https://doi.or.kr/10.23283/JKCT.2024.1.2.06
Journal of the Korea Convergence Technology, Vol 1, No, 2, pp.33-38, Dec. 31, 2024, ISSN 3058-3152

개인화된 디지털 경험의 혁신 : 생체신호 기반 실시간 적응형 콘텐츠 생성

박호열*, 양인모**, 강정호**

Revolutionizing Personalized Digital Experiences Real-Time adaptive contents creation based on Bio-signals

Hoyeoul Park*, Inmo Yang**, Jungho Kang**

요 약

본 연구는 생체신호 분석 기술을 활용하여 사용자 상태를 실시간으로 분석하고, 이를 기반으로 적응형 콘텐츠를 생성하는 혁신적인 시스템을 제안한다. AI와 ICT 기술의 발전으로 개인화된 경험의 중요성이 점차 부각됨에 따라, 심박수, 뇌파, 피부 전도도 등 생체신호를 활용하여 사용자 심리 상태와 정서적 반응을 실시간으로 파악하고, 이를 기반으로 콘텐츠의 난이도와 상호작용을 조정하여 최적의 사용자 경험을 제공한다. 본 연구에서는 제안된 시스템은 생체신호 측정 모듈, 데이터 처리 및 감정 분류 모듈, AI 기반 콘텐츠 생성 모듈 등으로 구성된 시스템 설계를 제시하였으며 높은 데이터 분석 정확도(87.5%)와 실시간 콘텐츠 생성 속도(평균 485ms)의 실시간성을 입증했다. 연구는 엔터테인먼트, 교육, 헬스케어 등 다양한 산업 분야에서의 응용 가능성을 제시하며, 사용자 중심의 디지털 경험을 혁신할 수 있는 기술적 기반을 마련 할 수 있을 것으로 생각한다.

☞ **주제어** : 인공지능, 실감콘텐츠, 생체신호, 적응형 콘텐츠

Abstract

This study proposes an innovative system that analyzes user status in real time using biosignal analysis technology and generates adaptive content based on it. As the importance of personalized experiences is gradually increasing due to the development of AI and ICT technology, biosignals such as heart rate, brain waves, and skin conductance are utilized to identify user psychological states and emotional responses in real time, and content difficulty and interaction are adjusted based on this to provide optimal user experience. In this study, the proposed system presents a system design consisting of a biosignal measurement module, a data processing and emotion classification module, and an AI-based content generation module, and demonstrates real-time performance with high data analysis accuracy (87.5%) and real-time content generation speed (average 485ms). The study suggests potential applications in various industries such as entertainment, education, and healthcare, and is expected to establish a technological foundation for innovating user-centered digital experiences.

☞ **Keywords** : Artificial intelligence, realistic content, biosignals, adaptive content

This research was supported by Culture, Sports and Tourism R&D Program through the Korea Creative Content Agency(KOCCA) grant funded by the Ministry of Culture, Sports and Tourism(MCST) in 2023(Project Name: Cultivation of next-generation convergence culture technology (CT) experts through education, projects and developments of the performance and exhibition technologies providing the adaptive user experience based on real-time user reactions in the metaverse, Project Number: RS-2023-00224524, Contribution Rate: 100%)

* 1저자: 연세대학교 의과대학원 의료기기산업학과
** 공저자: ALMALOCO Co, Ltd.
* 교신저자: ALMALOCO Co, Ltd.
Corresponding Author : HOYEOUL PARK, hypark@almaloco.com

Received November 26, 2024
Revised December 13, 2024
Accepted December 23, 2024
Published December 31, 2024

1. 서 론

AI와 ICT의 기술의 급속한 발전은 개인화된 경험을 제공하는 새로운 가능성을 열어주고 있으며, 이 중 생체신호 분석기술은 사용자 중심의 실시간 콘텐츠 제작에서 중요한 역할을 담당하고 있다.

