사물인터넷융복합논문지 Vol. 9, No. 5, pp. 17-23, 2023 https://doi.org/10.20465/KIOTS.2023.9.5.017

뇌파 및 사물인터넷을 활용한 다방향 이동성 메카넘 휠 제어 설계

황재민[1], 김봉현[2*]
[1]서원대학교 컴퓨터공학과 학생, [2]서원대학교 컴퓨터공학과 교수

Design of Multi-Directional Mobility Mechanism Wheel Control Utilizing Brainwaves and IoT

Jae-Min Hwang[1], Bong-Hyun Kim[2*]
[1]Student, Department of Computer Engineering, Seowon University
[2]Professor, Department of Computer Engineering, Seowon University

요 약 현재 휠체어는 전동 휠체어와 수동 휠체어가 있지만, 전동 휠체어조차 자기 근육을 사용할 수 있는 사람이 사용할 수 있다. 자기 근육을 거의 사용하지 못하는 사람의 경우 누군가가 끌어주는 휠체어만을 사용해야 하지만, 누구나 자유를 꿈꾸고 원한다. 이에 따라, 자기 근육을 사용할 수 없는 사람도 다른 사람의 도움 없이 움직일 수 있는 휠체어가 필요하다. 뇌파 기반 다방향 이동성 메카넘 휠은 장치 사용자의 후두엽(O1, O2, P7, P8)에서 자극기와 동일한 주파수 성분을 SVM 모델을 이용하여 분석 후 장치를 제어한다. 장치에 카메라와 초음파 센서를 장착하여 물체와 거리를 감지해 정지하고, 추락의 위험이 있는 높이의 턱에서 정지할 수 있다. 또한, 카메라를 이용해 이동 장치 사용자의 전방 상황을 보호자에게 보여줄 수 있으며, GPS를 이용하여 사용자의 실시간 위치를 더 정확하게 확인할 수 있어 장치 사용자의 안전을 보장하고 보호자의 모니터링을 용이하게 하는 기술을 설계하였다. 이를 통해 장애인은 더 자유롭게 이동할 수 있고, 보호자는 장애인을 더 쉽게 모니터링을 할 수 있다. 근육을 사용하지 못하는 사람과 보호자에게 도움을 주어 삶의 질을 높이고자 한다.

주제어 : 뇌파, 휠체어, 사물인터넷, 정상상태유발시각전이, 메카넘 휠

Abstract Wheelchairs currently come in two types: electric and manual. However, even electric wheelchairs require some degree of muscle control for operation. Individuals with limited muscle control often rely on someone else to push their wheelchair, depriving them of the independence that everyone desires. Consequently, there is a need for wheelchairs that individuals without muscle control can operate independently. The brainwave-based omnidirectional mobility Mecanum wheel analyzes frequency components similar to those of a stimulator in the occipital lobe (O1, O2, P7, P8) of the user, utilizing an SVM model for control. Equipped with cameras and ultrasonic sensors, the device can detect objects and distances, allowing it to halt and prevent falls at elevated thresholds. Moreover, the camera can provide the caregiver with a front view of the user's surroundings, while GPS enables more accurate real-time monitoring of the user's location, ensuring the user's safety and facilitating caregiver monitoring. This technology aims to enhance the quality of life for individuals with limited muscle control and their caregivers, enabling greater freedom of movement for the disabled and easier monitoring for caregivers.

Key Words : EEG, Wheelchair, IoT, SSVEP, Mecanum Wheel

*교신저자 : 김봉현(bhkim@seowon.ac.kr)
접수일 2023년 7월 24일 수정일 2023년 9월 11일 심사완료일 2023년 9월 15일

1. 서론

현대 사회에서 자유는 무엇보다 중요한 가치 중 하나다. 기술의 진보는 우리의 일상 생활과 자유를 높이 평가하고 보호하기 위해 계속 발전하고 있다. 이러한 기술의 발전은 다양한 영역에서 우리의 자유를 높이 평가하고 보호하기 위해 진행 중이다. 시간의 자유부터 다른 종류의 자유까지, 우리는 기술을 통해 더 많은 자유를 얻고 있다. 그러나 이동과 관련된 기술은 다른 분야에 비해 상대적으로 천천히 진화하고 있다. 이러한 기술의 발전은 일반 대중이 널리 사용하는 것부터 시작하여, 소수의 필요에 맞춰 발전되는 경우가 많다. 현재, 사람을 이동시키는 다양한 수단인 자동차, 비행기, 배, 휠체어 등이 있다. 비행기와 배, 그리고 자동차는 어느 정도의 자율 주행이 가능하며 기술이 계속 발전 중이다. 하지만 휠체어와 같이 대중적이지 않은 이동 수단에 대한 것은 아직 자율 주행이 불가능한 경우가 많다[1].

