

## Implementation of Educational Brain Motion Controller for Machine Learning Applications

Myeong-Chul Park\*, Duk-Kyu Choi\*, Tae-Sun Kim\*

\*Professor, Dept. of Avionics Engineering, Kyungwoon University, Gumi, Korea

\*Professor, Dept. of Avionics Engineering, Kyungwoon University, Gumi, Korea

\*Professor, Dept. of Avionics Engineering, Kyungwoon University, Gumi, Korea

### [Abstract]

Recently, with the high interest of machine learning, the need for educational controllers to interface with physical devices has increased. However, existing controllers are limited in terms of high cost and area of utilization for educational purposes. In this paper, motion control controllers using brain waves are proposed for the purpose of students' machine learning applications. The brain motion that occurs when imagining a specific action is measured and sampled, then the sample values were learned through Tensor Flow and the motion was recognized in contents such as games. Movement variation for motion recognition consists of directionality and jump motion. The identification of the recognition behavior is sent to a game produced by an Unreal Engine to operate the character in the game. In addition to brain waves, the implemented controller can be used in various fields depending on the input signal and can be used for educational purposes such as machine learning applications.

▶ **Key words:** Machine Learning, Brainwave, Tensor Flow, Brain Computer Interface

### [요 약]

최근 머신러닝의 높은 관심과 더불어 물리적 장치에 연동하기 위한 교육용 컨트롤러의 필요성이 증대되고 있다. 하지만 기존 컨트롤러는 교육용으로서의 고비용과 활용 영역면에서 제한적이다. 본 논문에서는 학생들의 머신 러닝 학습을 목적으로 뇌파를 이용한 동작 제어 컨트롤러를 제안한다. 특정 행위를 상상할 때 발생하는 뇌의 동작 상상 뇌파를 측정하여 표본화 한 후, Tensor Flow를 통하여 표본값을 학습시키고 게임 등의 콘텐츠에서 동작을 인식할 수 있도록 설계하였다. 동작 인식을 위한 움직임 변이는 상하좌우의 방향성과 점프 동작으로 구성된다. 인식 동작의 식별 정보를 언리얼 엔진으로 제작한 게임에 전송하여 게임 속 캐릭터를 동작시키는 절차로 이루어진다. 구현된 컨트롤러는 뇌파 외에도 입력 신호에 따라 다양한 분야에 활용될 수 있으며 머신러닝 학습 등의 교육적 용도로 사용될 수 있을 것이다.

▶ **주제어:** 머신러닝, 뇌파, 텐스 플로우, BCI

- 
- First Author: Myeong-Chul Park, Corresponding Author: Tae-Sun Kim
  - \*Myeong-Chul Park (africa@ikw.ac.kr), Dept. of Avionics Engineering, Kyungwoon University
  - \*Duk-Kyu Choi (dkchoi@ikw.ac.kr), Dept. of Avionics Engineering, Kyungwoon University
  - \*Tae-Sun Kim (tskim@ikw.ac.kr), Dept. of Avionics Engineering, Kyungwoon University
  - Received: 2020. 07. 28, Revised: 2020. 08. 19, Accepted: 2020. 08. 24.