생체신호 분석 기술은 인간의 생리적 및 심리적 상태를 실시간으로 파악할 수 있는 대표적인 도구로써, 활용할 수 있다. 심박수(Electrocardiogram, ECG), 뇌파(Electro Encephalo Graphy, ECG), 피부 전도도(Galvanic Skin Response, GSR)와 같은 생체신호는 인간의 정서적 반응과 심리적 상태를 반영하는 중요한 데이터로 이를 분석하면 사용자의 감정, 스트레스 정도, 집중도와 같은 정서적 반응과 심리적 상태를 파악 할 수 있다[1].

최근 다양한 산업 분야, 특히 엔터테인먼트, 교육, 의료, 마케팅에서 생체신호 기반 기술에 관한 관심이 증대되고 있으며, 이를 통해 사용자 몰입도를 최적화 하고 콘텐츠의 효과를 극대화하려는 시도가 활발히 이뤄지고 있다.

가상현실(Virtual Reality, VR)이나 증강현실(Augmented Reality, AR) 환경에서는 생체신호 데이터를 활용하여 콘텐츠의 난이도나 인터랙션을 실시간으로 조정함으로써, 각 사용자에게 개인화된 최적의 경험을 제공할 수 있다. 이는 정적이고 일방적인 콘텐츠 소비에서 벗어나, 사용자 상태 변화에 따라 적응하며 변화하는 동적인 콘텐츠를 생성함으로써, 콘텐츠 산업의 새로운 경험을 제시한다.

본 연구에서는 생체신호 분석을 활용하여 실시간 적응형 콘텐츠를 제작하기 위한 기술의 활용과 시스템 설계 방안을 제안한다. 몰입형 실감 콘텐츠를 체험하면서 생체신호 데이터의 효과적인 수집 및 분석 방법과, 실시간 콘텐츠 생성 메커니즘 설계, 그리고 사용자 경험을 극대화 하기 위한 인터랙티브 콘텐츠 제작을 제안한다. 이를 통해 생체신호 기반 실시간 적응형 콘텐츠 제작기술이 다양한 산업 분야에서 어떠한 영향을 미칠 수 있는지 평가하고, 그 실용적 가능성을 모색하고자 한다.

2. 기존 연구

2.1 미국

생체신호 분석 기술 연구에서 선도적인 역할을 하고 있으며, 사용자 몰입 중심의 연구가 활발히 이뤄지고 있다.

특히 국립보건원(National Institutes of Health, NIH)과 같은 정부 기관은 의료와 웨어러블 기술 연구를 적극 지원하고 있으며, MIT 미디어 랩((Massachusetts Institute of Technology Media Lab)과 스탠포드 대학(Stanford University) 연구소들은 생체신호를 활용한 감정 인식과 사용자 맞춤형 인터랙션 기술에 관한 연구를 진행하고 있다[2].

MIT Media Lab에서 심박수와 뇌파 데이터를 기반으로 사용자의 정서 상태를 실시간으로 감지하여 콘텐츠를 조정하는 기술을 개발 하고 있으며, 이를 통한 교육 콘텐츠에서 학생의 집중도를 높이거나 스트레스 관리를 지원하고 있다.

Apple은 Apple Watch를 통해 심박수, 혈중 산소, 심전도 데이터를 분석하여 사용자의 건강 상태를 모니터링하며, 이를 통해 개인화된 웰빙 콘텐츠를 제작하고 있다.

Microsoft는 생체신호 데이터를 AI와 결합하여 사용자의 감정 상태를 분석하고, 그에 따라 인터랙티브 콘텐츠를 조정하는 기술을 연구 하고 있다. 자사 플랫폼인 Azure AI를 통하여 심박수와 뇌파 데이터를 분석하여 교육 콘텐츠의 난이도를 조정하거나, 자동으로 스트레스를 완화하는 음악과 시작적 요소를 생성하는 기술을 개발하고 있다.

