

PRACA DYPLOMOWA MAGISTERSKA

Estymacja kroków z czujników ruchu

Wykonał: Maksymilian Kisiel

Promotor: dr hab. inż. Agnieszka Szczęsna, prof. PŚ.

Katedra Grafiki, Wizji Komputerowej i Systemów Cyfrowych

GLIWICE 2025



Politechnika
Śląska

Spis treści

09

Bibliografia
i neografia

10

Opis
zastosowanych
metod
badawczych

11

Uzasadnienie
wyboru metod

12

Omówienie
próby
badawczej



Spis treści

13

Przedstawienie
projektu i
metody
realizacji
badań

14

Przedstawienie
stanowiska
badawczego

15

Przedstawienie
własnych
rozwiązań

16

Prezentacja
uzyskanych
wyników



Spis treści

17

Analiza
wyników i ich
interpretacja

18

Przedstawienie
dowodów
potwierdzających
hipotezy

19

Porównanie
wyników z
literaturą

20

Omówienie
ograniczeń
badania



Opis zastosowanych metod badawczych

W ramach pracy zaimplementowano i przetestowano pięć różnych algorytmów estymacji kroków:

1. Peak Detection (detekcja szczytów) - wykrywanie lokalnych maksimów w sygnale akcelerometru, przekraczających ustalony próg
2. Zero-Crossing (przejścia przez zero) - analiza momentów, w których sygnał przechodzi przez wartość referencyjną (zero)
3. Spectral Analysis (analiza częstotliwościowa) - identyfikacja dominujących częstotliwości w spektrum sygnału odpowiadających krokom
4. Adaptive Threshold (adaptacyjny próg) - dynamiczne dostosowanie progu detekcji w oparciu o bieżące właściwości sygnału
5. SHOE (Step Heading Offset Estimator) - fuzja danych z akcelerometru i żyroskopu dla zwiększenia dokładności detekcji



Uzasadnienie wyboru metod

Wybrane algorytmy reprezentują różne podejścia do problemu detekcji kroków:

- Metody oparte na wartościach progowych (Peak Detection, Adaptive Threshold) - skuteczne w typowych scenariuszach chodu, łatwe w implementacji
- Metody analizy częstotliwościowej (Spectral Analysis) - odporne na szum, efektywne w przypadku regularnego rytmu kroków
- Metody hybrydowe (SHOE) - wykorzystujące dane z wielu czujników, zwiększające odporność na zakłócenia
- Metody analizy przejść (Zero-Crossing) - niski koszt obliczeniowy, odpowiednie dla urządzeń o ograniczonych zasobach

Różnorodność metod pozwala na kompleksową ocenę ich skuteczności w różnych warunkach chodu.