## I. Introduction

최근 인공지능과 빅데이터 분야의 활성화와 BCI, 머신러닝 등 인간과 기계간의 인터페이스 기술 및 다양한 알고리즘의 발전으로 대학의 관련 학과 내에서도 교육과정 적용과 관련된 다양한 접근 방법이 연구되고 있다. 특히 4차 산업혁명의 핵심기술과 지능화라는 산업적 패러다임의 형성은 컴퓨터 및 전자 학문분야에서 교육적 의미성은 강화되고 있는 추세이다. 하지만, 일반적으로 머신러닝을 위한 소프트웨어 교과와 인터페이스 설계를 위한 하드웨어 교과가 단위교과로 분리 운영되고 있고 대부분의 상업적 테크스트베드는 정해진 시나리오에 의한 수동적인 교육환경을 가진다는 제한점이 있는 것이 현실이다. 이에 소프트웨어와 하드웨어를 통합한 실습환경과 학생들의 다양한 요구사항에 적용될 수 있으며 각자의 프로토타입을 쉽게 적용 및 변경할 수 있는 하드웨어 인터페이스가 요구된다. 본 논문에서는 뇌파 신호를 바탕으로 머신러닝 학습을 통하여 해당 신호의 동작을 식별하고 식별된 정보를 저가의 MCU로 구성된 컨트롤러에 전달하여 게임 등의 각종 콘텐츠에 이용될 수 있는 뇌파 동작 컨트롤러를 제안한다. 먼저, 뇌파입력장치로 부터 입력된 신호를 텐스플로(TensorFlow)를 이용한 학습으로 표면 데이터의 특성을 식별하기 위한 정보를 축적한다. 축적된 학습정보를 바탕으로 뇌파의 변화에 따른 상하좌우 및 점프의 5가지 유형의 동작을 인식하고 인식된 동작 정보에 따라 언리얼 엔진으로 제작된 게임에 방향을 전달하여 해당 캐릭터의 움직임을 제어하는 방식으로 구성된다. 본 연구의 결과물은 특정 입력 신호의 머신러닝을 통한 학습의 결과를 BCI 을 통하여 다양한 콘텐츠를 제어할 수 있는 학습용 도구로 활용될 수 있을 것이다. 또한, 뇌파 외에도 다양한 인체 정보를 입력으로 변경가능하고 적용되는 콘텐츠도 다양할 할 수 있는 확장성을 가지므로 저가형 실습환경으로 적용될 수 있을 것으로 사료된다. 논문의 구성은 2장에서 뇌파와 머신러닝과 관련된 기존 연구와 배경기술에 대해 살펴보고 3장에서 모션 인터페이스 설계와 구성요소에 대해 기술한다. 4장에서 구현 및 검증 결과를 소개하고 5장에서 연구의 제한점과 향후 연구에 대해 기술한다.

## II. Background

### 1. EEG based Machine Learning

뇌파(EEG)는 뇌신경 상의 신호가 전달될 때 발생하는 전기의 흐름을 두피에서 측정된 뇌의 전기적 활동정보를

의미한다. EEG는 뇌 신경세포 내부의 이온전류 흐름에 의해 발생하는 전압의 변화를 기록한 것으로 상호 작용하는 뉴런에 의해 생성되는 신경 진동을 나타낸다. 주로 주파수 영역에서 감지되며 신호 강도는  $\mu V$ 로 측정되고 신호 주파수는 1~100Hz이다. 주파수에 따라 5가지로 분류되는 특정 대역들이 존재한다[1].

Table 1. Frequency of EEG

Wave	Hz	State
$\delta$ -wave	0.1~4	Deep Sleep or Coma
$\theta$ -wave	4~8	Shallow Sleep, Meditation
$\alpha$ -wave	8~13	Relax(Large-scale neurons agree)
$\beta$ -wave	13~30	Wakefulness(symmetrical hemispheres)
$\gamma$ -wave	30~50	Excite or Dream

특히, 알파 파형이 깨어있는 휴식동안 눈이 깜박일 때 마다 진폭이 변화는 특징이 있어 동작제어를 위해 많이 이용되고 있다[2]. 뇌의 활동을 반영한 사용자 인터페이스(Brain-Computer Interface)에서 사용되는 주요 수단이다. 이 신호는 시간, 주파수, 공간의 세 가지 특징을 가지며 어떤 자극이나 작업을 하는 동안의 시간적 특징과 뇌 신호가 활성화되는 영역 분석을 통한 특징이 있다. 그리고 주파수 영역별로 특징에 대한 내용으로 신호를 분석하게 된다. 뇌파의 신호는 크게 4가지 종류로 구분될 수 있다. Resting EEG는 가만히 있는 상태에서의 신호를 의미하며 주로 눈 깜박임 상태의 뇌파 측정 시에 이용한다[3]. Mental-Task Imagery는 상상하는 상황에서 나타나는 뇌파 신호로 주로 동작이나 말을 상상할 때 사용된다[4]. Steady-state Evoked Potential은 시각이나 청각, 촉각이 주기적으로 반복되는 자극으로 나타나는 반응으로 주파수 축에서 분석하는 것이 일반적이다[5]. Event Related Potential은 시각, 청각, 촉각 등의 외부 자극이 주어졌을 때 반응하는 형태로 P300이라는 특징을 사용한 연구가 많이 진행 중이다[6]. 본 논문에서는 EEG 신호의 상상 동작인식을 위한 훈련데이터셋을 구성하고 텐스플로우를 통하여 학습시키는 모델을 이용하며 자세한 내용은 3절에서 설명한다.