2.2 유럽

웰빙과 디지털 헬스케어를 목표로 하는 생체신호 분석 기술을 개발하고 있다. 특히, 유럽연합(European Union, EU)의 Horizon 프로그램은 웨어러블 디바이스와 실시간 생체신호 분석 기술 연구에 대규모 자금을 투입하고 있으며, 네덜란드의 Philips사는 심박수, 피부전도도, 산소 포화도 데이터를 활용하여 스트레스 관리와 수면 개선을 목표로 한 스마트 헬스케어 제품을 출시 하였다. 사용자 상태를 실시간으로 분석해 맞춤형 콘텐츠나 피드백을 제공함으로써, 향후 스포츠 과학 분야에서 운동선수의 생체신호 데이터를 분석해 훈련강도를 실시간으로 조정하며, 트레이닝 콘텐츠를 제공하는 기술을 연구하고 있다[3].

2.3 아시아

생체신호 분석 기술을 통해 게임 및 엔터테인먼트 분야를 통합하는 부분에 주력하고 있다. 특히, 일본과 대한민

국은 몰입형 콘텐츠 제작에서 생체신호 활용 기술을 선도적으로 연구하고, 개발하고 있다[4].

일본의 Sony는 플레이스테이션(Playstation)기반의 게임에서 사용자의 뇌파와 심박수 데이터를 활용해 난이도를 자동하으로 조정하는 연구를 진행중이며, 게임 내 몰입감으로 주도록 연구 하고 있다.

Samsung 은 스마트워치와 VR 콘텐츠를 결합하여 사용자의 생체신호를 실시간으로 분석하고, 운동 프로그램이나 명상 콘텐츠의 난이도를 조정하는 시스템을 구현하고 있다. 이를 통해 정신건강 관리앱 및 디지털 치료기기에 개인화된 콘텐츠를 적용시키도록 연구하고 있다.

기존 세계적 연구의 사례들에서 생체신호 분석 기술이 사용자 맞춤형 콘텐츠 제작에서 큰 잠재력을 지니고, 신기술 연구하고 있으나, 데이터의 정확성 문제 실시간 처리 기술 문제, 개인정보 보안의 이슈가 존재하며, 이를 극복해야 하는 추가적인 연구가 진행되어야 한다.

3. 제안 방법

3단계에서는 생체신호를 활용하여 사용자 감정 상태를 실시간으로 분석하고, 이를 기반으로 적응형 콘텐츠를 제작하는 시스템 설계를 제안한다. 제안된 시스템은 생체신호 측정, 신호 처리 및 감정 패턴 분류, 그리고 실시간 콘텐츠 생성이라는 3가지 주요 단계를 포함한다. 이를 통해 사용자 상태에 동적으로 반응하는 개인화된 콘텐츠 경험을 제공하는 것을 목표로 한다.

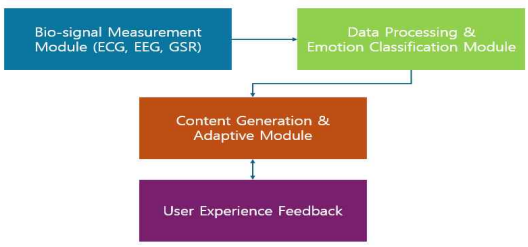


Figure 1. Adaptive content creation structure based on biosignals

3.1 생체신호 기반 실시간 적응형 콘텐츠 시스템 설계

제안하는 시스템은 Fig.1에서와 같이, 생체신호를 실시간으로 측정하고 분석하여 적응형 콘텐츠를 제공하는 통합 아키텍처로 설계하였다.

3.1.1 생체신호 측정 모듈

체험자의 심박수 (ECG), 뇌파(EEG), 피부 전도도(GSR)와 같은 생체 데이터를 wearable device를 통해서 수집하도록 설계 하였다. 이러한 데이터는 사용자 상태를 실시간으로 반영하는 기초 자료로 활용 한다.

3.1.2 데이터 처리 및 감정 분류 모듈

수집된 데이터는 클라우드 서버와 엣지 컴퓨팅을 통해 처리된다. 데이터는 전처리, 특징 추출, 감정 패턴 분류 단계를 거쳐 체험자 상태를 분석한다.

3.1.3 콘텐츠 생성 및 적응형 모듈

분석 결과에 따라 생성형 AI(Artificial Intelligence) 기반 콘텐츠 생성 알고리즘이 작동하여 체험자의 감정 상태에 적합한 개인화된 콘텐츠를 제공한다.

