

EEG 신호 및 사물인터넷 기반 실내 환경 제어 시스템

Indoor Environment Control System based EEG Signal and Internet of Things

정해성*, 이상민, 권장우

H. S. Jeong, S. M. Lee, J. W. Kwon

요 약

EEG 신호는 신체적으로 불편함을 가지고 있는 사용자에게서도 동일하게 발생하는 신호로써 차세대 인터페이스로 각광받고 있다. 본 논문에서는 사용자의 EEG 신호를 이용하여 감성적인 정보처리와 논리적인 정보처리를 보조하는 실내 환경을 제어하는 사물인터넷 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 EEG 측정 장치, EEG 시뮬레이션 소프트웨어, 실내 환경 제어 장치로 구성된다. 실험 데이터로는 편안한 상태에서 발생하는 감성적인 정보처리에 대한 EEG 신호 데이터와 집중 시에 발생하는 논리적인 정보처리에 대한 EEG 신호 데이터를 사용한다. 측정된 신호에서는 ICA 알고리즘이 적용하여 잡음이 제거되고 베타파만을 추출한다. 이후 SVM을 통한 학습 및 테스트 과정을 거치게 된다. 피험자는 EEG 시뮬레이션 소프트웨어를 통해 EEG 신호 정확도 향상 훈련을 거친 결과 평균 82.69%의 정확도를 보였다. EEG 측정 장치로부터 입력되는 EEG 신호는 Serial 통신을 통해 EEG 시뮬레이션 소프트웨어로 전송되며 감성적인 정보처리와 논리적인 정보처리를 분류하여 제어 명령이 생성된다. 이후 생성된 제어 명령은 Zigbee 통신을 통해 실내 환경 제어 장치로 전달되어 감성적인 정보처리일 경우 은은한 조명과 클래식 음악이 출력되고 논리적인 정보처리일 경우 밝은 조명과 함께 학습용 백색소음이 출력된다. 제안한 시스템은 BCI 기반 소프트웨어 및 디바이스 제어에 응용될 수 있어 몸이 불편한 사용자가 자신의 신체적인 한계를 극복하는 것을 가능하게 한다.

ABSTRACT

EEG signals that are the same as those that have the same disabled people. So, the EEG signals are becoming the next generation. In this paper, we propose an internet of things system that controls the indoor environment using EEG signal. The proposed system consists EEG measurement device, EEG simulation software and indoor environment control device. We use data as EEG signal data on emotional imagination condition in a comfortable state and logical imagination condition in concentrated state. The noise of measured signal is removed by the ICA algorithm and beta waves are extracted from it. then, it goes through learning and test process using SVM. The subjects were trained to improve the EEG signal accuracy through the EEG simulation software and the average accuracy were 87.69%.The EEG signal from the EEG measurement device is transmitted to the EEG simulation software through the serial communication. then the control command is generated by classifying emotional imagination condition and logical imagination condition. The generated control command is transmitted to the indoor environment control device through the Zigbee communication. In case of the emotional imagination condition, the soft lighting and classical music are outputted. In the logical imagination condition, the learning white noise and bright lighting are outputted. The proposed system can be applied to software and device control based BCI.

Keyword : Internet of Things, EEG, BCI Sensor, Control

1. 서론

두뇌와 컴퓨터를 연결해서 서로간의 통신을 가능하게 하는 것이 바로 BCI(Brain-Computer Interaction)이다. 이는 기존의 마우스와 키보드, 음성 등과 같은 입출력 장치를 거치지 않고 두뇌로부터 발생하는 EEG(뇌전도)를 분석하여 컴퓨터나 주변 기기를 직접 제어하는 것과 같이 사용자의 의도를 반영하여 임의의 장치를 움직일 수 있게 하는 기술을 말한다. 또한 신체적 어려움을 가지고 있는 사용자를 위해 자신의 생각만으로 장치를 조절할 수 있도록 활발하게 연구 중이며, 이는 새로운 의사소통 수단을 제공할 수 있게 될 것으로 기대되고 있다[1, 2].

EEG 신호를 이용한 BCI 응용 시스템에 대해서는 관련 연구가 꾸준히 진행되고 있다. G. Pfurtscheller 등은 생각만으로 보조 팔을 움직일 수 있는 연구를 진행하였고[3], 스위스의 IDIAP 연구소에서는 생각만으로 휠체어를 조종하는 시스템을 개발하였다[4].

