



Politechnika Łódzka

Instytut Elektroniki

Interfejsy BCI (*ang. Brain-Computer Interface*)

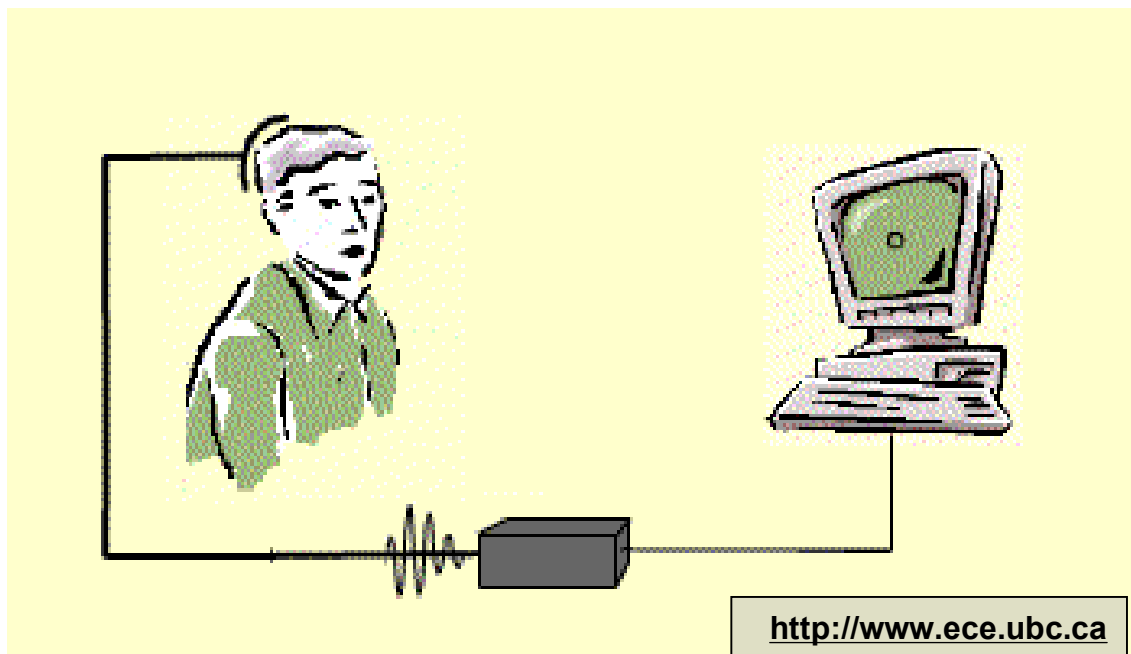
mgr inż. Paweł Poryzała



Plan prezentacji

- Przedstawienie zagadnienia
- Przykładowe systemy BCI
- System BCI opracowany w IE PŁ
- Algorytm detekcji wzrokowych potencjałów wywołanych
- Wyniki badań
- Podsumowanie

Czym jest BCI?



Interfejs, którego działanie opiera się wyłącznie na analizie aktywności mózgu i nie jest zależne od aktywności innych nerwów lub mięśni.



www.cyberkineticsinc.com



Angorka nr 10 (7.03.2004)

Rozdzielczość czasowa i przestrzenna wybranych technik badania aktywności mózgu

metoda	EEG	MEG	PET	fMRI
roz. czasowa	1ms	1ms	1min	5s
roz. przestrzenna	1 cm	5 cm	5 mm	1 – 5 mm
ograniczenia	kora mózgu, trudna interpretacja	słaba rozdzielczość przestrzenna, trudna interpretacja	tylko przepływ krwi, izotop promieniotwórczy	tylko przepływ krwi
zalety	tania, łatwa	obejmuje głębsze struktury	analiza funkcjonalna, obrazowanie medyczne	analiza funkcjonalna, obrazowanie medyczne

Czym jest EEG?

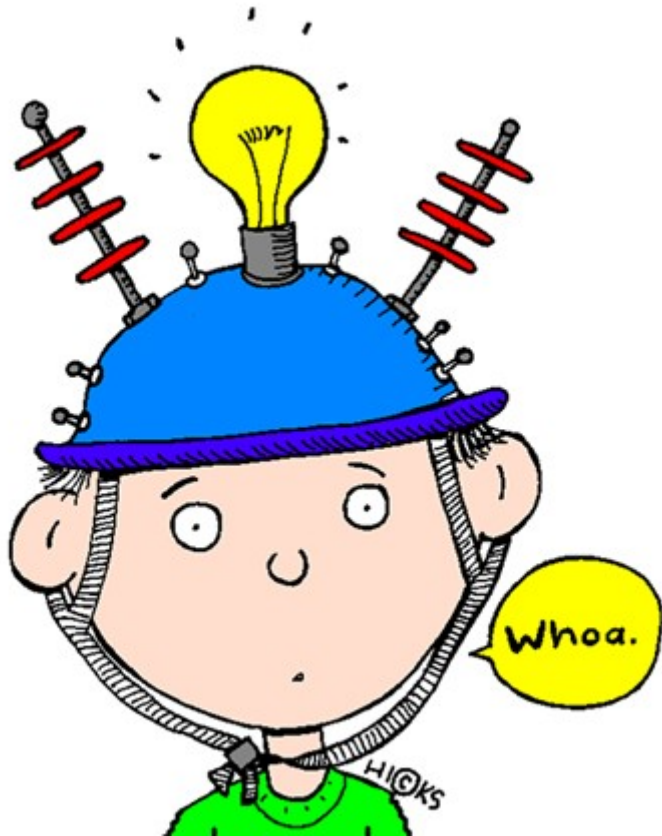
- zapis czynności elektrycznej mózgu
- miara średniej aktywności wielu neuronów na znacznym obszarze
- czym lepiej zsynchronizowana jest populacja neuronów, tym większy wkład daje do EEG
- bardzo złożony sygnał, z którego trudno wydobyć informację
- Dlaczego EEG?
 - długa tradycja w diagnostyce mózgu
 - pomiar bezpieczny dla pacjenta
 - ma bardzo dobrą rozdzielczość czasową (w odróżnieniu od fMRI)
 - niski koszt badań oraz prosta aplikacja

EEG w diagnostyce medycznej

Podstawa diagnozy

- padaczki
- uszkodzeń mózgu
- chorób psychicznych
- bezsenności
- zmian związanych z wiekiem
- innych (np. choroby Kreutzfelda-Jakoba)

EEG w interfejsach BCI



- EEG to wypadkowa sygnałów pochodzących od milionów neuronów, trudnych do interpretacji nawet w przypadku użycia elektrod implantowanych
 - Działanie interfejsu opiera się na pewnych, z góry ustalonych regułach wyrażania intencji przez użytkownika
- Systemu BCI *nie* są urządzeniami „rozpoznającymi myśli”

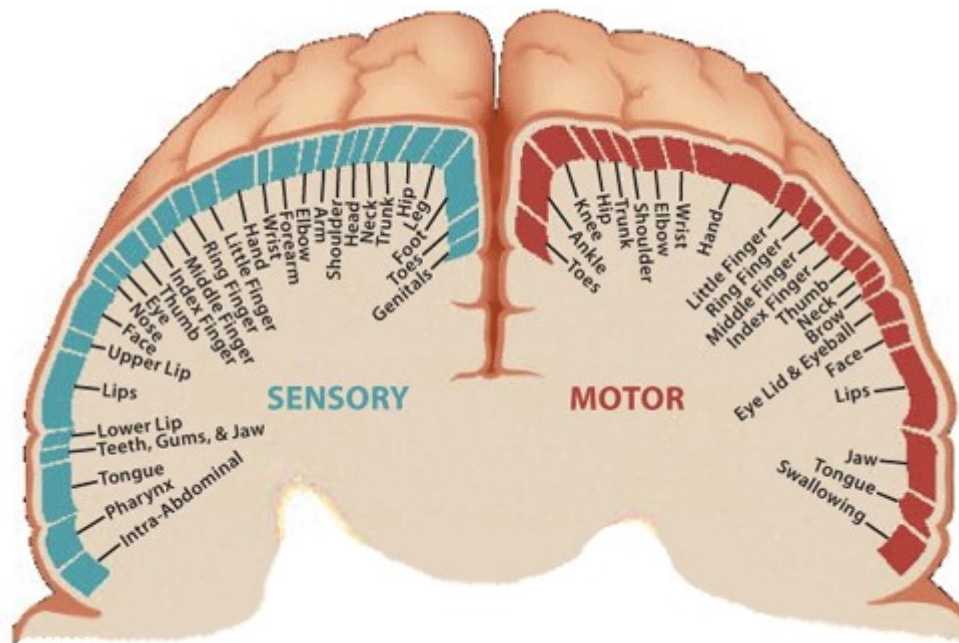
EEG w interfejsach BCI

- Świadoma generacja składowych sygnału EEG:
 - Umiejętność świadomej zmiany parametrów sygnału (np. amplitudy określonych rytmów),
 - Metoda treningowa (nawet do kilku miesięcy), sprzężenie zwrotne między użytkownikiem a systemem,
 - Często wykorzystywane przy wspomaganiu nauki koncentracji lub relaksacji.

