



Lodz University of Technology
Institute of Electronics

Cluster Analysis of Canonical Correlation Coefficients for the SSVEP based Brain-Computer Interfaces

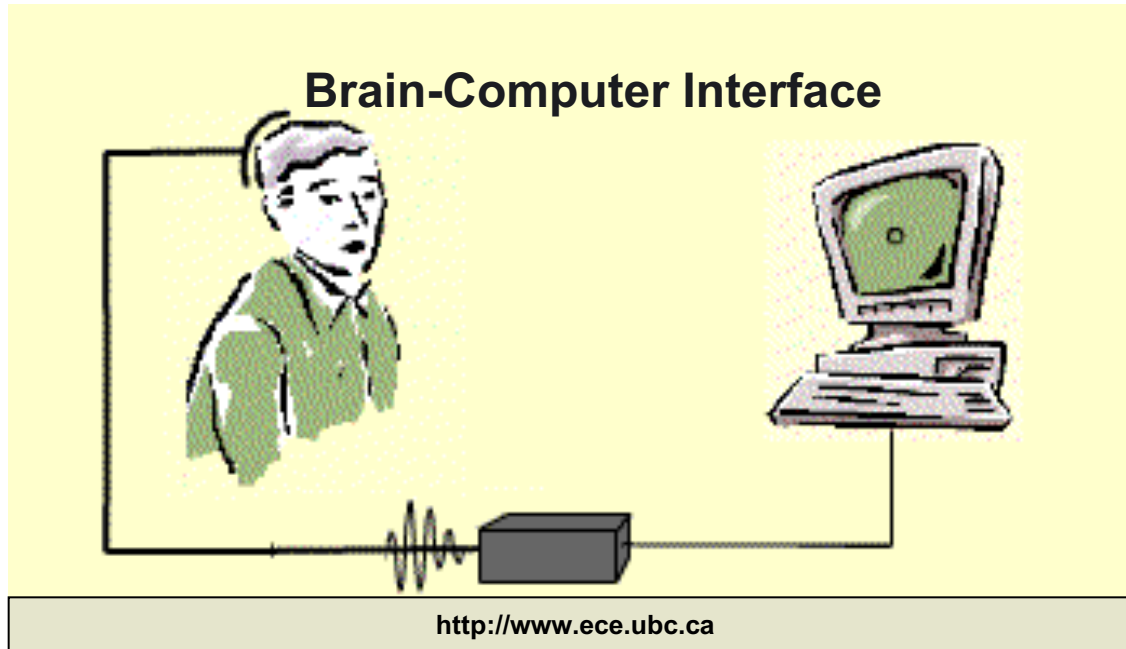


Pawel Poryzala, Andrzej Materka, Marcin Byczuk

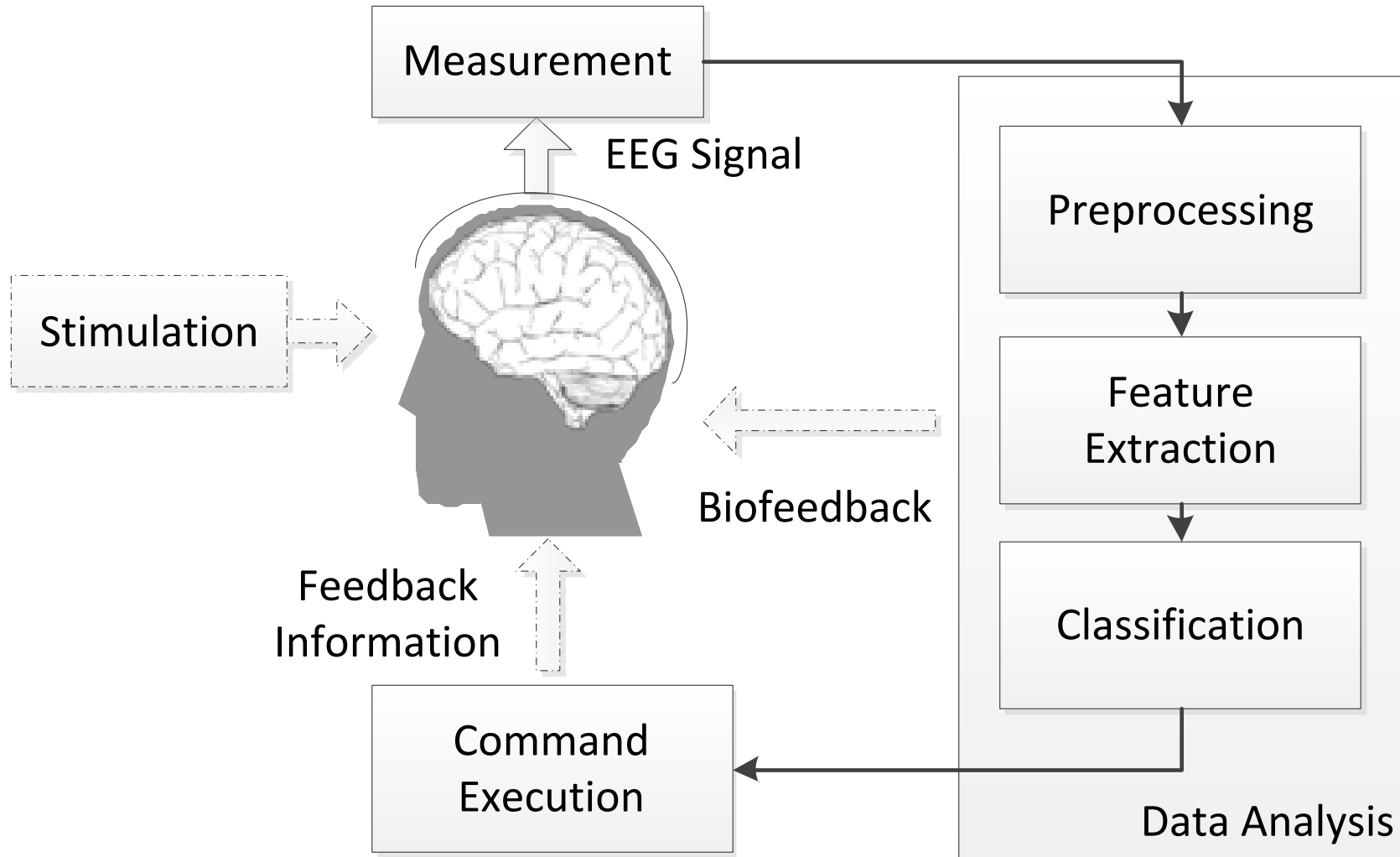


Outline

- Brain-Computer Interfaces
- BCI Applications and Research Trends
- Visual Evoked Potential (VEP, **wzrokowe potencjały wywołane**) Based BCI Systems
- Research Goals
- Stimulation Parameter Selection
- Conclusions
- Supplementary Research



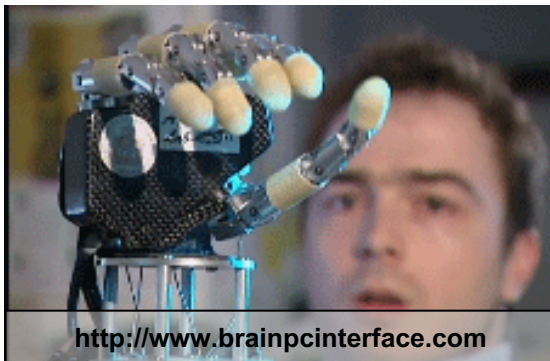
Interface in which messages or commands that a human wants to send to machine do not pass through the brain's normal output pathways of peripheral nerves and muscles.





The absence of effective methods of supporting people completely paralyzed or suffering from serious illness:

- amyotrophic lateral sclerosis (stwardnienie zanikowe boczne),
- subcortical stroke (udar podkorowy),
- cerebral palsy (mózgowe porażenie dziecięce),
- multiple sclerosis (stwardnienie rozsiane),
- locked-in syndrome (zespół zamknięcia).



Helping people with severe disabilities and the elderly:

- wheelchair control, artificial prosthesis,
- rehabilitation (stroke, autism),
- intelligent building control.



<http://cb.nowan.net>

Media and entertainment industry:

- computer games,
- brain-computer interface.

Military industry:

- fighter pilots,
- „future” soldiers.



<http://cb.nowan.net>

In the longer term:

- additional communication channel supplementing traditional communication,
- primary communication channel eliminating traditional communication.



