으로 전달할 수 있는 기술적 시스템을 구축하는 것을 목적으로 한다.

이러한 시도는 보이지 않는 심리적 편향 과정을 관람객의 신체 행위와 직접 연동하여 직관적으로 체득하게 했다는 점에서 기존 정보편향에 대한 연구들과 차별화된다. 또한 변수가 많은 전시 환경에서도 저사양 하드웨어로 안정적으로 기술 구현이 가능한 방식을 제안한다. 본 연구는 이러한 경험을 제공하기 위한 시스템의 기술적 구현 과정을 상세히 기술하고, 실제 관람객 대상 실험을 통해 제안된 시스템의 기술적 안정성과 주제 전달의 실효성을 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 정보 편향을 주제로 한 기존 인터랙티브 미디어 아트 사례를 분석하여 본 연구의 차별점과 설계 방향을 도출한다. 3장에서는 제안하는 ‘버블 유니버스’ 시스템의 전체 프로세스와 함께, OpenCV 기반의 표정 인식 및 아두이노 호흡 감지 알고리즘의 구현 과정을 기술한다. 4장에서는 실제 전시 관람객을 대상으로 한 설문 조사를 통해 시스템의 기술적 안정성과 콘텐츠의 주제 전달력을 검증하고, 마지막으로 5장에서는 연구의 결론 및 향후 발전 방향을 제시한다.

II. 관련 연구

확장편향과 필터버블은 가시적으로 드러나지 않는 심리적 기제이다. 예술 분야에서는 이러한 추상적 개념을 전달하기 위해 ‘고립’, ‘왜곡’, 반향(Echo) 등을 주제로 한 시각화 작업을 지속해 왔다. 본 장에서는 정보 편향을 다룬 주요 예술 작품들을 분석하여 본 연구의 시스템의 설계방향을 도출하고자 한다.

그림 1은 에릭 요한슨(Erik Johansson)의 2019년작 Filter bubbles로, 사진 합성을 통해 정보의 격리 상태를 묘사하였다[8]. 작가는 개방된 도시 광장이라는 물리적 공간과 투명한 구체에 갇힌 개인의 심리

적 공간을 대비시키는 방식을 취했다. 특히 구체 내부의 인물이 고립된 상황임에도 평온함을 유지하는 모습은, 사용자가 필터버블 내부에 갇혀 외부 정보가 차단된 상황을 스스로 인지하지 못하는 '무자각성'을 시각적으로 은유한다.



그림 1. Filter bubbles(2019)
Fig. 1. Filter bubbles(2019)

그림 2는 시몬 레너(Simon Lehner)의 Family gathering이다[9]. 이 작품은 디지털 이미지 처리 기술을 통해 알고리즘에 의해 변형된 자아상을 표현한다. 작가는 인물의 얼굴을 반복적으로 중첩하거나 디지털 노이즈로 일그러뜨리는 기법을 사용했다. 이는 폐쇄된 에코 챔버(Echo chamber) 내에서 정보가 지속적으로 재생산될 때, 정보의 원형은 소실되고 '왜곡된' 형상만이 남게 되는 과정을 시각화한 것이다. 편향이 주는 심리적 불편함을 시각적 왜곡으로 치환하여 표현했다는 점은 본 연구의 접근 방식과 유사하다.



그림 2. Family gathering(2023)
Fig. 2. Family gathering(2023)

그림 3은 에니-쿠카 투오말라(Enni-kukka Tuomala)의 설치 작품 Empathy echo chamber이다[10]. 작가는 팽창형 구조물을 활용하여 물리적으로 단절된 공간을 구축하였다. 관람객은 은색의 불투명한 막으로 둘러싸인 밀폐된 공간 내부에서 외부 시선이 차단된 채 타인과의 대화를 시도한다. 은색 외벽은 외부 정보 유입을 차단하는 알고리즘의 폐쇄성을 상징하며, 인위적인 고립 환경이 조성되어야만 소통에 집중할 수 있는 현대 사회의 단면을 드러낸다. 이는 '고립'이라는 추상적 상태를 물리적 공간감으로 구체화했다는 점에서 시사점을 준다.