EEG w interfejsach BCI

- Synchronizacja / desynchronizacja rytmów EEG:
 - Amplituda rytmów zmieniana poza świadomością użytkownika: zależna od stanu psychofizycznego lub spowodowana pewnym zdarzeniem,
 - Widoczna na mapie aktywności określonych obszarów kory mózgowej, odpowiedzialnych za reakcję – np. osłabienie rytmów u w korze ruchowej po podjęciu decyzji o wykonaniu ruch ręką,

EEG w interfejsach BCI



- wyznaczanie stopnia synchronizacji lub desynchronizacji określonego rytmu w określonym obszarze,
- synchronizacja lub desynchronizacja następuje przed faktycznym lub wyobrażonym wykonaniem ruchu.

EEG w interfejsach BCI

- Analiza spontanicznych sygnałów EEG
 - Rejestracja sygnału EEG z wielu elektrod, rozmieszczonych równomiernie nad całą powierzchnią kory,
 - Mierzone sygnały poddawane dekompozycji na składowe niezależne (np. ICA), sztuczna sieć neuronowa klasyfikuje intencje użytkownika,
 - Brak narzuczonego sposobu wyrażania intencji,
 - Długi czas potrzebny na nauczanie klasyfikatora, wzorce są ściśle zależne od stanu psychofizycznego użytkownika.

EEG w interfejsach BCI

- Detekcja potencjałów wywołanych
 - Detekcja sygnałów będących reakcją mózgu na bodźce zewnętrzne,
 - Sygnały powstają w różnych obszarach kory, w zależności od rodzaju bodźca,
 - Konieczny dobór stymulacji – rodzaju bodźców i ich parametry, najczęściej stosowane są bodźce wzrokowe,
 - Niewielka zależność od stanu psychofizycznego.

EEG w interfejsach BCI

- SCP (ang. *slow cortical potentials*), wolne potencjały korowe
- ERD/ERS (ang. *event-related desynchronization/synchronization*), synchronizacja i desynchronizacja EEG związana z bodźcem
- ERP (ang. *event-related potentials*), potencjały wywołane bodźcem:
 - P300 (P3)
 - EP (ang. *evoked potentials*)

Istniejące systemy BCI (1)

Główne zastosowanie: umożliwienie komunikacji ze światem zewnętrznym pacjentom w ciężkich stadiach chorób, np.

- stwardnienie zanikowe boczne (ALS, ang. *amyotrophic lateral sclerosis*)
- podkorowy udar mózgu
- zespół Guillain-Barre'a (GBS, ang. *Guillain-Barre syndrome*)
- mózgowie porażenie dziecięce
- stwardnienie rozsiane
- zespoły zamknięcia (ang. *locked-in syndrome*)
wywołane urazami

Istniejące systemy BCI (2)

- sterowanie:
 - komputerem (klawiatura / mysz),
 - sztucznych protez
 - wózkiem inwalidzkim
- rehabilitacja (udary, autyzm, ADHD oraz inne)
- przemysł multimedialno-rozrywkowy (gry komputerowe)
- przemysł militarny
- W dalekiej perspektywie interfejs BCI może stworzyć:
 - dodatkowy kanał komunikacji uzupełniając tradycyjny interfejs komunikacji (kierowcy, piloci samolotów)
 - podstawowy kanał komunikacji, zastępując tradycyjny interfejs

Istniejące systemy BCI (3)



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



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

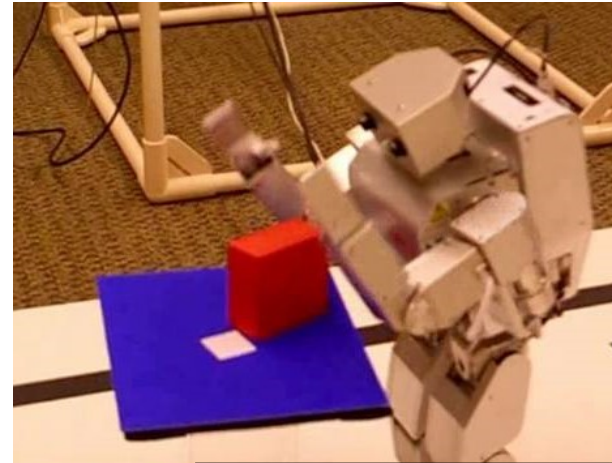
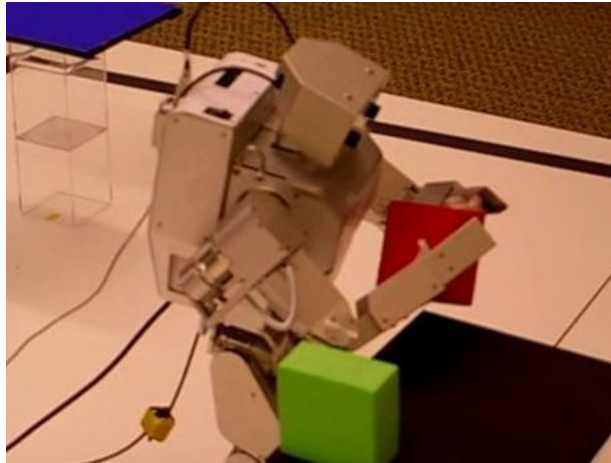


<http://www.lce.hut.fi/research/>



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

Istniejące systemy BCI (4)



