W11. Neuroinformatyka i biosygnały

Psychoinformatyka | Wykład 11

2026-11-04

Cele wykładu

- Rozpoznaj EEG, ECG, EDA i eye tracking jako odmienne modalności.
- Zrozum próbkowanie, artefakty, synchronizację i filtrację.
- Oblicz wskaźniki HRV z prawidłowych odstępów NN.

Neuroinformatyka w psychoinformatyce

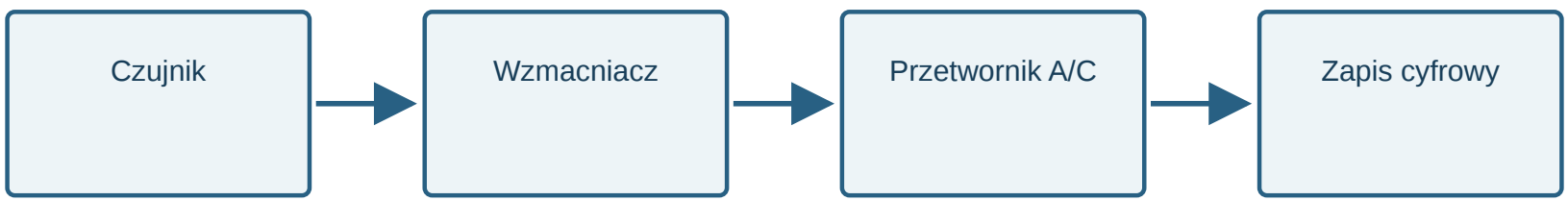
- Neuroinformatyka łączy pomiary neuronalne z analizą danych.
- Psychoinformatyka uwzględnia także zachowanie i dane cyfrowe.
- Reprodukowalność wymaga metadanych i kontroli jakości.

Źródła sygnałów biologicznych

- EEG rejestruje różnice potencjałów na skórze głowy.
- ECG rejestruje aktywność elektryczną serca.
- EDA i pupilometria opisują inne procesy fizjologiczne.

Tor rejestracji biosygnałów

- Czujnik przekształca zjawisko fizyczne w sygnał pomiarowy.
- Wzmacniacz, filtr analogowy i przetwornik A/C kształtują jakość.
- Metadane obejmują jednostki, częstotliwość i typ czujnika.



Rysunek 1: Tor rejestracji biosygnałów: wektorowy schemat

Próbkowanie, kwantyzacja i aliasing

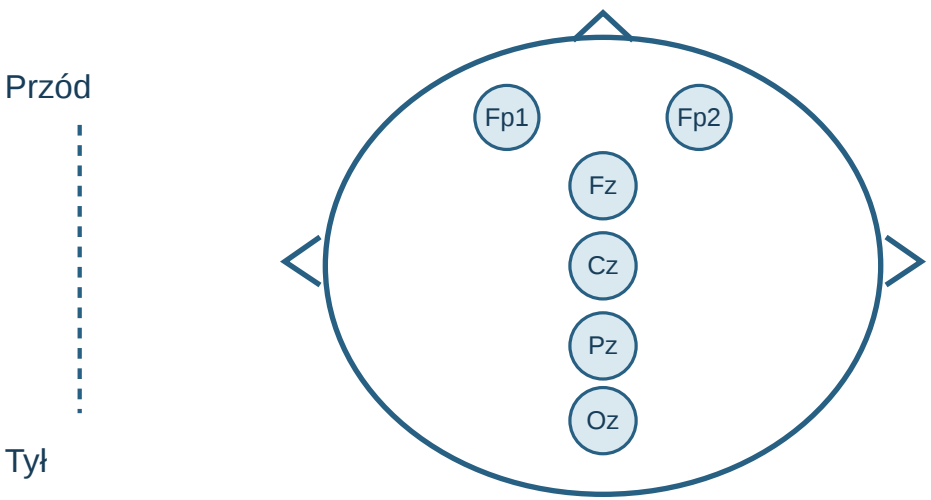
- Częstotliwość próbkowania wyraża liczbę próbek na sekundę [Hz].
- Nyquist wymaga fs większej od dwukrotności najwyższej składowej użytecznej.
- Kwantyzacja wprowadza rozdzielczość amplitudową.