BCI 시스템을 구축하기 위해서는 뚜렷한 EEG 신호가 필수적인데 이를 위해서는 잡음을 제거해야 한다. 이를 위해 일반적으로 주 성분 분석(Principal Component Analysis, PCA), 독립 성분 분석(Independent Component Analysis, ICA), CSP(Common Spatial Pattern) 등과 같은 알고리즘을 사용한다[5, 6].

EEG 신호는 주로 대역 별로 나뉠 수 있는데 베타파(β)는 14-30Hz 대역의 신호를 말하며 두뇌에서 가장 지배적으로 활동하는 신호이다. 특히 이 신호는 각성, 집중, 인식력 등과 같은 논리적인 정보처리와 관련되어 있고 평상시에는 떨어져 있다가 무언가에 집중할 때 베타파는 증가하게 된다[7].

조명이 4,000°K 대의 색온도를 가질 때에는 집중도를 더욱 높여주어 학습 공간이나 사무 공간의 LED 조명으로 적합하다. 또한 2,300°K 대의 색온도에서는 심리적으로 편안함과 안락함을 느낄 수 있어 정서적으로 안정이 필요할 때의 감성적인 정보처리에 이용이 가능하다[8]. 또한 백색 소음은 학습 성취도를 높여 인지적 과제 수행과 주의 집중에 도

움이 되는 것으로 알려져 있다[9]. 따라서 사용자의 감성적인 정보처리와 논리적인 정보처리 상태를 파악하여 조명과 음향을 제어한다면 사용자의 지속적인 정보처리 활동의 보조가 가능한 것이다.

이에 본 논문에서는 사용자의 EEG 신호를 통하여 논리적인 정보처리와 감성적인 정보처리를 구분하고 이에 따른 결과를 통해서 실내 환경을 조성하는 사물인터넷 시스템을 구현하였다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 사용자가 각성, 집중, 인식과 같은 논리적인 정보처리 시에 증가되는 베타파를 감지하여 주의 집중력을 높일 수 있도록 백색소음과 밝은 조명을 출력한다. 또한 명상과 같은 감성적인 정보처리에는 클래식 음악과 은은한 조명을 출력하여 정서적인 안정을 유지할 수 있도록 한다.

EEG 신호는 신체적으로 몸이 불편한 사람들에게서도 동일하게 발생하는 신호이다. 이는 향후 활발한 연구가 기대되는 차세대 인터페이스로서 신체적으로 몸이 불편한 사람들이 자신의 신체적 한계를 극복하는 데 도움을 준다.

2. 관련 연구

본 논문에서는 EEG 신호를 기반으로 하는 사물인터넷 시스템을 제안하고 있다. 그와 관련된 연구로 사용자의 EEG 신호 활성도를 강화시키는 훈련을 제공하고 입력된 EEG 신호 데이터에 대한 정확도를 확인하며 제어 명령을 생성하는 소프트웨어를 소개한다. 또한 이러한 강화된 EEG 신호를 통하여 사물인터넷 장치를 제어하고자 하므로 사물인터넷에 대해 소개한다.

2.1 EEG 신호 강화 훈련

Petruzzello는 양궁 선수를 대상으로 하여 EEG 신호 집중력 강화 훈련을 진행하였다. 그 결과 훈련을 거친 선수들의 집중력이 향상되어 경기력이 개선되었다고 발표하였다[10]. 이처럼 EEG 신호는 개인에 따라 다른 양상을 보인다. 이러한 EEG 신호의 활성도는 훈련을 통해 강화가 가능하므로 이를 강화하기 위한 적절한 훈련을 수행한다면 EEG 신호 활성도를 개선시킬 수 있다.

또한 EEG 신호는 각 주파수 대역 별로 가지는 의미가 다르다. 주로 관심 있는 대역은 알파파와 베타파로써 이는 8-13Hz, 14-30Hz 대역을 가리킨다. 알파파는 주로 명상 등과 같은 심리적인 완화 상태에서 활성화되며 베타파는 문제풀이 등과 같은 집

권장우 : 인하대학교 컴퓨터정보공학과 교수
jwkwon@inha.ac.kr (교신지자)

* 이 연구는 2010년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2010-0020163)

* "본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음"(IITP-2016-H8501-16-1019)

중 시에 활성화된다.