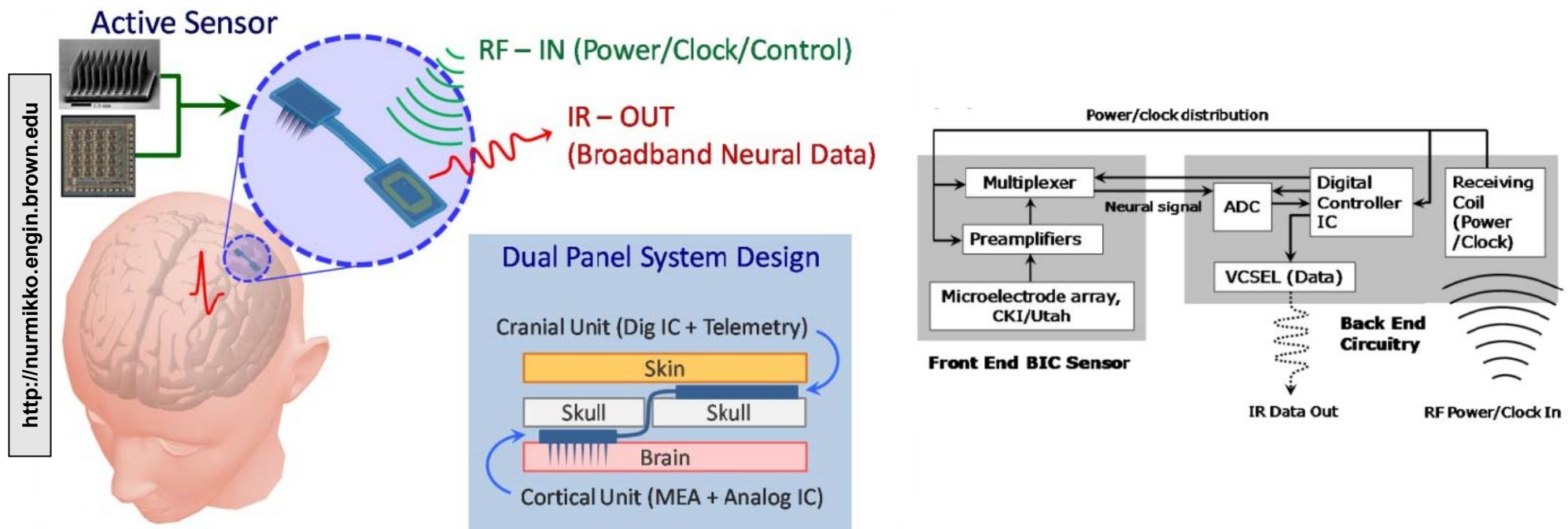
<http://www.cs.washington.edu>



<http://bci.tugraz.at>

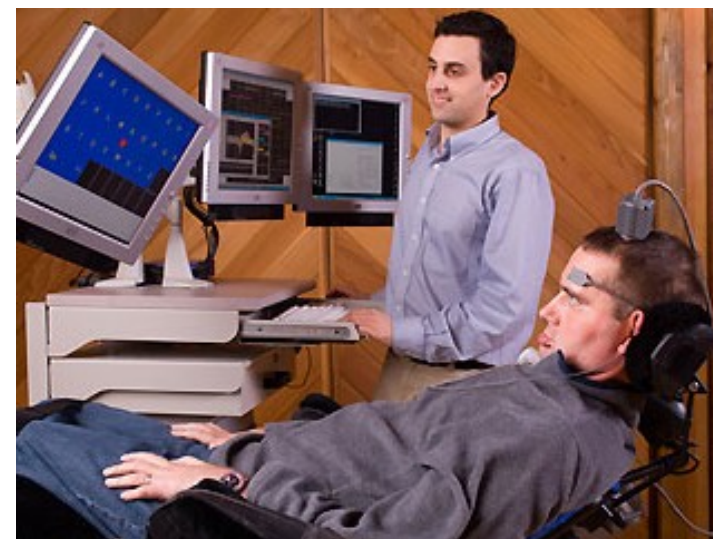
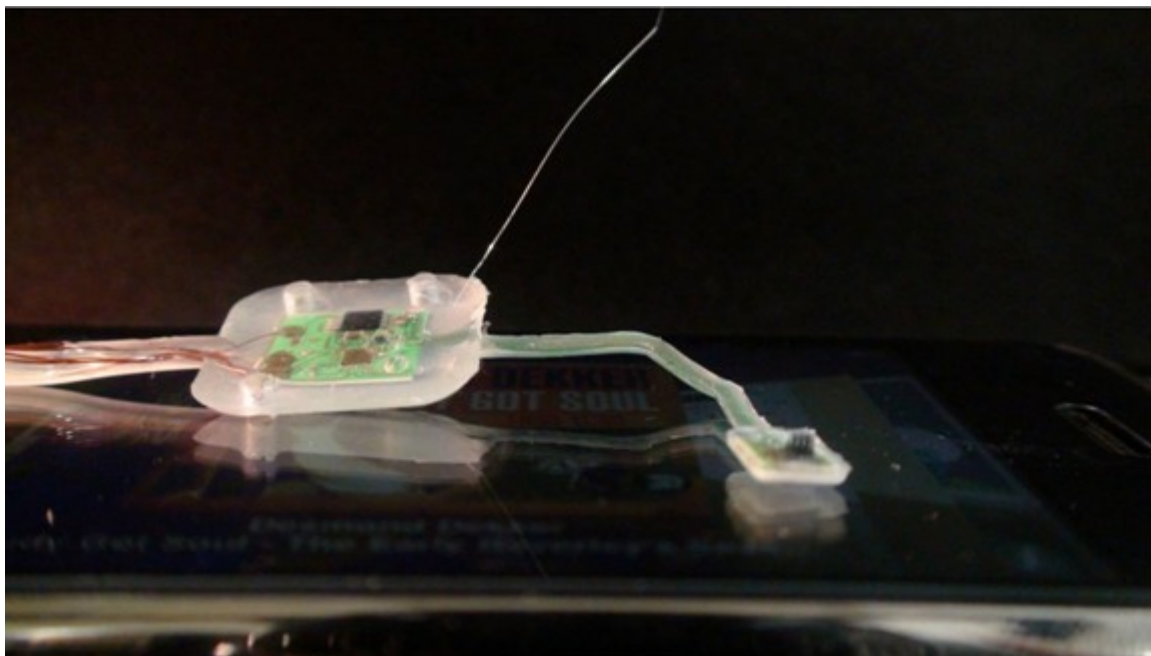
Systemy komercyjnie – BrainGate2™

Matryca 96 elektrod o grubości włosa wszczepiana na powierzchni kory – aktualnie 3 użytkowników, firma Cyberkinetics Neurotechnology Inc.



Wireless, Ultra Low Power, Broadband Neural Recording Microsystem

Systemy komercyjnie – BrainGate2™



http://cnettv.cnet.com/60-minutes-braingate-movement-controlled-mind/9742-1_53-50004319.html

Systemy komercyjnie: OCZ, Emotiv, NeuroSky



OCZ NIA - Neural Impulse Actuator



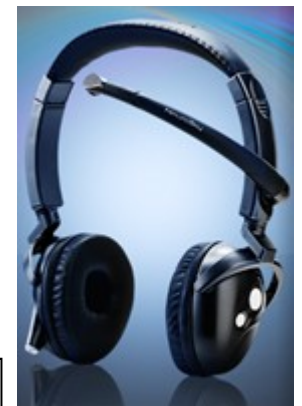
EPOC Headset - Emotiv Systems



Star Wars Force Trainer



Mind Flex (MATTEL)