그림 3. Empathy echo chamber(2020)
Fig. 3. Empathy echo chamber(2020)

앞에서 언급한 사례인 Filter bubbles(2019), Family gathering(2023), Empathy Echo chamber(2020)들을 각각 사례 1, 사례 2, 사례 3으로 구분하고 작품들의 정보편향을 시각화한 기법을 분석한다. 이를 바탕으로 해당 요소들을 본 연구의 콘텐츠에 발전적으로 수용 및 융합하기 위한 구체적인 방안을 논의한다.

표 1의 사례 1에서 사용된 비눗방울은 정보 편향을 시각적으로 표현하기에 매우 적합한 소재임을 알 수 있다. 이에 본 연구는 비눗방울을 전시의 핵심 메타포로 그대로 가져오되, 단순히 정적으로 비눗방울을 표현하는 것을 넘어 관람객이 직접 상호작용할 수 있도록 발전시켜 적용한다. 유니티(Unity)와 아두이노(Arduino)의 아날로그 마이크를 활용하여 관람객이 마이크에 호흡을 불어넣으면 버블이 생성되는 과정을 직접 체험하게 함으로써, '나의 행위가 편향을 만든다'는 메시지를 더욱 직관적으로 전달하고자 한다.

사례 2는 디지털 이미지 처리 기술을 사용해 자

아의 왜곡된 상태를 표현했다. 이러한 시각적 왜곡 효과를 전시 콘텐츠에 적용하되, 단순한 연출이 아닌 관람객의 심리 상태와 연동된 상호작용으로 발전시켜 적용한다. 확장현상은 자신의 신념과 다른 정보를 접했을 때 느끼는 부정적 감정(불쾌감)에서 시작된다는 점에 착안하여, 그 감정을 감지하는 도구로 OpenCV 표정 인식 기술을 도입하여 관람객의 부정적 표정을 감지하면, 이를 ‘인지부조화’의 신호로 받아들여 버블 내부와 외부의 정보가 다르게 보이는 ‘마스킹 효과’로 구현한다. 작품 내 콘텐츠 전체에 왜곡을 만드는 것이 아닌, 앞서 설명한 버블 안쪽 영역의 콘텐츠에만 블러와 굴절 효과가 적용되도록 처리한다. 이를 통해 관람객은 버블(편향) 밖에서는 선택했던 정보가 버블 안에 갇히는 순간 어떻게 왜곡되어 보이는지를 시각적으로 명확하게 대비하여 확인할 수 있게 한다.

사례 3은 물리적인 공간을 통해 고립을 표현했는데, 본 연구는 이 공간적 아이디어를 발전하여 적용한다. 사례 3과 같이 거대한 공간을 구현하는 건 재정적, 공간적 문제를 수반한다. 거대한 공간 대신 투명 아크릴 구를 천장에 줄로 묶어 매달아 버블로 가득 찬 듯한 공간을 연출하고, 아크릴 내부에 목각인형을 배치하여 필터 버블에 의한 고립 상태를 물리적으로 상징화한다. 이를 통해 디지털 화면 속의 체험뿐만 아니라, 전시 공간 자체에서도 고립의 이미지를 감각적으로 느낄 수 있도록 공간을 연출한다.

표 1. 참고 작품에 대한 전시 콘텐츠 적용 방안
Table 1. Application of exhibition contents to reference works

Case 1 - Filter Bubbles(2019)	
Expression style	Application plan
Visualizing isolation via transparent bubbles (Photo manipulation)	Breath-interactive bubbles via Arduino sensors
Case 2 - Family Gathering(2023)	
Self-distortion using digital layering & noise	Real-time masking effect based on facial emotion
Case 3 - Empathy Echo Chamber(2020)	
Physical isolation using inflatable structures	Virtual realization of closed information loop

III. 콘텐츠 시스템 설계 및 구현

3.1 <버블 유니버스> 시스템 구현



그림 4. 버블 유니버스 메인 메뉴
Fig. 4. Bubble universe main menu

구현된 버블 유니버스의 시작 인터페이스는 그림 4로 시작한다. 시스템의 흐름은 관람객이 메인메뉴 화면에서 ‘애완동물’, ‘MZ세대’, ‘인공지능’ 중 하나의 키워드를 선택하면서 시작된다.

