

HMD 기반 컨트롤러를 이용한 다중 사용자의 VR-LED 제어 연계에 관한 연구

A Study on the Integration of VR-LED Control Using HMD-Based Controllers

김동조¹, 김정윤^{2*}

Dong-Jo Kim¹, JungYoon Kim^{2*}

요약

최근 가상 현실(VR) 기술과 사물 인터넷(IoT)의 급속한 발전은 많은 응용 분야의 사용자 경험을 가능하게 하고 있다. 특히, HMD(Head-Mounted Display) 기반 컨트롤러와 LED(Light Emitting Diode) 조명 시스템의 통합은 이러한 기술 혁신의 대표적인 예로, 가상 공간과 실제 환경 간의 상호작용을 새로운 차원으로 끌어올리고 있다. 본 연구는 여러 사용자가 동시에 가상 현실 내에서 LED 조명을 제어할 수 있는 시스템을 개발하고, 가상현실 오브제와 실제 환경의 LED 제어가 연계되는 새로운 상호작용 모델을 제시한다. 이 시스템은 다중 사용자가 VR 환경 내에서 상호작용할 수 있도록 인터페이스를 지원하는 동시에, 가상 오브제의 상태나 사용자의 가상 환경 내 인터페이스 제어가 실제 조명 설정에 직접적으로 반영되도록 설계되었다. 이는 가상과 실제의 경계를 허물어 사용자가 가상 공간에서의 행동을 통해 실제 물리적 환경을 조작할 수 있게 한다. 다중 사용자 상호작용과 가상-실제 연계를 통한 새로운 경험의 제공은 가상 현실 기술의 확장 가능성을 탐구하고, 사용자 경험을 한 차원 높은 수준으로 이끌 것으로 기대된다.

핵심어 : LED, HMD, 컨트롤러, 상호작용, 다중 사용자

Abstract

The rapid development of Virtual Reality (VR) technology and the Internet of Things (IoT) is enabling innovative user experiences across various fields. In particular, the integration of Head-Mounted Display (HMD) based controllers with LED (Light Emitting Diode) lighting systems serves as a prime example of such technological innovation, elevating the interaction between virtual spaces and the real environment to a new dimension. Based on this technological backdrop, this study develops a system that allows multiple users to control LED lighting within a virtual reality environment simultaneously, thereby proposing a new

1 Department Image design, Sunchon National University, Sunchon, Korea [Professor]

e-mail: djkim@scnu.ac.kr

2 Department of Game Media, College of Future Industry, Gachon University, Seongnam, Korea [Professor]

e-mail: kjyoon@gachon.ac.kr (Corresponding author)

* This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea(NRF-2021S1A5A8064713)

Received(May 14, 2024), Review Result(1st: May 31, 2024), Accepted(June 7, 2024), Published(June 30, 2024)



© 2024 The Authors. Published by NCISS.
This is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.
To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

model of interaction where virtual reality objects and real-world LED control are interconnected. This system supports an interface that enables multi-user interaction within the VR environment, while also ensuring that the state of virtual objects and the user's control within the virtual environment directly reflect on the real-world lighting settings. By blurring the boundaries between virtual and real, it allows users to manipulate the physical environment through actions taken in the virtual space. The provision of new experiences through multi-user interaction and the linkage between virtual and real explores the potential expansiveness of VR technology, which is expected to elevate the user experience to a higher level.