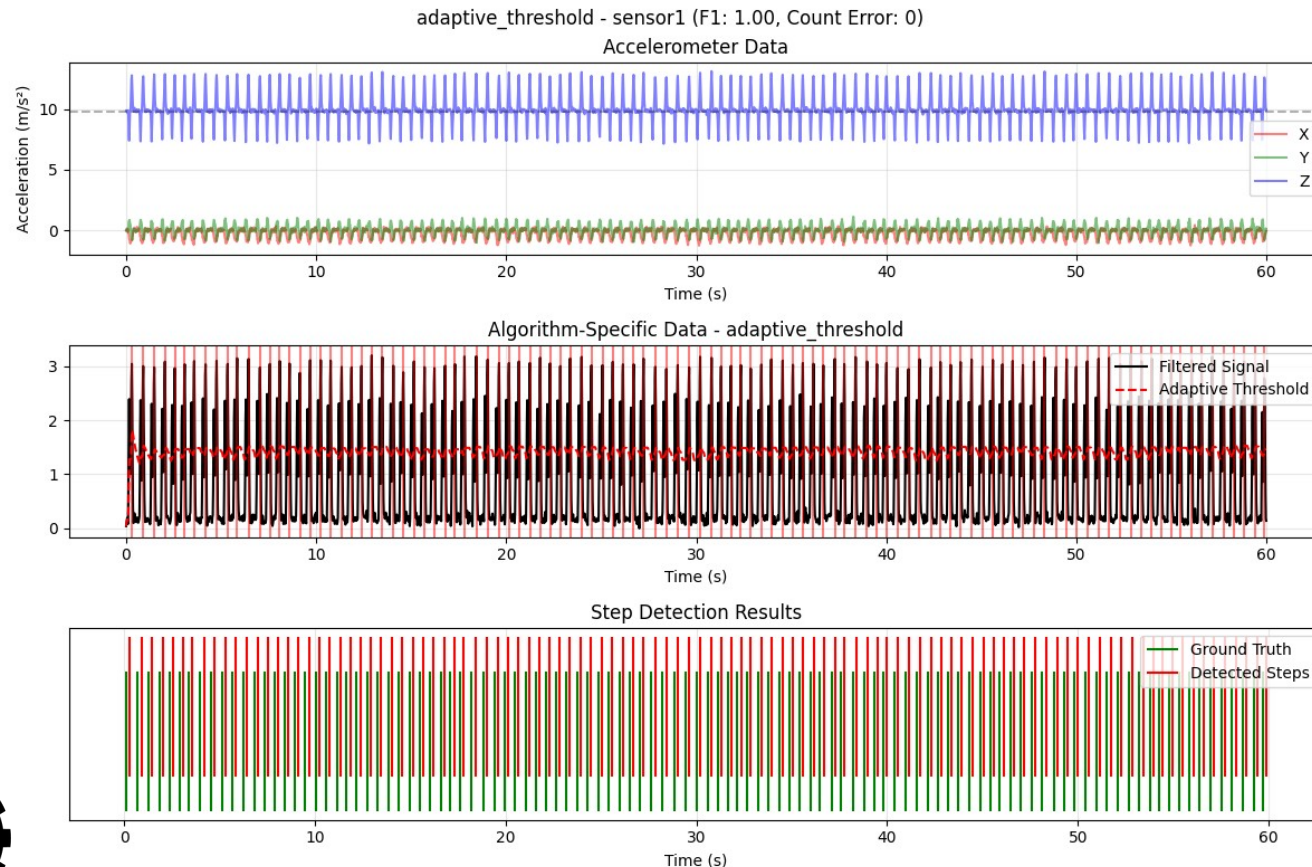
Krótkie omówienie próby badawczej

Badania przeprowadzono dla pięciu różnych scenariuszy chodu:

- Normalny chód (1.8 Hz) - typowy rytm kroków podczas standardowego spaceru
- Szybki chód (2.3 Hz) - przyspieszony rytm kroków, jak podczas pośpiesznego przemieszczania się
- Wolny chód (1.2 Hz) - spowolniony rytm kroków, jak podczas niespiesznego spaceru
- Chodzenie po schodach w górę (1.5 Hz) - charakteryzujące się większą amplitudą w osi pionowej
- Chodzenie po schodach w dół (1.6 Hz) - charakteryzujące się odmiennym wzorcem przyspieszeń
- Dla każdego scenariusza zebrano minutowe nagrania z dwóch czujników IMU, zapewniając zarówno dane akcelerometru, żyroskopu jak i magnetometru.



Krótkie omówienie próby badawczej



Zobrazowanie działania algorytmu Adaptive Threshold na danych z normalnego chodu. Widoczne są trzy panele: górny pokazuje dane akcelerometru, środkowy przedstawia sygnał przefiltrowany i próg adaptacyjny, dolny porównuje kroki wykryte z referencyjnymi.



Przedstawienie projektu i metody realizacji badań

Projekt badawczy zrealizowano zgodnie z następującym schematem:

- Opracowanie stanowiska pomiarowego z wykorzystaniem Raspberry Pi Pico 2W
- Implementacja algorytmów estymacji kroków w języku Python
- Zbieranie danych w różnych scenariuszach chodu
- Analiza porównawcza algorytmów pod względem:
 - Dokładności detekcji (precision, recall, F1-score)
 - Dokładności zliczania kroków (różnica w liczbie kroków)
 - Odporności na zakłócenia
 - Różnic między czujnikami
- Badania wykonano z wykorzystaniem syntetycznych danych testowych oraz rzeczywistych pomiarów.