부가적인 것과 달리, 휠체어는 많은 개인들에게 움직임의 자유를 실현하기 위해 필수적인 도구다. 이러한 도구는 일상 생활에서의 기본적인 활동 수행에 불가결하며, 신체적 제약을 가진 많은 개인들에게 독립성과 삶의 질을 유지하는데 큰 역할을 한다. 그러나, 이러한 필수적인 이동 수단에도 불구하고, 일부 개인들에게는 휠체어를 조작 및 제어하는 것이 어려운 경우가 많다.

최근에는 뇌파를 활용한 집중력 측정 및 감정 인식의 연구가 이뤄지고 있으며, 우울증 진단 등 질병 분야에서도 적용할 수 있다. 질병 분야의 경우는 국내에서는 루게릭병, 파킨슨병이나 뇌졸중, 진행성 연수마비, 척수 근육위축 등의 운동 장애가 있는 뇌 신경질환 및 퇴행성 뇌질환 등에 적용하여 뇌질환에 관련된 연구와 그 외에 사용자의 상태 분석 등에 활용될 수 있다[2].

현대는 입력 방식에 다양한 변화를 주고 있다. 과거에는 버튼을 눌러 입력을 했고, 현재는 터치 혹은 음성인식 등으로 발전해왔다. 여기서 음성 인식을 제외하고는 자신의 근육을 이용해서 자신이 원하는 것을 눌러야만 한다. 하지만 팔, 다리를 움직일 수 없는 전신 마비 환자의 경우 자신의 의도를 입력할 수 있는 방법이 제한된다. 음성인식의 경우도 주변의 소리로 인해 제대로 입력되지 않는 문제가 있다. 이러한 문제로 사람의 생체 신호로의 입력이 또 다른 대안으로 되었다[3].

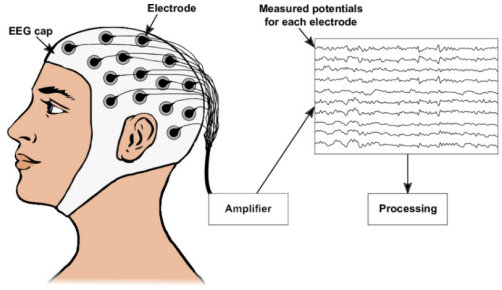
뇌-컴퓨터 인터페이스 기술은 생각을 읽어들여 컴퓨터에 명령을 전달하는 방식으로 HCI 분야에서 좋은 전망을 가지고 있다. 뇌전도(EEG)는 값이 저렴하고 휴대가 편리하지만 신호 대 잡음비(SNR)가 낮은 단점이 있다. 그러나 뇌전도는 뇌 운동 감각 영역을 사용하는 실험과 어플리케이션에 충분한 정보를 추출하고 좋은 성능을 보여줄 수 있다. 뇌 운동 감각 피질을 이용한 뇌-컴퓨터 인터페이스 연구에서는 Event-Related(DE) Synchronization (ERD/ERS)이 주로 사용되고 있다[4].

따라서 본 논문에서는 근육을 사용하지 못하는 사람의 이동을 가능하게 해주기 위해 뇌파를 활용하여 다방향 이동성 메카넘 휠을 제어하며 보호자의 모니터링 시스템을 설계하고자 한다.

2. 관련 이론

2.1 EEG

뇌파는 두뇌를 구성하는 신경 세포들의 전기적 활동을 두피에서 전극을 통해 간접적으로 측정할 수 있는 전기 신호이다. 뇌파를 관찰할 때는 주파수대로 분류하여 분석하는 방법을 사용하는데 주파수의 범위에 따라 델타, 세타, 알파, 베타, 감마로 구분해서 부른다. 이 결과 얻어지는 궤적을 뇌파 또는 뇌전도라 한다[5].

