

**Adam Baniuszewicz**

nr albumu: 33816

kierunek studiów: Teleinformatyka

forma studiów: studia stacjonarne

specjalność: Sieci teleinformatyczne i systemy mobilne

**ALGORYTMY POLECEŃ MENTALNYCH W INTERFEJSACH  
MÓZG-KOMPUTER**

**ALGORITHMS OF MENTAL COMMANDS IN BRAIN-COMPUTER  
INTERFACES**

Praca dyplomowa magisterska

napisana pod kierunkiem:

**dr. inż. Roberta Krupińskiego**

Katedra Przetwarzania Sygnałów i Inżynierii Multimedialnej

Data wydania tematu pracy: 01.11.2018 r.

Data złożenia pracy: TODO r.

Szczecin, TODO



## **OŚWIADCZENIE AUTORA PRACY DYPLOMOWEJ**

Oświadczam, że praca magisterska pn.

„Algorytmy poleceń mentalnych w interfejsach mózg-komputer”

napisana pod kierunkiem:

dr. inż. Roberta Krupińskiego

jest w całości moim samodzielnym autorskim opracowaniem sporządzonym przy wykorzystaniu wykazanej w pracy literatury przedmiotu i materiałów źródłowych.

Złożona w dziekanacie Wydziału Elektrycznego treść mojej pracy dyplomowej w formie elektronicznej jest zgodna z treścią w formie pisemnej.

Oświadczam ponadto, że złożona w dziekanacie praca dyplomowa ani jej fragmenty nie były wcześniej przedmiotem procedur procesu dyplomowania związanych z uzyskaniem tytułu zawodowego w uczelniach wyższych.

.....  
podpis dyplomanta

Szczecin, dn. TODO r.

## **Streszczenie pracy**

TODO

## **Słowa kluczowe**

BCI, Elektroencefalografia

## **Abstract**

TODO

## **Keywords**

BCI, Electroencephalography

# Spis treści

<b>Wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów</b>	6
<b>Wprowadzenie</b>	7
<b>1. Analiza rozwiązań BCI</b>	9
1.1. Rodzaje interfejsów	9
1.1.1. Inwazyjne	9
1.1.2. Nieinwazyjne	9
1.2. Rodzaje rejestrowanych sygnałów	9
1.2.1. EEG	9
1.2.2. EMG	9
1.2.3. ECG	9
1.2.4. EOG	9
1.3. Charakterystyka wybranych urządzeń komercyjnych	9
1.3.1. Emotiv Insight	9
1.3.2. Emotiv EPOC+	12
1.3.3. Muse/Muse 2	14
1.3.4. Mindwave Mobile 2	16
1.3.5. OpenBCI Ultracortex <i>Mark IV</i>	16
<b>2. Przegląd dostępnych rozwiązań</b>	19
<b>3. Analiza istniejących algorytmów ekstrakcji cech</b>	21
<b>4. Projekt systemu</b>	23
<b>5. Badania opracowanego systemu</b>	25
<b>Zakończenie</b>	26
<b>Bibliografia</b>	27
<b>Spis tabel</b>	28
<b>Spis rysunków</b>	29
<b>Spis kodów źródłowych</b>	30

## Wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów

<b>API</b>	Application programming interface — Interfejs programistyczny aplikacji
<b>BCI</b>	Brain-computer interface — Interfejs mózg-komputer
<b>EEG</b>	Elektroencefalografia
<b>EKG</b>	Elektrokardiografia
<b>EMG</b>	Elektromiografia
<b>EOG</b>	Elektrookulografia
<b>SDK</b>	Software development kit — Zestaw narzędzi do tworzenia oprogramowania

# **Wprowadzenie**

TODO

## **Cel pracy**

TODO

## **Zakres pracy**

TODO





## **ROZDZIAŁ 1**

# **Analiza rozwiązań BCI**

## **1.1. Rodzaje interfejsów**

### **1.1.1. Inwazyjne**

### **1.1.2. Nieinwazyjne**

## **1.2. Rodzaje rejestrowanych sygnałów**

### **1.2.1. EEG**

### **1.2.2. EMG**

### **1.2.3. ECG**

### **1.2.4. EOG**

## **1.3. Charakterystyka wybranych urządzeń komercyjnych**

### **1.3.1. Emotiv Insight**

Insight (patrz rysunek 1.1 na następnej stronie) jest produktem wprowadzonym na rynek w roku 2015 przez firmę Emotiv przy wsparciu crowdfundingu na portalu kickstarter. Jest produktem do użytku codziennego, głównie za sprawą minimalistycznego designu oraz braku konieczności stosowania żelów przewodzących, przeznaczonym do mniej precyzyjnych zastosowań.