<http://ida.first.fraunhofer.de/bbci>



<http://www.iat.uni-bremen.de>



<http://openbci.pl/>



<http://bci.tugraz.at/>

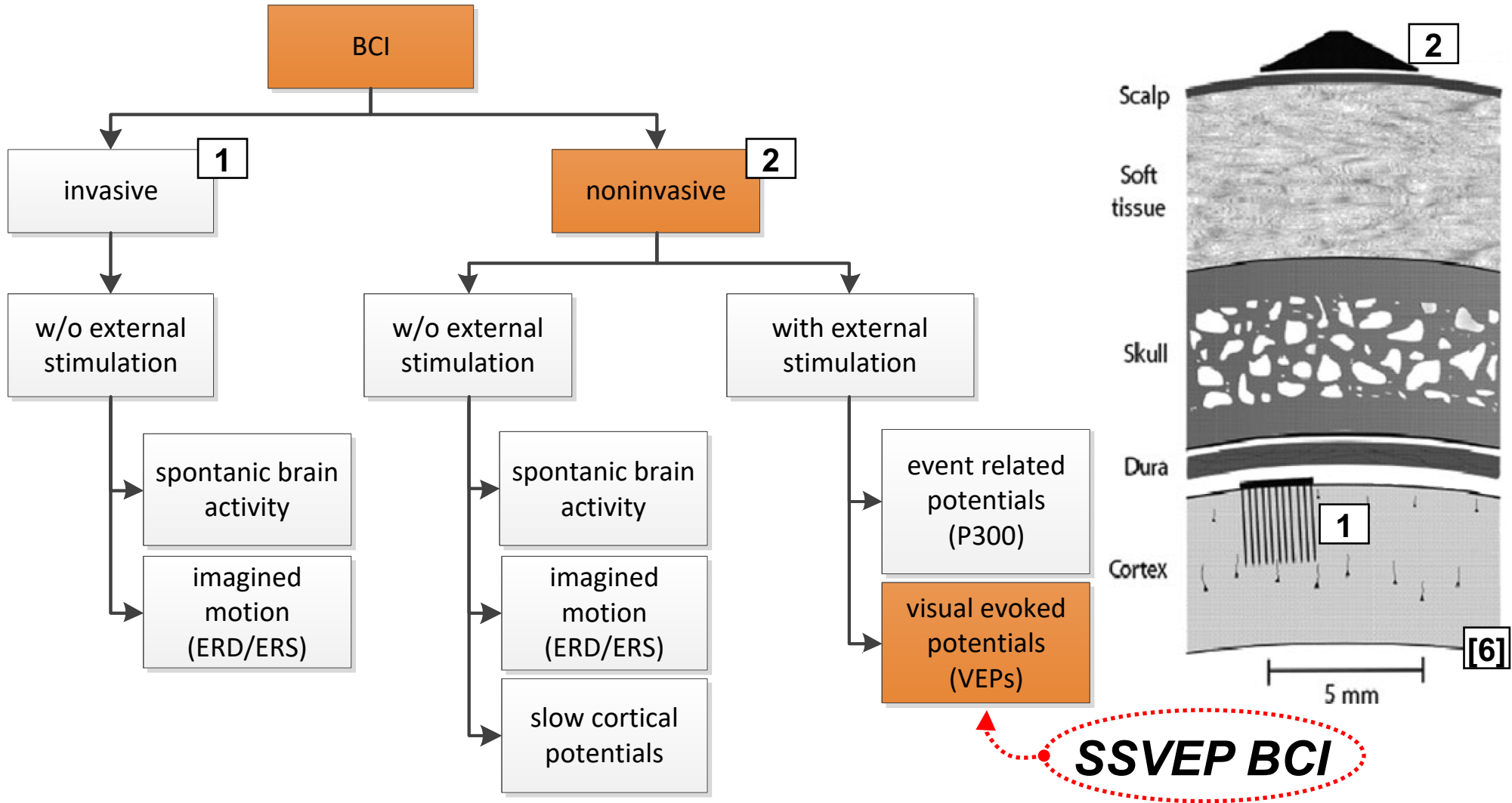


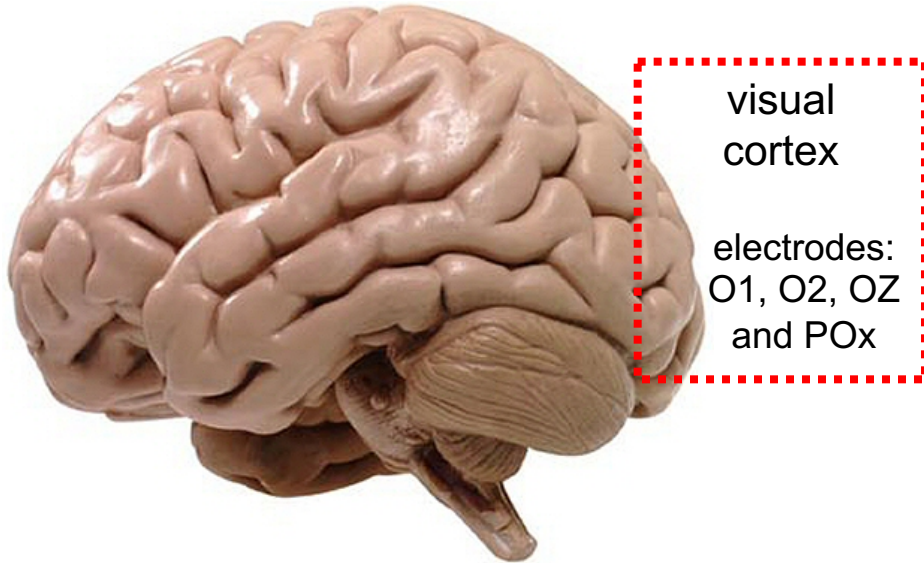
<http://openbci.pl/>



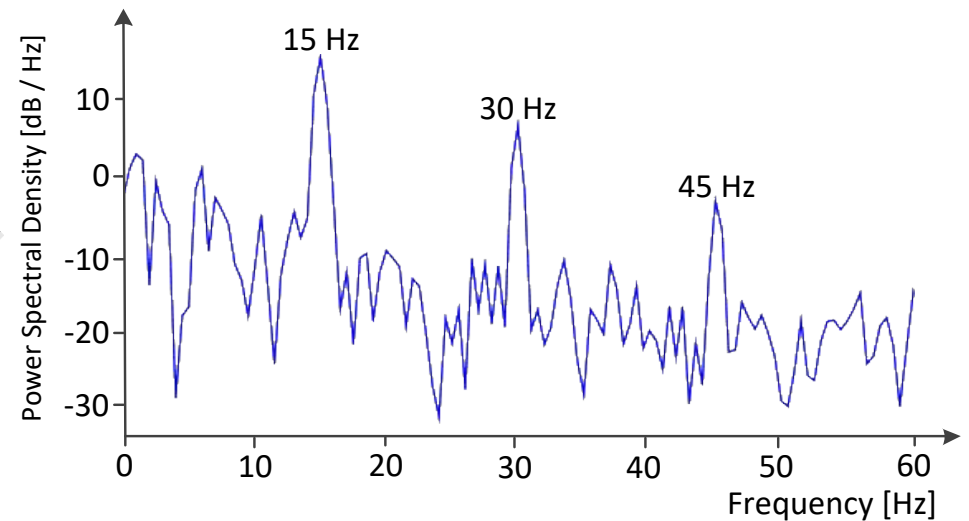
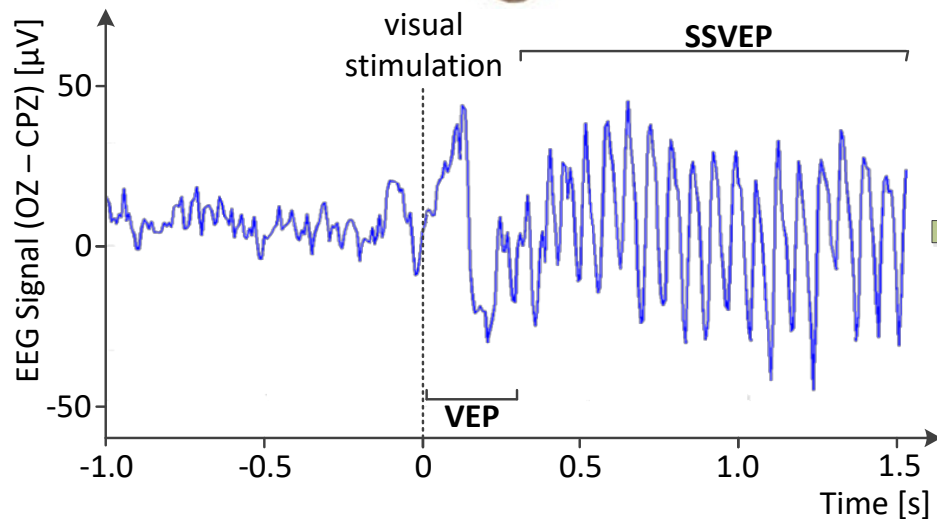
<http://bci.tugraz.at/>

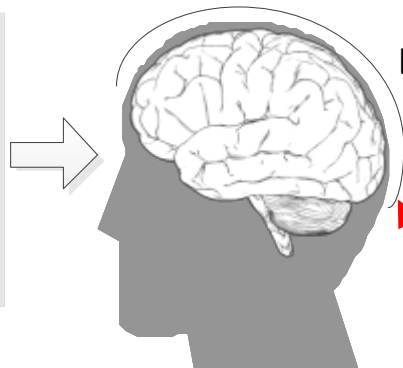
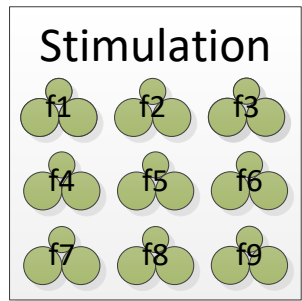






- *Visual Evoked Potential (VEP)*
- *Steady State Visual Evoked Potential (SSVEP)*