본 저자의 논문인 EEG 신호 정확도 향상을 위한 시뮬레이션 소프트웨어 개발[11]에서는 심리적 완화 상태에서 발생하는 감성적인 정보처리에 대한 EEG 신호와 집중 시에 발생하는 논리적인 정보처리에 대한 EEG 신호와의 차이를 찾아내어 EEG 신호를 강화시키고 정확도를 확인할 수 있으며 제어 명령을 생성하는 소프트웨어를 개발하였다.

EEG 신호에서 잡음을 제거하기 위한 전처리 단계에서는 독립 성분 분석(Independent Component Analysis, ICA)을 적용하였으며 대역 통과 필터(Band Pass Filter)를 통하여 EEG 신호로부터 베타 파만을 취득하였다. 이후 취득한 데이터에서 제곱평균제곱근(Root Mean Square, RMS) 알고리즘을 적용하여 특정 정보를 획득하였으며 이는 지지 벡터 머신(Support Vector Machine, SVM)에 적용하여 분류하고 결과를 확인하였다. 이러한 과정은 EEG 신호 강화 훈련 수행 전과 후로 나누어 4회 씩 측정된 EEG 신호 데이터에 적용되었다. EEG 신호 강화 훈련은 감성적인 정보처리와 논리적인 정보처리를 위해 각각 풍경사진과 수학문제가 제시되었다. 사용자는 이를 보며 정보처리 활동을 하게 되고 이를 통해 각 정보처리에 해당하는 EEG 신호가 발생하게 된다. EEG 신호강화 훈련 수행 전의 피험자 평균 정확도는 79.21%이었지만 연속적인 훈련을 수행한 후에는 최고 91.67%라는 정확도를 보였다.

이는 EEG 신호 기반으로 이루어진 응용 소프트웨어 및 디바이스를 제어하기에 적합하도록 사용자의 EEG 신호를 강화시키고 이를 통해서 효율적인 사용을 기대하게 하는 결과이다.

2.2 사물인터넷

사물인터넷(Internet of Things)이란 사물들이 유무선 네트워크로 연결되어 사람과 사물 또는 사물과 사물 간의 정보를 생성, 공유, 활용하는 지능형 네트워크 기술이다.

이는 사물들이 네트워크로 연결되어 있는 것이므로 때와 장소에 얽매이지 않고 일상생활 등의 다양한 분야에 활용이 가능하며 많은 사물인터넷 기반 서비스가 개발 및 제공되고 있다.

미래창조과학부는 2014년 사물인터넷 기본계획을 발표하여 글로벌 시장을 선도하기 위하여 사물인터넷 산업을 육성하겠다고 밝혔으며 2,500억 원을 투입하여 제조, 헬스 및 의료, 자동차 및 교통, 도시 등에 사물인터넷을 적용하기 위한 기술 개발 및 구

축 사업을 진행하기로 결정하였다.

정보 기술 자문회사인 가트너는 2009년까지의 사물인터넷 기반 사물의 개수는 25억 개이고 앞으로 2020년까지 300억 개에 달할 것으로 예상하였다. 이러한 흐름으로 인해 사물인터넷 시장 규모는 3,090억 달러이며 총 경제적 부가가치는 1조 9,000억 달러에 달할 것이다 예측하였다.

이러한 국내외의 사물인터넷에 대한 관심 및 투자는 사물인터넷이 매우 큰 성장 잠재력을 가지고 있는 것으로 판단한 결과이며 앞으로 사물인터넷 시장은 급속도로 발전하여 사물과 사물 간의 긴밀한 협력을 통해 끊임없이 새로운 비즈니스 시장을 창출해 나갈 것이다[12].

J.H.Yu는 사물인터넷 기반으로 구성된 로봇을 EEG 신호로 제어하는 방법을 제안하였다. 이는 사용자가 일정한 주파수로 점멸되는 LED를 바라볼 때 사용자의 EEG 신호에서 Steady State Visually Evoked Potentials를 감지하여 제어하는 방법이다. 이 사물인터넷으로 구성된 로봇은 장소에 구애받지 않고 EEG 신호를 사용하여 로봇을 제어하기 위한 것이지만 일정하게 점멸되는 LED를 바라보는 것과 로봇의 제어의 상관도가 약하다는 한계가 있다[13].