### 2. EEG based BCI

BCI(Brain-Computer Interface)는 뇌와 특정 응용시스템간의 통신이 가능하게 하는 시스템을 의미한다. 일반적인 BCI는 Fig. 1과 같이 뇌 신호를 기록하고 해석하여 결과를 연결된 응용시스템이나 연결 콘텐츠에게 상응하는

명령어를 전달하는 역할을 한다. 근래에는 교육, 게임, 산업과 관련된 애플리케이션뿐 아니라 건강, 진단, 재활 등의 의료 애플리케이션에서도 이용되고 있다[7-9].

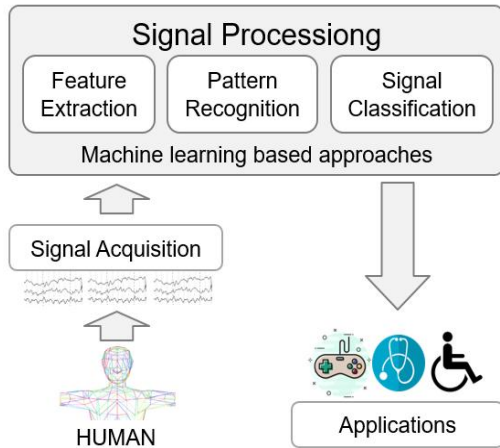


Fig. 1. Schematic of BCI Components

일반적인 BCI 형태는 인터페이스 설정 방법에 따라 침습식(Invasive)과 비침습식(Non-invasive)으로 구분된다. 침습식은 뇌의 두피 내부에 이식된 전극을 이용하는 방법으로 신경외과 수술이 필요한 반면, 비침습식은 두피에 전극을 위치시키므로 사용 용이성과 안전성이 높은 장점이 있다. 기능성 자기공명영상(fMRI), 자기뇌파촬영(MEG) 등의 방법은 비용이 많이 들고 고가의 장비가 요구되지만 EEG 기반의 BCI는 상대적인 공간 분해능은 낮지만 시간 분해능이 높고 비용이 저렴하고 다각적으로 연구되는 방법이다 [10]. 또한 입력되는 특성에 따라 외부 자극으로 인해 발생하는 뇌 활동 분석을 위한 Exogenous BCI와 외부 자극 없이 뇌의 자율 조절에 의한 Endogenous BCI로 구분된다. Endogenous BCI는 낮은 데이터 전송률을 가지는 단점이 있지만 다양한 신경 질환을 가지는 사용자가 자유롭게 자기 통제를 통해 작동할 수 있다는 장점도 가진다[11].

### III. Design

#### 1. Circuit of Motion Controller

제안하는 모션 컨트롤러의 회로도는 Fig. 2와 같다. 크게 메인부와 입력부, 통신부, 표시부로 구성되며 MCU에 해당하는 메인부는 Arduino MEGA 2560을 이용하여 설계되어 있다. Software Serial 통신을 위해 디지털 핀을 사용하며 블루투스 모듈을 통해 뇌파 데이터를 전송받아 식별 후 언리얼 엔진으로 결과를 전송하는 역할을 담당한다.

다. 입력부는 Brain Wave Unit으로 구성되며 뉴로하모니아의 뉴로피드백브레인 모듈을 사용한다. 회로도의 연결소는 학습을 위한 상태이고 학습이 종료되면 해당 모듈은 MCU Unit의 블루투스 모듈과 통신하여 사용자의 뇌파를 입력받게 된다. 통신부에 해당하는 Communication Unit은 와이 파이 모듈과 블루투스 모듈로 구성되며 와이 파이 모듈은 서버에서 머신러닝으로 학습된 뇌파의 측정값을 가져오는 역할을 담당한다. 블루투스 모듈은 스마트폰에서 보내지는 뇌파 값들을 수신하는 역할을 담당한다. 표시부는 회로도의 상단에 연결된 PC 영역으로 언리얼 엔진으로 제작된 테스트 게임에 해당한다. MCU에서 보내지는 신호를 COM포트를 통해 게임에 전달하게 된다. 전송되는 신호의 종류는 상하좌우 및 점프 정보이다. 추가적으로 회로도의 하단 영역에 조이스틱을 연결하여 초기 방향 설정과 더불어 입력 신호에 대한 맵핑 작업을 실시하기 위한 Test Unit을 둔다. 제안하는 모션 컨트롤러에 사용되는 구성요소는 Table 2와 같다.