Elektroencefalografia

- EEG z powierzchni głowy odzwierciedla sumaryczną aktywność dużych populacji neuronów.
- Wynik zależy od referencji, geometrii i przewodnictwa objętościowego.
- Źródło mózgowe nie jest lokalizowane jednoznacznie przez pojedynczą elektrodę.

System elektrod 10–20

- Nazwy Fp, F, C, P i O oznaczają przybliżone regiony położenia elektrod.
- Zapis zawiera lokalizację i referencję kanałów.



Fp – czołowo-biegunowe

F – czołowe

C – centralne

P / O – tylne

- Różne zestawy montażu utrudniają bezpośrednie porównania.

Rytmy EEG

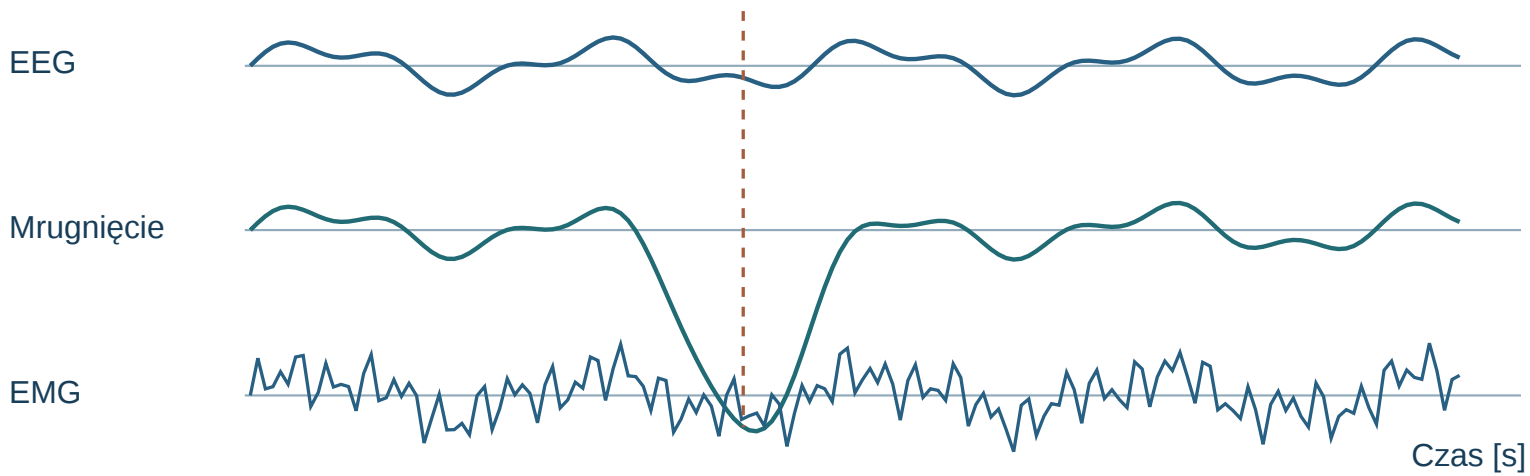
- Delta, theta, alfa, beta i gamma opisują przedziały częstości widma.
- Moc pasma zależy od miejsca, stanu czuwania i procedury.
- Żadne pasmo nie oznacza jednoznacznie konkretnego procesu psychicznego.

Potencjały wywołane ERP

- ERP powstaje przez czasowe wyrównanie epok do bodźca i uśrednianie.
- Opóźnienie i amplituda komponentów zależą od zadania i jakości danych.
- Liczba prób wpływa na stosunek sygnału do szumu.

Artefakty w EEG

- Mruganie i sakkady wprowadzają komponenty oczne.
- Aktywność mięśni i sieć elektryczna mogą zanieczyszczać pomiar.
- Artefakt należy oznaczyć, poprawić lub wykluczyć zgodnie z protokołem.