3.2 생체신호 측정

생체신호 데이터의 정확한 수집은 시스템의 신뢰성과 성능을 결정하는 핵심 요소로 작용한다. 본 연구에서는 다음과 같은 방법을 통해 생체신호를 측정한다.

3.2.1 심박수 및 심박 변이 (HRV, Heart Rate Variability)

광혈류측정(PPG, Photoplethysmogram) 기술을 활용하여 심박수 데이터를 수집한다[5]. 이 데이터는 사용자의 스트레스 수준과 심리적 상태를 평가하는 주요 지표로 사용한다.

3.2.2 뇌파 (EEG)

EEG 1 channel 헤드셋을 통해 사용자의 집중도 및 감정 상태를 측정한다[6]. 특히 alpha, beta, gamma 등 FFT(Fast Fourier Transform)를 통하여, 특정 대역은 감정 상태를 반영하는 중요한 신호로 활용된다.

3.2.3 피부 전도도(GSR)

피부 전기저항 변화를 측정하여 스트레스와 흥분 상태를 감지한다. 측정된 데이터는 블루투스 또는 Wi-fi를 통해 실시간으로 서버로 전송되며, 신호의 정확성을 높이기 위한 노이즈 필터링과 보정 과정이 포함된다[7].

3.3. AI 기반 생체신호 분석 및 감정 패턴 분류

수집된 생체신호 데이터는 AI 기반 분석 모델에 의해 실시간으로 처리되며, 사용자의 감정 상태를 분류한다.

3.3.1 데이터 전처리

생체신호는 시간적 변화와 주파수 성분을 분석하는 알고리즘(FT(Fourier Transform). WT(Wavelet Transform) 등)을 통해 특징 (feature)을 추출한다[8].

3.3.2 감정 패턴 분류 모델

특정 데이터는 LSTM(Long Short-Term Memory) 또는 GRU(Gated Recurrent Unit) 기반 딥러닝 모델에 입력되어 감정 패턴으로 분류된다[9]. 주요 감정 상태로는 스트레스, 안정, 집중, 피로 등으로 구분한다[10].

3.3.3 개인화된 학습

체험자 개별 데이터를 학습하여 모델을 개인화하며, 이를 통해 분석 정확도를 높인다[1].

분류된 감정 상태 데이터는 콘텐츠 생성 모듈로 전송되어 실시간 콘텐츠 생성에 활용된다.

3.4 AI 기반 실시간 적응형 콘텐츠 생성

감정 패턴 분류 결과를 바탕으로 체험자의 상태에 최적화된 콘텐츠를 생성하기 위해 AI 기술이 활용된다.

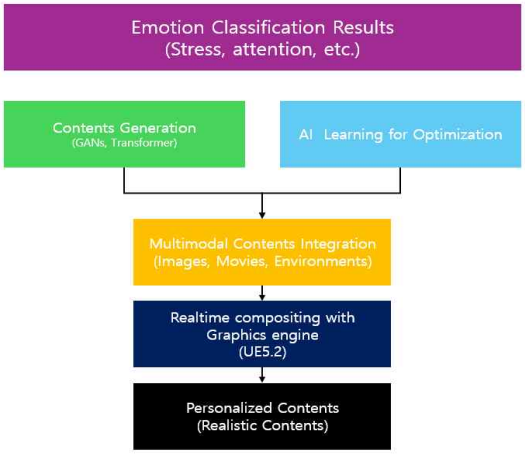


Figure 2. Personalized Contents Process

3.4.1 콘텐츠 생성

콘텐츠를 생성하기 위한 감정의 분석 프로세스는 Fig. 2와 같이, 분류된 감정 데이터를 입력값으로 받아 생성형 AI(Generative Adversarial Networks, GANs)가 동작한다. 이 알고리즘을 사용자 상태에 적합한 텍스트, 이미지, 음악 등 다양한 콘텐츠를 생성하도록 한다. 예를 들어, 스트레스 상태에서는 진정 효과가 있는 음악과 시각적 콘텐츠를 제공하며, 집중 상태에서는 방해 요소를 최소화한 환경을 조성한다. 생성된 콘텐츠는 텍스트, 이미지, 음악 등 다양한 형태로 제공한다.