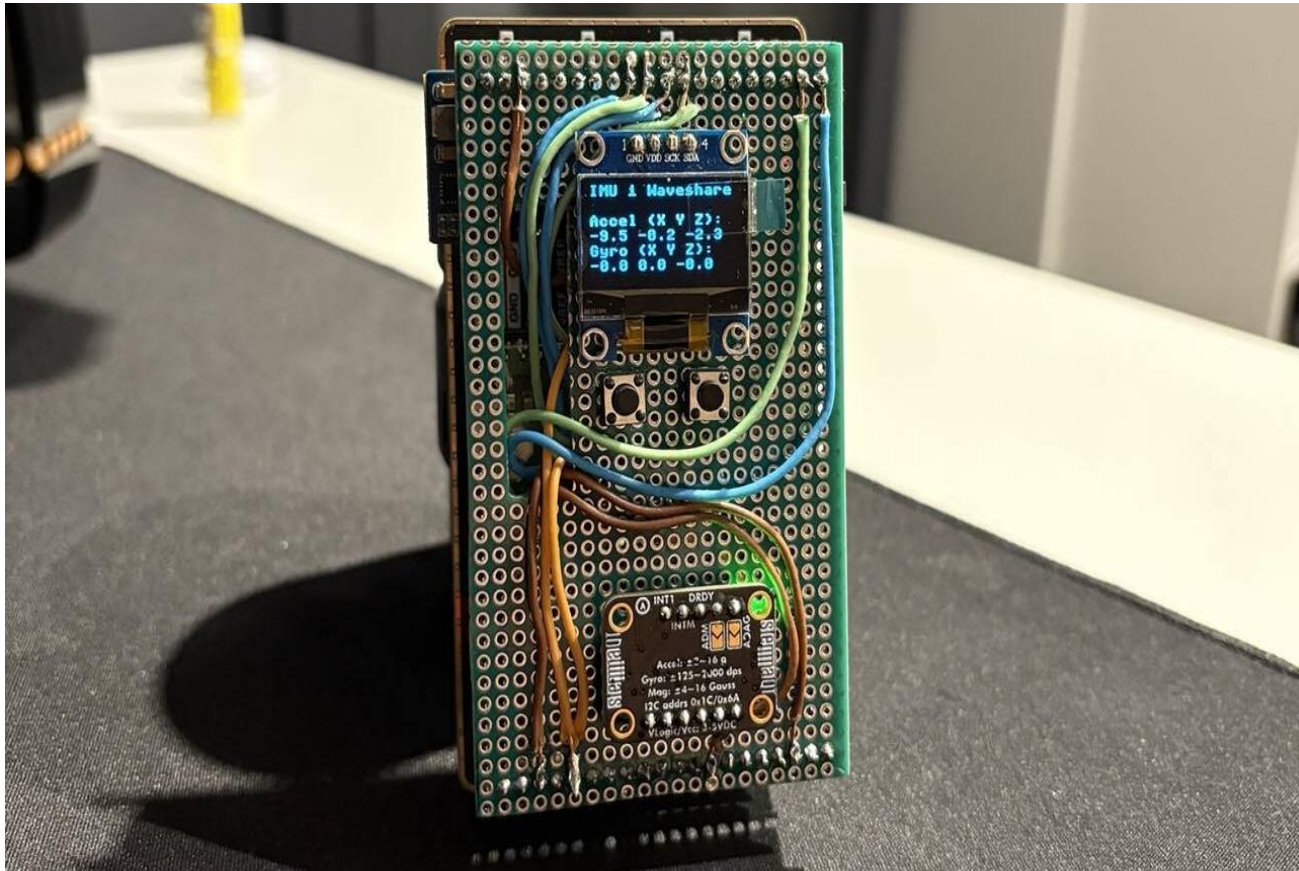
Przedstawienie stanowiska badawczego

Stanowisko badawcze składa się z następujących elementów:

- Mikrocontroller: Raspberry Pi Pico 2W z MicroPython
- Czujniki IMU:
 - Waveshare Pico-10DOF-IMU (9-osiowy: akcelerometr, żyroskop, magnetometr)
 - Adafruit ST-9-DOF-Combo (9-osiowy: akcelerometr, żyroskop, magnetometr)
- Zasilanie: Waveshare Pico-UPS-B (zapewniający mobilność urządzenia)
- Wizualizacja: wyświetlacz OLED 128x64 (podgląd danych w czasie rzeczywistym)
- Komunikacja: API REST (HTTP) poprzez Wi-Fi
- Pobieranie i przetwarzanie danych: dedykowane aplikacje (webowa i desktopowa)
- Urządzenie jest kompaktowe, zasilane bateryjnie i umożliwia bezprzewodową transmisję danych.