Keyword : LED, HMD, Controller, interaction, Multi-user

1. 서론

최근 LED 기술과 가상 현실 기술의 발전은 물리적 공간과 디지털 공간의 결합을 통해 새로운 응용 프로그램을 가능하게 하고 있다. 특히 에너지 효율성과 긴 수명으로 주목받는 LED는 전통적인 조명 솔루션을 넘어 몰입형 환경을 창조하는 핵심 요소로 진화하고 있다 [1]. 가상 현실 기술도 지속적으로 발전하면서 사용자를 다양한 방식으로 참여시켜 몰입감 높은 경험을 제공한다. 이러한 기술들의 융합은 가상 및 물리 공간 내 상호작용을 실시간으로 구현하는 새로운 가능성을 열어준다. 본 연구는 다중 사용자가 동시에 VR 환경에서 상호작용할 때 네오피셀 LED를 통한 실시간 조명 제어를 가능하게 하는 시스템을 제안한다. HMD 기반 컨트롤러를 매개체로 사용하여 가상 행동과 물리적 반응 사이의 간극을 메우는 것을 목표로 한다. 다중 사용자는 각각의 HMD 및 컨트롤러를 통해 VR 환경 내에서 가상 오브젝트와 상호작용할 수 있으며 이러한 상호작용이 네오피셀 LED를 통해 물리적 조명 변화로 실시간 반영된다. 이 접근 방식은 가상 현실 경험의 몰입감을 풍부하게 할 뿐만 아니라 LED 조명 환경의 제어 및 사용자 정의 측면에서도 새로운 가능성을 제공한다. 연구의 목적은 다중 사용자가 VR 환경에서 동시에 상호작용할 때 각 사용자의 행동에 따른 조명 변화를 정밀하게 구현하여 몰입형 환경을 창출하는 것이다. 이를 통해 각 사용자는 자신의 행동이 실시간으로 물리적 조명에 반영되는 경험을 하게 되며 이는 전시 환경에서의 사용자 경험을 향상시킬 수 있다. 본 연구는 가상 현실 기술과 LED 기술을 통합 제어하는 프로세스와 실제 응용 프로그램에서 구현되는 구조나 구성 요소를 제공한다. 이러한 시스템은 상호작용적 환경을 기반으로 디지털과 물리적인 경계를 넘어서 창의성과 기능 구현 등을 통해 사용자 참여에 대한 새로운 가능성을 제시한다.

2. HMD기반 컨트롤러의 LED제어 응용

HMD(Head-Mounted Display) 기반 컨트롤러와 LED 융합 기술의 연계는 최근 가상현실(VR)과 현실 세계의 경계를 허물며 사용자 경험을 향상시키는 혁신적인 방법으로 주목받고 있다. 이러한 기술의 결합은 사용자가 가상 환경 내에서 행하는 동작과 선택이 실제 물리적 환경에 영향을 미치는

상호작용을 가능하게 하여, 몰입감과 상호작용성을 극대화한다. HMD 기반 컨트롤러는 가상현실 콘텐츠 내에서 사용자의 손동작과 위치를 추적하고, 이를 통해 가상 객체와 상호작용하거나 가상 환경을 탐색할 수 있는 인터페이스를 제공한다. 이때 사용되는 컨트롤러는 다양한 센서와 버튼, 그리고 때로는 진동 피드백 기능을 통해 사용자에게 가상현실 경험의 현실감을 더한다. LED 기술의 발전과 함께 네오피셀 LED 각 LED의 색상과 밝기를 개별적으로 제어할 수 있게 하여, 다채롭고 동적인 시각적 효과를 생성할 수 있다 [2]. 이러한 LED는 예술 설치 작품, 건축 및 인테리어 조명, 그리고 공연 예술에서 다양하게 활용되고 있다. HMD 기반 컨트롤러와 LED의 융합 기술은 이 두 기술의 장점을 결합하여 가상 환경에서의 사용자 동작이 실제 세계의 LED 설치물을 제어하도록 함으로써, 가상과 현실의 경계를 넘나드는 새로운 형태의 상호작용을 창출한다 [3]. 예를 들어, 사용자가 가상 환경에서 특정 동작을 수행하면, 이에 대응하여 실제 공간에서 LED 조명이 색상을 변경하거나 특정 패턴으로 깜빡이는 등의 반응을 보일 수 있다. 이러한 상호작용은 교육, 엔터테인먼트, 전시회 등 다양한 사례로 적용될 수 있으며, 사용자에게 풍부한 경험을 제공한다 [4]. 이 응용기술의 설계를 위해서는 높은 정밀도의 동작 추적과 실시간 반응을 위해 HMD 컨트롤러와 LED 시스템 간의 데이터 전송과 처리 속도를 최적화해야 한다. 그리고 다양한 사용 환경과 사용자 요구를 충족시키기 위해 유연하고 확장 가능한 시스템 설계가 필요하다. 또한 사용자 경험을 극대화하기 위해서는 가상 환경과 실제 LED 반응 간의 일관성과 정확성을 보장해야 한다 [5]. 마지막으로 사용자의 몰입감과 상호작용의 질을 높이는 것 외에도 실제 공간에서의 조명을 통해 가상 환경의 경험을 향상시키거나 실제 공간의 디자인과 분위기를 변화시키는 새로운 방법을 제공한다. 이러한 융합 기술의 발전은 앞으로도 가상현실 콘텐츠의 활용 범위를 넓히고 다양한 분야에서 사용자 경험을 도출할 것으로 기대한다.