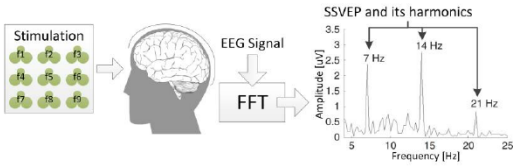


[Fig. 1] The Principle of a EEG

2.2 정상상태시각유발전위 (SSVEP)

EEG 기반 BCI 시스템에서 주로 사용되는 신호 중 하나인 정상상태시각유발전위(steady state visual evoked potential)는 사용자가 특정한 자극 주파수(stimuli frequency)로 깜빡이는 시각 자극을 응시하고 있을 때 뇌의 시각 중추를 담당하고 있는 후두엽에서 자극기와 동일한 주파수 성분이 뇌전도의 주파수 분석신호에서 나타나는 것을 말한다. SSVEP 반응을 BCI 시스템에 적용할 수 있으며 사지마비장애인과 같은 lock-in syndrome 환자들이 자신이 내리고 싶은 명령이 나열되어 있는 모니터나 LED 같은 시각 자극기를 응시하게 되면 나타나

는 SSVEP 신호를 분석하여 환자들의 의지나 생각을 알아낼 수 있다[6].

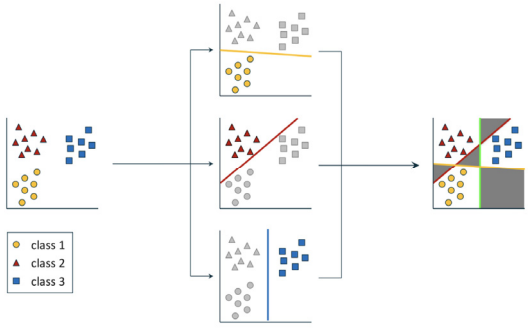


[Fig. 2] SSVEP

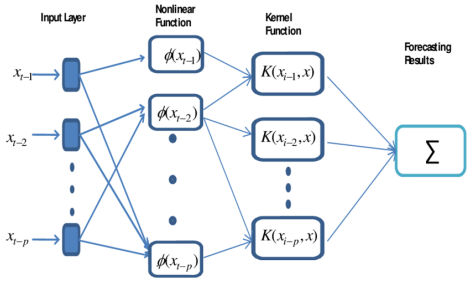
2.3 SVM(Support Vector Machine)

서포트 벡터 머신(SVM)은 기계 학습 알고리즘 중 하나로, 주로 분류 및 회귀 작업에 사용되는 방법 중 하나이다. SVM은 데이터 포인트를 고차원 공간에 매핑하고, 클래스를 구분하는 최적의 초평면을 찾는 데 중점을 둔다. 초평면은 데이터 포인트 간의 마진을 최대로 가지도록 시도한다[7].

EEG 데이터를 분류하기 위해서는 다중 클래스로 분류를 해야 하는데 이진 분류의 원리를 이용해서 다중 분류를 진행할 수 있다.



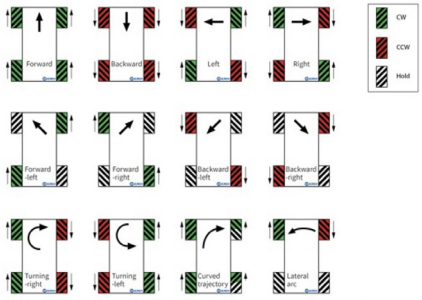
[Fig. 3] The Principle of a SVM



[Fig. 4] The Structure of a SVM

2.4 메카넘 휠

메카넘 휠은 다방향 이동을 가능하게 하는 형태의 바퀴로, 주로 로봇 및 지게차와 같은 이동 로봇에 사용된다, 바퀴는 독특한 디자인과 원리를 가지고 있으며, 이를 통해 어떤 방향으로든 자유롭게 이동하고 회전할 수 있다. 45도 각도로 배치된 롤러 또는 롤러 타입의 바퀴를 가지고 있어, 각 바퀴의 회전 방향과 속도를 조절함으로써 다방향으로 움직일 수 있다. 즉, 전방, 후방, 좌우, 대각선 방향으로의 움직임을 모두 수행할 수 있다. 로봇이 협소한 공간에서 민첩하게 움직여야 하는 상황이나 복잡한 환경에서의 움직임이 필요한 경우에 유용하다. 또한, 그 자리에서 회전할 수 있어, 작은 공간에서의 회전이 필요한 경우 효과적이다[8].