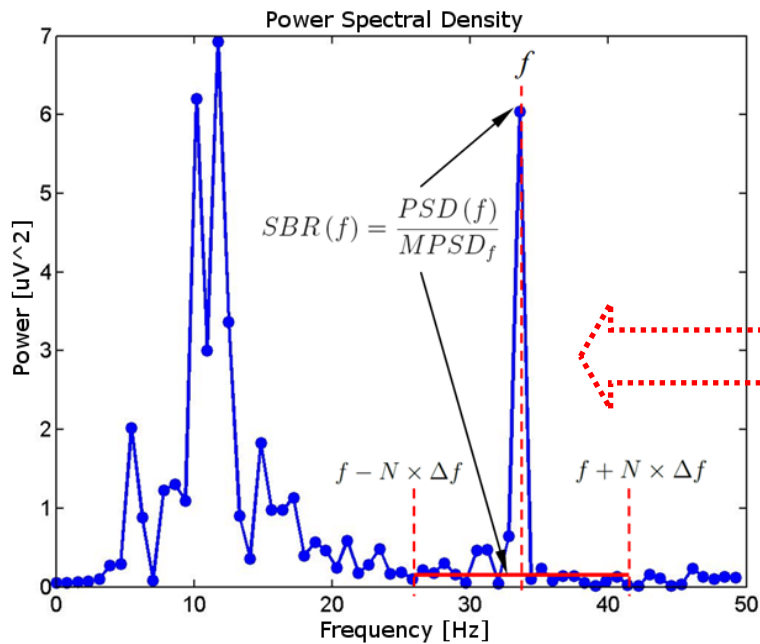
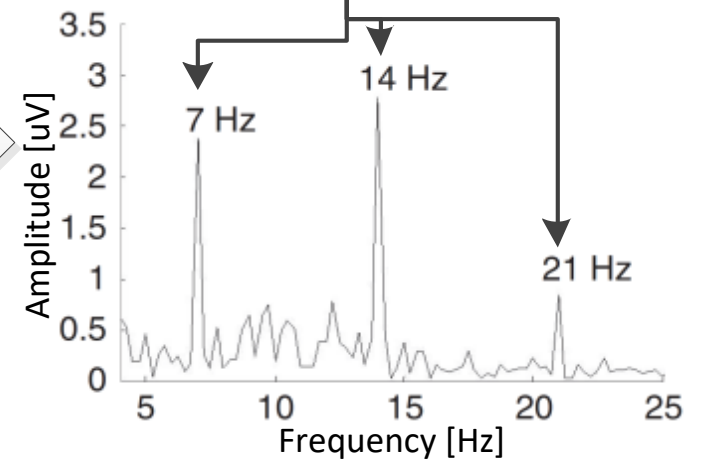


EEG Signal



Channel OZ or diff. channels O1, O2

SSVEP on stimulation frequency and its harmonics



- Power spectral density calculated in a 1,5–3 s time window,
- Local Signal-to-Noise Ratios compared with threshold value.

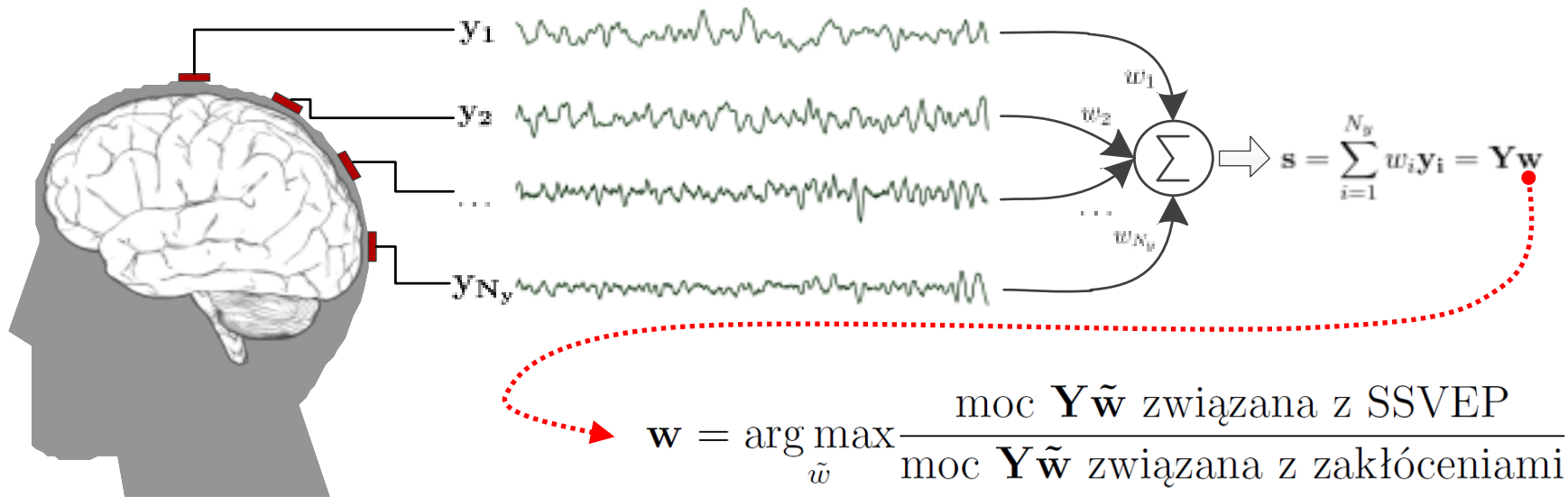


- **Detection time**
 - Time counted from the moment when the user starts to express his intention to the moment when BCI system detects a command.
- **Classification accuracy**
 - Number of correctly classified commands relative to the total number of commands classified by the system.
- **Information Transfer Rate (ITR)**
 - Amount of information which can be transferred between the human brain and the BCI system per minute:

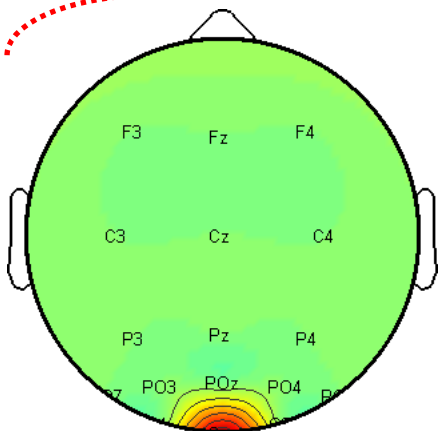
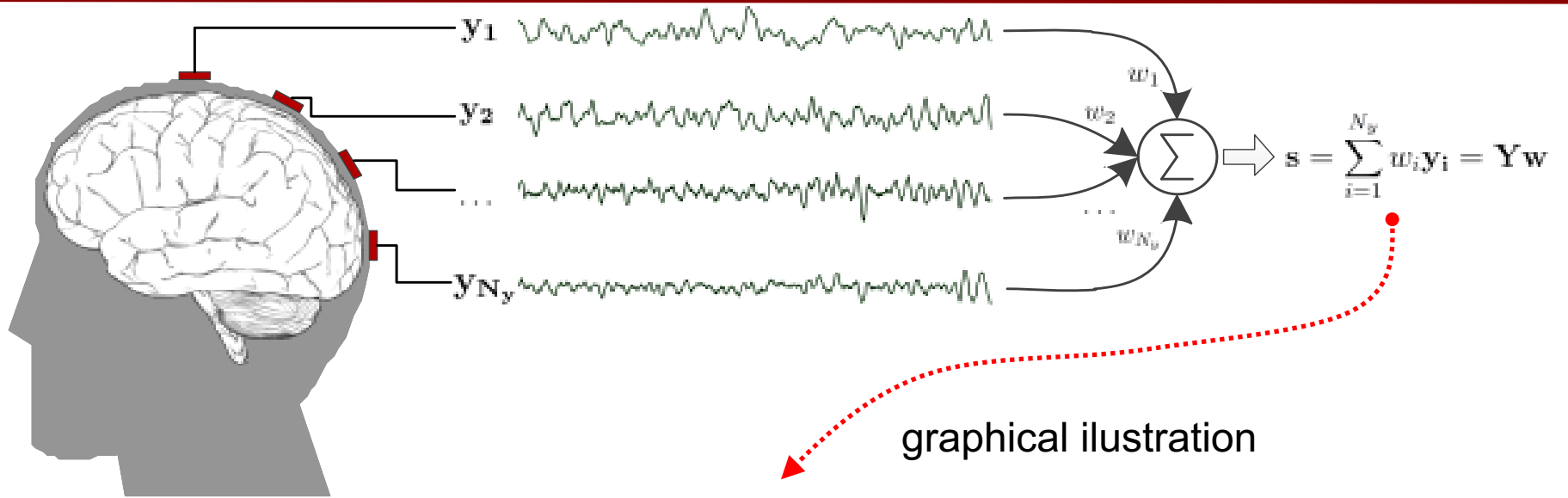
$$B_t = \frac{60}{T_D} \left(\log_2(N) + P \log_2(P) + (1 - P) \log_2 \left(\frac{1 - P}{N - 1} \right) \right) \text{ [bit/min.]}$$

- N – number of commands,
- P – success accuracy (probability between 0 and 1),
- T_D – mean detection time [s].

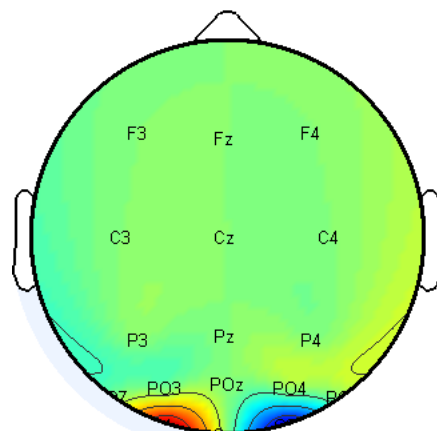
- Poszukuje się takiej kombinacji liniowej kanałów źródłowych, która pozwala zmaksymalizować stosunek mocy sygnału związanego z SSVEP w odniesieniu do mocy sygnałów zakłócających.