3. 다중 사용자의 VR-LED 연계 구조 설계

3.1 시스템 개요

본 연구는 가상현실 기술과 HMD의 활용을 통해 실제 공간의 LED 조명을 원격으로 조작할 수 있으며 다중 사용자의 제어 시스템 개발에 중점을 두고 있다. 이 시스템을 통하여 다중 사용자는 원거리에서 가상현실 공간의 인터페이스 디자인을 체험하며 해당 인터페이스를 매개로 하여 현실 공간의 LED 조명을 제어할 수 있다 [6]. 이와 같은 상호작용은 다중 사용자의 현장감을 제고하며, 가상현실 공간 설정에 적합한 기술을 제공한다. 유니티 프로그램을 활용하여 현실 공간에 대한 예측으로 사용자가 공간 설계를 용이하게 하며 가상 공간에 대한 이해를 증진시킨다. 다중 사용자 환경에서 VR을 통한 LED 제어 기능은 사용자의 손 동작 뿐만 아니라 위치기반 센싱 기술을 이용하여 위치 데이터를 검출하고 LED 조명의 선택과 온오프, 색상 변경 등을 조절할 수 있다. 이는

다수의 사용자가 동시에 가상현실 공간에서 협력하여 LED 조명을 조작할 수 있는 다중 사용자 상호작용 시나리오를 가능하게 한다. 이러한 응용은 가상 전시회나 이벤트 등에서 다수의 사용자가 실제 공간을 산책하거나 관람하면서도 가상 공간의 인터페이스를 통해 현실 세계의 조명을 조작하는 새로운 경험을 제공할 수 있는 가능성을 지닌다 [7]. 가상현실의 몰입감과 현실 세계의 상호작용을 융합하여 사용자에게 다채로운 경험을 선사하는 것이다. 컨트롤러의 다양한 센싱 기술은 현실 공간의 조명과 같은 물리적 요소들을 가상현실에서 더욱 세밀하게 조작할 수 있게 된다.