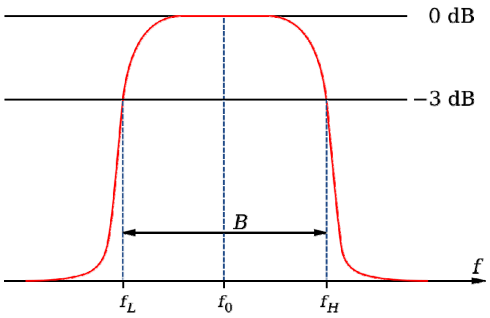
[Fig. 5] Direction of Mecanum Wheel

2.5 CAR(Common Average Reference)

전기생리학 연구에서 EEG와 ERP 데이터를 분석할 때 사용되는 데이터 전처리 기술 중 하나다. CAR은 각 전극의 신호를 전체 전극의 평균 신호에서 뺌으로써, 뇌 활동의 특정 부분에 주로 기인하는 잡음 및 외부 간섭을 줄이고 필요한 뇌 활동 신호를 강조하는데 적합하다. 채널간의 상관관계가 감소되어 뇌파 신호의 독립성을 유지할 수 있다. 그래서 CAR을 사용해 잡음 및 외부 간섭 신호를 제거해 필요한 뇌 활동 신호를 더 정확하게 추출할 수 있다. 하지만 뇌파 신호의 크기가 감소하게 되어 뇌파 신호의 분석에 영향을 미칠 수 있어 사용 시 고려해야 한다.

2.6 Band-pass Filtering

시계열 데이터에서 특정 주파수 대역의 신호를 강조하고 다른 주파수 대역의 신호를 억제하는 디지털 신호 처리 기술이다. 신호에서 원하는 주파수 대역의 정보를 추출하거나 잡음을 제거하는 데 유용하다. SSVEP에 대한 주파수를 Band-pass filtering을 통해 설정한 주파수에 대한 신호를 뚜렷하게 만들어 데이터 분석에 용이하게 한다[9].