Jest wyposażony w pięć czujników właściwych oraz dwa referencyjne. Lokalizacja czujników została przedstawiona na rysunku 1.2 na stronie 11. Czas ubrania oraz ustawienia urządzenia oscyluje w granicach 1–2 minut. Parametry urządzenia zostały zestawione w tabeli 1.1 na stronie 12.

Koszt produktu na dzień 21 kwietnia 2019 roku wynosi 299\$.



**Rysunek 1.1.** Hełm Emotiv Insight

Źródło: [4]

Firma Emotiv dostarcza do swoich rozwiązań API<sup>1</sup> o nazwie Cortex. Stanowi on podstawę do budowania aplikacji wykorzystujących pobrane z hełmów strumienie danych dzięki wykorzystaniu JSON oraz WebSocket[2]. Cortex ułatwia tworzenie gier, aplikacji oraz rejestrowania danych do późniejszego ich wykorzystania do badań.

Cortex jest wrapperem SDK<sup>2</sup> firmy EMOTIV. Zapewnia on, w zależności od rodzaju zakupionej licencji, dostęp do różnych strumieni danych z hełmów. Jest kompatybilny z systemami Mac OS oraz Windows. Umożliwia programowanie w językach Java, C#, C++, Python, Ruby, JavaScript (Node.js) oraz PHP.

Licencja Cortex jest dostępna w trzech planach:

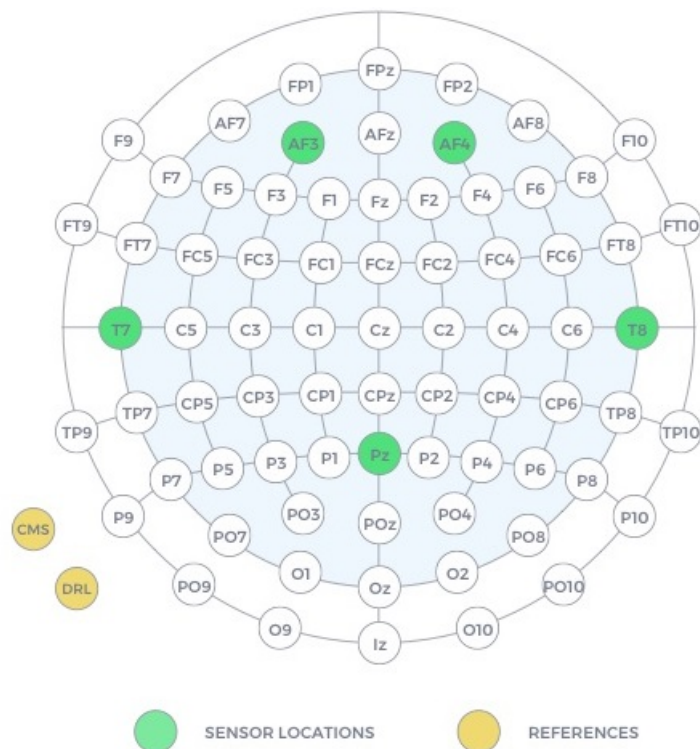
#### **Darmowa**

- Mental Commands API,
- Performance Metrics API (do 0,1 Hz),
- Frequency Bands API,
- Facial Expressions API,

---

<sup>1</sup>API (*ang.* application programming interface) – Interfejs programistyczny aplikacji. Zawiera zestaw reguł i ich opisów, które definiują sposób komunikacji między programami komputerowymi.

<sup>2</sup>SDK (*ang.* software development kit) – Zestaw narzędzi dla programistów niezbędny w tworzeniu aplikacji korzystających z danej biblioteki.



**Rysunek 1.2.** Rozmieszczenie sensorów w hełmie Emotiv Insight

Źródło: [4]

- Motion data API,
- nielimitowana ilość sesji na 3 urządzeniach.

### **Niekomercyjna pro – \$55-99/miesiąc**

- Wszystkie API z licencji darmowej,
- Raw EEG API,
- oprogramowanie EmotivPRO,
- nielimitowana ilość sesji na 3 urządzeniach.