MindSet

<http://www.ocz.com/>

<http://www.emotiv.com/>

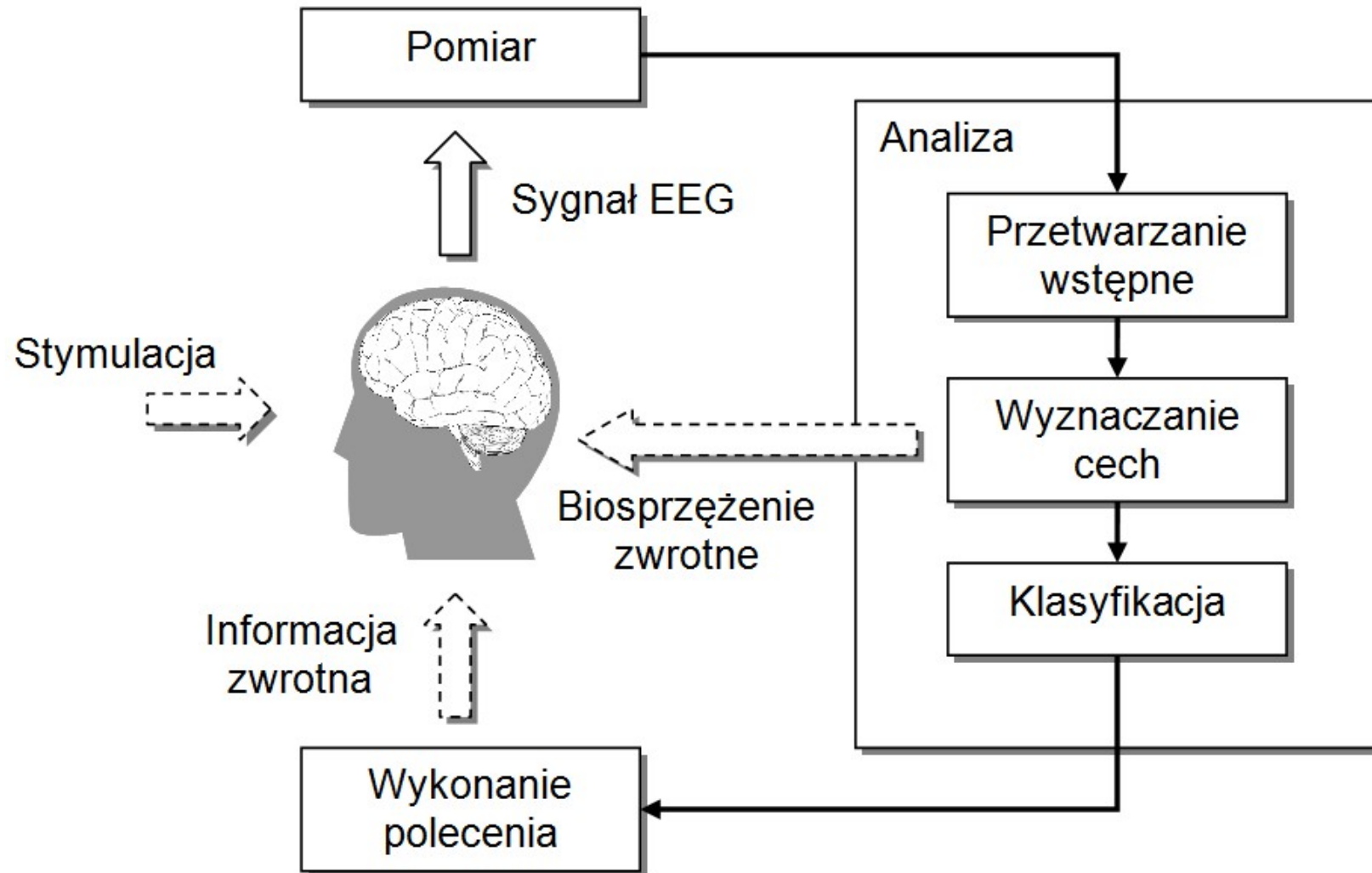
<http://www.neurosky.com/>

Systemy komercyjnie: OCZ, Emotiv, NeuroSky

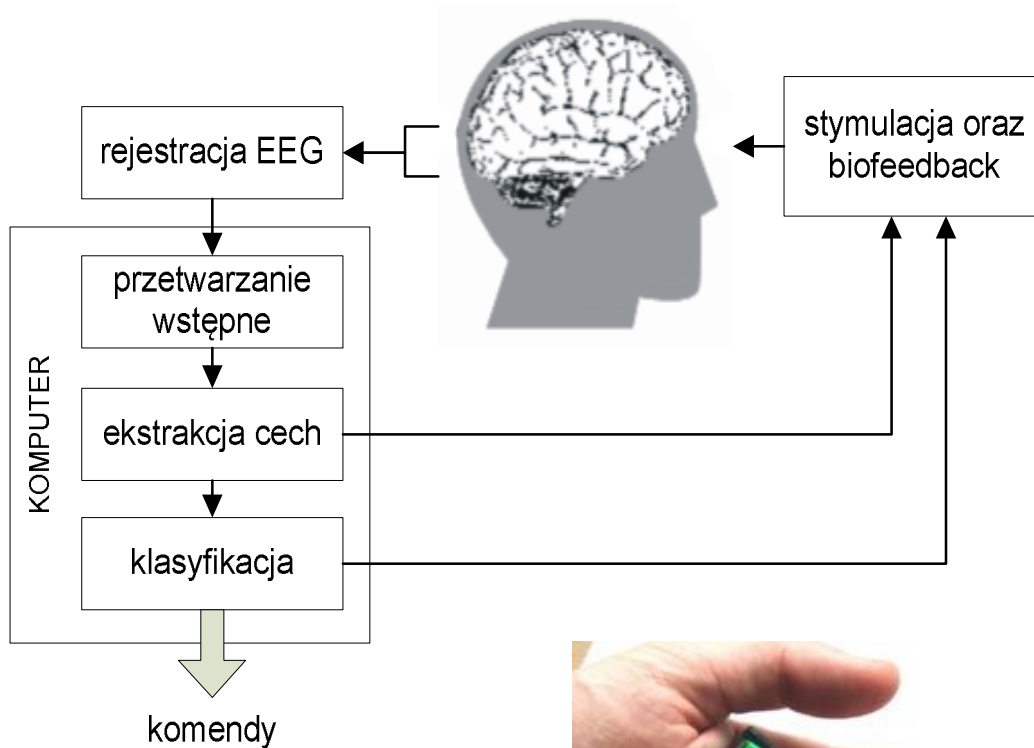
Wykorzystują do „odczytywania myśli” trzy mechanizmy:

- EMG (elektromiografia, głównie mięśnie twarzy)
- EOG (elektrookulografia, ruch gałek ocznych)
- EEG (elektroencefalografia), fale:
 - alfa – brak bodźców wzrokowych, relaks, niska aktywność mózgu
 - beta – aktywność poznawcza, koncentracja

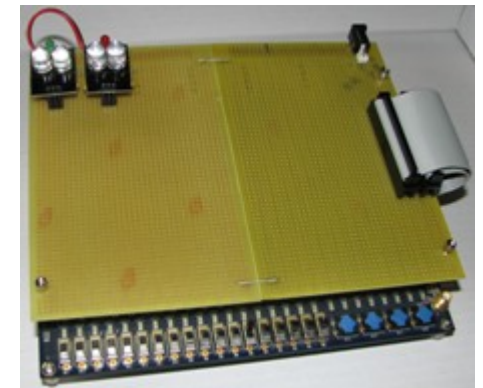
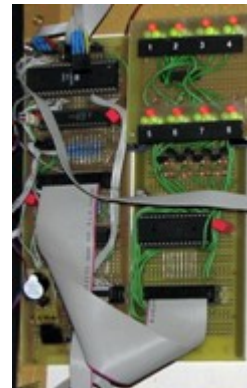
Podstawowe bloki funkcjonalne systemu BCI



System zbudowany w IE PŁ



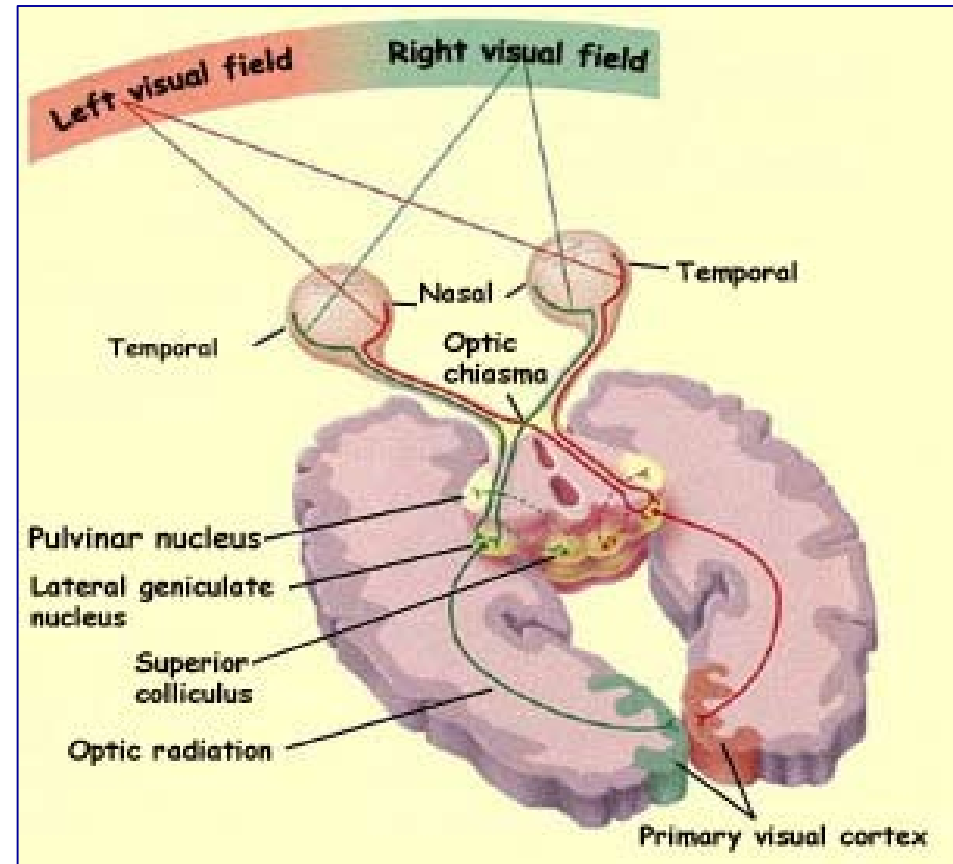
- System składa się z:
 - urządzenia pomiarowego (2 kanały pomiarowe, komunikacja szeregowowa, niewielkie rozmiary)
 - fotostymulatora LED
 - oprogramowania po stronie PC



Wzrokowe potencjały wywołane

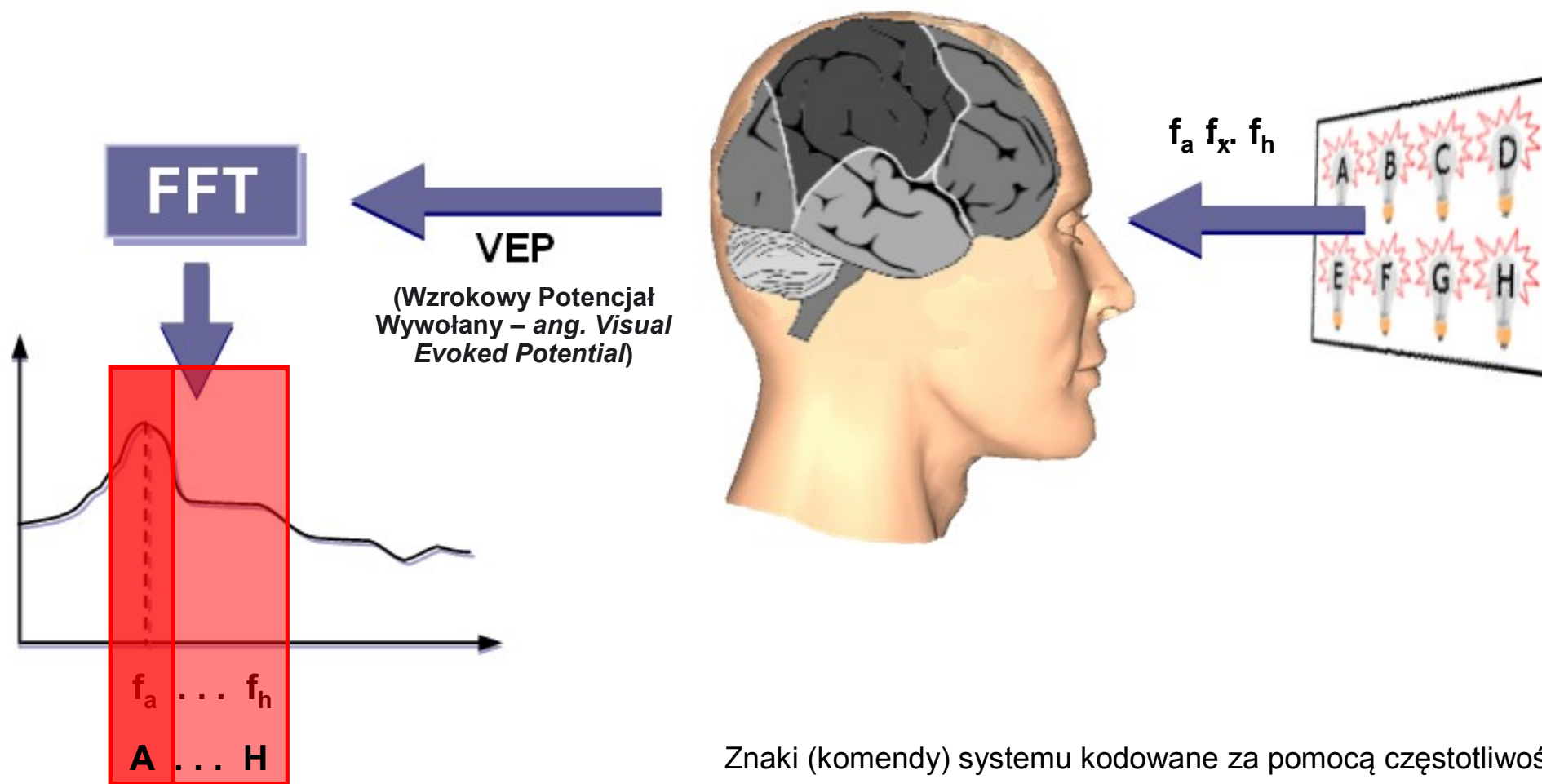
Organizacja drogi wzrokowej.