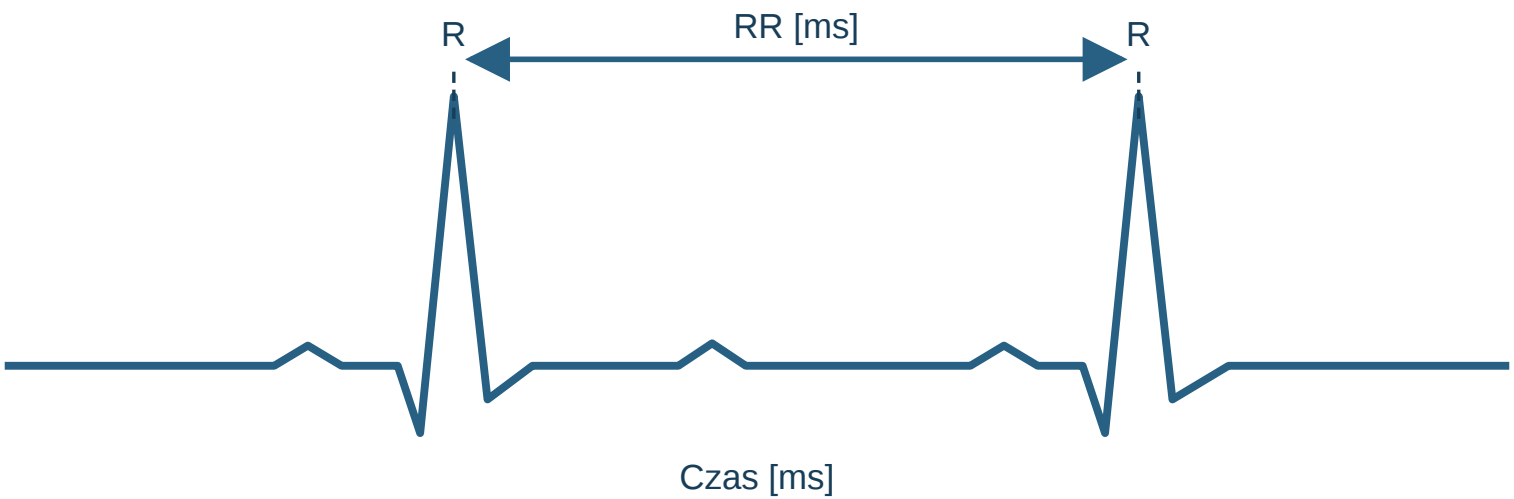
Rysunek 2: Przebieg EEG z artefaktem ocznym i składową mięśniową

ECG i zespół QRS

- ECG mierzy zmianę potencjału związaną z depolaryzacją mięśnia sercowego.
- Załamek R umożliwia wyznaczenie chwil kolejnych pobudzeń.
- Błędy detekcji zmieniają wskaźniki rytmu.

Zmienność rytmu serca HRV

- RR to czas między kolejnymi załamkami R [ms].
- NN oznacza odstępy między prawidłowymi pobudzeniami zatokowymi.
- RMSSD i SDNN wymagają zweryfikowanych interwałów NN.



Rysunek 3: Zmienność rytmu serca HRV: wektorowy schemat

Aktywność elektrodermalna EDA

- SCL to powolny poziom przewodnictwa skóry.
- SCR opisuje odpowiedzi fazowe o określonej dynamice.
- Temperatura, ruch i kontakt elektrod wpływają na odczyt.

Eye tracking i pupilometria

- Fiksacje i sakkady opisują przebieg przeszukiwania wzrokowego.
- Pupilometria wymaga kontroli luminancji.
- Kalibracja i utrata próbek wpływają na wnioski.

Studium przypadku: HRV z ECG

- Zarejestruj sygnał i zweryfikuj położenie załamków R.
- Oblicz odstępy NN, SDNN i RMSSD.
- Interpretuj wynik w kontekście protokołu, bez diagnozy.

5 minut przerwy

Pytania do przemyślenia:

1. Jak EEG różni się od ECG?
2. Dlaczego fs i liczba bitów to różne parametry?
3. Jakie interwały mogą służyć do liczenia RMSSD?
4. Dlaczego EDA i HRV nie stanowią samodzielnej diagnozy stresu?

Synchronizacja sygnałów

- Zapisuj wspólny czas, znaczniki zdarzeń i opóźnienia.
- Oddziel dryf zegara od opóźnienia transmisji.
- Analizuj opóźnienia fizjologiczne między modalnościami.