3.2 다중 사용자의 VR-LED 제어 시스템 개발

사용자의 가상현실 입력 인터페이스를 통해 얻어진 위치 데이터와 제스처 정보를 활용하여 사용자의 시점에 따라ダイナ믹하게 변화하는 가상 환경 내에서 LED 조명의 상태를 제어한다. 시작 단계에서는 사용자로부터 수집된 가상현실 인터페이스의 위치를 기반한 데이터값을 통해 기본 위치 선정이 이루어지며 이후 입력된 제스처 정보를 기반으로 사용자의 시점 변경에 따른 화면 전환을 구현하고 있다. 가상 현실 내에 배치된 다수의 LED가 장착된 오브젝트들은 이 위치 데이터와 시점 정보를 활용하여 시각화되며, 이를 통해 사용자는 가상 공간 내에서 원하는 LED 조명의 위치를 선택하고 색온도를 조절할 수 있다. 본 시스템에서는 사용자가 가상 환경 내에서 자유롭게 움직이며 오브젝트를 관찰할 수 있도록 지원하고 실시간으로 사용자의 시점 변화에 따라 LED의 공간 좌표를 정확하게 반영하기 위해 다시점 화면 설계가 실시간 시각화를 가능하게 하는 데이터 추출과 처리를 위한 VR-LED 제어 알고리즘의 개발이 진행된다. 유니티 프로그램에 적용된 알고리즘 소스를 통해 해당 문제를 해결하고 가상현실 공간에서의 LED 조명 제어는 직관적이다. 다중 사용자가 동시에 가상 공간 및 실제 공간의 LED 조명을 제어하는 복잡한 상황에서도 안정적인 데이터 전송과 처리를 보장하고 있다. [그림 1]은 다중 사용자가 경험이 가능한 유니티 프로그램 코드이다.

```
namespace UnityEngine.XR.Content.Interaction
{
    /// <summary>
    /// This class is responsible for creating the perler sockets grid and turning on/off the machine.
    /// </summary>
    public class PerlerMachineController : MonoBehaviour
    {
        static readonly string k_EmissionKeyword = "_EMISSION";
        [SerializeField]
        [Tooltip("The emissive materials that will change state whenever the machine is turned on/off")]
        Material[] m_EmissiveMaterials;
        bool m_MachineActive;
        void Awake()
        {
```

```
        DisableEmissiveMaterials();
    }
#if UNITY_EDITOR
    void OnDestroy()
    {
        EnableEmissiveMaterials();
    }
#endif
void DisableEmissiveMaterials()
{
    foreach (var material in m_EmissiveMaterials)
        material.DisableKeyword(k_EmissionKeyword);
}
void EnableEmissiveMaterials()
{
    foreach (var material in m_EmissiveMaterials)
        material.EnableKeyword(k_EmissionKeyword);
}
/// <summary>
/// Call this method to activate or deactivate the machine. This will also turn on/off its lights.
/// Used by the BatterySlot GameObject socket.
/// </summary>
/// <param name="active">Value of <see langword="true"/> to activate the machine; <see
langword="false"/> otherwise.</param>
public void SetMachineActive(bool active)
{
    // It's the same state?
    if (active == m_MachineActive)
        return;
    // Change the machine light state
    m_MachineActive = active;
    if (m_MachineActive) {
        EnableEmissiveMaterials();
        // LED on 요청
        UnityWebRequest request = UnityWebRequest.Get("http://192.168.45.23/H|1|2|255|255|0");
        request.SendWebRequest();
    }
    else {
        DisableEmissiveMaterials();
        // LED Off 요청
        UnityWebRequest request = UnityWebRequest.Get("http://192.168.45.23/H|0|2|0|0|0");
        request.SendWebRequest();
    }
}
}
```