3. 시스템 설계 및 구현

3.1 실내 환경 제어 장치

본 논문에서 제안하는 실내 환경 제어 시스템에서 사물인터넷 장치에 해당하는 실내 환경 제어 장치는 사용자로부터 입력되는 EEG 신호 데이터의 분석된 결과를 이용하여 조명과 음향과 같은 실내 환경을 제어하는 기능을 한다.

그림 1은 실내 환경 제어 장치의 블록 다이어그램이다. 본 장치는 지그비(Zigbee) 센서를 통해서 1:1로 연결되어 있는 EEG 신호 측정 장치로부터 제어 명령을 전달받는다. 이후 전달받은 제어 명령에 해당하는 동작을 수행하게 된다. 논리적인 정보처리에 해당하는 제어 명령일 경우 실내 환경 제어 장치는 조명 모듈과 음향 모듈을 통해 사용자의 집중 활동을 지원하기 위해 백색 소음과 밝은 조명을 출력한다. 또는 전송받은 제어 명령이 감성적인 정보처리에 해당할 경우 클래식 음악과 은은한 조명을 출력한다.

실내 환경 제어 장치는 그림 2와 같이 아두이노(Arduino)에 지그비 센서, 조명 모듈, 음향 모듈과 연결되어 있는 형태이며 지그비 센서를 통해 EEG 신호

측정 장치로부터 제어 명령을 전달받는다. 이후 제어 명령을 전달받은 실내 환경 제어 장치는 조명 모듈과 음향 모듈을 통해 조명과 음향을 제어하도록 되어 있다. 그림 3은 실제 제작된 실내 환경 제어 장치이다.

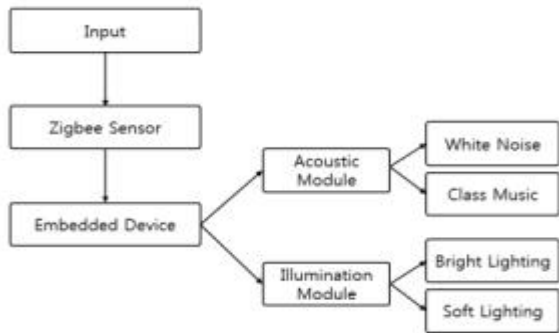


그림 1. 실내 환경 제어 장치의 블록 다이어그램
Fig. 1. Block diagram of proposed indoor environment control device.

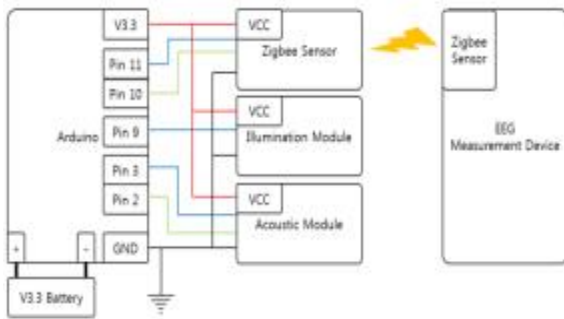


그림 2. 실내 환경 제어 장치의 회로도
Fig. 2. Circuit diagram of proposed indoor environment control device.

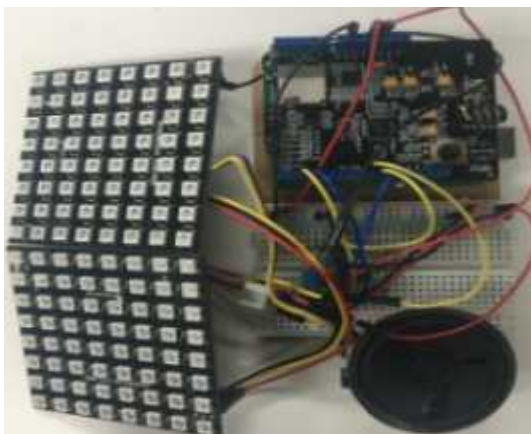


그림 3. 실내 환경 제어 장치
Fig. 3. Proposed indoor environment control device.