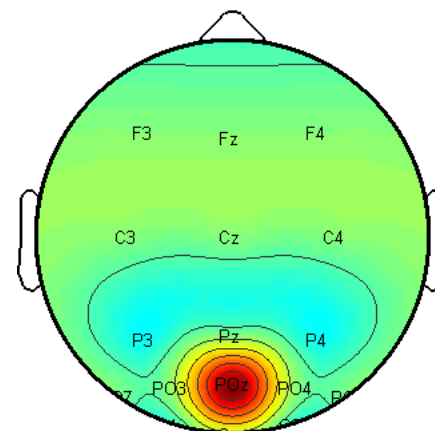
- **Różne metody wyznaczania współczynników filtra różnią się przede wszystkim technikami estymacji obu składników ilorazu.**



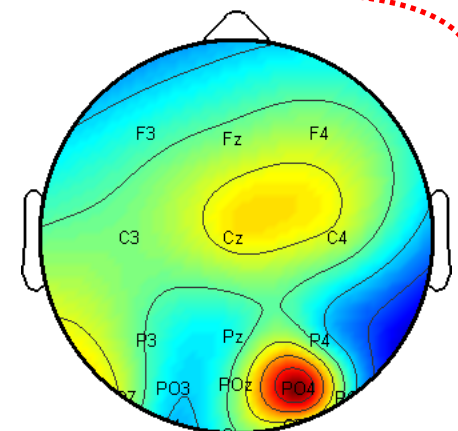
single channel



differential pair



Laplace filter

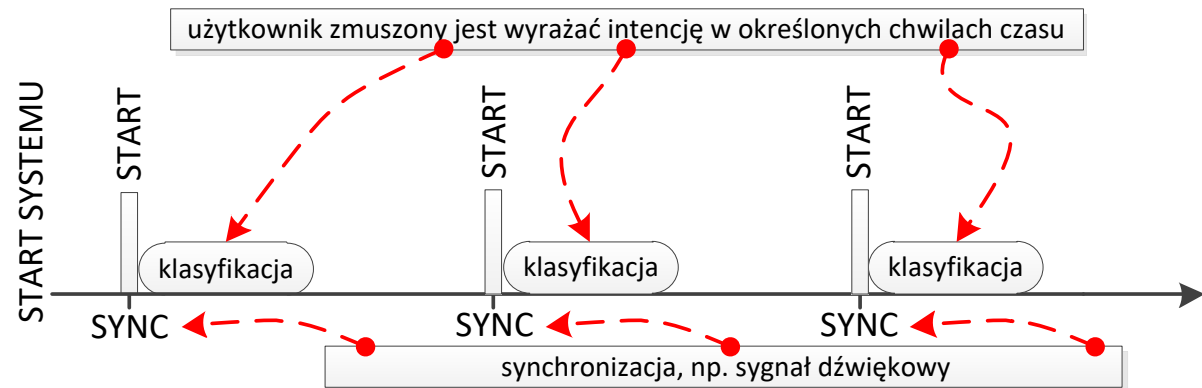


optimal filter



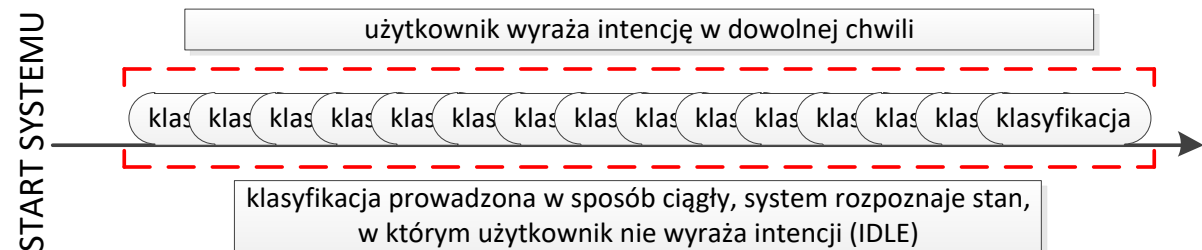
- Metodę korelacji kanonicznej (CCA, ang. *Canonical Correlation Analysis*) oryginalnie zaproponowano w [15],
- Oryginalna koncepcja przewiduje wyłącznie synchroniczną detekcję potencjałów SSVEP,

Interfejs pracujący synchronicznie



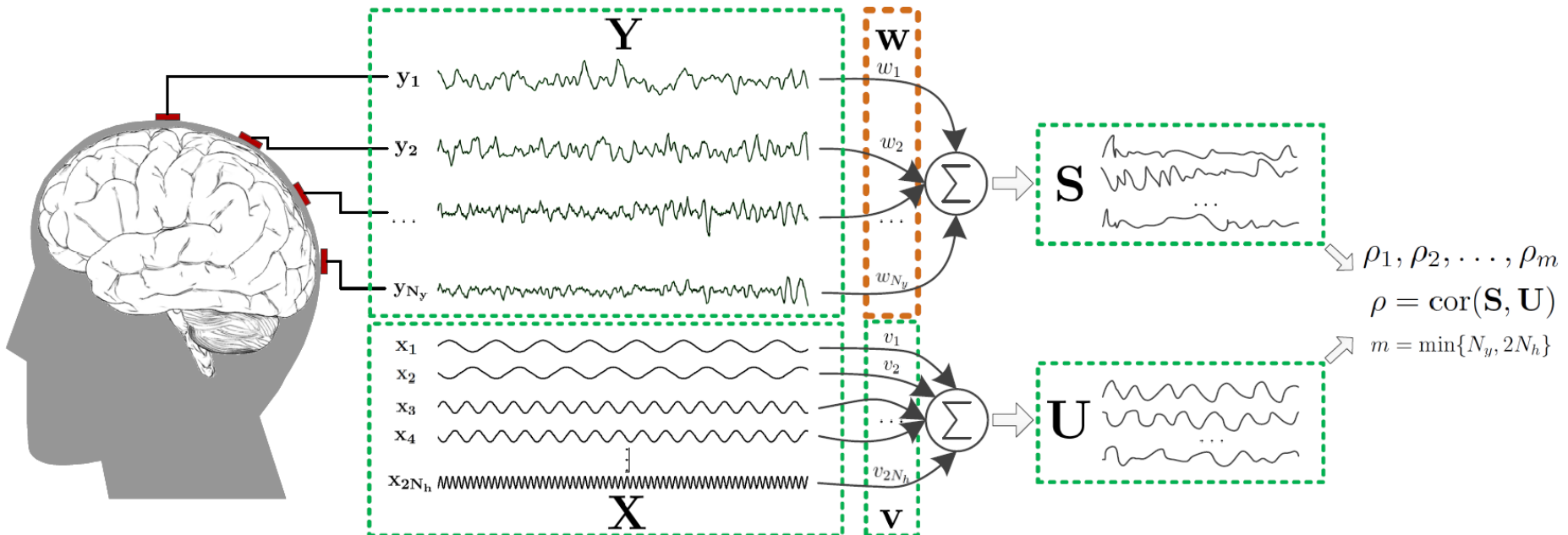
- Opracowana metoda CACC (ang. *Cluster Analysis Canonical Correlation*) jest jej modyfikacją dla asynchronicznych systemów BCI.

Interfejs pracujący asynchronicznie



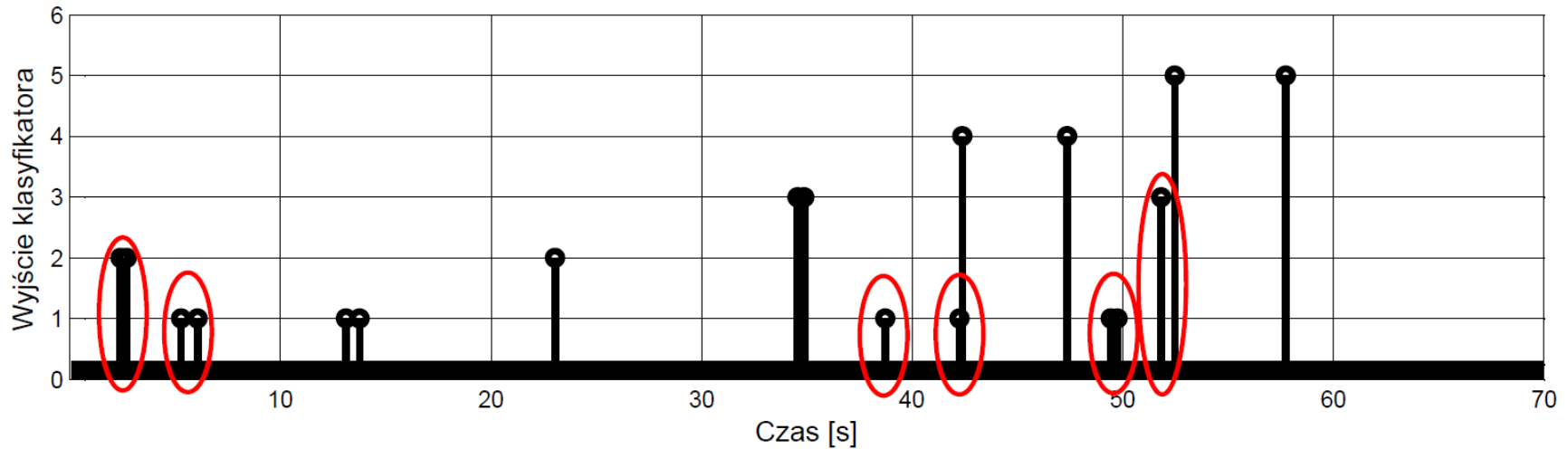
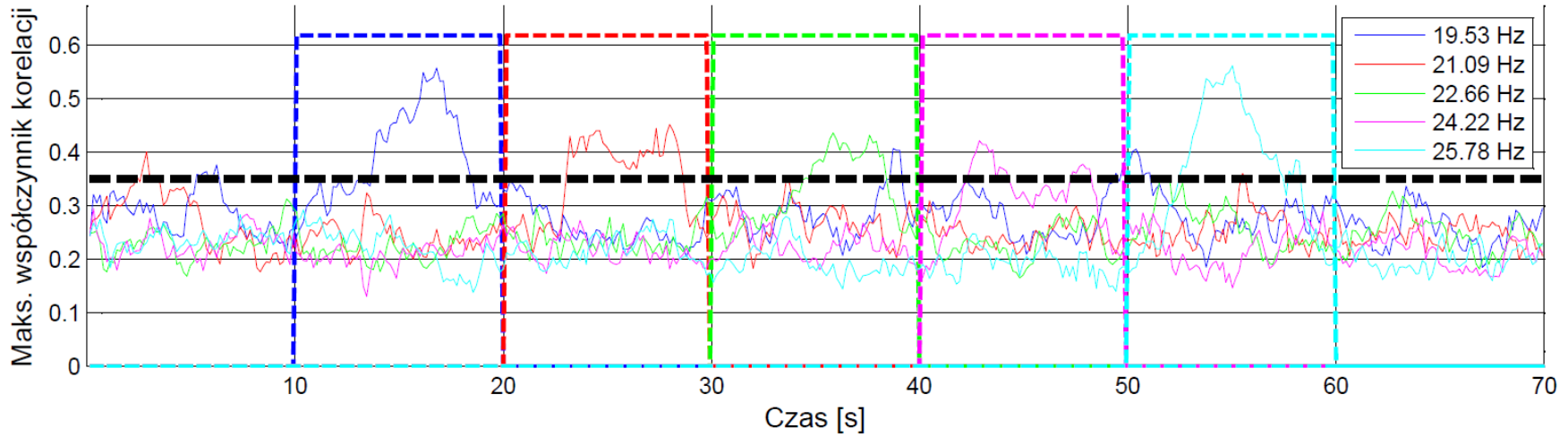


