

BCI w VR: imersja sposobem na sprawniejsze wykorzystywanie interfejsu mózg-komputer

Adrianna Piszcz¹

¹Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, Instytut Informatyki, Kopernika 1, 85-074 Bydgoszcz

Streszczenie: *Celem eksperymentów było zbadanie czy rzeczywistość wirtualna usprawnia korzystanie z interfejsu mózg-komputer. Do badania wykorzystano autorski system informatyczny, który umożliwia rysowanie kształtów na ekranie komputera. Przygotowane stanowisko badawcze składa się z komputera z niezbędnym oprogramowaniem, z mobilnych gogli wirtualnej rzeczywistości Esperanza EMV300 ze smartfonem Samsung Galaxy A40 oraz interfejsu mózg-komputer Emotiv Eloc. Wykazano, że imersja pozwala zwiększyć poziom koncentracji i sprawniej korzystać z interfejsu mózg-komputer. Taki rodzaj zanurzenia w rzeczywistość wirtualną może zapoczątkować całą serię aplikacji obsługiwanych w sposób intuicyjny, za pomocą komend myślowych, w wykreowanym wirtualnym świecie.*

Słowa kluczowe: *BCI, interfejs mózg-komputer, EEG, VR, rzeczywistość wirtualna, rysowanie*

BCI in VR: an immersive way to make the brain-computer interface more efficient

Abstract: *The purpose of the experiments was to investigate whether virtual reality improves the use of the brain-computer interface. The study used a custom computer system that allows drawing shapes on the computer screen. The prepared test stand consists of a computer with the necessary software, Esperanza EMV300 mobile virtual reality goggles with a Samsung Galaxy A40 smartphone and Emotiv Eloc brain-computer interface. It was shown that immersion allows to increase the level of concentration and use the brain-computer interface more efficiently. This kind of immersion in virtual reality could initiate a whole series of applications operated intuitively, via thought commands, in a created virtual world.*

Keywords: *BCI, brain-computer interface, EEG, VR, virtual reality, painting*

1. Wprowadzenie

Obecny świat stał się miejscem wiecznego biegu. Każdy z nas w ciągu całego dnia wykonuje kilkaset małych zadań, czynności o których musi pamiętać. Większość z nich znajduje się w świecie wirtualnym, świecie Internetu. Istnieje coraz więcej rozwiązań mających na celu zminimalizowanie konieczności fizycznej interakcji z urządzeniami komputerowymi. Możliwość komunikacji z komputerem za pośrednictwem myśli staje się coraz bliższa. Interfejs mózg-komputer w połączeniu z rzeczywistością wirtualną może stać się sposobem na wykonywanie tego o czym pomyślimy. Sposobem załatwiania spraw, bez konieczności wychodzenia z domu, bez konieczności uczenia się interfejsu kolejnej aplikacji, serwisu czy programu.

W artykule przedstawiono badania, które po-

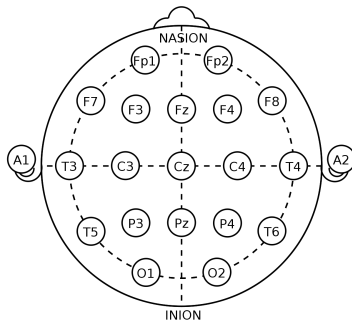
zwoliły określić czy wykorzystanie interfejsu mózg-komputer wsparte rzeczywistością wirtualną, dzięki imersji pozwala zwiększyć poziom koncentracji i sprawniej korzystać z urządzenia.

2. Elektroencefalografia

Elektroencefalografia (EEG) jest to rejestrowanie elektrycznej aktywności kory mózgowej, przede wszystkim potencjałów postsynaptycznych. EEG mierzy potencjał polowy w przestrzeni wokół neuronów, a zatem jest to średnia aktywność elektryczna wielu neuronów na znacznym obszarze. Pomiar dokonywany jest za pośrednictwem elektrod, poprzez które potencjały korowe przewodzone są do urządzenia wzmacniającego sygnał. Rozmieszczenie elektrod na głowie jest standaryzowane Między-

narodowym Systemem 10-20 (Rys. 1).

Większość rejestrowanego sygnału EEG jest związana z aktywnością neuronów. Głównym generatorem sygnału są potencjały postsynaptyczne, które trwają od 50 do 200 ms. Potencjały czynnościowe trwają 10 ms lub mniej, a zatem mają bardzo ograniczone pole elektryczne. Potencjał czynnościowy przemieszcza się wzdłuż aksonu do zakończeń nerwowych, aby za pośrednictwem neuroprzekaznika powodować zmiany stopnia polaryzacji błony komórkowej.