Wizualizacja surowych przebiegów

- Wykres musi zawierać czas [s] i amplitudę z jednostką.
- Zachowuj rzeczywistą skalę sygnału i zakres pomiaru.
- Zaznacz odrzucone fragmenty i artefakty.

Kontrola jakości pomiaru

- Sprawdzaj brakujące próbki, saturację i szum.
- Weryfikuj detektory zdarzeń na fragmentach sygnału.
- Dokumentuj kryteria odrzucania danych.

Filtracja sygnałów

- Filtr dolnoprzepustowy ogranicza szybki szum.
- Filtr górnoprzepustowy usuwa wolne dryfty.
- Filtr notch tłumi określoną składową sieciową.

Segmentacja i epokowanie

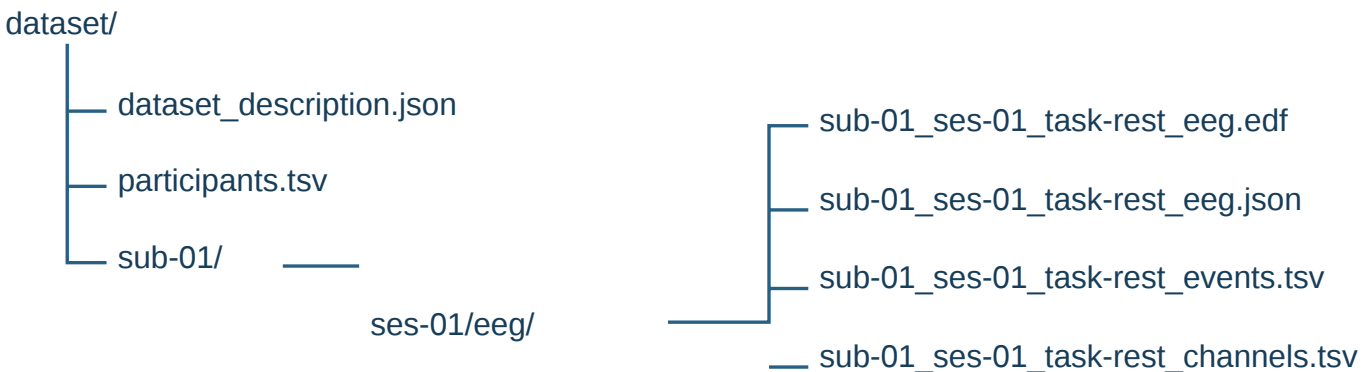
- Epoka jest fragmentem sygnału wokół zdarzenia.
- Okno analizy może być stałe albo zdarzeniowe.
- Długość epoki wpływa na rozdzielczość częstotliwościową.

Ekstrakcja cech

- Cechy czasowe opisują amplitudę i dynamikę.
- Cechy częstotliwościowe wymagają odpowiedniej długości sygnału.
- Wszystkie cechy powinny mieć jednostki i definicje.

EEG-BIDS i powtarzalność

- BIDS standaryzuje strukturę plików, metadane i opis zdarzeń.
- Metadane obejmują kanały, elektrodę, referencję i zadanie.
- Walidacja BIDS nie zastępuje oceny jakości EEG; osobno sprawdzaj jednostki, montaż i poprawność znaczników zdarzeń.



Rysunek 4: EEG-BIDS i powtarzalność: wektorowy schemat

Python: symulacja przebiegu ECG

- Tworzymy pięciominutowy uproszczony przebieg ECG fs=250 Hz.
- Rytm ma kontrolowaną zmienność i dodany szum.
- Dane są całkowicie syntetyczne.

```
Czas 300 s i częstotliwość fs = 250 Hz
Symulacja pobudzeń i zespołów QRS
Znane znaczniki R oraz dodany szum
```