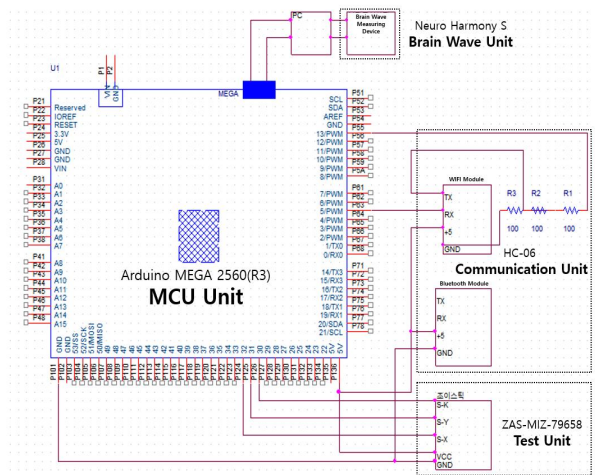


Fig. 2. Circuit of Motion Controller

MCU는 7~12V의 입력 전압을 사용하여 USB 호스팅 및 디지털 핀을 이용한 소프트웨어 시리얼 통신이 가능한 특징을 가지며 Neuro Harmony S는 뇌파 측정의 정확도가 우수하고 자체 분석 소프트웨어를 통하여 데이터 수집이 용이한 장점으로 적용되었다.

Table 2. Specification of Controller

Item	Specifications
MCU	Arduino 2560(R3)
Brain Wave Unit	Neuro Harmony S
Comm. Module	HC-06
Test Unit	ZAS-MIZ-79658

## 2. Signal Processing

EEG 신호의 수집과 처리 절차는 Fig. 1에서 언급한 절차에 의해 처리되면 주요 단계는 다음과 같다.

### 2.1 Signal Acquisition

EEG 신호의 수집은 뉴로하모니S 장비를 이용한다. 2개의 입력 채널을 가지고 있으며 512Hz에서 데이터를 샘플링 한다. 컷볼 전극(집게)이 왼쪽에 오도록 헤드밴드를 잡고 가운데 전극이 이마의 한가운데 오도록 착용한다. 컷볼 전극은 왼쪽 컷볼에 부착한다. 모니터링을 위한 뇌신호는 알파파와 베타파를 추출하기 위해 필터를 적용하게 된다.

### 2.2 Preprocessing & Feature Extraction

먼저, Power line 노이즈를 제거하기 위해 30의 품질계수(Quality factor)가진 50Hz 주파수 범위에서 Notch Filter를 적용한다. 그리고 BPF(Band Pass Filter)를 8Hz~30Hz로 설정하고 입력 신호의 나머지 대역은 노이즈로 제거한다. 필터링 후에는 신호를 정규화( $X_i(t)$ )하는데 각 측정 세션  $i$  에 대해, 신호의 평균( $\mu(x_i)$ )를 모든 시간 간격으로 측정 샘플 값( $\mu(x_i)$ )에서 빼서 표준편차( $\sigma(x_i)$ )로 나누어 저장된다.

$$X_i(t) = \frac{x_i(t) - \mu(x_i)}{\sigma(x_i)} \quad (1)$$

측정 대상자가 눈을 뜨면 알파차단현상 의해 진폭이 급격히 줄어들기 때문에 베타파를 혼합하여 수집한다. 그리고 측정되는 신호는 게임 캐릭터의 방향성과 더불어 움직임의 속도를 제어하기 위하여 다르게 움직이고자 할 때는 눈의 깜박임 속도를 빠르게 동작시키게 설계하였다. 속도의 감도는 4가지로 설정하였으며 눈을 감으면 1, 눈을 뜨면 0로 지정하여 2초 동안의 깜박임 회수로 8비트의 비트 스트림을 생성한다.

Table 3. Speed Level for Binary Sequence

Speed Level	Binary Sequence
Level. 1	0 0 0 0 0 0 0 0
Level. 2	1 0 0 0 0 0 0 0
Level. 3	0 0 0 1 0 0 0 1
Level. 4	0 1 0 1 0 1 0 1

### 2.3 Pattern Recognition & Classification

EEG 신호를 통한 방향 제어는 신호의 패턴에 따른 방향을 식별하기 위해 신호의 채널과 구간을 선택하고 노이즈를 줄여 올바른 결과를 얻어야 한다. 본 연구에서 앞서 언급한