3.2 실내 환경 제어 알고리즘

그림 4는 실내 환경 제어 장치가 센서로부터 제어 명령을 전달 받아 음향 모듈과 조명 모듈을 제어 하기 위한 알고리즘이다. 본 장치는 지그비 센서를 통하여 1:1로 EEG 신호 측정 장치와 연결되어 있으며 이후에 센서로부터 제어 명령을 전달받게 된다. 전달받은 제어 명령은 음향 모듈과 조명 모듈에 전달되어 각 모듈을 구동시킨다.

```
readFromMeasuringDevice() {
    connect zigbee sensor;
    open serial port;
    while(true) {
        wait for command from sensor;
        if(command received) {
            read value from sensor;
            send data to illumination module;
            send data to Acoustic module;
        }
    }
}
```

그림 4. 실내 환경 제어 장치의 센싱 및 통신 알고리즘 소스코드

Fig. 4. Algorithm source code for sensing and transmission of indoor environment control device.

그림 5와 그림 6은 음향 모듈 제어 알고리즘과 조명 모듈 제어 알고리즘이다. 조명 모듈 제어 알고리즘은 감성적인 정보처리와 논리적인 정보처리에 따라 조명의 밝기를 조정하는 간단한 알고리즘을 취하고 있다. 하지만 음향 모듈 제어 알고리즘은 비교적 복잡한 형태를 취하고 있으며 이는 음향 모듈에 미리 저장되어 있는 음악 파일을 선택적으로 재생할 수 없는 환경에기에 고안한 알고리즘으로써 효율적으로 파일 선택이 용이하다.

최초에 flag는 0으로 초기화되고 음향 모듈은 첫 번째 파일을 클래식, 두 번째 파일은 백색소음으로 설정하고 대기한다. 전송된 제어 명령이 감성적인 정보처리에 해당할 경우 flag는 1로 초기화되며 클래식 음악을 출력한다. 이후에 전송되는 제어 명령이 연속적으로 감성적인 정보처리에 해당하는 경우라면 flag의 값은 변함이 없게 된다. 하지만 논리적인 정보처리에 해당할 경우 flag는 2로 초기화되며 음향 모듈은 다음 파일인 학습용 백색소음을 출력한다.

```

controlAcousticModule()
{
    flag = 0;
    here:
    if(data == emotional imagination) {
        if(flag == 0) {
            flag = 1;
            play classic music
            get data
            if(command == logical imagination)
            {
                goto here;
            }
        }
        else if(flag == 2) {
            flag = 1;
            play next music
            get data
            if (data== emotional imagination) {
                goto here;
            }
        }
    }
    else {
        ...
        ...
    }
}
    
```

그림 5. 실내 환경 제어 장치의 음향 모듈 제어 알고리즘 소스코드

Fig. 5. Algorithm source code for control acoustic module of indoor environment control device.

```

controIlluminationModule()
{
    if(data == emotional imagination) {
        adjust brightness of light: soft
    }
    else {
        adjust brightness of light: bright
    }
}
    
```

그림 6. 실내 환경 제어 장치의 조명 모듈 제어 알고리즘 소스코드

Fig. 6. Algorithm source code for control illumination module of indoor environment control device.

3.3 통합 시스템

3.1절과 3.2절에 기술된 실내 환경 제어 장치, 알고리즘과 함께 EEG 신호 측정 장치, EEG 신호 시뮬레이션 소프트웨어를 통합하여 하나의 실내 환경 제어 시스템을 구축하였다.

사용자는 EEG 신호 측정 장치를 통해 감성적인 정보처리와 논리적인 정보처리로 구분하여 자신의 EEG 신호를 측정하고 Serial 통신을 통해 EEG 신호 시뮬레이션 소프트웨어에 전송하여 정확도를 확인한다. 확인한 정확도가 저조하다면 EEG 신호 향상 훈련을 연속적으로 수행한 후 정확도를 확인하는 과정을 거친다. 이후 입력되는 EEG 신호를 통해 EEG 시뮬레이션 소프트웨어는 제어 명령을 생성하고 EEG 측정 장치로 전송한다. EEG 측정 장치는 전송된 제어 명령을 지그비 통신을 통해 실내 환경 제어 장치로 전송하여 각 모듈은 구동된다. 그림 7은 통합 시스템의 전체 구성이다.

