ROBOTYKA AFEKTYWNA

Wykład 4: Sygnały fizjologiczne i integracja sprzętowa

Automatyka i Robotyka, studia II stopnia

dr inż. Mateusz Pomianek • Politechnika Rzeszowska

Po tym wykładzie będziesz umiał/a:

- Opisać, co mierzą EDA/GSR, HRV i EEG oraz jaki aspekt emocji ujawniają
- Obliczyć podstawową miarę HRV, czyli RMSSD, z sygnału RR
- Dobrać protokół komunikacji, BLE albo LSL, do scenariusza pomiarowego
- Zaprojektować filtrację i ekstrakcję cech dla sygnału biometrycznego
- Zintegrować urządzenie wearable z ROS2 i skalibrować je dla konkretnego operatora



SZYBKIE PRZYWOŁANIE Z WYKŁADU 3

Jak fuzja late radzi sobie, gdy jeden z kanałów, audio albo wideo, milknie?

Wideo (W2) | Audio (W3) | **Fizjologia (dziś)**

Dziś dokładamy trzeci, najbardziej redundantny kanał wejściowy do tej samej fuzji.

Sygnał, którego nie da się ukryć

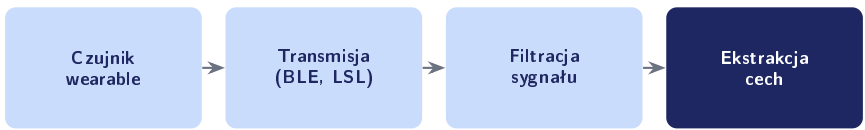
Operator ma opanowaną twarz i spokojny głos, świadomie kontroluje mimikę i ton.

Jego przewodność skóry rośnie, a zmienność rytmu serca spada, ponieważ układ współczulny reaguje niezależnie od woli.

Fizjologia to kanał, który trudno świadomie zafałszować: cenny, ale też najbardziej inwazyjny.



Pipeline percepcji fizjologicznej



- Czujnik: opaska albo pasek z elektrodami lub fotopletyzmografem (PPG)
- Transmisja: bezprzewodowa, z ograniczeniami mocy i pasma, patrz slajd 13
- Filtracja: usunięcie dryfu linii bazowej oraz szumu ruchowego
- Ekstrakcja cech: to jest etap 2 z pipeline'u W1, trzeci kanał sensoryki

EDA i GSR: przewodność skóry

- Electrodermal Activity mierzy przewodność skóry, sterowaną przez gruczoły potowe
- Aktywowana wyłącznie przez układ współczulny, sympatyczny, bez świadomej kontroli
- Składowa toniczna, oznaczana SCL: powolny poziom bazowy pobudzenia
- Składowa fazowa, oznaczana SCR: szybkie skoki przy nagłym bodźcu emocjonalnym

Co to mówi o emocji?

EDA koreluje głównie z arousal, czyli pobudzeniem, a nie z valence, czyli znakiem emocji. Wysoki EDA może oznaczać zarówno strach

HRV, czyli zmienność rytmu serca

Fotopletyzmograf, w skrócie PPG, mierzy przepływ krwi optycznie i pozwala wyznaczyć odstępy między uderzeniami serca, oznaczane RR.

RMSSD, najpopularniejsza miara HRV w czasie rzeczywistym:

$$\mathrm{RMSSD} = \sqrt{\overline{(RR_{i+1} - RR_i)^2}}$$

Niskie RMSSD oznacza dominację układu współczulnego, czyli stres i mobilizację. Wysokie RMSSD oznacza dominację układu przywspółczulnego, czyli spokój i regenerację.

W przeciwieństwie do EDA, HRV bywa wiązane zarówno z poziomem stresu, jak i z ogólną kondycją układu autonomicznego, dlatego interpretacja wymaga kontekstu.