[그림 1] 다중 사용자 기반 VR-LED 제어 유니티 프로그램 소스

[Fig. 1] Multi-user Based VR-LED Control Unity Program Source

본 시스템 개발은 사용자가 손을 이용하여 직관적으로 조작할 수 있는 입력 인터페이스를 중심으로 개발된다. HMD 컨트롤러는 버튼을 통해 LED 제어 메뉴의 선택하게 되며 사용자의 손동작에 기반하여 가상현실 공간 내에서의 조명 제어를 가능하게 한다. 가상현실 공간에서의 LED 제어는 물리적 스위치에 의한 직접적인 피드백이 부재하여 사용자의 편의성 측면에서 부족함이 있다. 이는 사용자가 가상환경 내에서 선택 영역을 지정할 때 진동을 주어 사용자에게 실재감을 높이는 멀티 감각 피드백을 구현한다. 실시간 데이터 전송 및 제어를 가능하게 하는 웹서버의 구축으로 알고리즘의 최적화 및 다중 사용자 환경을 지원하기 위한 서버 구성이 필수적이다. 연속적인 데이터 전송을 통해 가상현실 콘텐츠와의 동기화를 구성하며 다수의 LED를 사용하는 설치물에 대한 실시간 데이터의 누락을 방지하기 위해 가상현실 공간에서의 좌표 값을 LED 제어에 필요한 알고리즘으로 확장하고 최적화한다. 아두이노 기반의 VR-LED 알고리즘은 이러한 요구사항을 충족시키는데 중추적인 역할을 한다. [그림 2]는 아두이노에 적용된 VR-LED 알고리즘 코드이다. 이 알고리즘은 가상현실 공간 내에서 다중 사용자가 동시에 LED 조명을 제어하는 복잡한 상황에서도 정확한 조명 제어를 보장하는 기술적 기반을 마련하고 있다.

```
#include <ArduinoJson.h>
#include "WiFiEsp.h" //WiFi 모듈 라이브러리를 불러옵니다.
#include <SoftwareSerial.h> // 시리얼 통신 라이브러리를 불러옵니다.
#include <Adafruit_NeoPixel.h> // 네오픽셀 라이브러리를 불러옵니다.
// 시리얼 통신 입출력 핀 번호
#define rxPin 3
#define txPin 2
SoftwareSerial esp01(txPin, rxPin); // SoftwareSerial NAME(TX, RX);
const char ssid[] = "WIFI_NAME"; // WiFi 이름
const char pass[] = "WIFI_PASS"; // WiFi 패스워드
int status = WL_IDLE_STATUS; // WiFi 상태 확인 변수
// 웹서버 변수 할당 및 포트 설정
WiFiEspServer server(80);
#define PIN 6 // 네오픽셀 출력 핀 번호
#define NUM_OF_ROW 5 // 네오픽셀 갯수 설정
#define NUM_OF_COLUMN 5 // 네오픽셀 갯수 설정
// 네오픽셀 strip 변수 생성
Adafruit_NeoPixel strip = Adafruit_NeoPixel(NUM_OF_ROW * NUM_OF_COLUMN, PIN, NEO_GRB +
NEO_KHZ800);
// 온오프 설정 (0 : off, 1 : on)
int OnOff = 0
// 위치
int pos = 0
int colorR = 255;
int colorG = 255;
int colorB = 255;
// 색상코드
```

```
int colorRs[NUM_OF_COLUMN][NUM_OF_ROW];
int colorGs[NUM_OF_COLUMN][NUM_OF_ROW];
int colorBs[NUM_OF_COLUMN][NUM_OF_ROW];
// 네오픽셀 정보
int values[NUM_OF_COLUMN][NUM_OF_ROW];
// 명령어 정보
const char HOME_TAG = 'H'; // HOME
char command = HOME_TAG;
// 초기화
void setup() {
  Serial.begin(9600); // 시리얼 통신 속도 설정
  esp01.begin(9600); //와이파이 통신 속도 설정
  WiFi.init(&esp01); // esp 모듈 초기화
  while ( status != WL_CONNECTED) { // 약 10초동안 wifi 연결 시도
    Serial.print(F("Attempting to connect to WPA SSID: "));
    Serial.println(ssid);
    status = WiFi.begin(ssid, pass); // WIFI 연결 시도
    IPAddress ip = WiFi.localIP(); // IP 확인
    Serial.print("IP Address: ");
    Serial.println(ip);
    // 네오픽셀 초기화
    strip.begin();
    for(int i=0; i< NUM_OF_COLUMN; i++){
      for(int j=0; j<NUM_OF_ROW; j++){
        values[i][j] = 0;
        colorRs[i][j] = colorR;
        colorGs[i][j] = colorG;
        colorBs[i][j] = colorB;
      }
    }
  }
}
// 웹서버 가동
server.begin();
}void loop() {
  WiFiEspClient client = server.available();
  if (client) { // 서버 가동 여부 확인
    while (client.connected()) { // 클라이언트 연결 확인
      if (client.available()) { // 클라이언트 통신 가능 여부 확인
        // 명령어 추출
        // 명령어[On/Off][R|G|B)
        String income_AP = client.readStringUntil("\n");
        int first = income_AP.indexOf("|"); // 첫 번째 | 위치
        int second = income_AP.indexOf("|",first+1); // 두 번째 | 위치
        int third = income_AP.indexOf("|",second+1); // 세 번째 | 위치
        int fourth = income_AP.indexOf("|",third+1); // 네 번째 | 위치
        int fifth = income_AP.indexOf("|",fourth+1); // 다섯 번째 | 위치
        int length = income_AP.length(); // 문자열 길이
        String str1 = income_AP.substring(0, first);
        String str2 = income_AP.substring(first+1, second);
```

```

String str3 = income_AP.substring(second+1, third);
String str4 = income_AP.substring(third+1, fourth);
String str5 = income_AP.substring(fourth+1,fifth);
String str6 = income_AP.substring(fifth+1,length);
// 명령어 저장
command = str1.charAt(0);
if (command == HOME_TAG) {
    // on & off 값
    OnOff = str2.toInt();
    // 위치 정보
    pos = str3.toInt();

    // 색상 대입
    colorR = str4.toInt();
    colorG = str5.toInt();
    colorB = str6.toInt();
    // 네오픽셀 실행
    showPixel();
    client.flush();
    client.println(F("HTTP/1.1 200 OK")); // HTTP 프로토콜 헤더
    client.println(F("Content-type:text/html"));
    client.println(F("Connection: close"));
} else {
    client.flush();
    client.println(F("HTTP/1.1 200 OK")); // HTTP 프로토콜 헤더
    client.println(F("Content-type:text/json"));
    client.println(F("Connection: close"));
    client.println();
    StaticJsonBuffer<200> jsonBuffer;
    JsonObject& root = jsonBuffer.createObject();
    JsonArray& data = root.createNestedArray("items");
    for(int i=0; i< NUM_OF_COLUMN; i++){
        for(int j=0; j<NUM_OF_ROW; j++){
            JsonObject& item = data.createNestedObject();
            item["value"] = values[i][j]
            item["colorR"] = colorRs[i][j]
            item["colorG"] = colorGs[i][j]
            item["colorB"] = colorBs[i][j]
        }
    }
    String parsedJsonToString;
    // json을 String으로 변환
    serializeJson(json, parsedJsonToString);
    client.println(parsedJsonToString);
}
delay(1);
break;
}
}