Przedstawienie stanowiska badawczego



Rzeczywiste urządzenie pomiarowe
zbudowane na potrzeby badań



Przedstawienie własnych rozwiązań

Opracowane rozwiązania:

1. System zbierania danych:

- Asynchroniczny serwer HTTP na urządzeniu Pico 2W
- Efektywne zarządzanie pamięcią z automatycznym garbage collection
- Interfejs webowy do wizualizacji danych w czasie rzeczywistym

2. Narzędzia analizy:

- Aplikacja desktopowa do nagrywania i analizy danych
- Wizualizacja wyników poszczególnych algorytmów
- Porównania między algorytmami i czujnikami
- Automatyczne obliczanie metryk wydajności

3. Implementacja algorytmów:

- Zoptymalizowana pod kątem dokładności i wydajności
- Parametryzowalna dla różnych scenariuszy chodu
- Jednolite API ułatwiające porównania



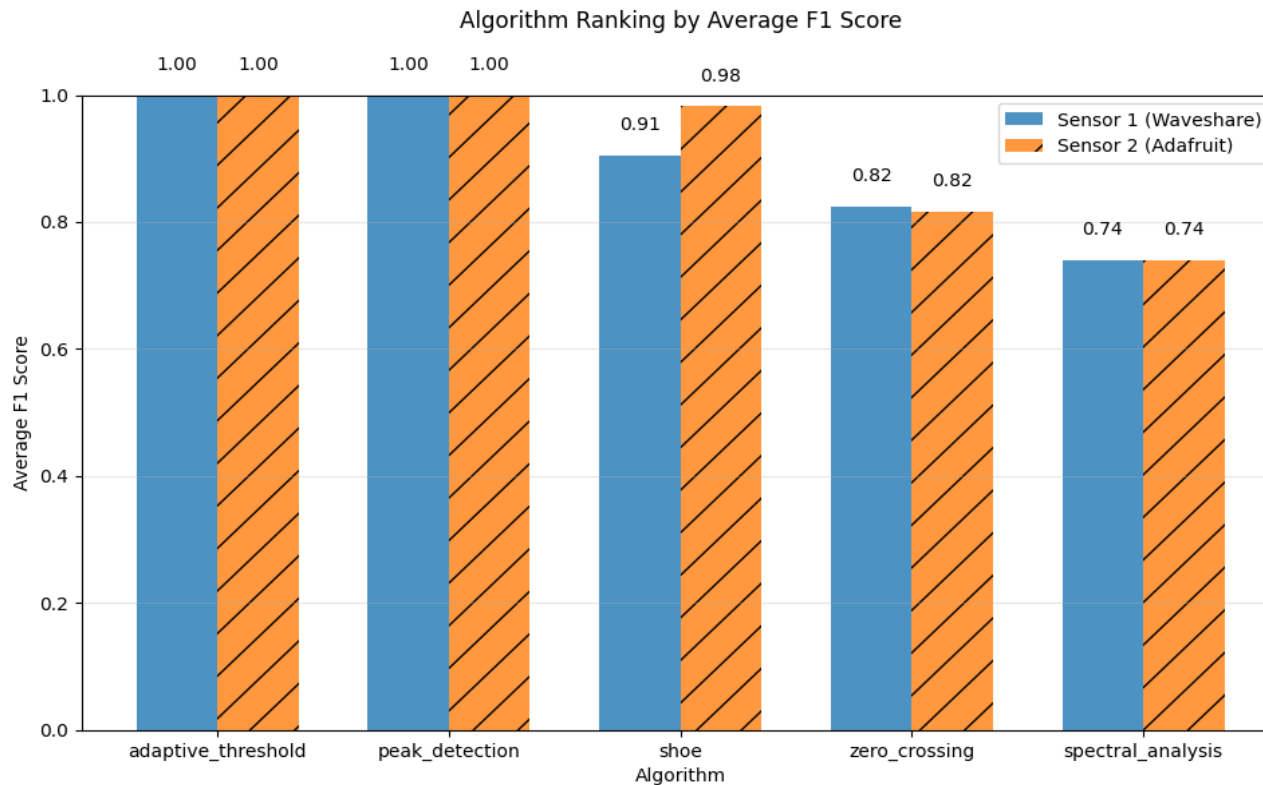
Prezentacja uzyskanych wyników

Główne wyniki badań:

- Zbadano działanie 5 algorytmów estymacji kroków na danych z 2 czujników IMU
- Dla każdego algorytmu przeprowadzono analizę 5 różnych scenariuszy chodu
- Kluczowe metryki porównawcze:
 - Precyzja (precision): odsetek poprawnie wykrytych kroków wśród wszystkich detekcji
 - Czułość (recall): odsetek poprawnie wykrytych kroków wśród wszystkich rzeczywistych kroków
 - Miara F1: średnia harmoniczna precyzji i czułości
 - Błąd zliczania: różnica między liczbą wykrytych a rzeczywistych kroków
- Wyniki wskazują na znaczące różnice w skuteczności algorytmów w zależności od scenariusza.