Python: detekcja załamków R

- Znajduj lokalne maksimum przy określonej wysokości.
- Minimalny odstęp chroni przed podwójnym wykrywaniem tej samej fali.
- Sprawdź liczbę pików i jakość wizualną.

```
from scipy.signal import find_peaks
szczyty, _ = find_peaks(ecg, height=.65, distance=int(.45*fs))
print("Wykryte piki R:", len(szczyty))
r_ref = np.rint(r_czasy * fs).astype(int)
trafione = np.array([np.min(np.abs(szczyty - k)) <= 5 for k in r_ref])
falszywe = sum(np.min(np.abs(r_ref - k)) > 5 for k in szczyty)
print("Referencyjne R:", len(r_ref), "czułość:", round(trafione.mean(), 3),
      "fałszywe detekcje:", falszywe)
```

Python: odstępy NN i HRV

- RR oblicz jako różnicę czasów kolejnych pików R.
- RMSSD liczy kolejne różnice interwałów NN.
- SDNN opisuje odchylenie standardowe odstępów NN.

Kontrola wrażliwości: pominięcie jednego wykrycia R może radykalnie zawyżyć RMSSD.

```
nn_ms = np.diff(szczyty)/fs*1000
sdnn = np.std(nn_ms, ddof=1)
rmssd = np.sqrt(np.mean(np.diff(nn_ms)**2))
print(f"Średnie tętno: {60000/np.mean(nn_ms):.1f} /min")
print(f"SDNN: {sdnn:.1f} ms, RMSSD: {rmssd:.1f} ms")

# Celowa symulacja pominięcia jednego R (RR nie jest wtedy prawidłowym NN)
rr_blad = np.diff(np.delete(szczyty, len(szczyty)//2)) / fs * 1000
rmssd_blad = np.sqrt(np.mean(np.diff(rr_blad)**2))
print(f"RMSSD po pominięciu R: {rmssd_blad:.1f} ms")
```

Python: wykres ECG i R

- Wyświetl krótki fragment przebiegu w sekundach.
- Wizualnie zaznacz znalezione maksima.
- Podaj jednostki osi i syntetyczny charakter danych.

```
import matplotlib.pyplot as plt
m = czas < 10
r = szczyty[czas[szczyty] < 10]
fig, ax = plt.subplots(figsize=(8, 3))
ax.plot(czas[m], ecg[m], label="ECG syntetyczne")
ax.scatter(czas[r], ecg[r], label="Piki R")
ax.set(xlabel="Czas [s]", ylabel="Amplituda [j.u.]")
ax.legend(); ax.grid(alpha=.2)
plt.tight_layout(); plt.show()
```

HRV a interpretacja psychologiczna

- HRV zależy od oddychania, pozycji, aktywności i stanu zdrowia.
- Wynik sam w sobie nie diagnozuje stresu.
- Interpretacja wymaga protokołu i odniesienia do osoby.

Ograniczenia i etyka biosygnałów

- Artefakty i różnice sprzętowe ograniczają przenoszenie modelu.
- Sygnały fizjologiczne wymagają ochrony danych.
- Raportuj błędy, czas pomiaru i właściwą populację.

Literatura i narzędzia

- Pernet, C. R., Appelhoff, S., Gorgolewski, K. J., i in. (2019). EEG-BIDS, an extension to the brain imaging data structure for electroencephalography. Scientific Data, 6, artykuł 103. DOI.
- Makowski, D., Pham, T., Lau, Z. J., i in. (2021). NeuroKit2: A Python toolbox for neurophysiological signal processing. Behavior Research Methods, 53(4), 1689–1696. DOI.
- Laborde, S., Mosley, E., Thayer, J. F. (2017). Heart Rate Variability and Cardiac Vagal Tone in Psychophysiological Research: Recommendations for Experiment Planning, Data Analysis, and Data Reporting. Frontiers in Psychology, 8, 213. DOI.
- Gramfort, A., i in. (2013). MEG and EEG data analysis with MNE-Python. Frontiers in Neuroscience, 7, 267. DOI.

Dokumentacja narzędzi: MNE-Python, SciPy Signal, BIDS EEG.

Wnioski i samodzielna praca

- Od rejestracji do wskaźnika prowadzi kontrolowany łańcuch przetwarzania.
- Błędy detekcji, artefakty i definicja interwałów zmieniają HRV.
- Uruchom pi_w11.ipynb i porównaj RMSSD przed i po usunięciu jednego piku.