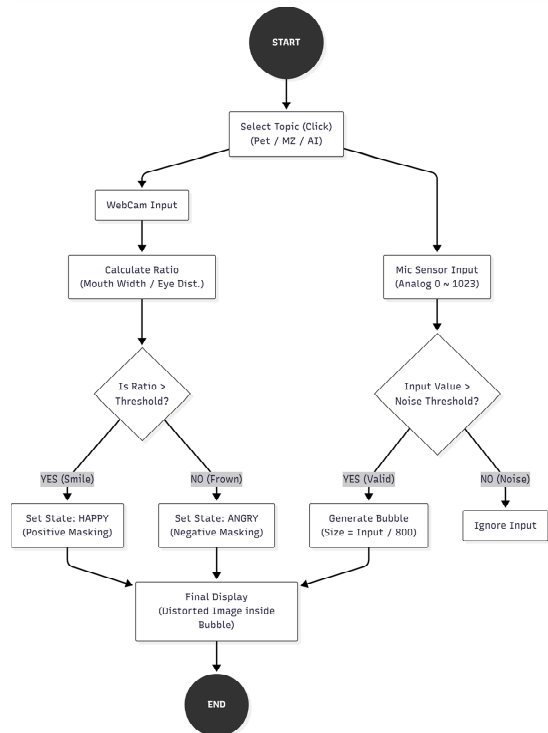


그림 5. 시스템 흐름도
Fig. 5. System flowchart

제안하는 시스템의 전체 데이터 처리 흐름은 그림 5와 같다. 이 과정은 사용자 입력, 데이터 분석, 시각적 피드백의 세 단계로 구성된다. 주제 선택과 동시에 관련 이미지가 로드되며 웹캠과 센서가 구동된다. 관람객이 화면의 이미지를 보며 드는 느낌을 표정 지을 때, 웹캠은 얼굴을 촬영하여 OpenCV 모듈로 영상을 전송한다. 시스템은 입력된 영상에서 얼굴에 위치한 68개의 랜드마크 좌표 변화를 추적하여, 입의 너비, 눈 사이의 거리 등을 측정한다. 그리고 현재 관람객의 표정이 '긍정(HAPPY)'인지 '부정(ANGRY)' 인지를 실시간으로 판단한다.

감정 파악이 완료된 상태에서 관람객이 아두이노 센서에 입김을 불어넣으면, 센서는 입김의 세기를 0에서 1023 사이의 숫자로 측정한다. 이 숫자는 유니티로 전송되어 '호흡의 강도'를 나타내는 데이터로 바뀐다. 유니티 프로그램은 이렇게 받은 '호흡 데이터'와 앞서 파악한 '감정 데이터'를 화면 속 비눗방울에 적용한다. 호흡 데이터는 비눗방울이 얼마나 많이, 그리고 얼마나 크게 생길지를 결정하며, 감정 데이터는 버블 안쪽에 어떤 이미지를 보여줄지(마스킹 효과)를 결정한다.

즉, 관람객이 긍정적인 표정을 지었다면 버블 안쪽에는 기본 이미지가 긍정적으로 정보 편향된 이미지로 변환되어 보이고, 부정적인 표정을 지었다면 부정적으로 정보 편향된 이미지가 마스킹 되어 보인다. 결과적으로, 이러한 시스템은 눈에 보이지 않는 심리적인 편향 상태를 눈으로 볼 수 있는 시각적 경험으로 바꿔준다. 관람객은 내 표정과 호흡이 있는 그대로의 사실(기본 이미지)을 어떻게 왜곡시키는지 직접 확인하며 스스로가 정보를 가리는 주체임을 깨닫게 되고, 이를 통해 자신의 정보 습득 태도를 객관적으로 바라보는 '메타인지'를 경험하는 인터랙티브 전시의 목적을 달성하게 된다.

3.2 표정 인식 시스템 구현

본 연구의 핵심 상호작용인 정보 편향을 시각화하기 위해서는 관람객의 감정 상태를 판별하는 것이 선행되어야 한다. 이를 위해 본 시스템은 OpenCV 라이브러리를 활용하였으며, 표정 분류의

기준은 폴 에크만(Paul Ekman)의 표정 심리학 연구를 토대로 설정하였다[11]. 해당 연구에 따르면 안면 근육의 움직임은 단순한 습관이 아니라, 뇌의 감정 처리 과정과 신경 생리학적으로 연결된 보편적 반응이다. 이에 근거하여 본 시스템은 긍정적 감정(Happiness)을 쾌락 중추의 자극으로 '대광대근(Zygomatcus major)'이 수축하여 입꼬리가 위쪽으로 당겨지는 현상으로, 부정적 감정(Anger)을 심리적 불편함에 의해 '추미근(Corrugator supercilii)'이 수축하여 눈썹이 미간으로 내려오는 현상으로 정의하여 판별한다.