바와 같이 집중력에 연관된 알파파와 베타파를 대상으로 각 신호의 학습 레코드 셋을 기준으로 대푯값을 추출한다. 대푯값을 평균, 분산, 표준편차로 지정하였다. 이는 연구의 본연적 목적인 모션 컨트롤러의 동작을 실험하기 위한 최소한의 기준으로 향후 다양한 패턴인식과 관련된 알고리즘을 적용하여 학생들의 학습도를 증진시키고자 한다. 분류를 위한 기계학습은 MLP(Multilayer Preceptron) 신경망을 구조이대[12]. 이는 EEG 신호를 분류하는 기존 연구를 적용한 것이다[13]. 입력층을 위한 특징 값은 두 개의 채널의 EEG 데이터와 목표 레벨이 되고 100개의 뉴런을 가지는 두개의 은닉층으로 구성되어 있다. 은닉층의 활성화 함수(Activation Function)는 ReLu로 식 2와 같다. 음수에 대해서는 0으로 양수는 입력값을 그대로 유지한다.

$$ReLU(x) = \max(0, x) \quad (2)$$

출력층의 시그모이드 함수(Sigmoid Function)는 식 3과 같으며 출력은 상하좌우 및 점프의 5개로 구성된다.

$$S(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (3)$$

학습 훈련 중의 예측되는 손실함수(loss Function)는 이진 분류 문제에 많이 사용되는 Binary Cross-Entropy[14]로 식 4와 같이 정의된다.

$$BCE = -\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N y_n \cdot \log(S(x_n)) + (1 - y'_n) \cdot \log(1 - S(x_n)) \quad (4)$$

여기서, N은 훈련 샘플 수이며  $y_n$ 은 목표 출력,  $y'_n$ 은 예측되는 출력을 의미한다. 훈련 데이터 셋으로 얻은 가중치와 바이어스 값을 기반으로 평가용 데이터 셋을 이용하여 예측값을 생성한다. 본 절차의 필터 설계와 구현은 SciPy Python 라이브러리[15]이용하였으며 기계학습을 위한 모델은 Keras API[16]와 TensorFlow[17] 기반의 EEG-DL 라이브러리[18]을 사용하여 학습하였다.

## IV. Implementation

### 1. Flow Chart of Tensorflow

EEG 데이터를 처리하기 위한 텐스플로우의 흐름도는 Fig. 3과 같다. EEG 데이터 셋을 확인하고 학습 횟수를 설정한다, 이후 방향 데이터 값으로 편집해 놓은 EEG 훈련 데이터 셋을 순차적으로 입력 받아 입력된 EEG 데이터가 어떤 방향인지를 확인하여 학습한다.

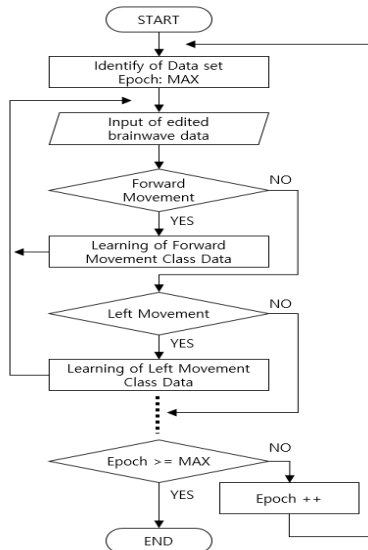


Fig. 3. Flow Chart of Tensorflow

2. Flow Chart of Motion Controller

컨트롤러 동작을 위한 아두이노 기반의 처리 흐름도는 Fig. 4와 같다. 컨트롤러는 동작이 시작되면 시스템과 장치연결 및 연동을 확인하며 포트와 변수값등을 초기화 한다. 뇌파 측정 장치로 부터 입력된 신호값에 대하여 학습시켜 둔 데이터 셋의 기준값과 비교하여 어떤 동작의 신호인지를 판단하고 게임 캐릭터 이동을 위하여 동작 신호 스트림을 전송한다. 게임제작은 별도의 하드코딩없이 블록 코딩으로 가능한 언리얼엔진 기반의 블루프린트로 가능성을 제시한다.