### **Komercyjna**

- Performance Metrics API o wysokiej rozdzielczości,
- konfigurowanie API pod swoje potrzeby,
- tworzenie komercyjnych rozwiązań.

Oprogramowanie EmotivPRO[5], dostępne w licencjach niekomercyjnej pro oraz komercyjnej, stanowi wsparcie dla badań wykorzystujących EEG. Pozwala ono na akwizycję oraz prezentację strumieni danych w czasie zbliżonym do rzeczywistego, zapisywanie sesji w chmurze oraz szybką analizę wbudowanym algorytmem FFT<sup>3</sup>, bez konieczności eksportu danych.

<sup>3</sup>FFT (ang. Fast Fourier Transform) – Szybka transformacja Fouriera.

**Tabela 1.1.** Parametry Emotiv Insight

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [6]

Ilość kanałów	5 (+2 referencyjne)
Umieszczenie elektrod	AF3, AF4, T7, T8, Pz
Czujniki referencyjne	DMS/DRL
Rozdzielczość	14 bit na kanał
Rozdzielczość LSB	0,51 $\mu\text{V}$ @ 14 bit
Rodzaj czujników	Półsuchy polimer
Detekcja ruchu	9-osiowy czujnik (3x żyroskop, 3x akcelerometr, 3x magnetometr)
Łączność	Bezprzewodowa 2,4GHz/Bluetooth 4.0
Zasilanie	Li-Pol 480 mAh, do 8 godzin pracy

### 1.3.2. Emotiv EPOC+

EPOC+, pokazany na rysunku 1.3 na następnej stronie, został wprowadzony na rynek w 2013 roku przez firmę Emotiv. Został zaprojektowany do badań wykorzystujących EEG oraz zaawansowanych zastosowań BCI[3].

Jest wyposażony w 14 kanałów właściwych oraz 2 referencyjne (dokładna lokalizacja sensorów została przedstawiona na rysunku 1.4 na sąsiedniej stronie). W odróżnieniu od Emotiv Insight, omówionego w rozdziale 1.3.1 na stronie 9, wymaga stosowania *mo-krych* elektrod, pokrytych nasączonym solą fizjologiczną filcem. Ze względu na większą ilość czujników niż w Emotiv Insight, czas ubrania oraz przygotowania urządzenia do pracy wynosi około 3–5 minut. Parametry hełmu zostały przedstawione w tabeli 1.2.

Koszt produktu na dzień 21 kwietnia 2019 roku wynosi 799\$.

**Tabela 1.2.** Parametry Emotiv EPOC+

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [6]

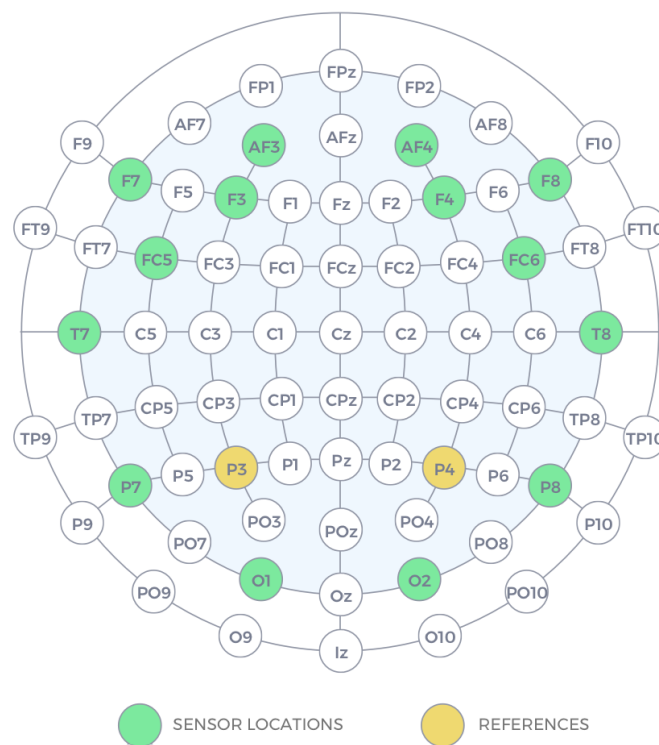
Ilość kanałów	14 (+2 referencyjne)
Umieszczenie elektrod	AF3, AF4, F3, F4, FC5, FC6, F7, F8, T7, T8, P7, P8, O1, O2
Czujniki referencyjne	DMS/DRL
Rozdzielczość	14/16 bit na kanał
Rozdzielczość LSB	0,51 $\mu\text{V}$ @ 14 bit/0,13 $\mu\text{V}$ @ 16 bit
Rodzaj czujników	Nasączone solą fizjologiczną
Detekcja ruchu	9-osiowy czujnik (3x żyroskop, 3x akcelerometr, 3x magnetometr)
Łączność	Bezprzewodowa 2,4GHz/Bluetooth 4.0
Zasilanie	Li-Pol 680 mAh, do 12 godzin pracy