3.4.2 실시간 학습 기반 최적화

사용자 생체신호 변화 데이터를 피드백으로 활용하여 생성된 콘텐츠의 적합성을 지속적으로 평가한다. 강화 학습을 통해 콘텐츠 생성 알고리즘의 성능을 최적화 하고, 사용자의 상태 변화에 따라 동적으로 적응할 수 있는콘텐츠를 제공한다[11].

3.4.3 멀티모달 콘텐츠 통합

텍스트, 영상, 음악 등 다양한 콘텐츠 요소를 통합적으로 조정하여 체험자 몰입감을 있는 경험을 제공한다. 이러한 멀티모달 콘텐츠는 사용자 상태에 최적화된 개인화된 경험을 강화.제공하며, 실시간으로 사용자와 상호작용 할 수 있는 환경을 조성한다.

4. 연구 결과

생체신호 데이터 분석 정확도: 표 1은 본 연구에서 제안된 AI 기반 감정 패턴 분류 모델(LSTM Network)의 성능을 평가한 결과이다. 평균 분류 정확도는 87.5%를 기록하였으며, 이는 기존 생체신호 분석 연구의 평균 정확도(약 85%)를 초과하는 성과로, 생체신호 데이터를 기반으로 감정 상태를 정밀하게 분류할 수 있음을 입증하였다.

세부 결과: 스트레스 상태 분류 정확도는 91.3%, 집중 상태는 87.1%, 피로 상태는 86.8%로 나타났다.

Table 1. Accuracy Results By Emotion State

	Emotion State	Accuracy (%)
1	Stress	91.3
2	Concentration	87.1
3	Fatigue	86.8

표 2는 50명의 실험 참가자로부터 수집된 1,500건 이상의 생체신호 데이터를 사용하여 실시간 콘텐츠의 적응속도, 사용자 만족도, 스트레스의 감소 정도를 측정한 결과이다.

Table 2. Real-time Performance and User Statisfaction Metrics

Metric	Result
Average Processing Time (ms)	485
User Satisfaction (%)	86
Stress Reduction Effectiveness (%)	81

실시간 콘텐츠 적응 속도: 시스템의 실시간성 평가에서, 생체신호 수집에서 콘텐츠 생성까지의 평균 처리 시간이 485ms로 측정되었다. 이는 사용자가 체감할 수 없는 지연 수준으로, 실시간 콘텐츠 제공이 가능함을 확인하였다.

사용자 만족도 평가: 실험 참가자 50명을 대상으로 실시간 적응형 콘텐츠의 효과를 조사한 결과, 86%의 참가자가 제공된 콘텐츠가 자신의 상태에 적합하다고 응답하였다. 특히 스트레스 감소 콘텐츠의 경우, 참가자 중 81%가 제공된 콘텐츠를 통해 스트레스 수준이 유의미하게 감소하였다고 응답하였다.

5. 결론

본 연구는 생체신호를 활용한 적응형 콘텐츠 생성에서 의미 있는 성과를 도출하였으나, 다음과 같은 한계가 존재한다.

본 연구는 상대적으로 제한된 실험 환경에서 데이터를 수집하였다. 실감 콘텐츠가 구현되는 실감형 전시관 환경에서의 생체신호 데이터를 수집하고 모델을 학습 시키며, 데이터의 신뢰도를 확보가 필요하다.

현재의 AI 모델은 초기 학습 데이터에 기반하여 동작하므로, 실감형 전시관 환경이라는 새로운 사용자의 개별적 특성에 완벽히 반영하기에 데이터 구축의 시간이 필요하다. 이를 개선하기 위해 지속적 학습(online learning)을 도입하여 현재 한국형 적응형 실감 콘텐츠 모델을 연구하고 있다.