Prawe i lewe pole widzenia analizowane są w różnych półkulach.



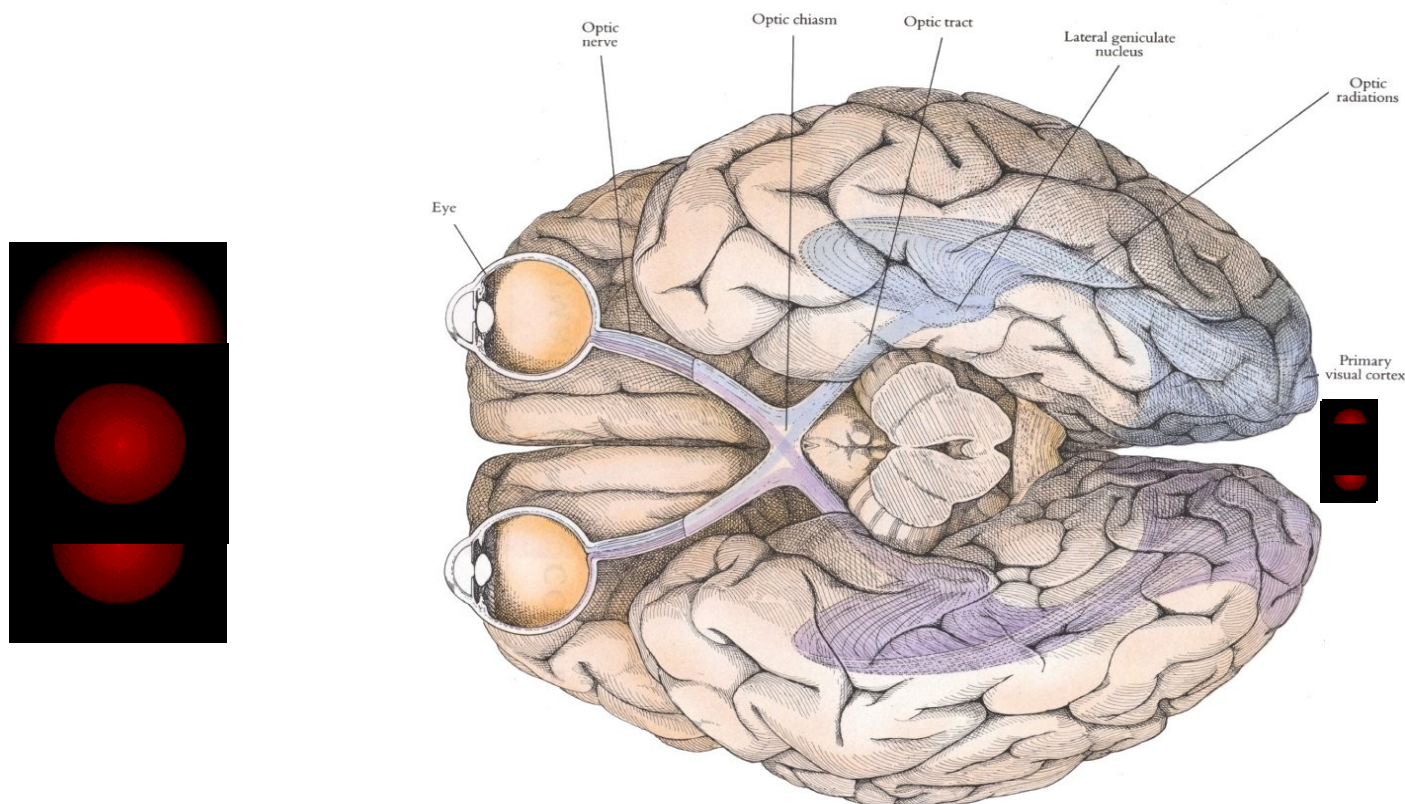
http://www.thebrain.mcgill.ca/flash/a/a_02/a_02_cr/a_02_cr_vis/a_02_cr_vis.html

System zbudowany w IE PŁ



Znaki (komendy) systemu kodowane za pomocą częstotliwości

System zbudowany w IE PŁ



Sygnały mierzone:

$$X_1 = V_{EEG1} + V_{VEP1}$$

$$X_2 = V_{EEG2} + V_{VEP2}$$

Zakładając, że:

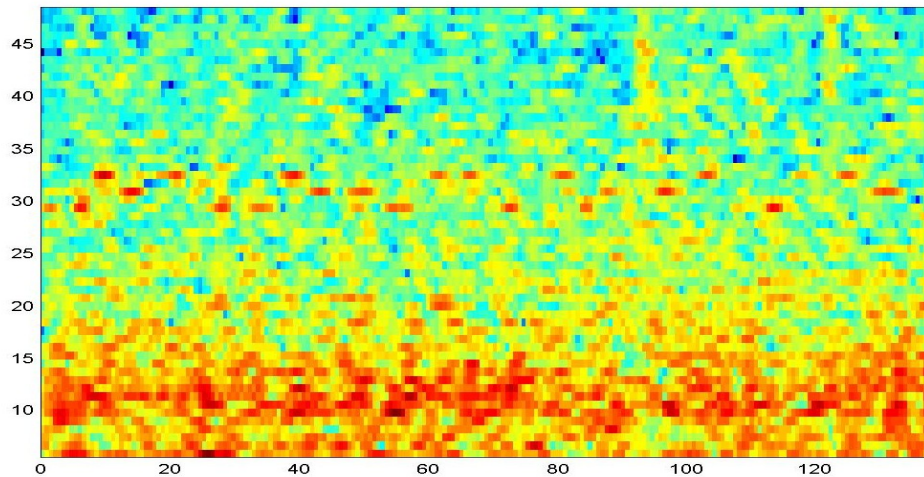
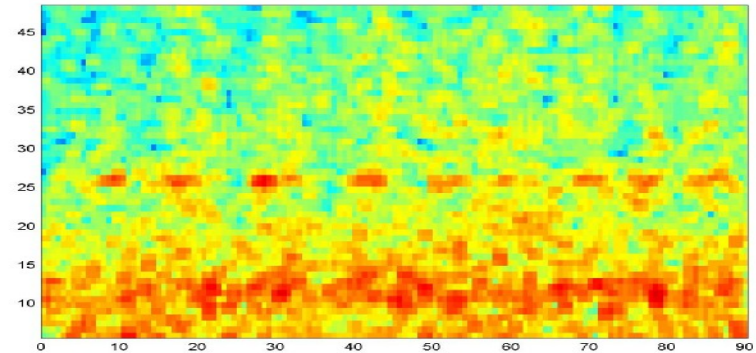
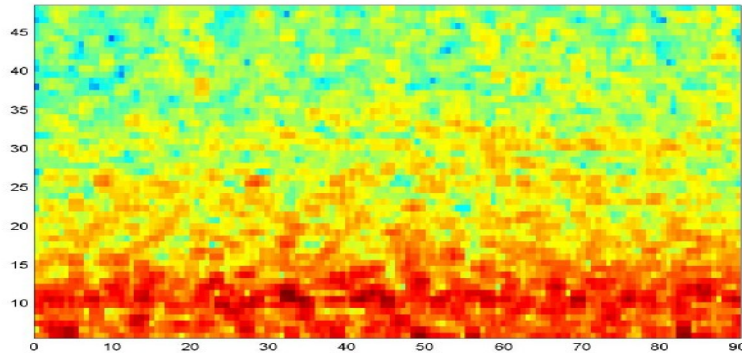
$$V_{EEG1} \approx V_{EEG2}$$

$$V_{VEP1} \approx -V_{VEP2}$$

Otrzymujemy:

$$X_1 - X_2 \approx 2 * V_{VEP1}$$

System zbudowany w IE PŁ



- Znaczna poprawa detekcji VEP (dzięki znacznej poprawie SNR)
- Przewidywane rozróżnianie ponad 20 różnych VEP
- Adaptacja użytkownika dzięki zastosowaniu *biofeedback*

Aktualnie prowadzone prace

- Metody analizy sygnału EEG pod kątem detekcji SSVEP.
- Algorytmy i programy analizy sygnału EEG on-line
 - Na potrzeby wewnętrzne oraz zewnętrzne,
 - Modułowa architektura (praca wieloosobowa).

Prace są częścią grantu badawczego „Elektroniczny interfejs człowiek-komputer z wykorzystaniem wzrokowych sygnałów wywołanych” prowadzonego pod kierownictwem dra M. Byczuka, przy współpracy z prof. J. Konopackim z Katedry Neurobiologii UŁ, prof. A. Materką oraz prof. P. Strumiłło z Instytutu Elektroniki PŁ.