```

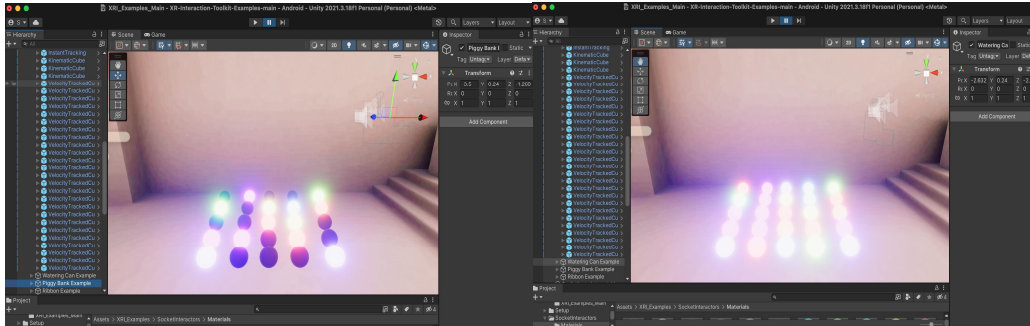
```
client.stop();
Serial.println(F("Client disconnected"));
}
} // 네오픽셀 제어
void showPixel() {
// 위치 & 색상 세팅
for(int i=0; i< NUM_OF_COLUMN; i++){
for(int j=0; j<NUM_OF_ROW; j++){
int idx = i * NUM_OF_ROW + j;
if idx == pos {
values[i][j] = OnOff;
colorRs[i][j] = colorR;
colorGs[i][j] = colorG;
colorBs[i][j] = colorB;
}
}
}
// 네오픽셀 On & Off
for(int i=0; i< NUM_OF_COLUMN; i++) {
for(int j=0; j<NUM_OF_ROW; j++) {
int idx = i * NUM_OF_ROW + j;
if(values[i][j] == 0){
strip.setPixelColor(idx, 0, 0, 0);
} else {
strip.setPixelColor(idx, colorRs[i][j], colorGs[i][j], colorBs[i][j]);
}
}
}
}
delay(50);
strip.show();
}
```