향후 연구에서는 실제 실감형 콘텐츠 환경에서의 데이터 수집 및 분석, 사용자 중심의 인터페이스 개선, 그리고 지속적 학습을 통한 개인화 최적화 방안을 중점적으로 다룰 예정이다.

본 연구에서는 생체신호 분석 기술을 활용하여 실시간 적응형 콘텐츠 제작의 실현 가능성을 입증하였다.

생체신호 데이터를 기반으로 사용자 상태를 실시간으로 분석하는 기술적 프레임워크를 제안하였으며, AI 기반 감정 패턴 분류와 적응형 콘텐츠 생성의 결합을 통해 다양한 산업 분야에서 적용 가능한 새로운 콘텐츠 제작 패러다임을 제시하였다.

실험 데이터를 통해 제안 시스템의 실효성과 실시간성을 입증하였다.

본 연구는 생체신호 기반 적응형 콘텐츠 제작 기술이 헬스케어, 엔터테인먼트, 교육 등 다양한 응용 분야에서 실질적으로 활용될 수 있는 가능성을 보여주었으며, 사용자 중심의 디지털 경험을 혁신할 수 있는 기반 기술로 자리 잡을 수 있음을 확인하였다.

참고문헌(Reference)

[1] Picard, R. W. “Affective computing.” 1997, MIT Press.
Retrieved from https://www.media.mit.edu.

[2] Rashid, M., & Sulaiman, N. “Brain-computer interface for emotion recognition: A review.” 2021, Sensors, 21(4), 1249.

[3] Lee, Y., & Jung, H. “AI-based real-time stress detection and management system using wearable devices.” 2019, IEEE Sensors Journal, 19(23), 11342 - 11349.

[4] Bailenson, J. N., & Yee, N. “Virtual interpersonal touch: Haptic interaction and copresence in collaborative virtual environments.” 2008, International Journal of Human-Computer Studies, 66(8), 591 - 605.

[5] Allen, J. “Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement” 2007. Physiological Measurement, 28(3), R1 - R39.

[6] Murugappan, M., Rizon, M., Nagarajan, R., Zunaidi, I., & Yaacob, S. “EEG signal analysis for human emotional state classification using wavelet packet transform.” 2005, Journal of Medical Engineering & Technology, 31(6), 480 - 487.

[7] Villarejo, M. V., Zapirain, B. G., & Zorrilla, A. M. “A stress sensor based on Galvanic Skin Response (GSR) controlled by ZigBee.” 2012, Sensors, 12(5),

6075 – 6101.
[8] Scherer, K. R. “What are emotions? And how can they be measured?” 2005 Social Science Information, 44(4), 695 – 729.
[9] Abadi, M. K., Subramanian, R., Kia, S. M., Avesani, P., Patras, I., & Sebe, N. “DECAF: MEG-based multimodal database for decoding affective physiological responses.” 2005, IEEE Transactions on Affective Computing, 6(3), 209 – 222.
[10] Russell, J. A. “A circumplex model of affect.” 1980, Journal of Personality and Social Psychology, 39(6), 1161 – 1178.
[11] Lopez-Martinez, D., & Picard, R. W. “ Continuous stress recognition using emotion models and regression techniques.” 2018, Proceedings of the IEEE International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII), 109 – 114.

저 자 약 력

박 호 열 (Hoyeoul Park)



・2010년 8월 세종대학교 학사
・2013년 3월 연세대학교 생체공학 석사수료
・2024년 8월 연세대학교 의료기기산업학과 석사과정

e-mail : hoyeoulpark@yonsei.ac.kr
관심분야 : 인공지능, 콘텐츠, 콘텐츠, 컴퓨터교육

양 인 모 (Inmo yang)



・2021년 2월 한국공학대학교 학사

e-mail : imyang@almaloco.com
관심분야 : 인공지능, 콘텐츠, VR, XR 콘텐츠 개발

강 정 호 (Jungho Kang)



・2021년 2월 대진대학교 학사

e-mail : jhkang@almaloco.com
관심분야 : 인공지능, 콘텐츠, VR, XR 콘텐츠 개발