Rysunek 1: Lokalizacja elektrod

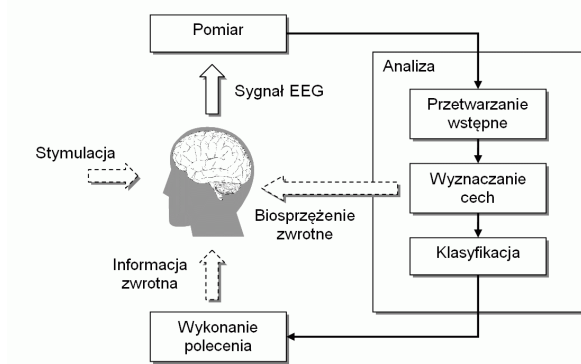
Źródło: <https://www.researchgate.net/figure/The-10-20-International-system-of-EEG-electrode-placement-fig1-324361441>

3. Interfejs mózg-komputer

Interfejs mózg-komputer stanowi sposób komunikacji komputera z człowiekiem. Użytkownik wykorzystując urządzenie i dedykowane do niego oprogramowanie jest w stanie, po odpowiedniej kalibracji, sterować komputerem w sposób podobny, jak z użyciem myszki lub klawiatury. Poszczególne stany wywoływane w naszym mózgu dają się rozpoznawać przez oprogramowanie urządzenia i mogą być przypisane do danego klawisza klawiatury lub do kliknięcia przyciskiem myszy.

Działanie interfejsu mózg-komputer (Rys. 2) inicjuje użytkownik, poprzez rozpoczęcie zadania lub podjęcie określonej akcji. Następnie następuje akwizycja sygnałów mózgowych oraz przetwarzanie wstępne, na które składa się między innymi oczyszczenie sygnału z występujących w nim artefaktów. Z zebranego i przetworzonego sygnału wyodrębnione zostają cechy charakterystyczne. Cechy te zostają sklasyfikowane, a następnie zostaje obliczony sygnał wyjściowy. Ostatnim etapem jest prezentacja podjętego zadania.

Aby w pełni wykorzystywać możliwości interfejsu mózg-komputer konieczna jest kalibracja urządzenia oraz trening. Trening odbywa się z wykorzystaniem symulatorów. Użytkownik na symulato-

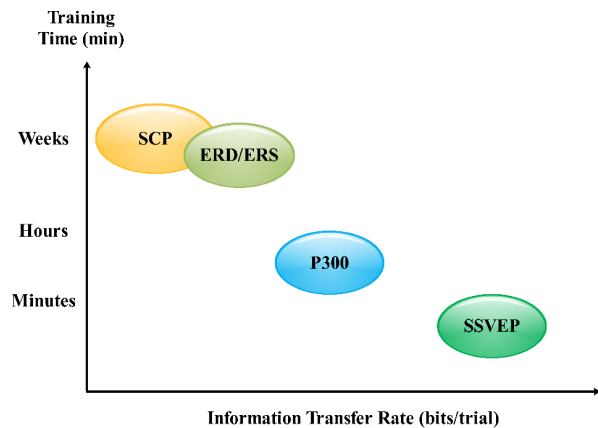


Rysunek 2: Schemat działania interfejsu mózg-komputer

Źródło: <http://www.elel.p.lodz.pl/programy/vepcom/>

rze uczy się świadomego manipulowania daną cechą charakterystyczną. Czas trwania treningu zależy od metody oraz od tego jaka cecha charakterystyczna ma być wykrywana podczas tego treningu.

Najszybsze działanie wykazują interfejsy synchroniczne, w których dokonuje się uśrednienia sygnału, co znacząco ułatwia identyfikację. Interfejsy asynchroniczne rozpoznają spontaniczną aktywność kory mózgowej, powstałą na skutek wykonywania pewnych czynności myślowych (np. wyobrażenie ruchu kończyną), są znacznie wolniejsze i trudniejsze do wykrycia. Wybrana cecha charakterystyczna sygnału ma wpływ na to jakie metody przetwarzania sygnału rozstaną wykorzystane, jakie będą możliwe zastosowania i ograniczenia oraz jaki będzie czas treningu użytkownika (Rys. 3). Cechy charakterystyczne sygnałów mózgowych mogą być wywoływane przez bodziec zewnętrzny lub mogą być kontrolowane świadomie.