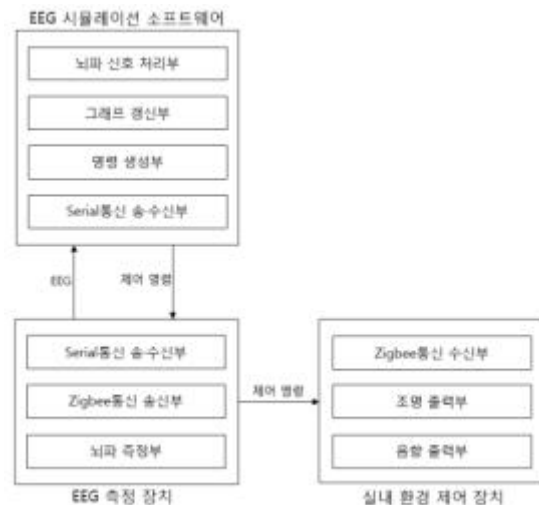


그림 7. 실내 환경 제어 시스템 구조

Fig. 7. Indoor environment control system structure

4. 실험방법 및 결과

4.1 실험환경 및 데이터

본 논문에서는 EEG 신호 데이터 수집을 위해 BioAMP v5.5를 사용하였다. 이 기기는 쌍극법과 단극법 측정이 가능한 3채널 생체 신호 측정 장치로써 Arduino Mega 2560 ADK 보드와 10Bit ADC를 내장하고 있다. 또한 256 ~ 1024Hz의 샘플링 주파수로 기록이 가능하며, 250nVPP ~ 1uVpp의

저 노이즈를 지원한다. 본 실험에서는 단극법 측정 방법을 채택하였으며 2 채널로 각각 좌뇌와 우뇌를 측정하였다. 선정된 채널은 그림 8과 같이 10-20 국제 표준 전극 배치법을 기준으로 Fp1, Fp2에 위치한다.

피험자는 건강한 20대 남성을 대상으로 3명을 선정하여 진행하였으며 감성적인 정보처리와 논리적인 정보처리에 대한 EEG 신호를 3 회씩 측정하도록 하였다. 향후 사용자의 감성적인 정보처리에 대한 EEG 신호는 사용자의 감성 활동을 돕기 위해 은은한 조명과 클래식 음악을 출력하게 하고 논리적인 정보처리는 사용자의 집중 활동을 돕기 위한 밝은 조명과 백색 소음을 출력하게 한다. 측정 시에는 각 정보처리를 유도할 수 있도록 풍경사진과 수학문제를 제시하여 그림 9와 같이 실험을 진행하였다.

향상된 정확도의 EEG 신호 데이터를 EEG 시뮬레이션 소프트웨어에 입력하여 실내 환경 제어 장치를 제어하였다. 표 2는 입력된 제어 명령에 따른 실내 환경 제어 장치의 작동 결과를 나타낸 것이다. 입력되는 EEG 신호 데이터가 연속적으로 같은 정보처리에 해당하는 경우에만 실내 환경 제어 장치가 작동하도록 하였다. 이는 사용자의 지속적인 정보처리만을 감지하여 제어 장치의 오작동을 방지하기 위한 것이다.

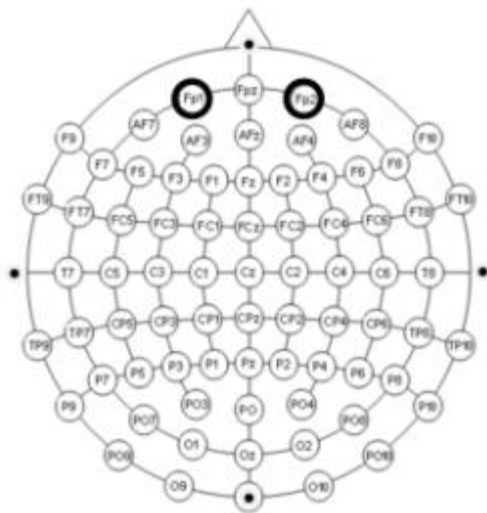


그림 8. 10-20 국제 전극 배치법을 기준으로 한 채널 Fp1, Fp2의 위치
Fig. 8. Location of Ch Fp1, Fp2 in Ten-twenty electrode system.