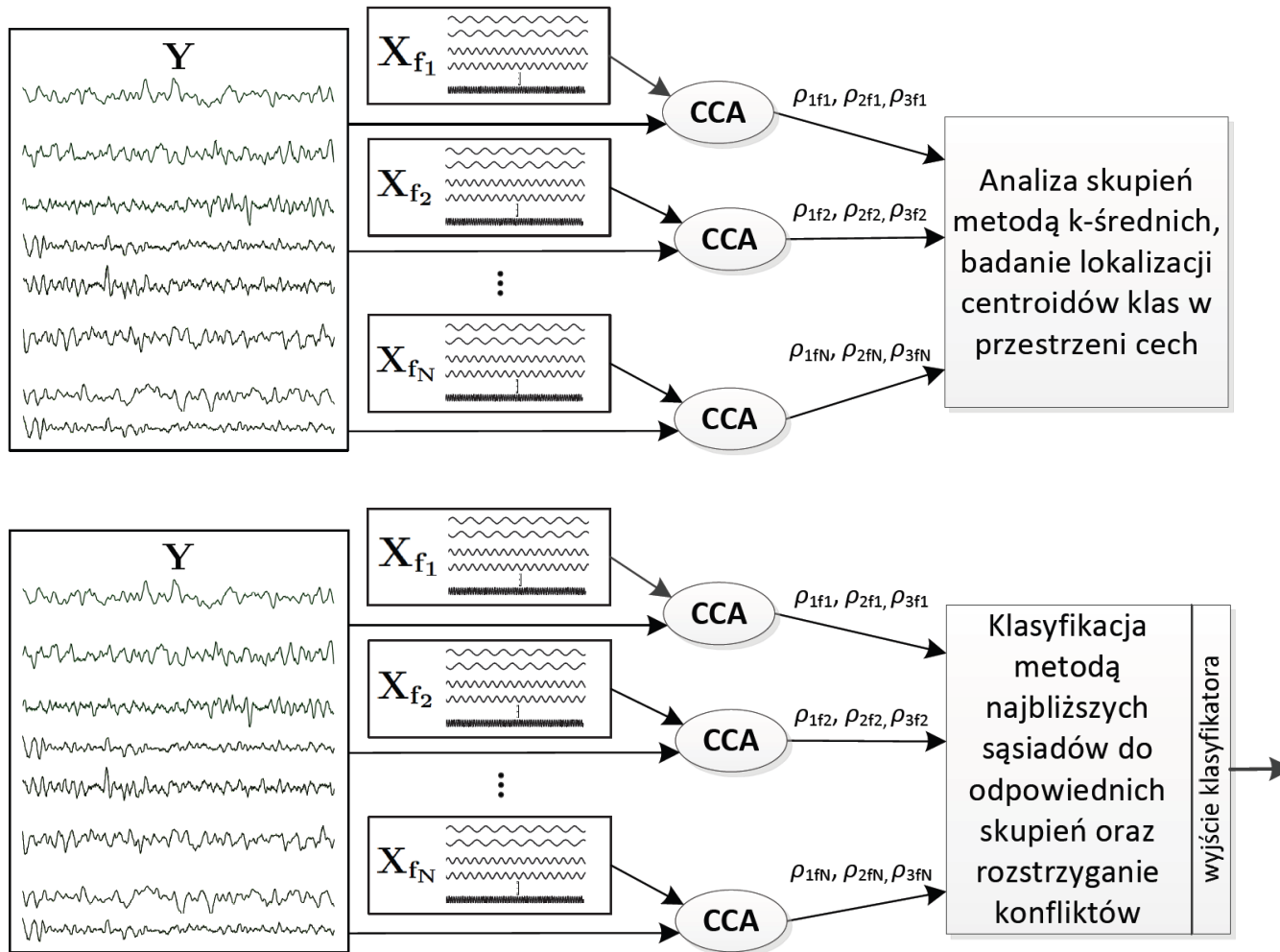
- Statystyczna metoda analizy danych wielowymiarowych,
- Pozwala badać związek między dwoma zbiorami zmiennych: \mathbf{Y} (sygnał EEG) oraz \mathbf{X} (wzorzec odpowiedzi SSVEP),
- Wagi kanoniczne \mathbf{w} oraz \mathbf{v} dobierane są w ten sposób, aby maksymalizować korelację pomiędzy kolejnymi parami zmiennych kanonicznych (\mathbf{S} oraz \mathbf{U}).





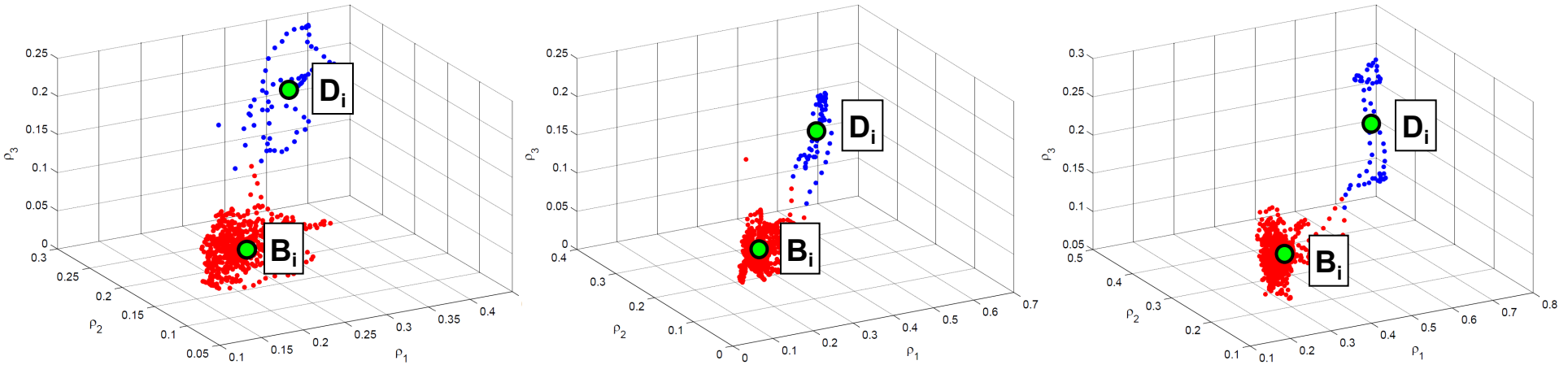
Użytkownik AU11: starazkoęczyjapsjehyfiązna