Od strony programistycznej urządzenie wykorzystuje to samo API oraz SDK co Emotiv Insight; zostały one omówione w rozdziale 1.3.1 na stronie 9.



**Rysunek 1.3.** Hełm Emotiv EPOC+

Źródło: [3]



**Rysunek 1.4.** Rozmieszczenie sensorów w hełmie Emotiv EPOC+

Źródło: [3]

### 1.3.3. Muse/Muse 2

Muse/Muse 2 są urządzeniami wspomagającymi medytację, które pozwalają na rejestrację w czasie rzeczywistym aktywności mózgu, tętna, oddechu oraz ruchu ciała<sup>4</sup>[8]. Przekształcają one zmierzoną aktywność mózgu w predefiniowane dźwięki, takie jak szum wody czy deszczu; w zależności od poziomu skupienia dźwięk będzie spokojny lub gwałtowny, co pozwala osobom uczącym się medytować na efektywniejszą naukę wyciszenia umysłu.

Oba urządzenia są z wyglądu bardzo do siebie podobne. Nowsze, Muse 2 (pokazane na rysunku 1.5), w odniesieniu do poprzedniej wersji, zostało *odchudzone*, przez co nabrało bardziej eleganckiego wyglądu oraz zyskało niższy profil z dodatkowymi czujnikami[11]. Dodano również miękkie w dotyku wykończenie.



**Rysunek 1.5.** Opaska Muse 2

Źródło: [8]

Obie opaski są wyposażone w 7 czujników, w tym 3 referencyjne (patrz rysunek 1.6 na następnej stronie). Zestawienie parametrów oferowanych przez obie opaski znajduje się w tabeli 1.3 na stronie 16.

Koszt Muse wynosi 219€; Muse 2 – 269€.

Muse posiada oferty skierowane do następujących grup:

#### **Deweloperów**

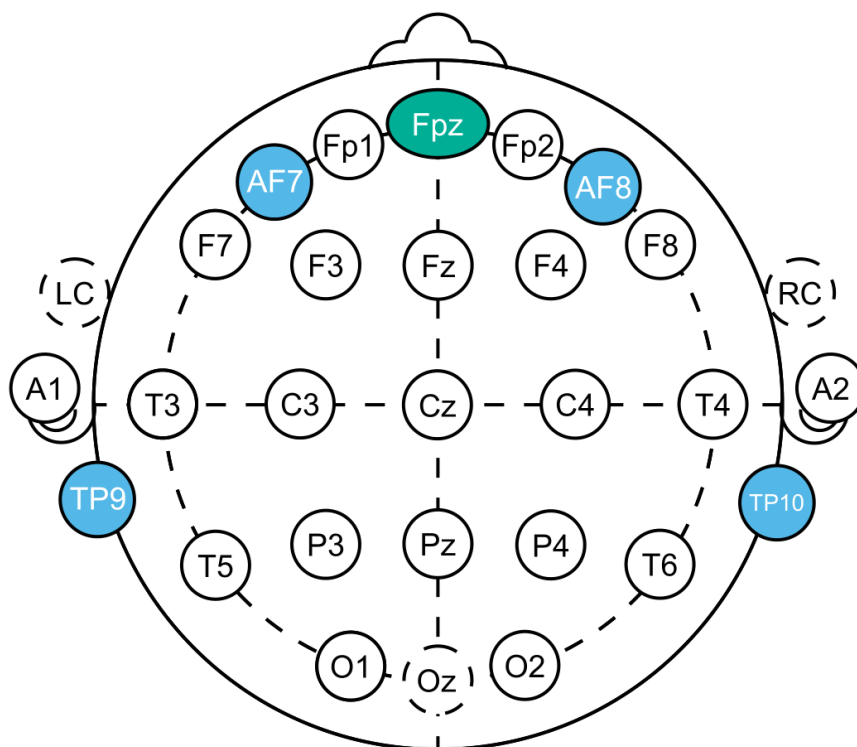
Na dzień 23 kwietnia 2019 roku Muse nie wspiera aktywnie swojego SDK<sup>5</sup>. Ostatnią dostępną wersją jest v6.0.3, wydana w marcu 2018 roku. Opaska Muse 2, z racji późniejszej daty premiery, **nie jest wspierana przez SDK**. Na stronie dla deweloperów[9] znajduje się odnośnik do innych narzędzi, takich jak Muse Direct czy projektów open source, np. MuseLSL, EEG Notebooks.