EEG konsumenckie: pasma częstotliwości

Pasmo	Zakres	Powiązanie ze stanem
Delta	od 0,5 do 4 Hz	Głęboki sen, nieobecne przy czuwaniu
Theta	od 4 do 8 Hz	Senność, obciążenie poznawcze
Alfa	od 8 do 13 Hz	Odprężenie, asymetria czołowa powiązana z valence
Beta	od 13 do 30 Hz	Czujność, aktywne przetwarzanie, stres

Konsumenckie urządzenia to na przykład Muse, cztery elektrody w suchym montażu, oraz OpenBCI, od 8 do 16 kanałów, konfigurowalny. Niższa jakość sygnału niż EEG kliniczne, ale wystarczająca do wykrywania trendów pasmowych.

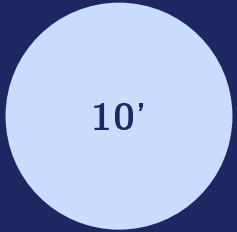
EDA, HRV i EEG: porównanie

Cecha	EDA/GSR	HRV (PPG)	EEG
Mierzony aspekt	Arousal	Stres, regulacja	Arousal i valence
Czas reakcji	od 1 do 3 s	Kilka uderzeń serca	Milisekundy
Wrażliwość na ruch	Wysoka	Średnia	Bardzo wysoka
Łatwość noszenia	Wysoka (nadgarstek)	Wysoka (nadgarstek, palec)	Niska (opaska na głowę)

SZYBKIE PRZYWOŁANIE

Które z trzech czujników mierzy głównie arousal, a które może odróżnić też valence?

30 sekund indywidualnie, potem porównaj odpowiedź z sąsiadem



PRZERWA

10 minut, wracamy o godzinie [uzupełnić]

Szybkie przypomnienie

- EDA mierzy arousal, HRV mierzy stres i regulację, EEG mierzy arousal i valence
- Wszystkie trzy sygnały są zaszumione i wymagają filtracji przed użyciem

Teraz zajmiemy się tym, jak dostarczyć te dane do robota i przygotować je do klasyfikacji.

Protokoły: BLE oraz Lab Streaming Layer

BLE, Bluetooth Low Energy

Niski pobór mocy, zasięg od 10 do 30 metrów, komunikacja przez profile GATT.

Typowe opóźnienie: od pojedynczych do kilkudziesięciu milisekund. Standard w opaskach EDA i PPG.

Lab Streaming Layer, LSL

Synchronizacja wielu heterogenicznych strumieni, EEG, wideo, znaczniki zdarzeń, na wspólnej osi czasu, w sieci.

Standard w badaniach BCI i neuronauce, do-

Filtracja sygnału

- Dryf linii bazowej usuwany jest filtrem górnoprzepustowym
- Szum wysokoczęstotliwościowy usuwany jest filtrem dolnoprzepustowym
- Typowy wybór to filtr Butterwortha, o płaskiej charakterystyce w paśmie przepustowym

Transmitancja filtru dolnoprzepustowego rzędu n, typu Butterworth:

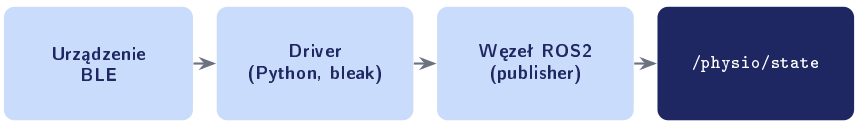
$$|H(f)|^2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^{2n}}$$

f_c to częstotliwość odcięcia, na przykład 5 Hz dla EDA, a n to rząd filtru: kompromis między ostrością odcięcia a opóźnieniem fazowym.