이를 구현하기 위해 그림 6과 같이 유니티 엔진에서 FaceMarkExample.cs 스크립트를 작성하여 OpenCV For Unity 라이브러리를 제어하였다. 프로그램이 시작되는 초기화 단계인 Start() 함수에서는 얼굴을 감지하는 검출기인 CascadeClassifier를 준비하고, Face.createFacemarkLBF() 함수를 호출하여 눈, 코, 입 등 얼굴의 68개 주요 지점(랜드마크)을 추적할 수 있는 모델을 메모리에 불러온다. 이후 프로그램이 실행되는 동안 Update() 함수 내에서는 웹캠으로부터 입력받은 영상 데이터(WebCamTexture)를 컴퓨터가 계산할 수 있는 행렬(Mat) 형태로 변환한다. 이때 연산 속도를 높이기 위해 Imgproc.cvtColor() 함수를 사용하여 영상을 흑백으로 변환하는 전처리 과정을 거친다.

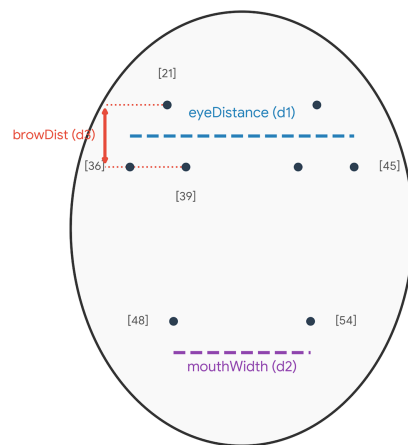


그림 6. OpenCV 기반 얼굴 랜드마크 검출 및 표정 인식 화면

Fig. 6. Facial landmark detection and expression recognition screen using OpenCV

전처리된 영상에서 `cascade.detectMultiScale()` 함수가 얼굴이 있는 영역을 찾아내면, 그 영역에 `facemark.fit()` 함수를 적용하여 실시간으로 68개의 랜드마크 좌표를 추출해 낸다.

이 과정에서 가장 큰 기술적 문제는 관람객이 카메라 앞으로 다가오거나 물러날 때, 얼굴의 픽셀 크기가 변하면서 데이터 값에 오차가 발생한다는 점이다. 본 연구는 이러한 거리 변수에 따른 오인식을 해결하기 위해, 표정 변화에도 절대적 길이가 유지되는 '양쪽 눈 사이 거리'를 기준으로 삼는 비율 연산 로직을 도입하였다. 구체적으로 긍정적 표정을 판별할 때는 식 (1)과 같다. 입의 너비(Current mouth width)를 측정하여 이를 양쪽 눈 사이 거리(Interocular distance)로 나눈 비율값을 산출한다. 관람객이 카메라에 근접하여 입의 크기(Current mouth width)가 커지더라도 기준이 되는 양쪽 눈 사이 거리(Interocular distance) 또한 비례적으로 증가하므로, 결과적으로 나뉠셈을 통해 얻어진 비율값은 일정하게 유지된다. 시스템은 이 비율이 `happyRatioThreshold` 임계값을 초과한 상태가 일정 시간 지속될 경우를 긍정 표정으로 판단한다.

반대로 부정적 표정을 판별할 때는 식 (2)와 같다. 눈썹과 눈 사이의 거리(Current eyebrow to eye distance)를 양쪽 눈 사이 거리로 나눈 값을 활용한다. 미간을 찌푸려 눈썹이 하강하면 이 비율값은 평소보다 작아지게 되며, 시스템은 해당 값이 `angryRatioThreshold` 미만으로 감소했을 때를 부정적인 표정으로 인식한다. 이러한 비율 기반 알고리즘은 관람객의 위치나 얼굴 크기와 무관하게 순수한 표정 변화만을 추출할 수 있어, 불특정 다수가 참여하는 전시 환경에서도 안정적인 성능을 확보할 수 있다.

$$\text{Emotion Ratio} = \frac{\text{Current mouth width}}{\text{Interocular distance}} \quad (1)$$

$$\text{Emotion Ratio} = \frac{\text{Current eyebrow to eye distance}}{\text{Interocular distance}} \quad (2)$$

3.3 버블 생성 시스템 구현

표정 데이터가 정보 편향의 '방향'을 결정한다면, 호흡 데이터는 편향된 정보가 시각화되는 '강도'를 결정한다.