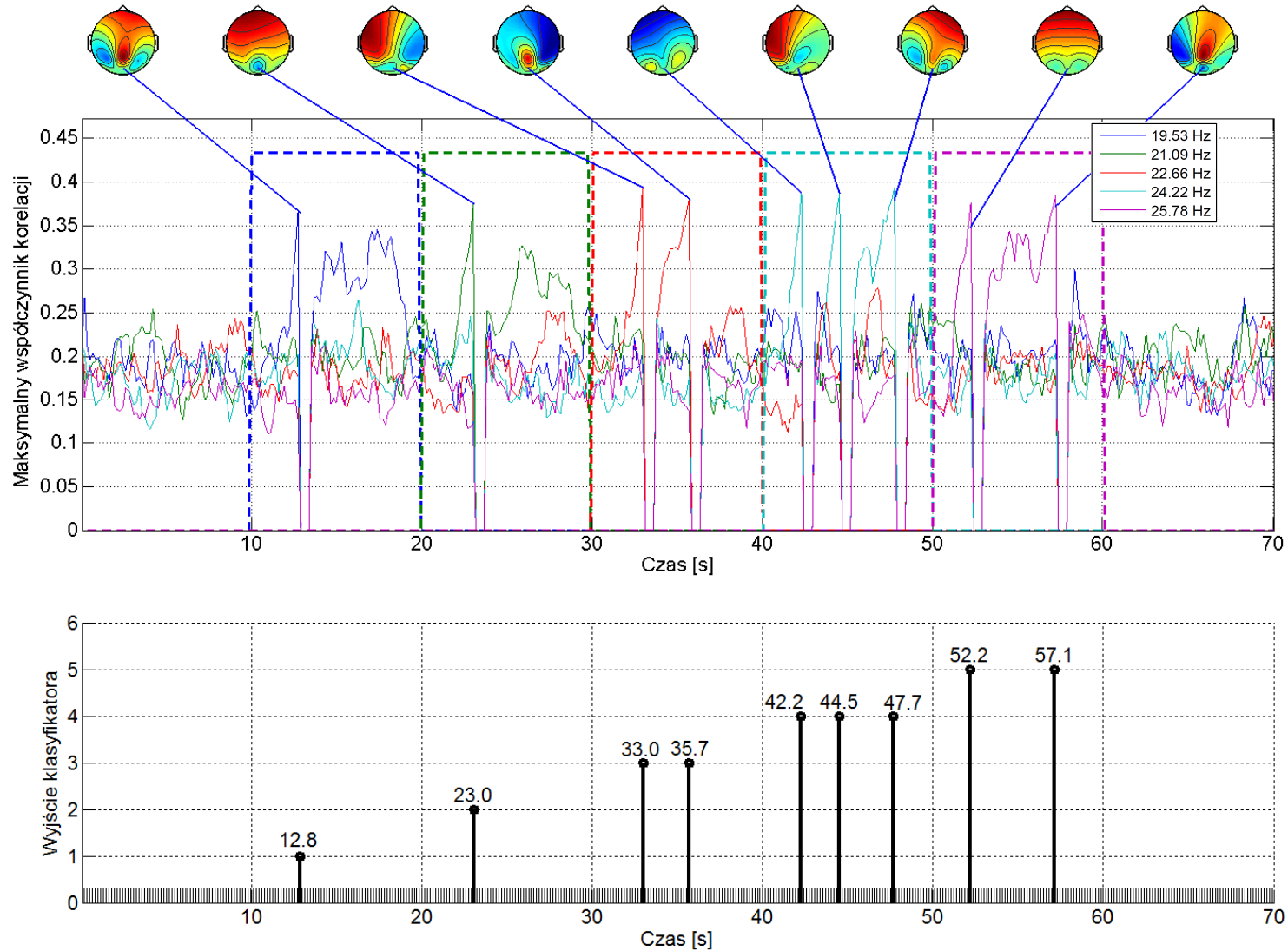


Dwa etapy – kalibracja oraz właściwa praca systemu:

- Warunki kończące fazę kalibracji,
- Rozstrzygnięcie konfliktów.

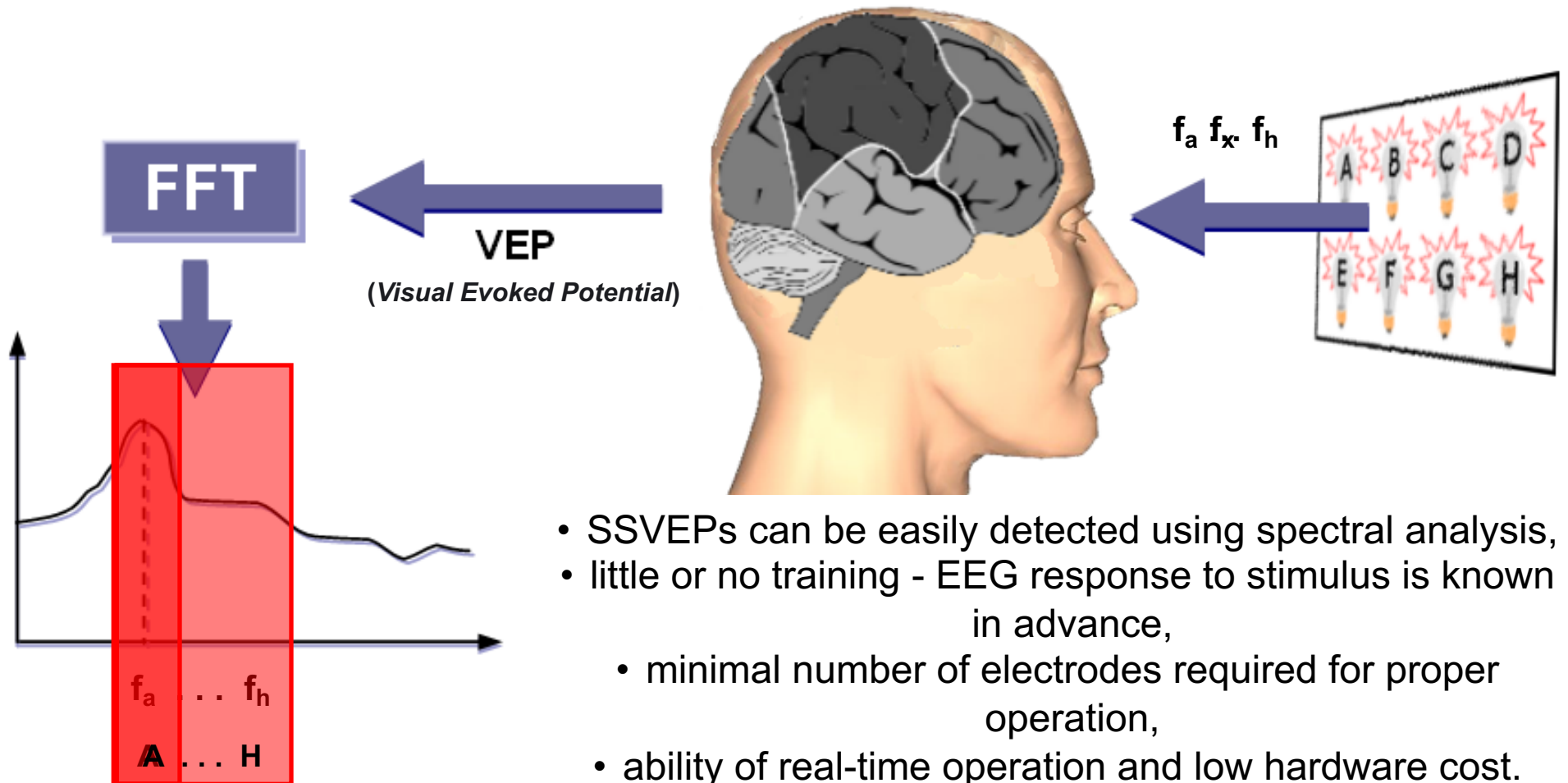


- Różny stopień separacji centroidów klas w zależności od użytkownika oraz częstotliwości: wartość wyuczona w fazie kalibracji systemu,
- Rozstrzyganie konfliktów na podstawie odległości niesklasyfikowanych punktów od środka odcinka łączącego klasy bezczynności oraz detekcji w odpowiednich przestrzeniach cech.



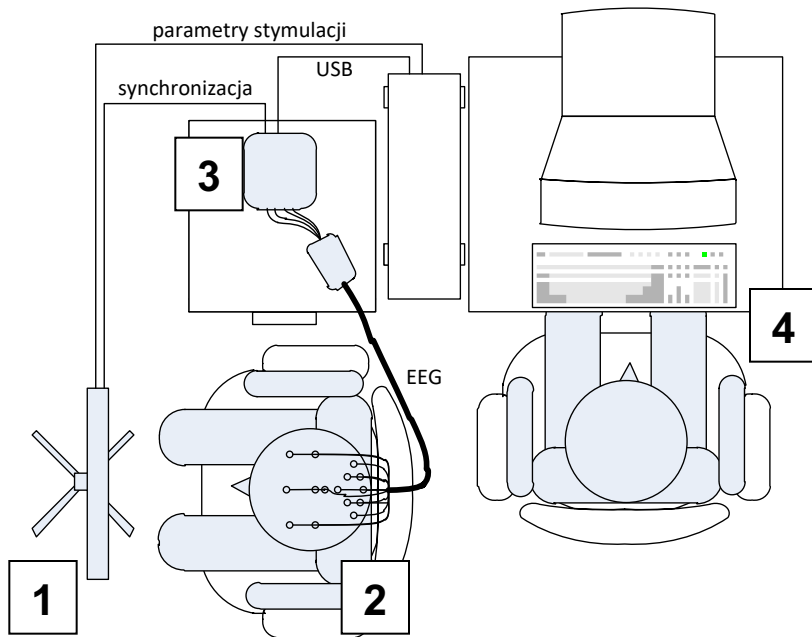


Visual Evoked Potentials



- SSVEPs can be easily detected using spectral analysis,
- little or no training - EEG response to stimulus is known in advance,
 - minimal number of electrodes required for proper operation,
 - ability of real-time operation and low hardware cost.