그림 9. EEG 신호 측정 모습
Fig. 9. EEG signal measurement.

4.2 실험 결과

본 논문에서는 분류 알고리즘으로 지지 벡터 머신을 이용하였으며 입력되는 EEG 신호에 대한 정확도를 확인한 결과는 표 1과 같다. 피험자로부터 측정된 EEG의 분류 정확도는 평균 75.21%로 나타났다. 이후 각 피험자는 반복적인 EEG 신호 정확도 향상 훈련을 진행하였으며 훈련을 마친 후의 EEG 분류 정확도는 평균 82.69%로 나타났다. 이러한 분류 정확도는 실내 환경 제어 장치의 제어가 가능하다고 판단하여 다음 실험을 진행하였다.

표 1. 훈련 전·후 분류 정확도

Table 1. Accuracy of after and before training

구분	훈련 전			훈련 후		
	1회	2회	3회	1회	2회	3회
N1	71.43%	66.67%	72.00%	75.00%	83.33%	81.48%
N2	73.60%	87.78%	83.82%	90.16%	82.05%	86.96%
N2	70.37%	72.00%	79.17%	77.53%	80.60%	87.16%

표 2. 제어 명령에 따른 작동 결과

Table 2. Operation result by control command.

입력 1	입력 2	작동 결과
논리적	감성적	-
논리적	논리적	학습용 백색소음, 밝은 조명
감성적	감성적	클래식 음악, 은은한 조명
감성적	논리적	-

그림 10과 그림 11은 사용자의 EEG 신호로부터 제어되는 실내 환경 제어 장치의 동작 결과이다. 입력된 EEG 신호가 EEG 시뮬레이션 소프트웨어에 의해서 논리적인 정보처리라고 판단되면 실내 환경 제어 장치는 그림 10과 같이 밝은 조명과 함께 학습을 지원하기 위한 백색소음을 출력하게 되며 입력된 신호가 감성적인 정보처리라고 판단 될 경우에는 그림 11과 같이 은은한 조명과 함께 클래식 음악을 출력하게 된다.

제시된 실내 환경 제어 장치는 일상생활이 가능한 조건에서의 장소에 설치한 모습으로써 감성적인 정보처리와 논리적인 정보처리에 대한 동작을 원활하게 수행하고 있는 것을 볼 수 있다.



그림 10. 논리적인 정보처리에 의한 동작 결과
Fig. 10. Results of operation for logical imagination condition.



그림 11. 감성적인 정보처리에 의한 동작 결과
Fig. 11. Results of operation for emotional imagination condition.

5. 결론

본 논문에서는 EEG 신호를 이용하여 실내 환경을 제어하는 사물인터넷 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템은 EEG 신호 측정 장치, EEG 시뮬레이션 소프트웨어, 실내 환경 제어 장치를 통합하여 구축되었으며 감성적인 정보처리와 논리적인 정보처리에서의 EEG 신호 차이를 파악하여 조명 및 음향과 같은 실내 환경을 제어하는 기능을 가진다.

또한 피험자는 EEG 신호 정확도 향상 훈련을 거친 후 EEG 신호를 측정하였으며 이를 분석한 결과 평균 82.69%의 정확도를 확인하였다. 이는 제안한 시스템을 사용하기에 적절한 정확도이며 이를 이용하여 사물인터넷 장치를 제어하는 결과를 함께 보여 검증하였다.

EEG 신호는 신체적으로 장애가 있는 사람들에게서도 동일하게 발생되는 신호로써 이를 이용한 차세대 인터페이스의 발전은 더욱 활성화될 것으로 기대한다.

제안한 시스템은 BCI 기반의 디바이스 제어 등에 활용이 기대되며 향후에는 본 연구를 통하여 얻은 결과를 바탕으로 시스템에서 제어하는 조명 및 음향 장치와 더불어 EEG 신호와 사물인터넷을 기반으로 다양한 환경을 제어하는 연구를 진행하고자 한다.