이를 구현하기 위해 본 연구는 아두이노와 아날로그 사운드 센서 DM439를 활용하여 그림 7과 같이 독자적인 입력 인터페이스를 제작하였다.

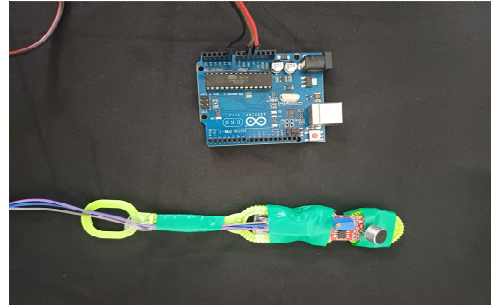


그림 7. 아두이노 우노 보드와 사운드 센서(비눗방울 막대)
Fig. 7. Arduino Uno board and sound sensor(soap stick)

수집된 호흡 데이터는 유니티 엔진의 `ExhibitionManager.cs` 스크립트를 통해 시각적 콘텐츠로 변환된다. 스크립트는 `SerialPort` 클래스를 사용해 9600bps 속도로 아두이노와 통신하며, 수신된 데이터를 정수형 `micValue`로 파싱한다. 이때 주변 소음으로 인한 오작동을 막기 위해 `micThreshold`를 100으로 설정하고, 이 임계값을 넘는 유효 신호만 로직에 반영하였다.

유효 신호가 감지되면 `FireBubble()` 함수가 호출되어 화면 하단(`spawnPoint`)에 비눗방울 프리팹을 생성한다. 여기서 핵심적인 로직은 입력된 호흡 압력(`micValue`)을 800으로 나눈 뒤 0.3~1.0 사이 값으로 정규화하여 `sizeMultiplier`를 산출하는 과정이다. 이 수치는 생성되는 버블의 스케일(`localScale`)에 실시간으로 적용되어, 관람객이 숨을 강하게 불어넣을수록 더 크고 역동적인 버블이 생성되는 물리적 피드백을 구현한다.

생성된 각 버블 객체에는 `SpriteMask` 컴포넌트가 부착되어 있으며, 이는 표정 인식 단계에서 결정된 왜곡 이미지 레이어(`revealLayer`)와 상호작용한다. 감정 상태가 고정되면 `revealLayer`의 속성을 `VisibleInsideMask`로 변경하여, 평소에는 보이지 않던 편향된 이미지가 오직 버블 내부에서만 투영되도록 처리하였다. 결과적으로 호흡 신호가 강해져

화면이 버블로 가득 찰수록, 그림 8처럼 관객이 마주하는 세상은 버블이 가득 차면서 자신의 감정에 의해 왜곡된 정보들로 뒤덮이게 되는 필터버블 현상을 시각적으로 구현해 냈다.

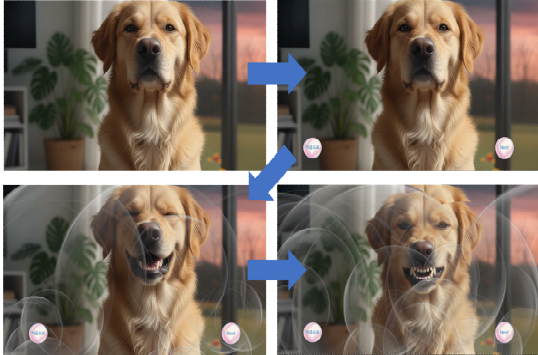


그림 8. 버블 생성 구현
Fig. 8. Bubble generation interaction

IV. 설문 조사

본 연구에서 설계 및 구현한 시스템의 기술적 안정성과 기능적 유효성을 정량적으로 검증하기 위해, 전시 기간 내 관객 51명을 대상으로 실험 및 설문조사를 실시하였다. 평가 척도로는 리커트 5점 척도(Likert 5-point Scale)를 채택하였다. 이는 즉각적인 반응이 요구되는 전시 현장에서는 5점 척도가 관객의 직관적 판단을 돕고 응답의 신뢰도를 높일 수 있기 때문이다.