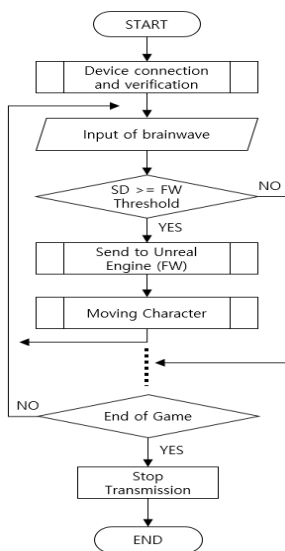


Fig. 4. Floe Chart of Controller

3. Implementation of Motion Controller

뇌파 측정 장치의 측정값을 스마트폰으로 전송하고 블

루투스를 통해 컨트롤러에 전송된다. 이는 컨트롤러의 기능을 단순화하고 향후 다양한 입력신호를 전송 받기 위한 구조이다. 또한 측정 장치의 밴드마다 송신 프로토콜이 상이하기 때문에 컨트롤러의 구현이 복잡해지는 문제를 고려한 것이다. 컨트롤러의 MCU에 해당하는 아두이노에 동작하는 코드는 Fig. 5와 같으며 입력된 신호의 임계값을 각 방향 및 점프 유무와 비교하여 해당 비트 스트링을 시리얼 모니터를 통해 PC로 전송하게 된다.

```

#include <SoftwareSerial.h>
#define FW 1
:
int blueTx=3, blueRx=2;
char *buffer, speed=0;
SoftwareSerial HC06(blueTx, blueRx);
void setup(){
    Serial.begin(9600);
    Serial.setTimeout(5);
    HC06.begin(9600);
    Serial.println("START");
}
void loop(){
    if(HC06.available()){
        buffer = HC06.read();
        HC06.write(Serial.read());
        if(buffer[0] >= DIR_FW) Serial.print(FW);
        if(buffer[0] >= DIR_LEFT) Serial.print(LEFT);
        :
        if(buffer[0] >= JUMP) Serial.print(JUMP);
        speed = HC06.read();
        Serial.print(speed);
    }
    delay(loop);
}
    
```

Fig. 5. Code of Controller(Arduino)

Fig. 6은 실제 구현된 제안 시스템의 동작 모습을 보인 것이다. 컨트롤러의 동작을 확인하기 위한 가상의 리얼엔진 기반의 게임을 작성하여 실제 상상뇌파를 통한 캐릭터의 움직임 정도를 측정한다.

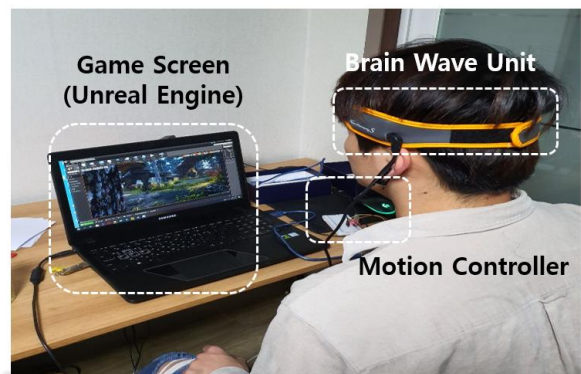


Fig. 6. Educational Motion Controller

Fig. 7의 왼쪽 그림은 뇌파를 컨트롤러에 전달하기 위한 블루투스 연결을 보인 것이다. 학생들의 실습환경의 다변적인 변화를 적용하기 위하여 입력장치의 뇌파를 직접 컨트롤러에 전달하지 않고 스마트폰을 인터페이스로 사용하고 있다. 이는 스마트 앱을 통하여 향후 다양한 사용자 서비스를 제공하기 위한 목적이다. Fig. 7의 중간 그림은 게임의 인트로 화면을 보인 것이고 오른쪽은 왼쪽으로 빠르게 이동(Level 4)하는 동작을 상상하여 시연되는 모습을 보이고 있다.

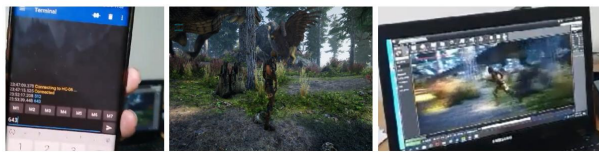


Fig. 7. The connection between the brainwave device and the smartphone (left), the intro of the game (center), and the quick left movement of the character (right)

Fig. 8은 언리얼 엔진을 통한 게임 시나리오 작성을 위한 블루프린트 다이어그램을 보인 것이다.