REFERENCES

- [1] Lebedev, M. A. "Brain-machine interfaces: past, present and future." Trends Neurosci, 29, pp. 536-546. 2006
- [2] C. Guger, R. Leeb, D. Friedman, V. Vinayagamoorthy, G. Edlinger, and M. Slater, "Controlling virtual environments by thoughts," Clinical Neurophysiology, vol. 118, no. 4, pp. e36, 2007.
- [3] C. Guger, W. Harkam, C. Hertnaes, and G. Pfurtscheller, "Prosthetic Control by an EEG-based Brain-Computer Interface (BCI)," Proc. 5th European Conference for the Advancement of Assistive Technology, Düsseldorf, Germany, pp. 3-6, 1999.
- [4] J. Philips, J. Millán, G. Vanacker, E. Lew, F. Galán, P. Ferrez, H. Brussel, and M. Nuttin, "Adaptive Shared Control of a Brain-Actuated Simulated Wheelchair," Proc. IEEE 10th International Conference on Rehabilitation

Robotics, Noordwijk, The Netherlands, pp. 408-414. 2007.

- [5] Stetson, P. F., "Independent component analysis of pulse-oximetry signals," Engineering in Medicine and Biology Society, IEMBS'04. 26th Annual International Conference of the IEEE. vol. 1, 2004.
- [6] Xue, Z., Li, J., Li, S. and Wan, B., "Using ICA to Remove Eye Blink and Power Line Artifacts in EEG," Proceedings of the First international Conference on Innovative Computing, Information and Control, 2006.
- [7] David Starling, "Temporal Analysis of EEG patterns in a biofeedback based Brain Computer Interface," Tech Report No. CYB/2003/UG/DJS/1.
- [8] Y. Choi and I-S. Eo, "LED sensitive light system development by brain-wave", The Korea Academia-Industrial cooperation society, vol.11, no.1, pp. 61-66, 2010.
- [9] Abikoff, H., Countney, M. E., Szeibel, P. J., & Koplewicz, H. S. The effect of auditory simulation on the arithmetic performance of children with ADHD and nondisabled children. Journal Of Learning Disabilities, vol. 29, no. 3, pp. 238-246, 1996.
- [10] Petruzzello, S. J., Landers, D. M, Kubitz, K. A and Han, M. W. Brain wave biofeedbacks to improve archery performance, Unpublished manuscript, Arizona State University, Tempe, AZ. 1989.
- [11] H. S. Jeong, S. M. Lee and J. W. Kwon, "Development of Simulation Software for EEG Signal Accuracy Improvement," Journal of Rehabilitation Welfare Engineering & Assistive Technology, vol. 10, no. 3, pp. 221-228, 2016.
- [12] S. H. Lee, "Study for overseas expansion of the internet of things," DeltaTech International : Korea Communications Policy Research, vol. 14, no. 35, p. 39, 2014.
- [13] J. H. Yu and K. B. Sim, "Robot Control based on Steady-State Visual Evoked Potential using Arduino and Emotiv EPOC", Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, vol. 25, no. 3, pp. 254-259, 2015.

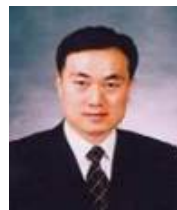
정 해 성(Haesung Jeong)



2014년~현재 인하대학교 컴퓨터정보공학과 석사과정
2014년 2월 인하대학교 컴퓨터정보공학과 졸업(학사)

Interest: Internet of Things, Human-Computer Interaction, Signal processing

이 상 민(Sangmin Lee)



2006년 9월~현재 인하대학교 전자공학과 교수
2005년 3월~2006년 8월 전북대학교 생체정보공학부 교수
2002년 4월~2005년 2월 한양대학교 의공학교실 연구교수
2000년 2월 인하대학교 졸업(박사)
1995년 1월~2002년 3월 삼성전자 종합기술원 책임연구원

Interest: Bio-signal processing, Rehabilitation Engineering, Hearing

권 장 우(Jangwoo Kwon)



2012년~현재 인하대학교 컴퓨터정보공학과 교수
2006년~2012년 정보통신산업진흥원 인재양성단장
1998년~2009년 동명대학교 컴퓨터공학과 부교수
1996년~1998년 특허청 사무관
1996년 8월 인하대학교 전자공학과 졸업(박사)

Interest: Human-Computer Interaction, Signal processing, Intelligent Systems