[Fig. 6] The Principle of Band-pass Filter

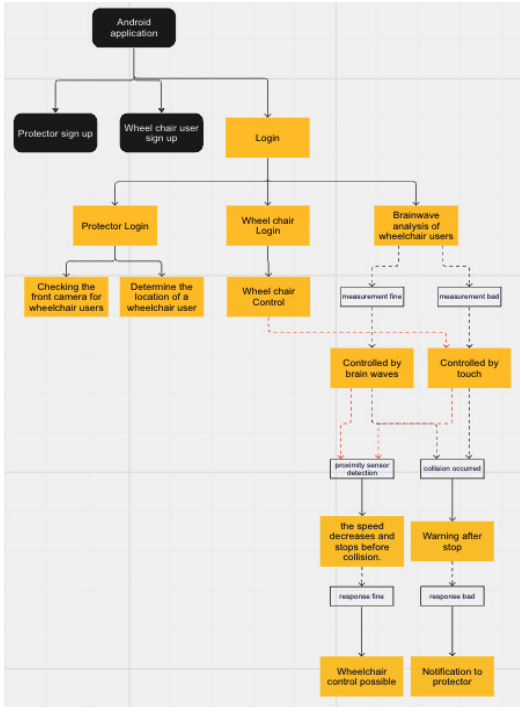
3. 뇌파 측정 및 휠체어 제어 장치 설계

3.1 시스템 설계도

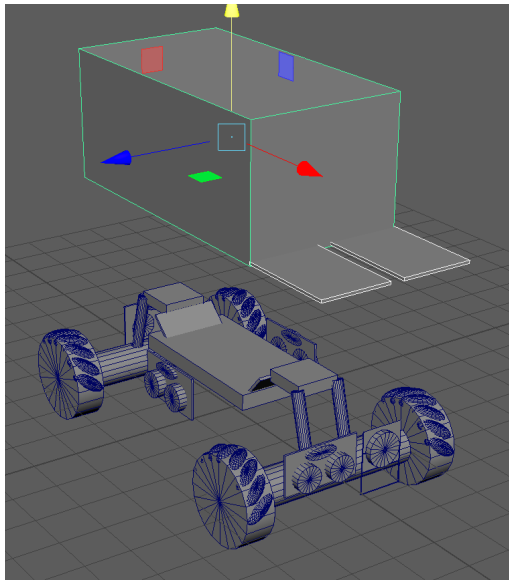
뇌파를 활용한 다방향 이동성 메카넘 휠 제어 시스템의 설계는 [Fig.7]과 같은 구조로 되어 있다. 제안한 시스템은 사용자의 뇌파를 측정해 분석 후 파악된 의도로 다방향 이동성 메카넘 휠을 제어하는 것이다. 사용자의 뇌파를 통해 장치를 제어하기 때문에 기존의 휠체어보다 정밀한 제어를 하지 못해 안전을 위한 장치들이 존재한다. 충돌을 방지하기 위해 초음파 센서를 이용해 정지를 하고, 만약 충돌이 발생하면 보호자에게로 알림이 가는 기능, 보호자는 사용자의 위치를 확인할 수 있다. 또한, 카메라를 통해 사용자가 어디로 가는지, 사용자의 상황이 어떤지를 보다 정확하게 확인할 수 있다. 만약 뇌파 측정이 부정확하다면 뇌파로의 제어는 하지 못하게 된다[10].

3.2 하드웨어 설계

본 논문에서는 기존 휠체어의 구동 방식과 구조를 신체 기능에 제약이 있는 사람들도 사용이 가능하기 위해 메카넘 휠과 뇌파를 사용하였다. 4개의 메카넘 휠을 사용하여 이동을 하고, 제어하는 것은 뇌파와 어플리케이션을 이용한다. 이동 장치의 속도는 위급한 상황을 제외하고는 사용자의 편안함을 위해 천천히 증가 및 천천히 감소를 한다. 또한, 사용자가 직접 제어하는 것이 아닌 사용자의 의도를 입력으로 정해진 거리만큼 움직인다. 그래서 안전에 대한 대책이 있어야 한다. 다방향 이동성 메카넘 휠에는 초음파 센서가 부착되어 있다. 초음파 센서로 각 방향에 장애물이 있는지를 감지하여 제동한다. 또한, 하단에 초음파 센서를 부착하여 턱이 있어 일정 높이 이상이 될 경우 낙상 방지를 대비할 수 있도록 설계하였다[11].



[Fig. 7] The Flow Chart of System



[Fig. 8] Hardware Appearance

3.3 소프트웨어 설계

어플리케이션에 사용자가 사용할 수 있는 버튼은 6가지이다. 기존의 휠체어 방향에 오른쪽 대각선, 왼쪽 대각선 버튼이다. 각 버튼은 서로 다른 주파수로 깜빡 거린

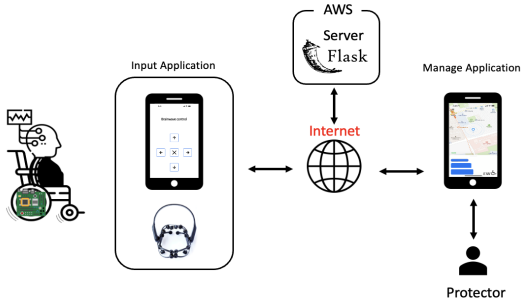
다. 각 주파수는 7.56, 8.5, 10, 12, 14, 16으로 구성되어 있다. 사용자는 원하는 방향의 버튼을 응시하면, 사용자의 뇌파를 SVM을 이용하여 데이터 분류를 진행한 후 사용자의 의도를 파악하여 다방향 이동성 메카넘 휠을 제어할 수 있다.

기존의 이동 장치와는 다르게 다방향 이동성 메카넘 휠을 제어하는 또 다른 방법으로는 터치로 제어하는 방법이 있다. 어플리케이션에 사용자로 로그인을 할 경우 사용자의 뇌파 측정을 위해 버튼이 깜빡이는 화면이 나온다. 사용자는 이 화면을 주시해도 되고, 터치를 할 수 있다. 사용자가 화면의 원하는 방향의 버튼을 터치하면 AWS에 구성한 서버로 사용자의 의도를 전달하게 된다. 서버는 사용자와 연결된 이동성 메카넘 휠에 요청된 값을 제공하면 사용자의 의도로 움직이게 된다.