#### **Profesjonalistów**

W ramach subskrypcji Muse Connect profesjonaliści otrzymują program wspoma-

<sup>4</sup>Rejestracja poszczególnych parametrów w zależności od wersji opaski.

<sup>5</sup>SDK – Patrz przyp. 2 na stronie 10.



**Rysunek 1.6.** Rozmieszczenie sensorów w opasce Muse

Źródło: [14]

gający rozwój ich biznesu poprzez uczenie ich klientów technik medytacji[10]. W ten sposób otrzymują dostęp do różnych wskazówek m.in. webinarów<sup>6</sup>, studiów przypadków oraz informacji, które pomogą wprowadzić Muse do ich biznesu. Muse Connect wspomaga prowadzenie podopiecznych: ustalanie dla nich celów do realizacji oraz śledzenie ich progresu (również w czasie rzeczywistym).

Aplikacja oferuje dwa rodzaje subskrypcji:

1. miesięczną w cenie 39\$/miesiąc,
2. roczną w cenie 33\$/miesiąc; w tej opcji dodatkowo otrzymujemy za darmo urządzenie Muse.

### Naukowców

W ramach narzędzi dla naukowców Muse oferuje dostęp do MusePlayer oraz MuseLab. MusePlayer służy do rejestrowania, ponownego odtwarzania, przekierowywania oraz przetwarzania danych z opasek. Umożliwia konwersję z natywnego typu danych (.muse) na inne (.txt, .mat, .csv). MuseLab wykorzystuje się do wizualizacji danych.

<sup>6</sup>Webinarium – Internetowe seminarium realizowane przy wykorzystaniu streamingu wideo.

**Tabela 1.3.** Parametry Muse oraz Muse 2

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [7] oraz [14]

Parametr	Muse	Muse 2
Ilość kanałów	4 (+ 3 referencyjne)	4 (+3 referencyjne)
Umieszczenie elektrod	TP9, AF7, AF8, TP10 <sup>a</sup>	TP9, AF7, AF8, TP10 <sup>a</sup>
Czujniki referencyjne	CMS/DRL	CMS/DRL
Rozdzielczość	12 bit na próbkę	12 bit na próbkę
Rodzaj czujników	Suche srebrne/silikonowe	Suche srebrne/silikonowe
Rejestrowane parametry	EEG	EEG, tętno, ruch ciała, oddech
Kompatybilność	iOS, Android	iOS, Android
Łączność	Bezprzewodowa Bluetooth 4.0	Bezprzewodowa Bluetooth 5.0
Zasilanie	Li-Ion, do 5 godzin pracy	Li-Ion, do 5 godzin pracy

<sup>a</sup> Dokładna lokalizacja zależy od wielkości głowy użytkownika; zamieszczono lokalizację zgodną z [14].  
W literaturze można spotkać również T9, FP1, FP2, T10[1].

### 1.3.4. Mindwave Mobile 2

### 1.3.5. OpenBCI Ultracortex Mark IV

Ultracortex jest open-source'owym hełmem zaprojektowanym do pracy ze wszystkimi układami OpenBCI[13]. Pozwala na rejestrację sygnałów EEG, EMG oraz ECG. Wspiera do 16 kanałów rozmieszczonych na 35 różnych lokalizacjach według systemu 10-20<sup>7</sup>.

W projekcie zastosowano *suche* sensory EEG. Ich rozmieszczenie pokazano na rysunku 1.8 na stronie 18.

Czas założenia oraz uruchomienia hełmu wynosi poniżej 30 sekund.