그림 9에서처럼 설문 문항은 크게 3가지이다. 첫째, 표정 인식의 정확성을 물음으로 기술의 정확성을 확인하고, 둘째, 즉각적인 시스템 구동에 대한

질문을 통해 낮은 하드웨어에서의 최적화 및 정확도를 확인한다, 셋째, 본인의 정보편향을 돌아보는 계기를 질문하는 것으로 '주제 전달력'을 확인할 수 있도록 구성하였다.

우선 표정 인식 시스템의 정확도에 대한 평가 결과, '매우 그렇다'가 56.9%, '그렇다'가 33.3%로 집계되어 전체 응답자의 90.2%가 긍정적으로 응답하였다. 이는 웹캠 기반 시스템의 취약점인 거리 변화에 따른 오인식 문제를 동공 간 거리 비율 알고리즘이 보완하였음을 나타낸다. 실제로 다양한 신장과 신체 조건을 가진 관객이 참여하였음에도 시스템은 거리 변수에 영향받지 않고 안정적인 판별 성능을 유지하였다.

아두이노 기반 호흡 인터랙션의 반응 속도 항목에서는 '매우 그렇다' 66.7%, '그렇다' 33.3%로 나타나, 참여자 전원이 긍정적으로 평가하였다. 이러한 결과는 아날로그 센서의 데이터 수집과 유니티 엔진 간 시리얼 통신 최적화가 지연 없는 피드백을 제공하였음을 보여준다. 즉, 열악한 하드웨어를 사용하는 전시환경에서 즉각 반응하는 시스템이 구현되었음을 입증한다.

주제 전달력 측면에서도 유의미한 수치가 도출되었다. "체험을 통해 자신의 정보 습득 태도(편향성)를 되돌아보는 계기가 되었는가"라는 문항에 대해 64.7%가 '매우 그렇다', 27.5%가 '그렇다'고 답하여 총 92.2%가 메타인지적 경험을 한 것으로 확인되었다. 관객들은 자신의 표정과 호흡이 화면 속 정보를 왜곡하는 과정을 시각적으로 확인하며, 필터버블 개념을 이해하고 정보 소비 습관을 점검하는 태도를 보였다.

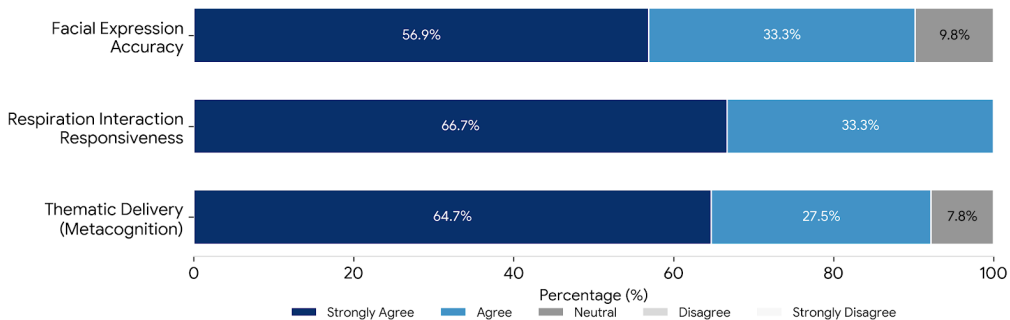


그림 9. 버블유니버스 설문조사 결과
Fig. 9. Bubble universe survey results

본 연구는 시스템의 유용성을 검증하는 도구로 정량적 성능 평가 대신 사용자 대상의 설문조사를 채택하였다. 이는 본 시스템이 단순한 공학적 도구가 아닌, 관람객의 주관적 체험과 심리적 변화를 유도하는 미디어 아트 작품이기 때문이다. HCI (Human-Computer Interaction) 관점에서 볼 때, 예술적 콘텐츠의 성능은 기계적 수치보다 사용자가 체감하는 '지각된 정확성'과 '몰입도'에 의해 결정된다.