Rysunek 3: Porównanie cech charakterystycznych pod względem czasu uczenia i szybkości przesyłania informacji

Źródło: <https://kar.kent.ac.uk/66503/>

4. Metody

Badania zostały wykonane w warunkach domowych na przygotowanym stanowisku badawczym. Stanowisko badawcze wykorzystane w eksperymencie składa się z trzech głównych elementów: komputera (laptopa Nitro 5), do którego podłączony jest dodatkowy monitor i zewnętrzna mysz komputerowa, interfejsu mózg-komputer (Emotiv EPOC) oraz mobilnych gogli VR wyposażonych w smartfon (gogle VR Esperanza EMV300 z telefonem Samsung Galaxy A40) (Rys. 4).



Rysunek 4: (1) laptop, (2) interfejs mózg-komputer, (3) gogle VR, (4) płyn do nawilżenia elektrod, (5) mysz komputerowa, (6) pudełko na elektrody, (7) dodatkowy monitor, (8) źródło zasilania, (9) odbiornik radiowy USB

Źródło: własne

W trakcie badania na ekranie komputera wyświetlane są instrukcje oraz zadania. Zadania polegają na odwzorowaniu geometrycznych kształtów według szablonu wykorzystując polecenie myślowe do przywołania wirtualnego pisaka. Podczas, gdy zarejestrowana zostanie aktywność kory mózgu odpowiadająca skalibrowanej komendzie myślowej w aplikacji zostanie wygenerowany dźwięk świadczący o opuszczeniu pisaka i możliwości rysowania odpowiedniego kształtu. Aplikacja mierzy czas wykonywania danego zadania, aby możliwe było zestawienie wyników badania.

Wszystkie urządzenia biorące udział w eksperymencie połączone są ze sobą za pośrednictwem komputera. Wykorzystywany jest laptop Nitro 5 z systemem Windows 10. Dodatkowo do laptopa podłączony jest zewnętrzny monitor, aby ułatwić śledzenie przebiegu badania.

Urządzenie BCI wykorzystane w badaniu to Emotiv EPOC. Jest to 16-kanalowy interfejs mózg-komputer wyposażony w elektrody mokre. Do prawidłowego działania urządzenia niezbędna jest zatem sól fizjologiczna, która będzie nawilżała elektrody i zapewniała odpowiednie przewodnictwo. W zestawie do urządzenia dołączony jest odbiornik

USB, który należy podłączyć do komputera, aby uzyskać połączenie.

Do immersji wykorzystano proste mobilne gogle VR Esperanza EMV300 wraz ze smartfonem Samsung Galaxy A40 z systemem Android 10. W wyborze uwzględniono takie czynniki jak waga urządzenia oraz sposób montażu na głowie, a także mobilność ze względu na sposób połączenia telefonu z aplikacją desktopową na komputerze. Istotne było, aby osoba badana czuła się komfortowo przy jednoczesnym użytkowaniu interfejsu mózg-komputer i gogli wirtualnej rzeczywistości. Gogle Esperanza zbudowane są z lekkiego plastiku, wyposażone są w elastyczne pasy mocujące z możliwością regulacji. Możliwość ustawienia odległości soczewek sprawiła, że dostosowanie pola widzenia było bardzo proste i nie przedłużało czasu badania.

Do urządzenia Emotiv EPOC wykorzystano oprogramowanie EPOC Control Panel, które pozwala na kalibrację i przypisanie określonych stanów myślowych do klawiszy na klawiaturze lub myszce i wykonywania akcji w aplikacji autorskiej.

Połączenie z aplikacją autorską na komputerze realizowane jest poprzez oprogramowanie Trinus. Aplikacja dokonuje projekcji aktualnie aktywnej aplikacji z komputera na smartfon w czasie rzeczywistym. Wyświetlany obraz jest już odpowiednio podzielony i przygotowany do odbioru przez gogle VR.

Badanie było nagrywane za pośrednictwem programu OBS Studio, dzięki któremu oprócz ekranu komputera nagrywana była jednocześnie twarz osoby badanej z kamery, w którą wyposażony jest laptop. Oprócz tego program umożliwia śledzenie aktywności z klawiatury i myszki, co również jest uwzględniane w nagraniu. Dzięki temu analizując badania można określić kiedy zostało wywołane kliknięcie myszki za pośrednictwem interfejsu mózg-komputer.