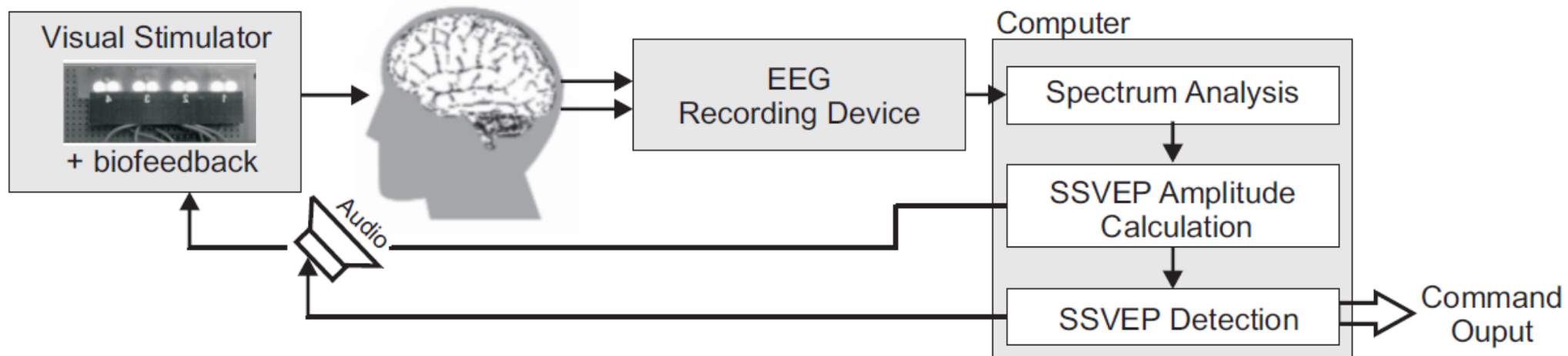
- Dane (około 4GB) zebrano dla 10 kobiet oraz 11 mężczyzn w wieku od 16 do 33 lat (średnia: 22,2 lat, odchylenie standardowe: 3,4 lat), dla każdej osoby dwukrotnie,
- Kontrolowane warunki w trakcie prowadzonych badań.



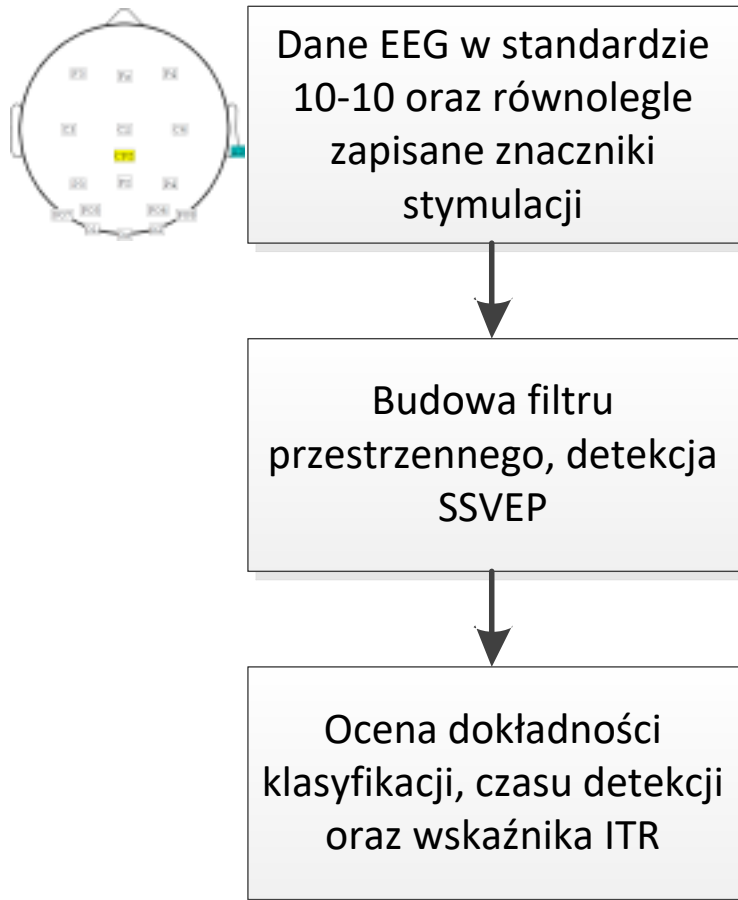
Fotostymulator (1), osoba badana (2), urządzenie pomiarowe (3) oraz osoba prowadząca badania (4).



Experimental Setup



ITR = 120 bits/minute



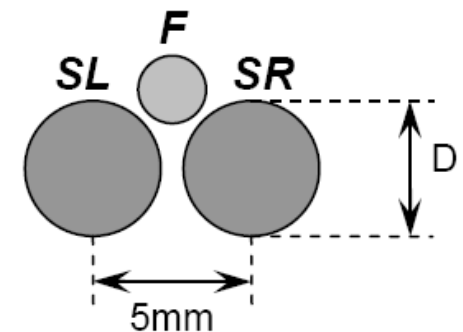
- Dane zapisano dla 21 osób biorących udział w badaniach projektu VEPCOM,
- Równoległe z danymi EEG zapisane znaczniki stymulacji (on/off)
- Każda metoda była badana dla okien o szerokości 1,28, 2,56 i 5,12 s (krok analizy 0,16 s),
- Analiza w pełnym zestawie kanałów (elektrody w obrębie kory wzrokowej: PO7, PO3, O1, OZ, O2, PO4, PO8 uzupełnione o: P3, PZ, P4, C3, CZ, C4, F3, FZ i F4),
- Badano dokładność klasyfikacji, średni czas detekcji potencjałów SSVEP oraz wartości wskaźnika ITR.



Stimulus Parameter Selection

- Single stimulation symbol (fixed pattern),
- Color, size, intensity, contrast of stimulation sources changed,
- Experiment repeated 5 times one the group of 10 volunteers.

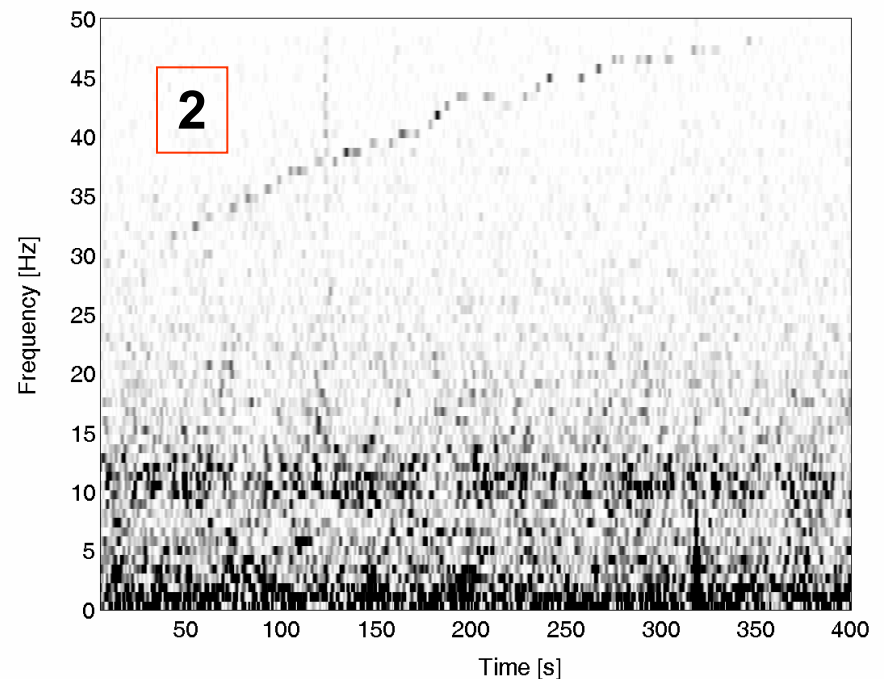
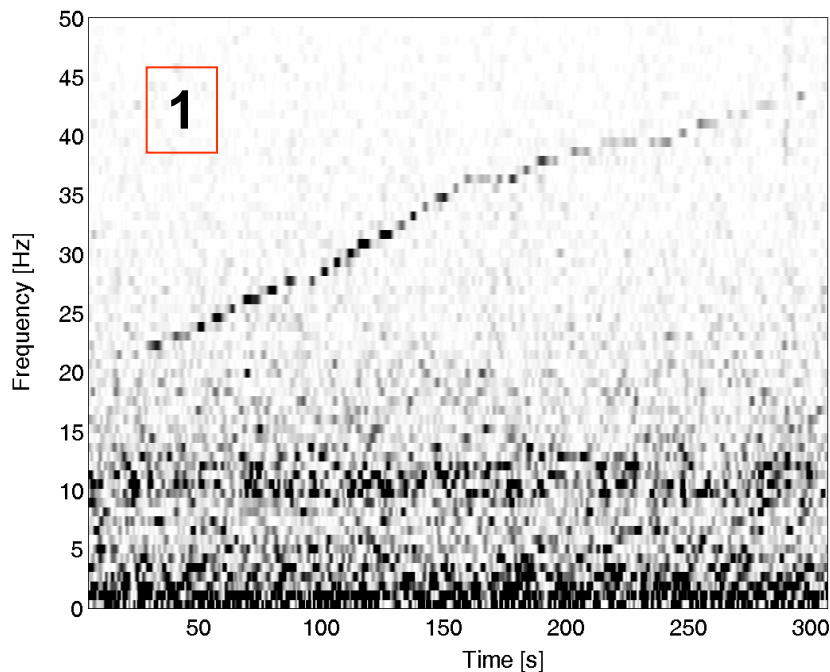
Experiment	1	2
Diameter (D)	4mm	6mm
SL and SR Colors	Green	Red
F Color	Red	Green
SL and SR Intensity	Low	High





Stimulus Parameter Selection

Spectrographs of EEG signals (O1 – O2) recorded during first and second sessions for one of the subjects.