사용자의 안전을 위한 것에는 초음파 센서와 카메라, 충돌 감지 기능이 있다. 초음파 센서는 앞, 뒤, 좌, 우, 하단에 위치하고 있다. 하단을 제외한 초음파 센서는 충돌 방지로 센서의 전방에 물체가 특정 범위 안에 들어오게 되면 이동 장치는 정지하게 된다. 하단에 위치한 센서는 계단과 같이 턱이 있어 추락을 예방한 센서이다.

또한 만일의 상황에 이동 장치에 충돌 임계 값보다 이상의 충격이 감지가 된 경우에 이동 장치 사용자와 연결된 보호자에게 알림이 발송된다. 보호자는 어플리케이션을 통해 연결된 사용자의 이동장치에 달려있는 카메라를 통해 상황을 확인할 수 있도록 설계를 하였다.

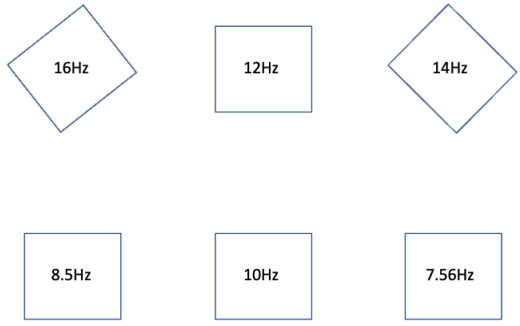
카메라를 통해 위치 확인이 불가능한 경우를 대비하여 사용자의 스마트폰 GPS를 통해 지도에 사용자의 위치를 표시하여 보다 정확한 위치를 파악할 수 있도록 설계하였다.



[Fig. 9] The Structure of System

4. 뇌파 분석

사용자의 의도를 분석하기 위해 Emotiv Epoc X를 이용해 사용자의 뇌파를 측정하였고, 분석 모델로는 서포트 벡터 머신(Support Vector Machine)을 활용하였으며, 데이터 학습을 위해 [Fig.10]와 같이 화면을 구성했다. 각 버튼에 있는 숫자는 주파수를 나타내며 해당 주파수로 깜빡인다. 피실험자는 화면과 30cm 떨어진 거리에서 측정하였고, 편안한 상태에서 뇌파의 신호가 안정적일 때 실험하였다[12,13,14].



[Fig. 10] Screen for Data Learning

측정한 뇌파 데이터를 시각화하면 [Fig.10]에서 확인할 수 있다. SSVEP는 특정한 주파수로 깜빡이는 시각 자극기에 의해 뇌의 중추를 담당하고 있는 후두엽에서 자극기와 동일한 주파수 성분이 뇌파에서 발견된다. 우리 연구에서는 총 14개의 채널을 측정하였으며, 그 중 O1, O2, P7, P8은 후두엽에 부착이 되어 있는 채널로, 시각과 관련된 채널이다. 후두엽과 관련된 채널의 그래프를 보면 시각 자극이 뇌파에서 발견된 것을 확인할 수 있다.

[Fig. 11] Brain Wave Visualization

사용자가 원하는 방향의 버튼을 응시하게 되고, SVM으로 학습된 모델에 측정된 뇌파를 넣어 분석을 진행한다. 학습된 모델이 사용자가 응시한 버튼을 뇌파를 통해 유추해 제어 명령을 내리게 된다[15,16].

본 연구에서는 이러한 채널을 주로 사용하여 사용자의 의도를 파악하고, 다방향 이동성 메카넘 휠을 제어할 것이다.

5. 결론

본 논문에서는 라즈베리 파이와 Emotiv Epoc X, 아두이노 및 다양한 센서들을 사용해서 뇌파를 활용한 다방향 이동성 메카넘 휠 제어를 설계하였다. SSVEP 데이터를 분석하여 시각화를 진행한 결과 후두엽 부분의 O1, O2, P7, P8 채널에서 주파수 검출이 확인됐다. Kaggle에서 제공한 SSVEP 데이터 약 7000개를 가지고 다중 분류 모델(SVM, CNN)을 통해 분석한 결과, 정확도가 약 90%정도 나왔다. 실제 사용자의 뇌파 데이터를 많이 확보하게 된다면 더 정확한 모델을 생성해 사용자의 의도를 정확하게 파악할 수 있으리라 기대된다.