Cele badań (1)

- Wdrożenie systemów BCI
 - Podniesienie pojemności systemów BCI (ilości dostępnych komend)
 - Zwiększenie prędkości pracy
- Maksymalizacja wskaźnika ITR (ang. *information transfer rate*):

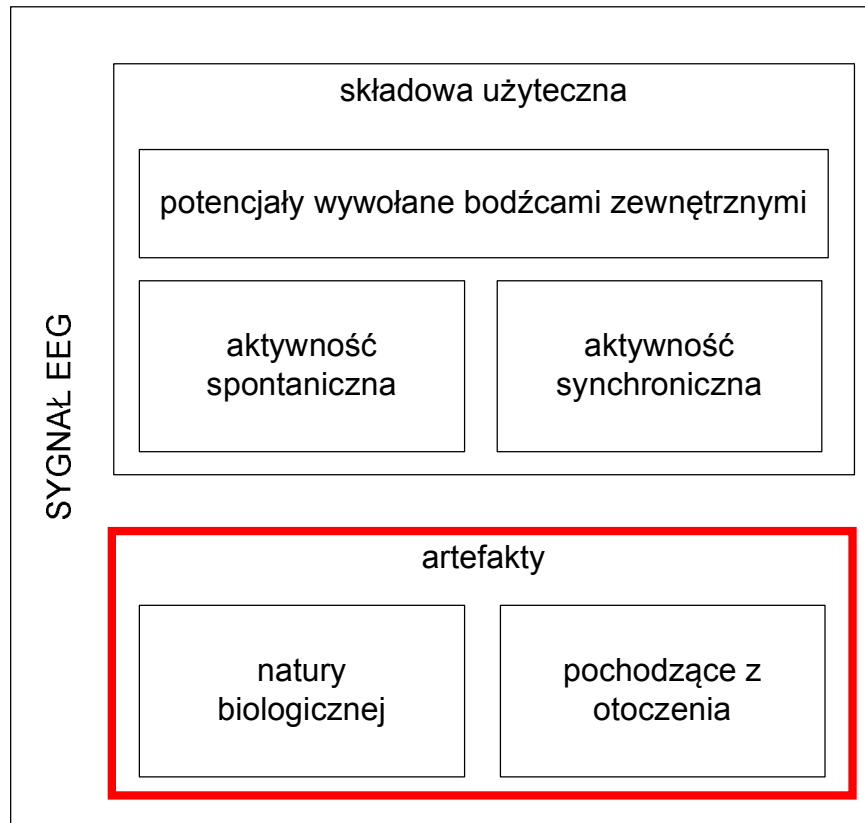
$$ITR = s \cdot \left[\log_2 N + P \log_2 P + (1 - P) \log_2 \left(\frac{1 - P}{N - 1} \right) \right]$$

- ITR istniejących systemów wynosi od 10 – 100 bitów / min.

Cele badań (2)

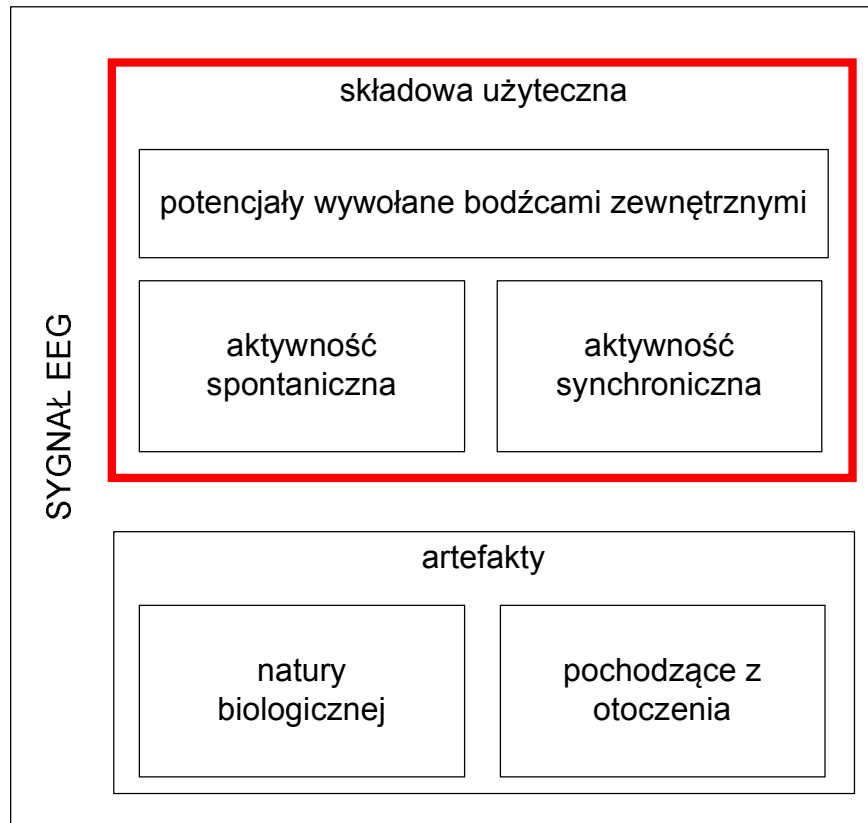
- Rozwój metod stymulacji (*time, frequency, pseudorandom code modulated stimulation*), kodowanie fazowe, wieloczęstotliwościowe (bez poszerzania pasma stymulacji),
- Rozwój metod stymulacji zakładający poszerzenie pasma stymulacji,
- Optymalne rozmieszczenie elektrod (zwiększenie wskaźnika SNR – ang. *signal to noise ratio*), lokalizacja źródeł SSVEP,
- Metody stymulacji zwiększające SNR (*half-field alternate stimulation method*)

Sygnal EEG



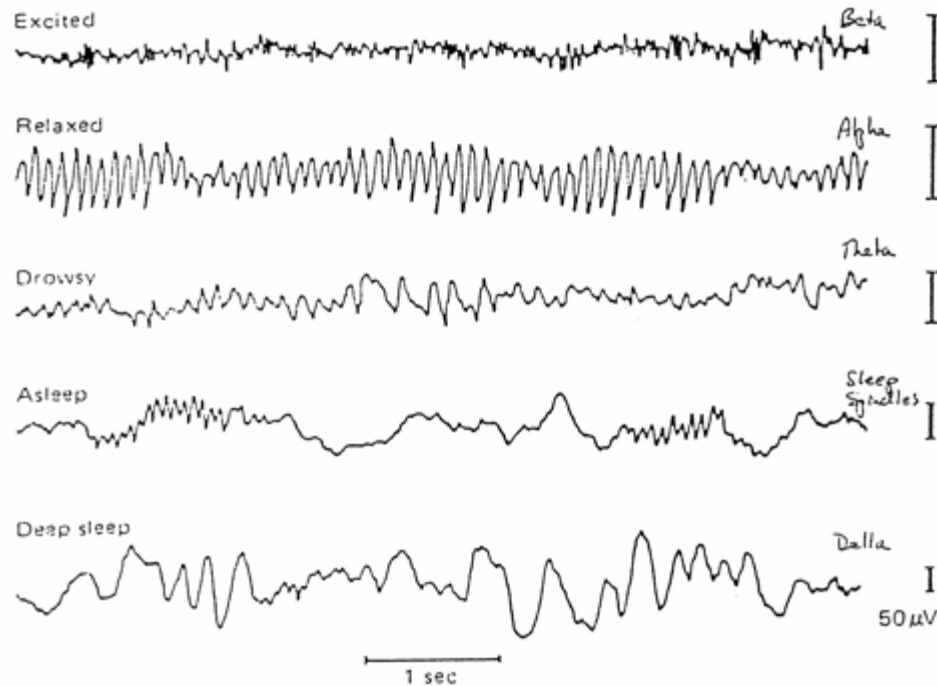
- składowa użyteczna
- zakłócenia (artefakty)
 - natury biologicznej
 - Ruch gałki ocznej
 - Ruch mięśni szkieletowych
 - Ruch elektrod względem ciała
 - Praca serca
 - Pulsacja tętnicza
 - Wydzielanie potu i łoj
 - pochodzące z otoczenia
 - Sieć energetyczna
 - Inna aparatura medyczna np. MRI
 - Komputery

Składowa użyteczna EEG



- aktywność spontaniczna (rejestrowana przy braku bodźców zewnętrznych)
- aktywność synchroniczna (rytmy)
- potencjały wywołane bodźcami zewnętrznymi
 - potencjały związane z bodźcem (ERP – *event-related potentials*): np. VEP (ang. *visual evoked potentials*)
 - odpowiedzi związane z bodźcem (*event-related EEG responses*): np. event-related desynchronization (ERD), event-related synchronization (ERS)