Produkt można kupić w trzech wariantach:

1. Do samodzielnego druku — dostarczane są wszystkie części hełmu oprócz tych, które można wydrukować na drukarce 3D. Hełm należy zmontować samodzielnie na podstawie dokumentacji. Cena: 300–400\$.
2. Niezmontowany — dostarczane są wszystkie części hełmu, również z tymi, które można wydrukować na drukarce 3D. Hełm należy zmontować samodzielnie na podstawie dokumentacji. Cena: 500–600\$.
3. Zmontowany — dostarczany jest całkowicie zmontowany hełm. Cena: 700–850\$.

Dodatkowo należy zakupić wybrany układ OpenBCI. Poniżej zamieszczono opis trzech dostępnych układów.

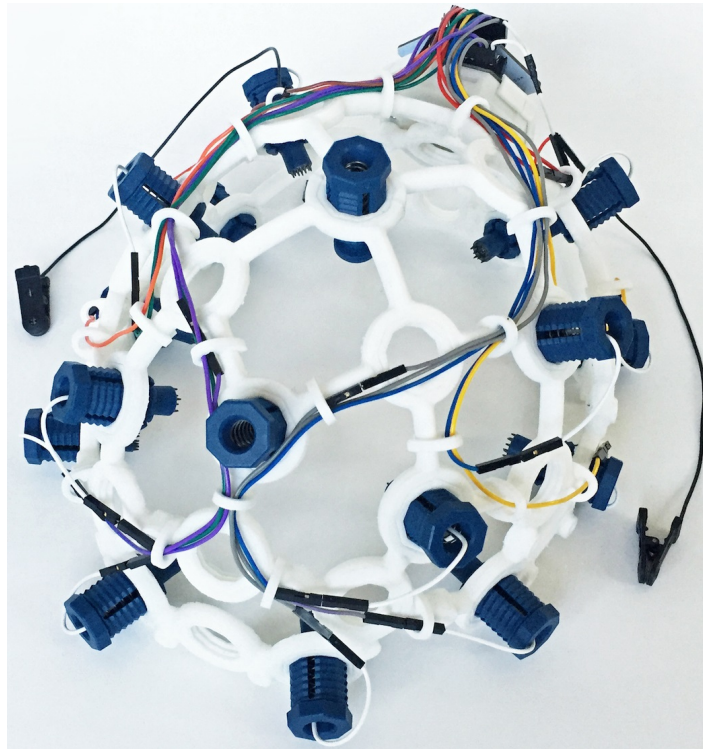
<sup>7</sup>System 10-20 – system opisu umiejscowienia elektrod; składa się z 21 elektrod. Podstawą tego standardu jest zdefiniowanie konturów między punktami orientacyjnymi czaszki (np. nasion, inion), a następnie podzielenie ich na proporcjonalne odległości 20% całkowitej długości. Istnieją również systemy pokrewne, np. 10-10 oraz 10-5, które używają odpowiednio 10% oraz 5% całkowitej długości[15, rozdz. 6].



**Ganglion Board**

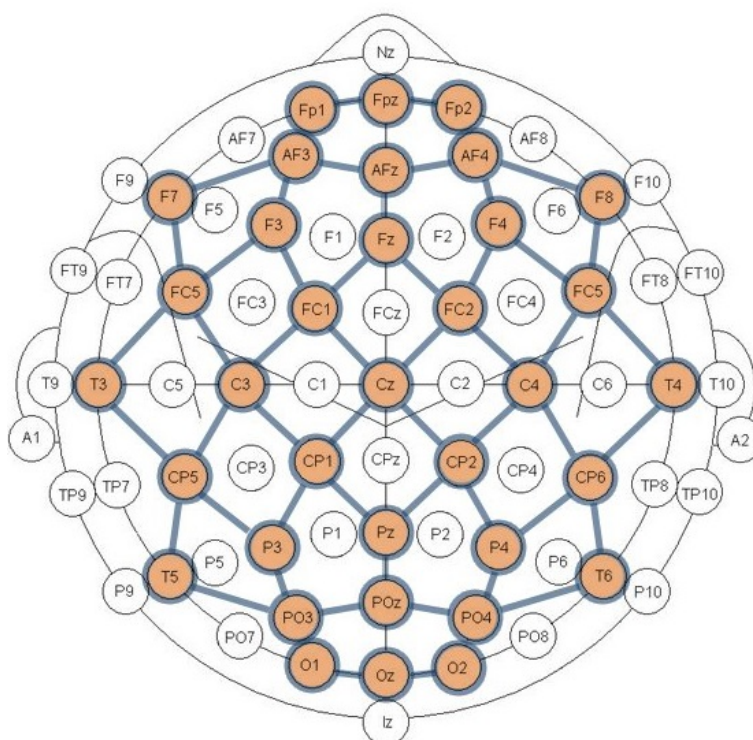
**Cyton Board**

**Cyton + Daisy Board**



**Rysunek 1.7.** Helm Ultracortex Mark IV

Źródło: [12]