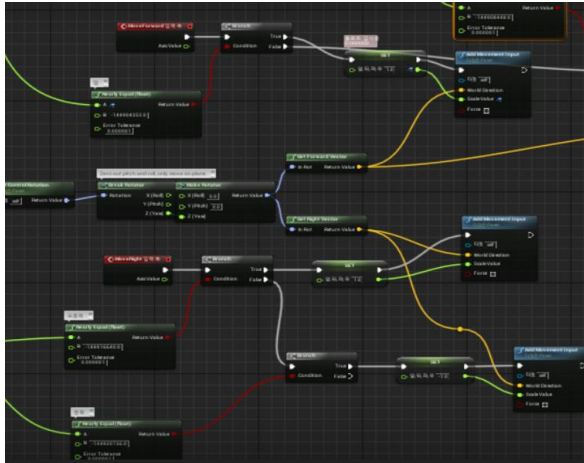


Fig. 8. Unreal Engine Blueprint

### V. Conclusions

본 논문에서는 학생들의 머신러닝 학습에 사용할 수 있는 경제적이고 범용적인 교육용 브레인 모션 컨트롤러를 구현하였다. 동작을 상상하는 뇌파 중 알파파와 베타파를 대상으로 기초적인 패턴을 학습하여 사용자의 상상으로 게임속의 캐릭터를 동작시키는 것이다. 컨트롤러의 동작을 검증하기 위한 테스트 결과, 방향성 테스트에서는 Table 4와 같이 86.42%의 정확도를 보였고 눈 깜박임을 통한 속

도 조절에서는 Table 5와 같이 87.15%의 일치도를 보였다. 방향성에서는 좌우상하의 방향보다는 점프에 대한 정확도가 타 동작에 비해 높음을 확인하였다. 이는 방향보다는 점프가 EEG 패턴의 독립적인 형상에 의한 결과로 분석된다. 학습의 강도를 높이고 컨트롤러에 신호 처리를 위한 독립적인 프로세서를 둔다면 정확도와 일치도는 높일 수 있을 것으로 사료되며 학습용 컨트롤러로 사용하기에는 문제가 없음을 확인하였다.

Table 4. Result of direction experiment

Direction	LEFT	RIGHT	UP	DOWN	JUMP
LEFT	<b>85.2</b>	7.3	3.2	3.1	1.2
RIGHT	6.1	<b>86.1</b>	2.9	3.8	1.1
UP	3.8	3.9	<b>85.4</b>	5.1	1.8
DOWN	2.5	4.3	4.7	<b>87.3</b>	1.2
JUMP	3.2	1.8	3.3	3.6	<b>88.1</b>

Table 5. Result of speed experiment

Speed Level	Lev. 1	Lev. 2	Lev. 3	Lev. 4
Lev. 1	<b>89.8</b>	6.8	2.2	1.2
Lev. 2	5.1	<b>89.2</b>	3.8	1.9
Lev. 3	1.8	4.8	<b>85.3</b>	8.1
Lev. 4	1.5	4.1	10.1	<b>84.3</b>

컨트롤러의 구현 목적은 학생들의 머신러닝이나 딥러닝 기초학습과 더불어 다양한 신호처리를 통하여 현실적인 결과물을 보여줌으로서 학습의 동기부여와 실제성을 독려하기 위함이다. 구현된 컨트롤러는 저가의 아두이노 기반에서 학생들이 자유롭게 설계 및 구현 코드를 응용 분야에 따라 조정할 수 있고 텐스플로우 등의 학습 엔진을 통하여 결과를 가시화하기에 용이하게 설계되었다. 향후, 다양한 응용 분야에 활용될 수 있게 실습 코드를 개발하여 실제 교육과정에 적용할 수 있는 교구로 확장할 예정이다.

### REFERENCES

[1] Subha, D.P.; Joseph, P.K.; Acharya, R.; Lim, C.M. "EEG signal analysis: A survey," J. Med. Syst., Vol. 34, pp. 195-212, April 2010. DOI: 10.1007/s10916-008-9231-z

[2] Korovesis, N.; Kandris, D.; Koulouras, G.; Alexandridis, A. "Robot Motion Control via an EEG-Based Brain-Computer Interface by Using Neural Networks and Alpha Brainwaves," Electronics, Vol.8(12), 1387, Nov. 2019. DOI: 10.3390/electronics8121387.

[3] U. Rajendra Acharya, Shu Lih Oh, Yuki Hagiwara, Jen Hong Tan, Hojjat Adeli, "Deep convolutional neural network for the automated detection and diagnosis of seizure using EEG signals,"