5. Testy

Badanie zostało przeprowadzone w ciągu dwóch dni. Osobą badaną była 25-letnia kobieta. Warunki przeprowadzonego badania były jednakowe w każdym dniu – odbywały się w ciszy, o tej samej porze dnia. Osoba badana była wyspana (po 8 godzinach snu) i najedzona.

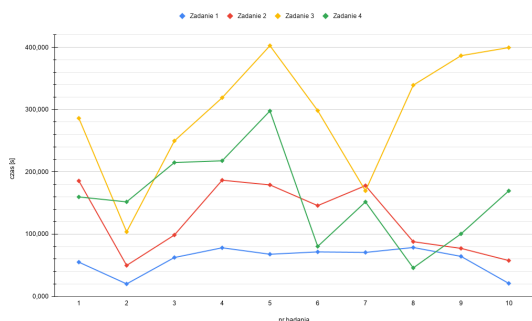
Dzień pierwszy badań polegał na przeprowadzeniu 10 prób bez wykorzystywania gogli wirtualnej rzeczywistości. Każde badanie rozpoczynało się od prawidłowego zamontowania interfejsu mózg-komputer na głowie osoby badanej. Elektrody należało dokładnie namoczyć roztworem soli fizjologicznej lub płynem do soczewek, a następnie założyć na głowę zgodnie z instrukcją widoczną w programie.

Drugi dzień badań obejmował wykorzystanie go-

gli wirtualnej rzeczywistości. Należało powtórzyć montaż oraz kalibrację urządzenia BCI, a dodatkowo poprawnie skonfigurować i założyć gogle VR. W programie *Trinus Cardboard* na komputerze należało ustawić opcję „Sensor Mode” na *No sensor*, po to, aby nadal sterować kursorem za pomocą podłączonej myszy komputerowej, a nie za pomocą żyroskopu wbudowanego w telefonie. Po wciśnięciu „START” w aplikacji *Trinus* na telefonie oraz na komputerze smartfon rozpoczyna transmisję aktywności aplikacji z komputera. Na tym etapie należało upewnić się czy wszystkie elektrody w programie nadal są zielone i czy osoba badana widzi poprawnie obraz i kursor. Kiedy wszystko było gotowe nagranie było uruchamiane, a osoba badana mogła rozpocząć badanie w dowolnej chwili naciskając klawisz Enter.

6. Rezultaty

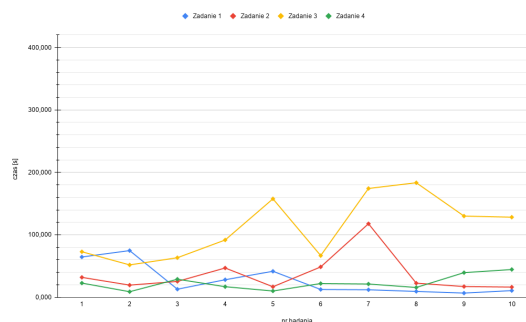
Dane z eksperymentu zostały zestawione w programie *Excel*, a następnie na potrzeby generowania wykresów czas trwania poszczególnych zadań został zamieniony na sekundy. Dla każdego zadania zostały również wyliczone średnie czasy zebrane z dziesięciu prób.



Rysunek 5: Dane dla każdego zadania z 10 prób bez VR

Źródło: własne

Sporządzono wykresy liniowe, które prezentują zmiany czasu wykonywania zadania w poszczególnych próbach (Rys. 5 oraz Rys. 6). Z wykresów można odczytać, że zadanie o niskiej złożoności (Zadanie 1) bez wykorzystania gogli VR zajmowało podobną ilość czasu w każdej z prób i był to czas najkrótszy. Natomiast im większa była złożoność i precyzja wykonywanego zadania, tym większy był ogólny czas trwania wykonywanego zadania oraz wahnięcia tego czasu. Dla zadania pierwszego średni czas wynosił niecałe 59 sekund, a amplituda między najkrótszym, a najdłuższym czasem wykonywania tego zadania wynosiła ok. 58 sekund. Natomiast dla zadania trzeciego, które okazało się naj-



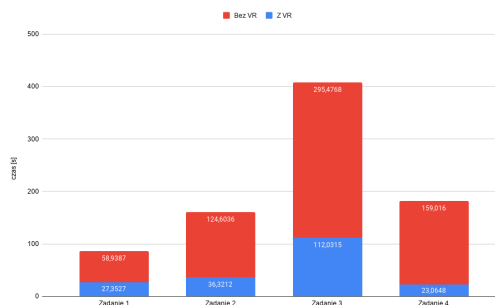
Rysunek 6: Dane dla każdego zadania z 10 prób z VR

Źródło: własne

bardziej skomplikowane czas był 5-krotnie dłuższy, tj. odpowiednio średni czas – 295 sekund oraz amplituda – 299 sekund.