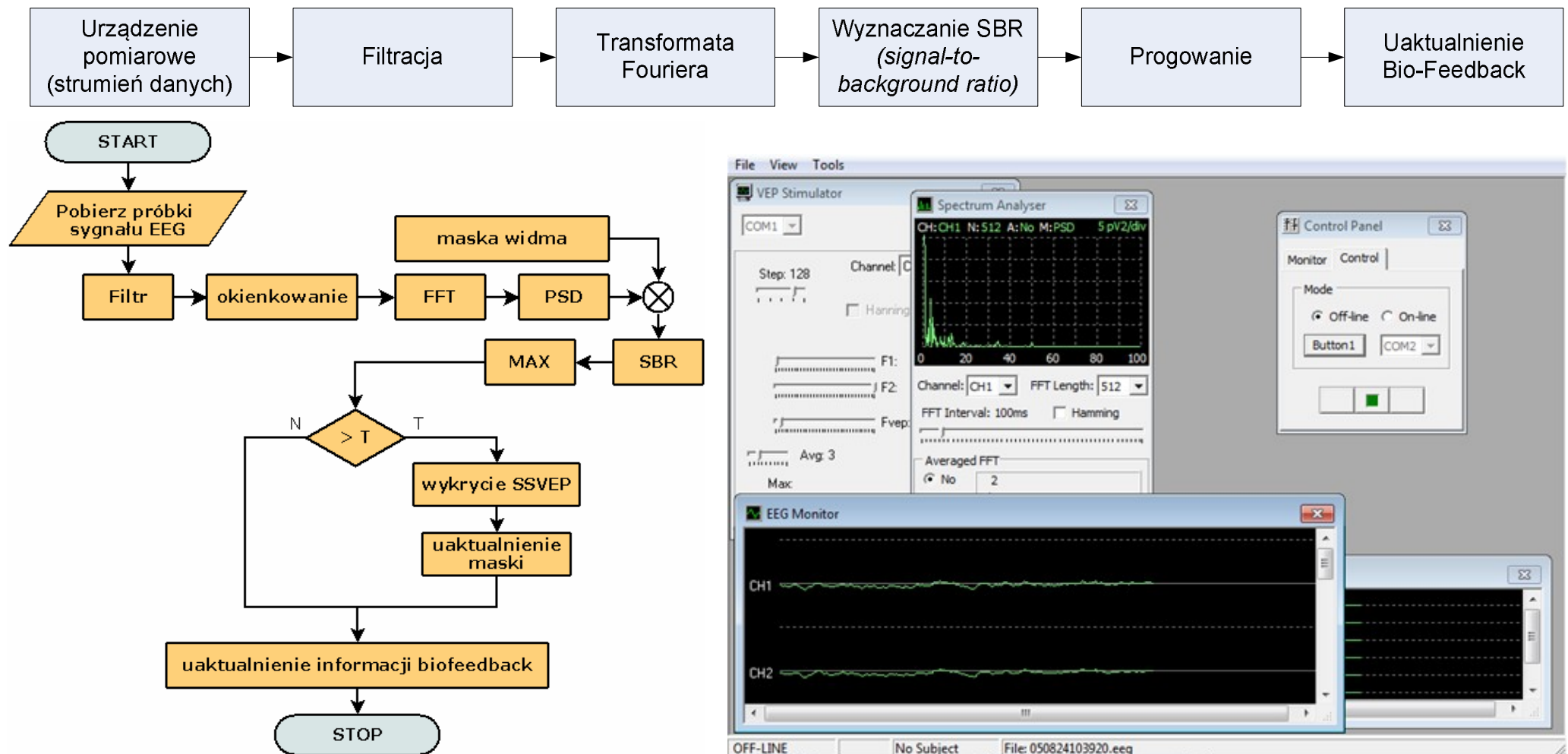
Model sygnału EEG



www.neurodevelopmentcenter.com

- *spontaniczne EEG* - szum gaussowski w widmie do ok. 200 Hz,
- *rytmy EEG* - sygnał okresowy o stałej pulsacji (zależnej od rodzaju rytmu), i amplitudzie modelowanej sygnałem wolnozmiennym,
- *potencjały wywołane SSVEP* (inne potencjały wywołane traktowane są jak zakłócenia) – sygnał okresowy o częstotliwości równej bądź będącej wielokrotnością częstotliwości stymulacji

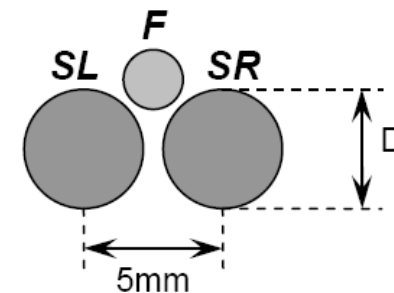
Prosty sposób detekcji SSVEP



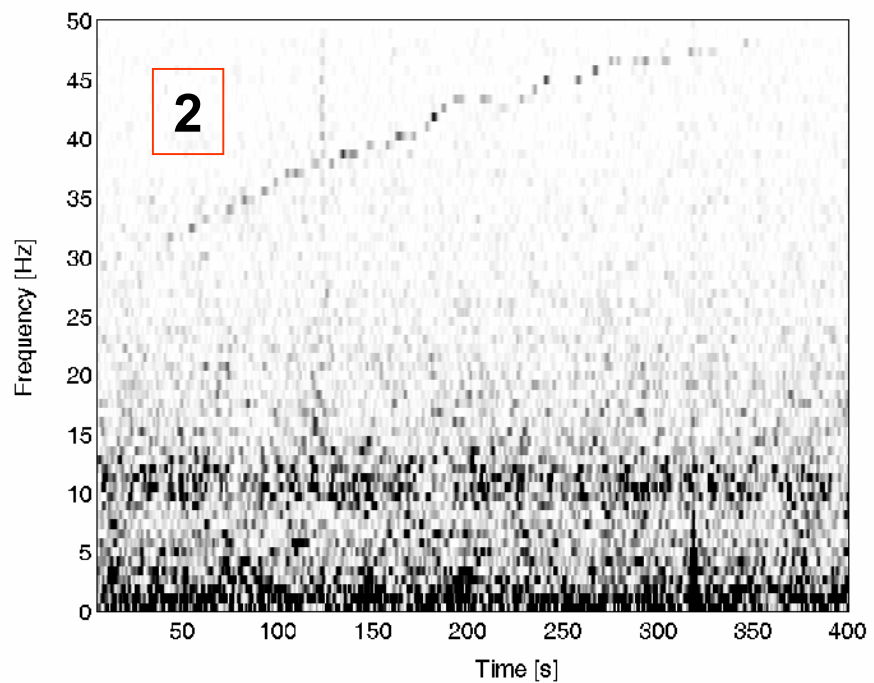
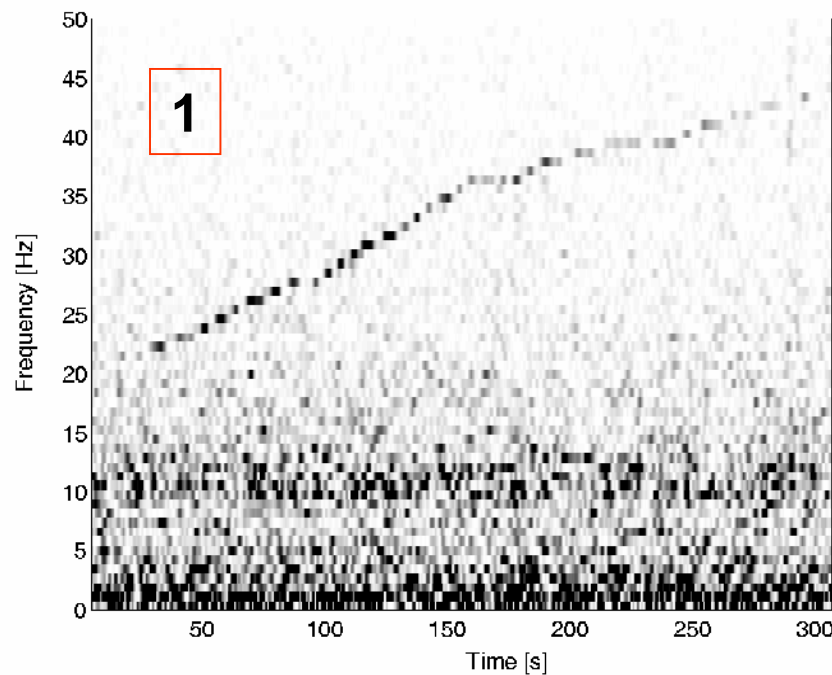
Badania – optymalizacja źródeł stymulacji

- Rozmieszczenie źródeł stymulacji w obrębie pojedynczego symbolu
- Kolor, rozmiar, intensywność, kontrast źródeł stymulacji