Ekstrakcja cech: FFT i moc pasmowa

- Sygnał EEG dzielony jest na okna, na przykład od 1 do 2 sekund, z zachodzeniem, podobnie jak ramki audio w W3
- FFT, albo metoda Welcha, daje widmo mocy w każdym oknie
- Moc pasmowa to suma kwadratów modułu widma dla częstotliwości w danym paśmie, alfa, beta i tak dalej
- Cechą wejściową klasyfikatora jest wektor mocy pasm oraz ich wzajemne proporcje, na przykład stosunek beta do alfa

Integracja urządzenia wearable z ROS2



- Driver działa asynchronicznie, dzięki bibliotece bleak, i odczytuje charakterystyki GATT z opaski
- Węzeł ROS2 opakowuje surowe albo przefiltrowane próbki i publikuje je jako temat
- Ten sam wzorzec co kamera w W2 i mikrofon w W3: właściwy dla czujnika driver, wspólny format wyjścia w postaci AffectState

Kod: driver BLE i publisher ROS2

```
import asyncio
from bleak import BleakClient
import rclpy
from std_msgs.msg import Float32

EDA_CHAR_UUID = '0000xxxx-...-fb349b5f8000'

async def stream_eda(node, address):
    async with BleakClient(address) as client:
        async def handler(_, data):
            value = int.from_bytes(data, 'little')
            node.eda_pub.publish(Float32(data=value))
        await client.start_notify(EDA_CHAR_UUID, handler)
```

Kod: cecha HRV, RMSSD, i publikacja AffectState

```python
import numpy as np

def rmssd(rr_intervals_ms):
    diffs = np.diff(rr_intervals_ms)
    return float(np.sqrt(np.mean(diffs**2)))

def on_new_rr_window(self, rr_window):
    hrv = rmssd(rr_window)
    stressed = hrv < self.baseline_hrv * 0.7 # patrz slajd 20
    msg = AffectState(arousal=1.0 if stressed else 0.3,
                      confidence=0.6)
    self.pub.publish(msg) # -> /affect/physio_state
```

Ograniczenia praktyczne

- Artefakty ruchowe: praca fizyczna przy robocie zakłóca EDA i PPG silniej niż spoczynek
- Opóźnienia transmisji BLE bywają zmienne i mogą naruszyć budżet latencji z W1
- Efekt założenia urządzenia: pierwsze minuty pomiaru bywają niestabilne z powodu adaptacji skóry
- Różnice międzyosobnicze: te same wartości EDA i HRV znaczą co innego u różnych ludzi

Personalizacja: kalibracja bazowa

- Zarejestruj od 1 do 2 minut sygnału w spoczynku na początku zmiany operatora
- Wylicz baseline, czyli średnią i odchylenie standardowe EDA i HRV dla tej konkretnej osoby
- Cechy klasyfikatora liczone są jako z-score względem baseline, a nie jako wartości bezwzględne
- To ten sam problem generalizacji, co w przypadku zbiorów danych z W2, gdzie FER2013 słabo odwzorowywał realne warunki

Kluczowe pojęcia dzisiejszego wykładu

EDA/GSR (arousal)	**HRV (RMSSD)**	EEG (pasma częstotliwości)
BLE oraz LSL	**Filtracja i FFT cech**	Kalibracja bazowa (baseline)

Quiz kontrolny

1. Dlaczego sam EDA nie wystarcza, aby odróżnić strach od ekscytacji?
2. Operator ma dziś RMSSD równe 25 ms, a jego baseline to 40 ms. Co to sugeruje?
3. Kiedy warto użyć LSL zamiast bezpośredniego połączenia BLE z ROS2?

Wykład 5: generowanie ekspresji, sterowanie robotem

- Mapowanie stanu afektywnego na parametry ruchu i postawę
- Ekspresja przez ciało, jak u G1 EDU, w porównaniu z mimiką u robotów z twarzą
- Synteza mowy afektywnej: parametryzacja prozodii w syntezatorze mowy

Praca własna przed W5:

Zmierz swój puls, na przykład aplikacją w telefonie, przed i po krótkim wysiłku, i zaobserwuj zmianę HRV.

Dziękuję za uwagę

Pytania?