REFERENCES

[1] L.K.Lee and S.Y.Oh, "Development of Smart Wheelchair System and Navigation Technology For Stable Driving Performance In Indoor-Outdoor Environments," Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, Vol.52, No.7, pp.153-161, 2015.

[2] H.J.Lee, D.I.Shin and D.K.Shin, "The Classification Algorithm of Users' Emotion Brain-Wave," The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol.39C, No.02, pp.1-3, 2014.

[3] L.Kanungo, N.Garg, A.Bhobe, S.Rajguru and V.Baths, "Wheelchair Automation by a Hybrid BCI System Using SSVEP and Eye Blinks," 2021 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS (SMC), pp.1-4, 2021.

[4] M.K.Ahn, J.H.Hong, S.U.Kang, H.H.Cho and S.C.Jun, "Classification of motor imagery using EEG source information," Journal of KISS, Vol.37, No.2(c), 2010.

[5] C.J.Lee, "Development of the Game for Increasing Intensive Power using EEG Signal," Journal of Korea Game Society, Vol.9, No.2, pp.23-24, 2009.

[6] J.Y.Lee, Y.R.Lee and H.N.Kim, "Frequency Recognition in SSVEP-based BCI systems with a Combination of CCA and PSDA," Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers, Vol.52, No.10, 2015.

[7] K.B.Lee, C.H.Lee, J.H.Bae and J.I.Lee, "EEG Signal Classification Algorithm based on DWT and SVM for Driving Robot Control," Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers, Vol.52, No.8, 2015.

[8] B.S.Chu and S.Y.Whee, "Mobile Performance Evaluation of Mecanum Wheeled Omni-directional Mobile Robot," Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol.23, No.4, pp.374-379, 2014.

[9] K.Y.Ryu, S.J.Kim, H.S.Jung and H.S.Kweon, "Application of band-pass filtering techniques for improvement on 3D tomogram," Proceeding of the Korea Information Processing Society Conference, pp.382-383, 2011.

[10] J.N.Kim, "Design of Electric Automatic Manual Wheelchair Driving System," Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.14, no.11, pp.5392-5395, 2013.

[11] J.Lee, "Autonomous Navigation System of Power Wheelchair using Distance Measurement Sensors," The Journal of Korea Institute of Information, Electronicsm and Communication, Vol.6, No.3, pp.174-182, 2013.

[12] S.W.Rhee, H.J.Cho and C.J.Chae, "EEG Signal Classification based on SVM Algorithm," Journal of the Korea Convergence Society, Vol.11, No.2, pp.17-22, 2020.

[13] H.H.Kim, "Implementation of Brain-machine Interface System using Cloud IoT," Journal of Internet of Things and Convergence, Vol.9, No.1, pp.25-31, 2023.

[14] C.W.Choi and H.Y.Chung, "An Account Management System on IoT Device," Journal of Internet of Things and Convergence, Vol.7, No.1, pp.71-77, 2021.

[15] J.Y.Lee, Y.R.Lee and H.N.Kim, "Frequency Recognition in SSVEP-based BCI systems with a Combination of CCA and PSDA," Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, Vol.52, No.10, pp.139-147, 2015.

[16] J.E.Son, H.M.Lim and J.H.Ku, "Study of MNS and SSVEP activity according to Frequency and Duty rate of Flickering Action video," Journal of Biomedical Engineering Research, Vol.39, No.1, pp.16-21, 2018.

황 재 민 (Jae-Min Hwang) [준회원]

■ 2018년 3월 : 서원대학교 컴퓨터공학과 입학
■ 2024년 2월 : 서원대학교 컴퓨터공학 졸업 예정

〈관심분야〉
IoT, Big data, Deep learning

김 봉 현(Kim, Bong Hyun) [정회원]

■ 2009년 2월 : 한밭대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
■ 2012년 ~ 2015년 : 경남대학교 컴퓨터공학과 교수
■ 2020년 ~ 현재 : 서원대학교 소프트웨어학부 컴퓨터공학과 교수

〈관심분야〉
Big data, IoT, AI Service, ICT convergence