[그림 2] 다중 사용자 기반 VR-LED 제어 아두이노 프로그램 소스

[Fig. 2] Fig. Multi-user Based VR-LED Control Arduino Program Source

본 연구에서는 네오픽셀 LED를 사용하여 통합 및 개별 제어를 가능하게 하는 시스템을 설계한다. 다양한 형태의 설치물을 구성하기 위해 사용되는 네오픽셀과 웹서버 구축과 통신 기능을 제공하는 esp8266-wifi 펌웨어가 있다 [8][9]. 개발 과정에서 해당 펌웨어를 설치하고 이를 활용하여 LED 조명을 효과적으로 제어하는 코드가 선행 연구되었다. HMD 컨트롤러는 주로 블루투스를 이용한 제어 기능을 활용하고 시스템에서 확장성과 사용자의 편의성을 고려하여 웹서버 연결 역시 wifi를 통해 이루어진다. 다중 사용자 환경에서의 VR-LED 제어는 [그림 3]에 제시된 결과물을 통해 확인할 수 있다. 이는 HMD 컨트롤러를 활용하여 다수의 사용자가 동시에 VR 공간 내에서 LED를 제어하는 상황을 시연한다. 본 시스템에서는 컨트롤러의 블루투스 모듈을 활용한 데이터 송수신을 통해 사용자가 가상현실 공간에서 LED의 색온도를 설정하고 특정 LED를 선택할 수 있

는 기능을 제공한다. 이러한 시스템은 콘텐츠를 체험하거나 2인 이상의 사용자가 동시에 제어하는 등의 활동을 지원하여 다중 사용자 환경에서의 상호작용과 참여를 촉진한다. 가상현실 기술과 실제 LED 조명 시스템의 응용으로 사용자에게 보다 풍부하고 동적인 인터랙션 경험을 제공한다.



[그림 3] 다중 사용자 기반 VR-LED 제어 결과물
 [Fig. 3] Multi-user based VR-LED control outcomes

4. 결론

본 논문에서는 HMD 기반 컨트롤러를 활용하여 사용자의 움직임 및 시선 추적과 함께 주어진 데이터를 분석하여 실제 공간의 네오피셀 LED를 제어하는 시스템의 설계 및 구현에 대해 제안하고 있다. 본 시스템은 사용자가 HMD를 통해 LED 설치물에 원하는 정보를 송신할 수 있도록 하며 이를 위해 HMD에 블루투스로 연동되는 컨트롤러와 별도로 구축된 웹서버를 통해 LED 조명을 제어하는 구조를 갖추고 있다. 웹서버를 기반으로 한 컨트롤러 사용은 실시간 데이터 송수신을 통해 HMD와 LED 제어를 동시에 가능하게 한다. 그리고 다중 사용자가 동시에 가상 공간과 실제 공간을 제어할 때 데이터 전송의 안정성을 높이는 데 기여하고 있다. 컨트롤러를 통해 기존의 매체에 추가 기능을 부여하여 다양한 실험 및 확장 가능성을 제공하고 있다. 사용자의 편의성에 중점을 둔 범용적인 컨트롤러 설계는 실제 공간과의 일관된 몰입감을 제공하는 데 있어서 일정한 어려움이 있음을 인식하고 있다. 특히 실제 공간의 경험이 가상 공간의 인터페이스 디자인과 연계되지 않는 경우는 몰입감이 저하되고 손을 사용하는 인터랙션의 현존감이 낮아질 수 있다는 문제를 지적한다. 본 연구에서 제안하는 시스템은 가상현실 콘텐츠의 몰입감을 높이고 현실 공간과의 연계성을 강화하기 위해 컨트롤러의 사용 범위를 확장하고 다양한 센싱 기술을 적용할 필요성을 제시한다. 이는 데이터 인식률의 정확성을 높이고 사용자의 체감을 증진시키는 방향으로 컨트롤러 기술의 발전을 도모한다. 본 논문에서 제안된 다중 사용자를 위한 VR-LED 제어 시스템은 가상현실 콘텐츠의 확장성 및 현실 공간과의 연계성을 높이는 데 중요한 역할을 한다. 향후 가상현실 콘텐