- Computers in Biology and Medicine, Vol. 100(1), pp. 270-278, Sep. 2018. DOI: 10.1016/j.combiomed.2017.09.017
- [4] Tabar YR and Halici U. "A novel deep learning approach for classification of EEG motor imagery signals," *J Neural Eng.* Vol. 14(1):016003, Nov. 2017. DOI: 10.1088/1741-2560/14/1/016003
- [5] Kwak NS, Müller KR, Lee SW, "A convolutional neural network for steady state visual evoked potential classification under ambulatory environment," *PLOS ONE*, Vol. 12(2): e0172578, Feb. 2017. DOI: 10.1371/journal.pone.0172578
- [6] H. Cecotti and A. Graser, "Convolutional Neural Networks for P300 Detection with Application to Brain-Computer Interfaces," in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 33, No. 3, pp. 433-445, March 2011. DOI: 10.1109/TPAMI.2010.125.
- [7] J. Katona and A. Kovari, "A Brain-Computer Interface Project Applied in Computer Engineering," in *IEEE Transactions on Education*, Vol. 59, No. 4, pp. 319-326, Nov. 2016. DOI: 10.1109/TE.2016.2558163.
- [8] Katona, Jozsef and Kovari, Attila, "The evaluation of BCI and PEBL-based attention tests," *Acta Polytechnica Hungarica*, Vol.15, No. 1, June 2018. DOI: 10.12700/APH.15.3.2018.3.13.
- [9] Katona, Jozsef and Kovari, Attila, "Examining the learning efficiency by a brain-computer interface system," *Acta Polytechnica Hungarica* Vol. 15, No. 1, June 2018. DOI: 10.12700/APH.15.3.2018.3.14.
- [10] Sarah N. Abdulkader, Ayman Atia, Mostafa-Sami M. Mostafa, "Brain computer interfacing: Applications and challenges," *Egyptian Informatics Journal*, Vol. 16(2), pp. 213-230, July 2015. DOI: 10.1016/j.eij.2015.06.002.
- [11] Nicolas-Alonso, Luis Fernando, and Jaime Gomez-Gil. "Brain computer interfaces, a review," *Sensors*, Vol. 12(2), pp. 1211-1279, Jan. 2012. DOI: 10.3390/s120201211.
- [12] F. Amato, N. Mazzocca, F. Moscato and E. Vivencio, "Multilayer Perceptron: An Intelligent Model for Classification and Intrusion Detection," *31st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, pp. 686-691, May 2017. DOI: 10.1109/WAINA.2017.134.
- [13] Jana, G.C.; Swetapadma, A.; Pattnaik, P.K. "Enhancing the performance of motor imagery classification to design a robust brain computer interface using feed forward back-propagation neural network," *Ain Shams Eng. J.* Vol. 9(4), pp. 2871-2878, Dec. 2018. DOI: 10.1016/j.asej.2017.12.003.
- [14] De Boer, P., Kroese, D.P., Mannor, S. et al. "A Tutorial on the Cross-Entropy Method," *Ann Oper Res*, Vol. 134, pp. 19-67, Feb. 2005. DOI: 10.1007/s10479-005-5724-z.
- [15] Virtanen, P., Gommers, R., Oliphant, T.E. et al. "SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python," *Nature Methods*, Vol. 17, pp. 261-272, Feb. 2020. DOI: 10.1038/s41592-019-0686-2
- [16] Chollet, F. Keras: The python deep learning library. *Astrophys. Source Code Libr.* 2018. <https://keras.io/k>
- [17] Abadi, M.; Barham, P.; Chen, J. et al. "TensorFlow: A system for large-scale machine learning," In *Proceedings of the 12th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation*, pp.265-283, Nov. 2016.
- [18] EEG Deep Learning Library, <https://github.com/SuperBruceJia/EEG-DL>

## Authors



Myeong-Chul Park received a B.S. degree in Computer Science from Korea National Open University in 1999, a M.S. and Ph.D. degrees in Computer Science from GyeongSang National University in 2002, 2007.

He is currently a Professor in the Department of Avionics Engineering, KyungWoon University. He is interested in Visualization, Simulation, Education of Software, Virtual Reality, and Parallel Programming.



Duk-Kyu Choi received a B.S. degree in Electronic Engineering from Kyungpook National University in 1990, a M.S. and Ph.D. degrees in Electronic Engineering from Kyungpook National University in 1993,

1997. He is currently a Professor in the Department of Avionics Engineering, KyungWoon University. He is interested in Embedded system, Digital video technology, Mobile Telecommunication.



Tae-Sun Kim, he is a professor of department of avionics engineering at Kyungwoon University. He holds a doctorate degree in Electronic Engineering from Yeungnam University. From 1991 to 1995,

he was a researcher in the TV Research Institute at LG Electronics. He is currently a Professor in the Department of Avionics Engineering, KyungWoon University. His research interests include image analysis, image system and signal processing.