설문 결과 분석에 따르면, 기술적 정확도를 묻는 문항(표정 인식 90.2%, 호흡 반응 전체 긍정)에서의 높은 만족도는 주제 전달력을 묻는 문항(메타인지 경험 92.2% 긍정)의 높은 성과와 맥을 같이 한다. 이는 '표정과 호흡 인식의 정확도'가 관람객의 몰입을 방해하지 않는 수준으로 충분히 확보되었기에, 사용자가 시스템의 오작동에 신경 쓰지 않고 '확증편향'이라는 콘텐츠의 주제에 온전히 집중할 수 있었음을 의미한다. 즉, 본 연구에서 구현한 기술적 안정성은 확장현상 자각이라는 주제 의식을 전달하기 위한 필수 선결 조건으로서 효과적으로 기능하였음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 연구는 디지털 환경의 확장현상과 필터버블 현상을 능동적으로 체험하는 인터랙티브 미디어 아트 시스템을 구현하였다. 본 연구의 주안점은 보이지 않는 심리적 기제를 표정과 호흡 데이터를 통해 가시화할 수 있는 실시간 데이터 처리 시스템을 기술적으로 구축한 데 있다. 이를 위해 OpenCV 기반 비율 연산 알고리즘으로 인식의 안정성을 확보하고, 아두이노와 유니티 간 데이터 통신을 통해 사용자의 물리적 행위가 가상 공간에 즉각 반영되는 환경을 구축하였다. 검증 결과, 표정 인식 정확도(90.2%)와 시스템 반응성 측면에서 높은 기술적 완성도를 확인하였다. 이는 본 연구에서 제안한 생체 신호 기반의 시각화 구현 방식이, 추상적 개념을 사용자에게 전달하는 시스템으로서 실효성이 있음을 입증한다.

그러나 본 연구는 다음과 같은 한계점을 갖는다. 첫째, 표본 및 환경의 제약이다. 실험이 4일간 단기 전시회라는 특수한 환경에서 51명의 관람객을 대상

으로 수행되었기에, 연구 결과를 일반적인 사용자 경험으로 확장 해석하기에는 통계적 한계가 있다. 둘째, 감정 분류의 단순화이다. 실시간 처리 속도 확보를 위해 감정을 긍정·부정의 이분법적 척도로 분류하였으나, 이는 실제 확장현상 과정에서 발생하는 복잡한 심리 상태를 완벽히 대변하지 못한다는 한계가 있다. 셋째, 인식 기술의 환경적 민감성이다. RGB 카메라 기반 비전 시스템의 특성상 조도 변화나 마스크 착용 등 외부 물리적 변수에 의해 인식 성능이 저하되는 한계가 있다. 향후 연구에서는 다양한 환경 변수를 고려한 딥러닝 감정 분석 모델을 도입하여 정밀도를 개선하고, 단순 긍정·부정을 넘어선 복합 감정을 반영하도록 시스템을 고도화할 필요가 있다. 아울러 마스크 효과 외에도 다양한 정보 편향 시각화 방식을 시도하여 디지털 리터러시 교육 콘텐츠로 확장할 계획이다.

References

- [1] Korea Press Foundation, "2024 Social Media User Survey", Korea Press Foundation Research Report, pp. 77, Jun. 2024.
- [2] J. Jeon, "Verification of the Process of Formation of Filter Bubble by Personalized Algorithm", Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 21, No. 2, pp. 369-381, Feb. 2018. <https://doi.org/10.9717/kmms.2018.21.3.369>.
- [3] J. Cho and K. Kim, "A Study on the Improvement of Filter Bubble Phenomenon by Echo Chamber in Social Media", Journal of the Contents Association, Vol. 21, No. 5, pp. 56-66, May 2022. <https://doi.org/10.5392/JKCA.2022.22.05.056>.
- [4] Y. Shin and S. Lee, "An Analysis of Filter Bubble Phenomenon on YouTube Recommendation Algorithm Using Text Mining", Journal of the Contents Association, Vol. 21, No. 5, pp. 1-10, May 2021. <https://doi.org/10.5392/JKCA.2021.21.05.001>.
- [5] M. Ham and S. Lee, "Effects of Selective Exposure to YouTube Political Videos on Attitude Polarization: Verifying Mediating Effects of Political

Identification", Journal of the Korean Society of Contents, Vol. 21, No. 5, pp. 157-169, May 2021. <https://doi.org/10.5392/JKCA.2021.21.05.157>.