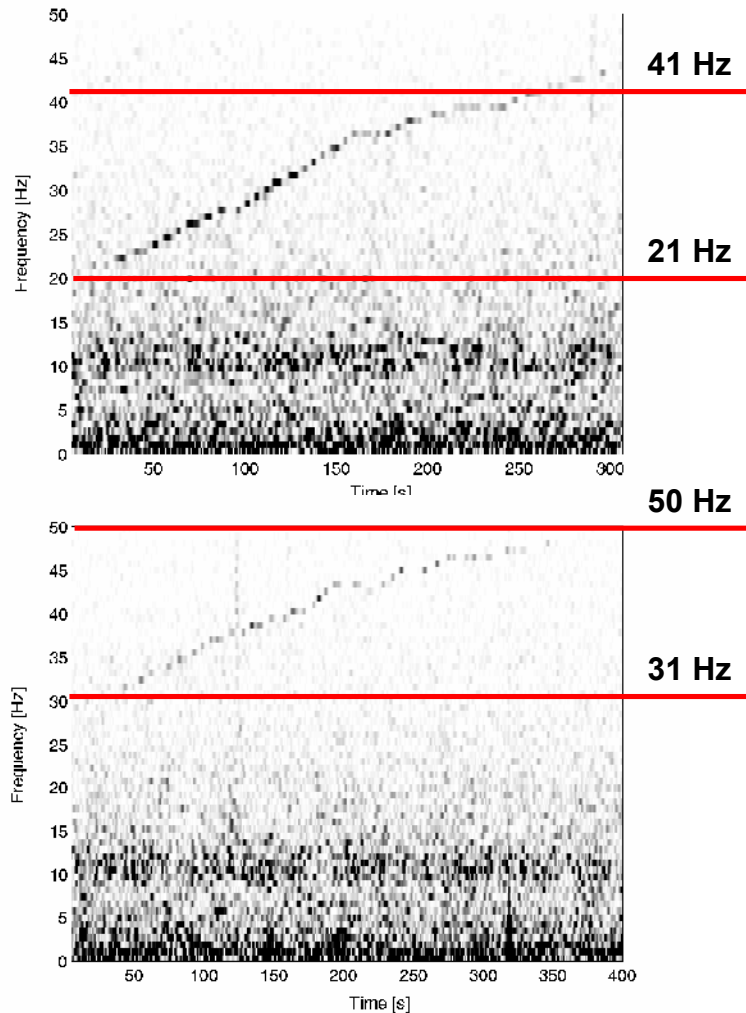
Experiment	1	2
Diameter (D)	4mm	6mm
Color of lights SL and SR	Green	Red
Color of light F	Red	Green
Intensity of lights SL and SR	Low	High



Badania – optymalizacja źródeł stymulacji

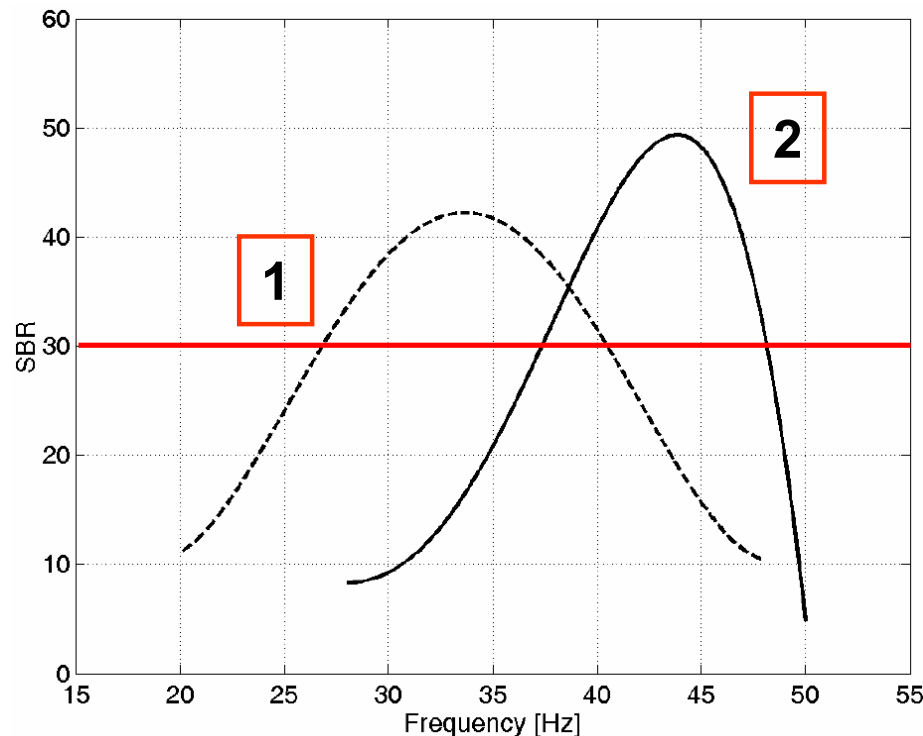


Badania – optymalizacja źródeł stymulacji



- Spektrogramy sygnałów EEG zmierzonych w pierwszym i drugim eksperymencie:
 - Silne składowe SSVEP występują w różnym zakresie częstotliwości (odpowiednio 21-41 Hz oraz 31-50Hz)
 - Parametry analizy: FFT256, $f_s = 200$ Hz, $\Delta f = 0,78$ Hz
- Obiektywne porównanie z pomocą wskaźnika SBR (ang. *Signal-To-Background Ratio*)...

Badania – optymalizacja źródeł stymulacji

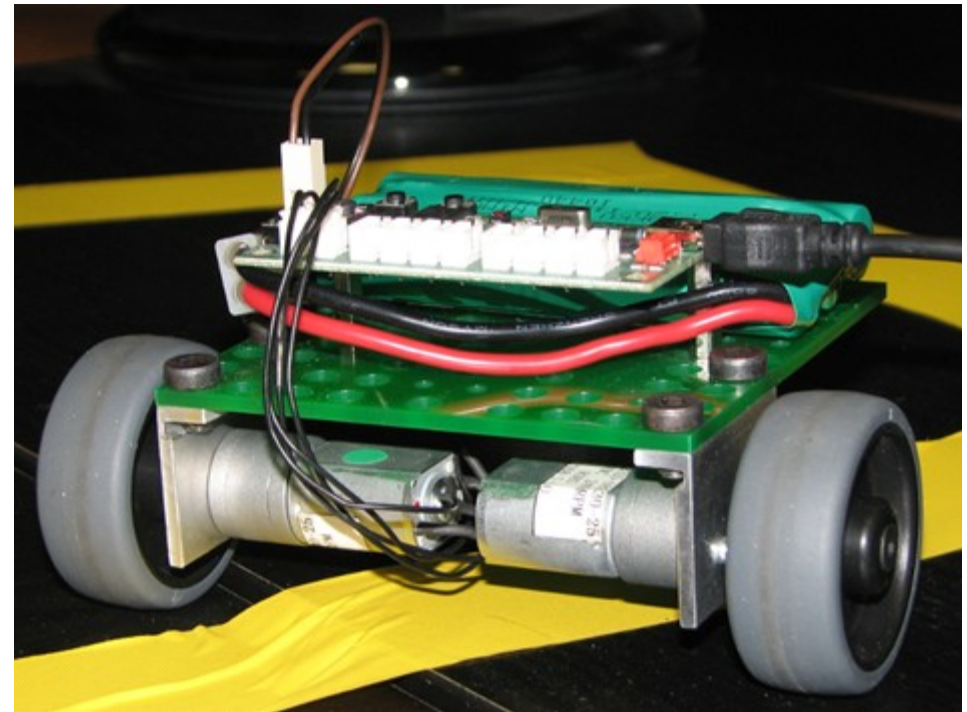


$$SBR(f) = \frac{N \cdot PSD(f)}{\sum_{k=1}^{N/2} (PSD(f - k \cdot \Delta f) + PSD(f + k \cdot \Delta f))}$$

- Maksymalne wartości SBR każdego z potencjałów SSVEP w obu eksperymentach (aproksymacja wielomianowa).
- Dla wartości progowej $T = 30$ użyteczny zakres częstotliwości wynosi:
 - 27-40 Hz dla eksperymentu pierwszego,
 - 37-48 Hz dla eksperymentu drugiego.

Alternatywne aplikacje interfejsu BCI

- Aplikacje sterowania robota mobilnego (wózek inwalidzki – platforma mobilna na bazie MiniBot firmy qfix robotics GmbH):
 - algorytm sterowania (sposób potwierdzania komend)
 - stymulacja wzroku
 - bezpieczeństwo użytkownika



Podsumowanie

Lp	Użytkownik	Czas detekcji [s]			Średnia szybkość [l. decyzji/min]
		Minimalny	Maksymalny	Średni	
1	AK2	2,24	8,64	4,15	14,46
2	AK2	2,00	8,08	3,10	19,35
3	AK2	1,84	7,52	3,24	18,52
4	LS1	2,72	43,68	13,38	4,48
5	LS1	4,88	25,12	8,67	6,92
6	MP2	1,52	10,56	3,49	17,19
7	WF1	3,52	32,96	11,63	5,16
8	MB1	1,36	4,24	2,66	22,56
9	MB1	1,04	1,92	1,62	37,04
10	MB1	0,40	2,32	1,51	39,74

Wyniki uzyskiwane przez 5 z 10 osób biorących udział w badaniach

Podsumowanie

- Amplituda potencjałów wywołanych zależy od parametrów źródeł użytych do stymulacji wzroku użytkownika,
- Wydajność systemu komunikacji człowiek-komputer typu BCI może być zwiększona poprzez odpowiednią optymalizację stymulacji oraz dobór metody analizy rejestrowanego sygnału EEG.