Dane zebrane w badaniach, w których wykorzystano gogle wirtualnej rzeczywistości są mniej zróżnicowane w poszczególnych próbach. Widać wyraźnie, że odchylenia pojawiają się rzadziej i tylko w zadaniach o wyższej złożoności. Czas w jakim wykonywane są zadania jest podobny dla wszystkich czterech zadań, a zatem wykorzystanie gogli VR sprawiło, że złożoność zadania nie była aż tak istotna. Zadaniem, które było wykonywane najszybciej to rysowanie koła. Średni czas wynosił 23 sekundy, natomiast różnica między najkrótszym, a najdłuższym czasem wykonywania tego zadania wyniosła ok. 36 sekund. Zadaniem wykonywanym najdłużej ponownie okazało się zadanie 3, czyli rysowanie sześcią. Tutaj średni czas wynosił 112 sekund, a różnica – niecałe 132 sekundy.

Zestawiając uzyskane średnie wyniki można jednoznacznie stwierdzić, że wyniki uzyskane w próbach z wykorzystaniem gogli VR są zdecydowanie krótsze (Rys. 7). Poziom koncentracji osiągnąć było szybciej i łatwiej było go utrzymać. Największą po-



Rysunek 7: Zestawienie średnich wyników

Źródło: własne

prawę wyników czasowych udało się uzyskać dla zadania 4 (rysowanie koła) i jest to niemal 6-krotnie mniejszy średni czas wykonywania tego zadania. Zadanie 2 uzyskało ok. 3,5-krotnie niższy czas, natomiast zadania 3 i 1 niewiele gorzej - ponad 2-krotnie krótszy czas.

7. Wnioski

Przeprowadzone badania pozwoliły określić, że czas wykonywania zadań polegających na rysowaniu kształtów geometrycznych o różnej złożoności zmniejsza się znacząco, gdy zadania wykonywane są z wykorzystaniem gogli wirtualnej rzeczywistości. Łączny średni czas wykonywania zadań zmniejszył się ponad 3-krotnie. Oznacza to, że szybciej osiągnięty był odpowiedni poziom skupienia oraz możliwe było utrzymywanie go przez dłuższy czas. Dodatkową obserwacją jest fakt, że zadanie wymagające największej precyzji okazało się o wiele łatwiejsze, gdy było wsparte rzeczywistością wirtualną.

Istnieje realny wpływ wykorzystywania środowiska wirtualnego na użytkowanie interfejsu mózg-komputer. Rozwiązanie to jest bardziej intuicyjne i nie wymaga tak długiego treningu, jak w przypadku tradycyjnego wykorzystywania BCI. A zatem może być z powodzeniem wykorzystane w projektowaniu i tworzeniu nowych koncepcji wizualnych, między innymi przy tworzeniu rysunków poglądowych, szkiców, a także modelowaniu brył w przestrzeni, sculpingu (cyfrowym rzeźbieniu).

Taki rodzaj zanurzenia w rzeczywistość wirtualną może zapoczątkować całą serię aplikacji obsługiwanych w sposób intuicyjny, za pomocą komend myślowych, w wykreowanym wirtualnym świecie. Pozwoliłoby to wykonywać nużące i powtarzalne czynności w odmienny, prosty, a zarazem bardziej rozrywkowy sposób. Takie rozwiązanie przeznaczone byłoby nie tylko dla osób zdrowych, lecz także dla osób z dysfunkcjami ruchowymi, które w ten sposób byłyby bardziej niezależne.

Kolejnym możliwym zastosowaniem są inteligentne domy. Odpowiedni interfejs wykorzystujący rzeczywistość rozszerzoną pozwoliłby sterować wieloma inteligentnymi urządzeniami poprzez komendy myślowe.

Istotnym torem rozwoju tych połączonych technologii są różnego rodzaju symulacje i sesje treningowe. Przykładem może być obsługiwanie wózka inwalidzkiego sterowanego poprzez BCI lub sterowanie dronem na przygotowanej symulacji w wirtualnym środowisku bez ponoszenia ryzyka uszkodzenia sprzętu oraz urazów fizycznych użytkownika i/lub osób postronnych.