**Rysunek 1.8.** Rozmieszczenie sensorów w hełmie Ultracortex Mark IV  
Źródło: [13]

## **ROZDZIAŁ 2**

### **Przegląd dostępnych rozwiązań**



## **ROZDZIAŁ 3**

# **Analiza istniejących algorytmów ekstrakcji cech**



## **ROZDZIAŁ 4**

# **Projekt systemu**





## **ROZDZIAŁ 5**

### **Badania opracowanego systemu**

# Zakończenie

TODO

# Bibliografia

- [1] Bashivan P., Rish I., Heisig S.: Mental state recognition via wearable EEG. *CoRR*, vol. abs/1602.00985, 2016, URL: <http://arxiv.org/abs/1602.00985>.
- [2] EMOTIV: *Develop with Emotiv*, URL: <https://www.emotiv.com/developer/> (dostęp: 08.04.2019).
- [3] EMOTIV: *EMOTIV EPOC+ 14 Channel Mobile EEG*, URL: <https://www.emotiv.com/product/emotiv-epoc-14-channel-mobile-eeeg/> (dostęp: 21.04.2019).
- [4] EMOTIV: *EMOTIV Insight 5 Channel Mobile EEG*, URL: <https://www.emotiv.com/product/emotiv-insight-5-channel-mobile-eeeg/> (dostęp: 21.04.2019).
- [5] EMOTIV: *Emotiv PRO*, URL: <https://www.emotiv.com/emotivpro/> (dostęp: 08.04.2019).
- [6] EMOTIV: *Headsets comparison chart*, URL: <https://www.emotiv.com/comparison/> (dostęp: 04.04.2019).
- [7] InteraXon Inc. *Compare Muse Devices*, URL: <https://choosemuse.com/product-comparison/> (dostęp: 23.04.2019).
- [8] InteraXon Inc. *Introducing Muse 2*, URL: <https://choosemuse.com/muse-2/> (dostęp: 23.04.2019).
- [9] InteraXon Inc. *Muse developer*, URL: <https://choosemuse.com/development/> (dostęp: 23.04.2019).
- [10] InteraXon Inc. *Muse professional*, URL: <https://choosemuse.com/muse-professionals/> (dostęp: 23.04.2019).
- [11] InteraXon Inc. *What are the differences between Muse 2 and Muse the brain sensing headband?*, URL: <https://choosemuse.force.com/s/article/How-is-Muse-2-different-than-Muse-the-brain-sensing-headband?> (dostęp: 23.04.2019).
- [12] OpenBCI: *Ultracortex Mark IV*, URL: <https://docs.openbci.com/Headware/01-Ultracortex-Mark-IV> (dostęp: 28.04.2019).
- [13] OpenBCI: *Ultracortex Mark IV EEG Headset*, URL: <https://shop.openbci.com/products/ultracortex-mark-iv> (dostęp: 28.04.2019).
- [14] *Technical specifications, validation, and research use*, InteraXon Inc., kw. 2017.
- [15] Wolpaw J., Wolpaw E.: *Brain-computer interfaces: principles and practice*, Oxford University Press, USA, 2012.

# Spis tabel

1.1. Parametry Emotiv Insight . . . . .	12
1.2. Parametry Emotiv EPOC+ . . . . .	12
1.3. Parametry Muse oraz Muse 2 . . . . .	16

## Spis rysunków

1.1. Hełm Emotiv Insight . . . . .	10
1.2. Rozmieszczenie sensorów w hełmie Emotiv Insight . . . . .	11
1.3. Hełm Emotiv EPOC+ . . . . .	13
1.4. Rozmieszczenie sensorów w hełmie Emotiv EPOC+ . . . . .	13
1.5. Opaska Muse 2 . . . . .	14
1.6. Rozmieszczenie sensorów w opasce Muse . . . . .	15
1.7. Hełm Ultracortex <i>Mark IV</i> . . . . .	17
1.8. Rozmieszczenie sensorów w hełmie Ultracortex Mark IV . . . . .	18

## **Spis kodów źródłowych**