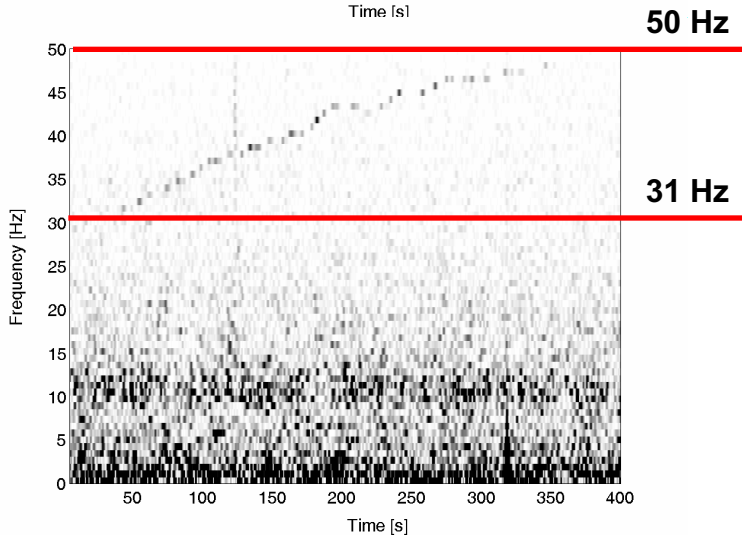
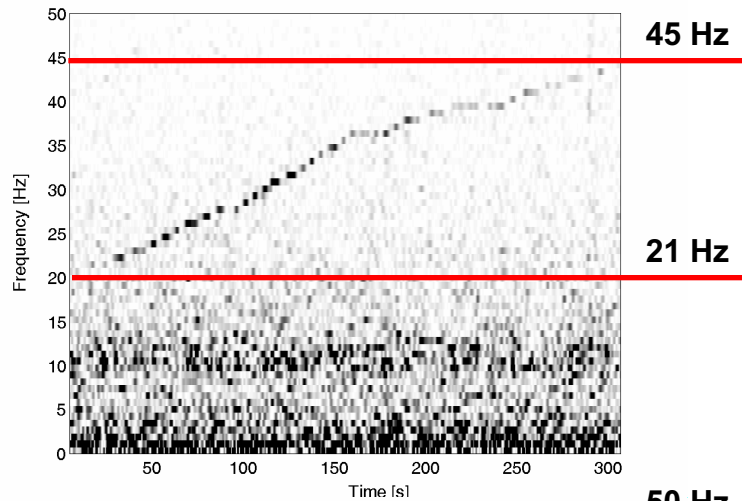


Signal processing parameters: $f_s = 200$ Hz, FFT256, $\Delta f = 0,78$ Hz.

Stimulation frequency changed whenever: SSVEP was detected or timeout expired.



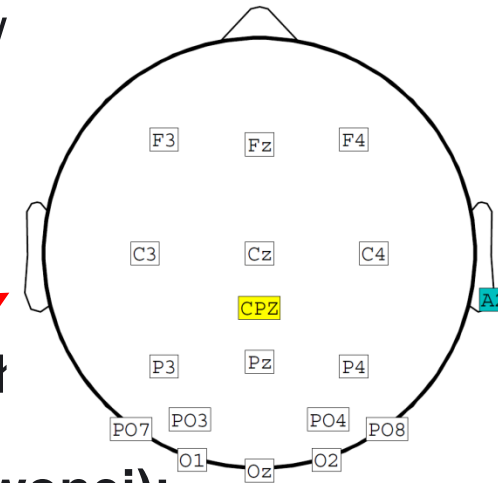
Stimulus Parameter Selection



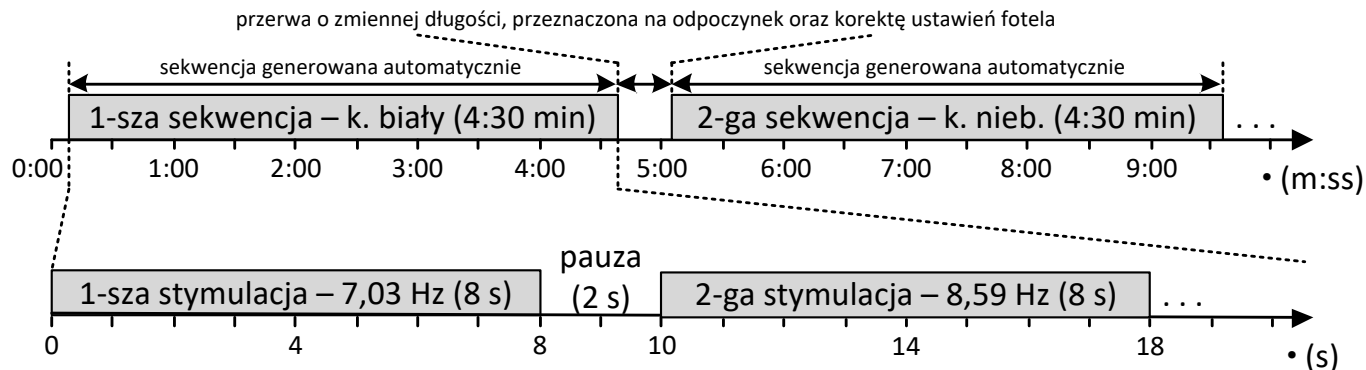
- Strong SSVEPs detected in different frequency ranges (21-45Hz and 31-50Hz respectively)
- Objective comparison with Signal-To-Background Ratio



- 16 wybranych elektrod standardu 10-10: 7 elektrod w korze wzrokowej: PO7, PO3, O1, OZ, O2, PO4, PO8 oraz 9 elektrod nad pozostałymi częściami kory mózgowej: P3, PZ, P4, C3, CZ, C4, F3, FZ i F4.



- **Każdy pomiar trwał kilkanaście minut, obejmował 5 sekwencji stymulacji (po jednej dla każdej z barw: białej, niebieskiej, zielonej, żółtej oraz czerwonej):**



- **Każda sekwencja zawierała 27 stymulacji dla wybranych częstotliwości z zakresu 7–47 Hz.**



1

- Grupa o najlepszych wynikach, osoby zaawansowane, które w większości przypadków miały wcześniej styczność z urządzeniem (np. w czasie innych badań),

AL1, AW1, DZ1, MB1, MF1

2

- Grupa o średnich wynikach, w większości osoby, którym początkowo obca była idea interfejsu BCI ale aktywnie uczestniczyły w eksperymentach,

AG2, AH1, AI1, AS1, DK1, GK1, MK1, MO1, PW1, WG1

3

- Grupa o najgorszych wynikach, osoby z problemami koncentracji na zadaniu lub bardzo wysoką aktywnością spontaniczną mózgu, potencjały SSVEP w bardzo wąskim paśmie.



1

długość okna analizy ↓	dokładność klasyfikacji [%]				średni czas detekcji [s]				wskaźnik ITR [bitów/min]			
	BBC	MEC	MCC	CACC	BBC	MEC	MCC	CACC	BBC	MEC	MCC	CACC
1,28s	91,19	60,69	49,94	90,27	2,55	2,11	2,35	2,28	40,38	16,18	8,19	43,82
2,56s	94,12	75,25	54,20	93,05	2,47	2,05	2,12	2,52	45,74	29,95	11,64	43,29
5,12s	91,53	81,83	54,99	94,88	4,02	4,38	3,56	3,35	25,85	17,47	7,23	34,52

2

długość okna analizy ↓	dokładność klasyfikacji [%]				średni czas detekcji [s]				wskaźnik ITR [bitów/min]			
	BBC	MEC	MCC	CACC	BBC	MEC	MCC	CACC	BBC	MEC	MCC	CACC
1,28s	63,15	37,25	43,28	70,74	3,39	3,27	3,36	3,02	11,24	2,09	3,58	17,18
2,56s	68,26	36,85	44,41	79,65	3,26	3,87	3,47	3,15	14,46	1,70	3,79	22,58
5,12s	68,33	37,11	44,76	78,51	5,06	4,72	5,30	4,15	9,34	0,63	2,55	16,51

3

długość okna analizy ↓	dokładność klasyfikacji [%]				średni czas detekcji [s]				wskaźnik ITR [bitów/min]			
	BBC	MEC	MCC	CACC	BBC	MEC	MCC	CACC	BBC	MEC	MCC	CACC
1,28s	45,07	28,83	32,96	50,98	4,02	5,19	5,32	5,06	3,44	0,37	0,75	2,14
2,56s	47,23	29,02	33,54	53,22	4,75	5,66	5,79	5,12	3,39	0,35	0,75	4,06
5,12s	47,12	31,99	34,22	55,17	5,35	5,99	6,03	5,72	2,99	0,58	0,70	4,54



- Dla danych symulowanych
 - Większa skuteczność, wydajność oraz odporność na zakłócenia (szczególnie dla 16 kanałów) metody CACC w stosunku do innych metod przy mniejszej złożoności obliczeń.
- Dla danych rzeczywistych
 - Poprawa dokładności detekcji (o 7-11% w grupie użytkowników o umiarkowanych oraz 5-8% w grupie użytkowników o niskich wynikach).
 - Poprawa średnich czasów detekcji w w/w grupach oraz wskaźnika ITR.
- Wpływ przesunięcia elektrod pomiarowych
- W zależności od grupy użytkowników odporność na rotację dochodzącą do 25 stopni oraz przesunięcia do 3 cm.



Thank You



This work is supported by Polish Ministry for
Science and Higher Education
grant NN515 520838.