Literatura

- [1] J. Amores, X. Benavides, and P. Maes, "PsychicVR: Increasing mindfulness by using virtual reality and brain computer interfaces," in *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 2016, pp. 2–2.
- [2] E. A. Curran and M. J. Stokes, "Learning to control brain activity: A review of the production and control of EEG components for driving brain-computer interface (BCI) systems," *Brain and cognition*, vol. 51, no. 3, pp. 326–336, 2003.
- [3] W. J. Greenleaf, "Virtual reality applications in medicine," in *Proceedings of WESCON'95*. IEEE, 1995, p. 691.
- [4] W.-Y. Hsu, "Brain-computer interface connected to telemedicine and telecommunication in virtual reality applications," *Telematics and Informatics*, vol. 34, no. 4, pp. 224–238, 2017.
- [5] G. Jayabhavani, N. Raajan, and R. Rubini, "Brain mobile interfacing (BMI) system embedded with wheelchair," in *2013 IEEE Conference on Information & Communication Technologies*. IEEE, 2013, pp. 1129–1133.
- [6] M. Kołodziej, R. J. Rak, and A. Majkowski, "Interfejs mózg-komputer – wybrane problemy rejestracji i analizy sygnału EEG," *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, 2009. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/308596494>
- [7] P. Kucharski, A. Rybicki, and M. Kopaczyńska, "Połączenie mózg-komputer jako metoda komunikacji z niereagującymi pacjentami – przegląd literatury," *Acta Bio-Optica et Informatica Medica. Inżynieria Biomedyczna*, vol. 21, no. 3, 2015.
- [8] R. Leeb, R. Scherer, C. Keinrath, G. Pfurtscheller, D. Friedman, F. Y. Lee, H. Bischof, and M. Slater, "23 Combining BCI and Virtual Reality: Scouting Virtual Worlds," *Toward brain-computer interfacing*, p. 393, 2007.
- [9] E. Mikołajewska and D. Mikołajewski, "Interfejsy mózg-komputer jako rozwiązania dla osób niepełnosprawnych z uszkodzeniami układu nerwowego," *Niepełnosprawność – zagadnienia, problemy, rozwiązania*, vol. 3, no. 4, pp. 19–36, 2012.
- [10] M. M. Moore, "Real-world applications for brain-computer interface technology," *IEEE*

Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, vol. 11, no. 2, pp. 162–165, 2003.

- [11] S. Paszkiel, “Control based on brain-computer interface technology for video-gaming with virtual reality techniques,” *Journal of Automation Mobile Robotics and Intelligent Systems*, vol. 10, 2016.
- [12] S. Paszkiel, “Using BCI and VR Technology in Neurogaming,” in *Analysis and Classification of EEG Signals for Brain-Computer Interfaces*. Springer, 2020, pp. 93–99.
- [13] Y. Renard, F. Lotte, G. Gibert, M. Congedo, E. Maby, V. Delannoy, O. Bertrand, and A. Lécuyer, “OpenViBE: An Open-Source Software Platform to Design, Test and Use Brain-Computer Interfaces in Real and Virtual Environments,” *Presence: teleoperators and virtual environments*, vol. 19, no. 1, pp. 35–53, 2010.
- [14] M. Van Gerven, J. Farquhar, R. Schaefer, R. Vlek, J. Geuze, A. Nijholt, N. Ramsey, P. Haselager, L. Vuurpijl, S. Gielen *et al.*, “The brain-computer interface cycle,” *Journal of neural engineering*, vol. 6, no. 4, p. 041001, 2009.
- [15] A. Wulff-Abramsson, A. Lopez, and L. A. M. Cerda, “Paint with Brainwaves – A Step Towards a Low Brain Effort Active BCI Painting Prototype,” in *Mobile Brain-Body Imaging and the Neuroscience of Art, Innovation and Creativity*. Springer, 2019, pp. 183–188.
- [16] D. Zapala, P. Francuz, E. Zapala, N. Kopiś, P. Wierzgała, P. Augustynowicz, A. Majkowski, and M. Kołodziej, “The impact of different visual feedbacks in user training on motor imagery control in BCI,” *Applied psychophysiology and biofeedback*, vol. 43, no. 1, pp. 23–35, 2018.