- [6] J. Lee, H. Kim, and J. Lee, "When Do People Trust Fact-Check Messages?: Effects of Fact-Checking Agents and Confirmation Bias", Journal of Communication Research, Vol. 60, No. 3, pp. 47-88, Sep. 2023. <https://doi.org/10.22174/jcr.2023.60.3.47>
- [7] G. Di, S. Kim, and J. Yoon, "Research on Interactive Media Design Methods in Intangible Cultural Heritage Exhibition Design", Journal of Integrated Design Research, Vol. 9, No. 2, pp. 353-364, Jun. 2024. <https://doi.org/10.46248/kidrs.2024.2.353>.
- [8] J. H. Cheng and S. Park, "Exploring Contemporary Issues through Semiotic Visual Metaphors of Conceptual Photography", Journal of Basic Design & Art, Vol. 25, No. 2, pp. 391-402, Apr. 2024. <https://doi.org/10.47294/KSBDA.25.2.24>.
- [9] Z. Chhe and H. Cheng, "Quantumtechnics: Printing as a Cross-Media Phenomenon of Observing and Materializing in Shaping Reality", International Conference on Human-Computer Interaction, pp. 18-31, Jun. 2025. https://doi.org/10.1007/978-3-031-93739-2_2.
- [10] A. Heylighen and A. Dong, "To empathise or not to empathise? Empathy and its limits in design", Design Studies, Vol. 65, pp. 107-124, Nov. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2019.10.007>.
- [11] D. Chung, "A Case Study of Visualizing Emotions with Social Media Emotion Analysis - Focused on Media Art Cases", Archives of Design Research, Vol. 35, No. 1, pp. 237-257, Feb. 2022. <https://doi.org/10.15187/adr.2022.02.35.1.237>.

저자소개

오 동 옥 (Donguk Oh)



2020년 3월 ~ 현재 :
국립창원대학교 문화테크노학과
학부과정
관심분야 : 증강/가상현실, 실감형
콘텐츠

변 공 규 (Gongkyu Byeon)



2016년 2월 : 경상대학교
미술교육학과(학사)
2022년 2월 : 국립창원대학교
문화융합기술협동과정(공학석사)
2022년 3월 ~ 현재 :
국립창원대학교
문화융합기술협동과정 박사과정
관심분야 : 대형언어모델, 증강/가상현실, 실감형 콘텐츠

변 상 원 (Sangwon Byeon)



2024년 3월 ~ 현재 :
국립창원대학교
메타융합콘텐츠학부 학부과정
관심분야 : 증강/가상현실, 실감형
콘텐츠

최 정 인 (Jung-In Choi)



2010년 2월 : 가천대학교
컴퓨터미디어학과(학사)
2012년 2월 : 이화여자대학교
컴퓨터공학과(석사)
2017년 2월 : 이화여자대학교
컴퓨터공학과(박사)
2018년 7월 ~ 2020년 8월 :
부산대학교 SW교육센터 초빙교수
2020년 9월 ~ 2022년 8월 : 아주대학교 인공지능융합학과
특임교수
2023년 3월 ~ 2024년 6월 : 서울대학교 기초교육원
강의조교수
2024년 11월 ~ 2026년 2월 : 국립창원대학교
사람아너스학부 조교수

142 표정 및 호흡 인식 기반 확장현실 시각화 시스템 개발

2026년 3월 ~ 현재 : 국립창원대학교 인공지능공학과
조교수

관심분야 : 인공지능, 이상상황 인식, 인공지능 시스템,
인공지능 교육

유 선 진 (Sunjin Yu)



2003년 8월 : 고려대학교

전자정보공학과(공학사)

2006년 2월 : 연세대학교

생체인식공학과(공학석사)

2011년 2월 : 연세대학교

전기전자공학과(공학박사)

2011년 1월 ~ 2012년 5월 :

LG전자기술원 미래IT융합연구소 선임연구원

2012년 5월 ~ 2013년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과
연구교수

2013년 3월 ~ 2016년 8월 : 제주한라대학교 방송영상학과
조교수

2016년 9월 ~ 2019년 8월 : 동명대학교 디지털미디어공학부
부교수

2019년 9월 ~ 2024년 9월 : 국립창원대학교
문화테크노학과 부교수

2024년 10월 ~ 현재 : 국립창원대학교 인공지능공학과 교수
관심분야 : 컴퓨터비전, 증강/가상현실, HCI