츠의 발전을 위해서는 컨트롤러의 다양한 연계 및 확장이 사용자에게 높은 몰입감을 전달하는 데 있어 핵심적인 가치를 지닐 것으로 기대한다. 이러한 접근 방식은 다중 사용자가 참여하는 VR-LED 제어 시스템의 설계와 구현에 있어서 혁신적인 방향을 제시하며 사용자 경험의 질적 향상을 모색하고자 한다.

References

- [1] J. H. Lee, "A Study on the LED Works Using Puzzle Rules : Based on My Works", *Journal of Korean Society of Media & Arts*, vol. 15, no. 1, February 2017, pp. 49-60, doi: 10.14728/KCP.2017.15.01.049.
- [2] D. J. Kim, S. H. Lee, "Ink-and-wash product creating research using LED backlit system", *Journal of Digital Art Engineering & Multimedia*, vol. 5, no. 1, June 2018, pp. 55-64, doi: 10.29056/jdaem.2018.06.05.
- [3] S. K. Kim, D. G. Woo, Y. K. Park, S. I. Im, K. Timur, K. H. Ku, J. S. Cha, "A HMD VR data transmission solution by using strip LED attached Window Signage", *International Journal of Internet, Broadcasting and Communication*, vol. 12, no. 4, November 2020, pp. 11-17, doi: 10.7236/IJIBC.2020.12.4.11.
- [4] D. J. Kim, "A Study on Building an LED Control Web Server using an HMD-based Controller", *Journal of Digital Art Engineering & Multimedia*, vol. 10, no. 1, March 2023, pp. 107-115, doi: 10.29056/jdaem.2023.03.10.
- [5] S. M. Hwang, J. Y. Han, "A Case Study on Spatial Audio Interaction of VR Contents", *Journal of the Korea Institute of the Spatial Design*, vol. 15, no. 8, December 2020, pp. 429-439, doi: 10.35216/kisd.2020.15.8.429.
- [6] J. H. Jeong, J. G. Lee, D. Kim, H. G. Choi, D. H. Lee, "Real-time Environmental Virtualization Method for Telemanipulation of Dynamic Objects Using VR Interface", *Journal of Korean Society for Precision Engineering*, vol. 41, no. 5, May 2024, pp. 333-339, doi: 10.7736/JKSPE.024.038.
- [7] J. S. Lee, H. S. Lee, W. J. Choi, "Interactive Interface Design Through VR Hand Tracking", *The Journal of the Korea institute of electronic communication sciences*, vol. 18, no. 1, February 2023, pp. 213-218, doi: 10.22251/jlcci.2020.20.11.1.
- [8] Adafruit, "Adafruit NeoPixel", [learn.adafruit.com, https://learn.adafruit.com/adafruit-neopixel-uberguide](https://learn.adafruit.com/adafruit-neopixel-uberguide), (accessed March 22, 2024).
- [9] D. S. Lee, J. S. Lim, "Design of Compact Data Integration and Convergence Device Using Esp8266 Module", *Journal of the Korea Convergence Society*, vol. 8, no. 2, February 2017, pp. 15-20, doi: 10.15207/JKCS.2017.8.2.015.