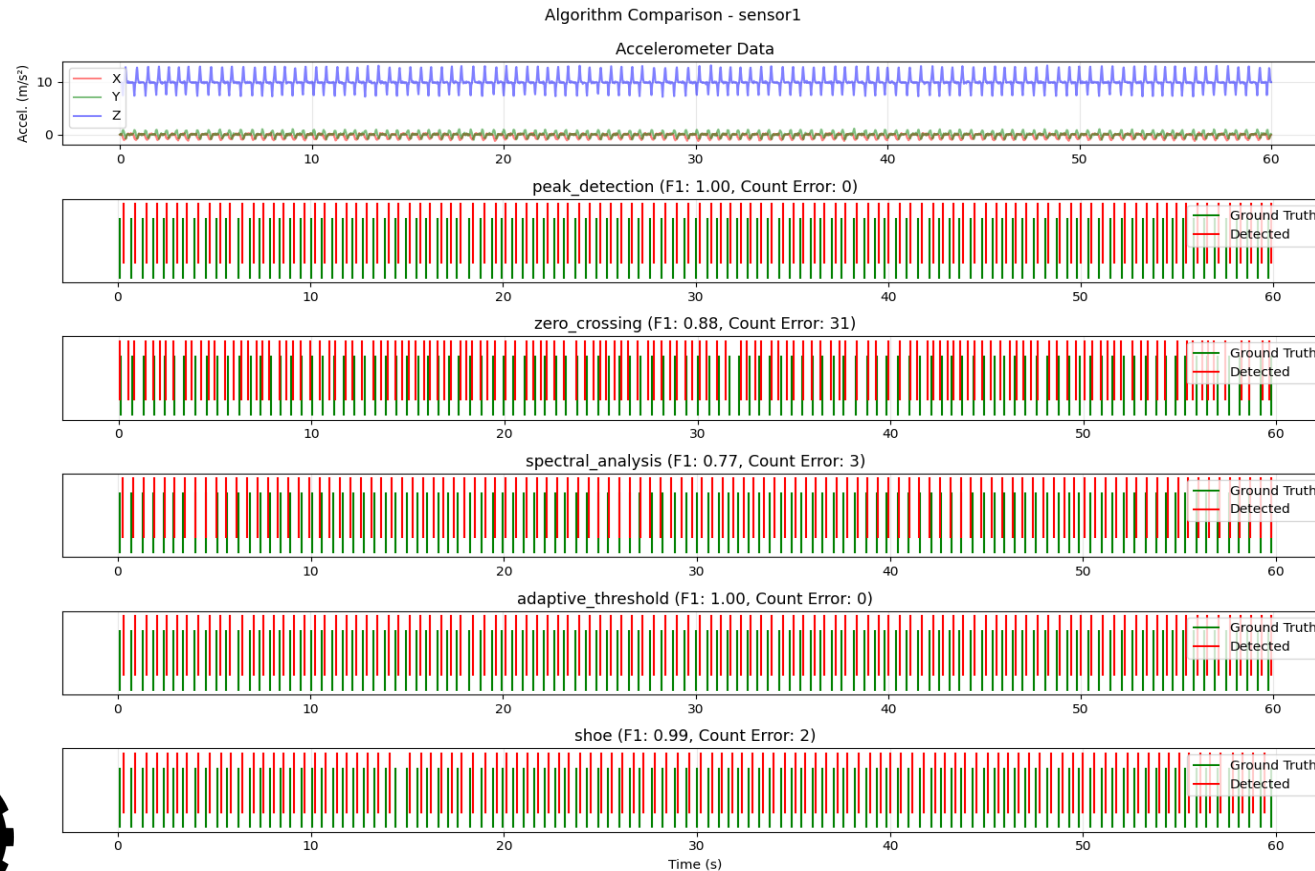
Prezentacja uzyskanych wyników



Ranking algorytmów wg średniego wyniku F1-score dla wszystkich scenariuszy. Widoczna przewaga Adaptive Threshold i Peak Detection.



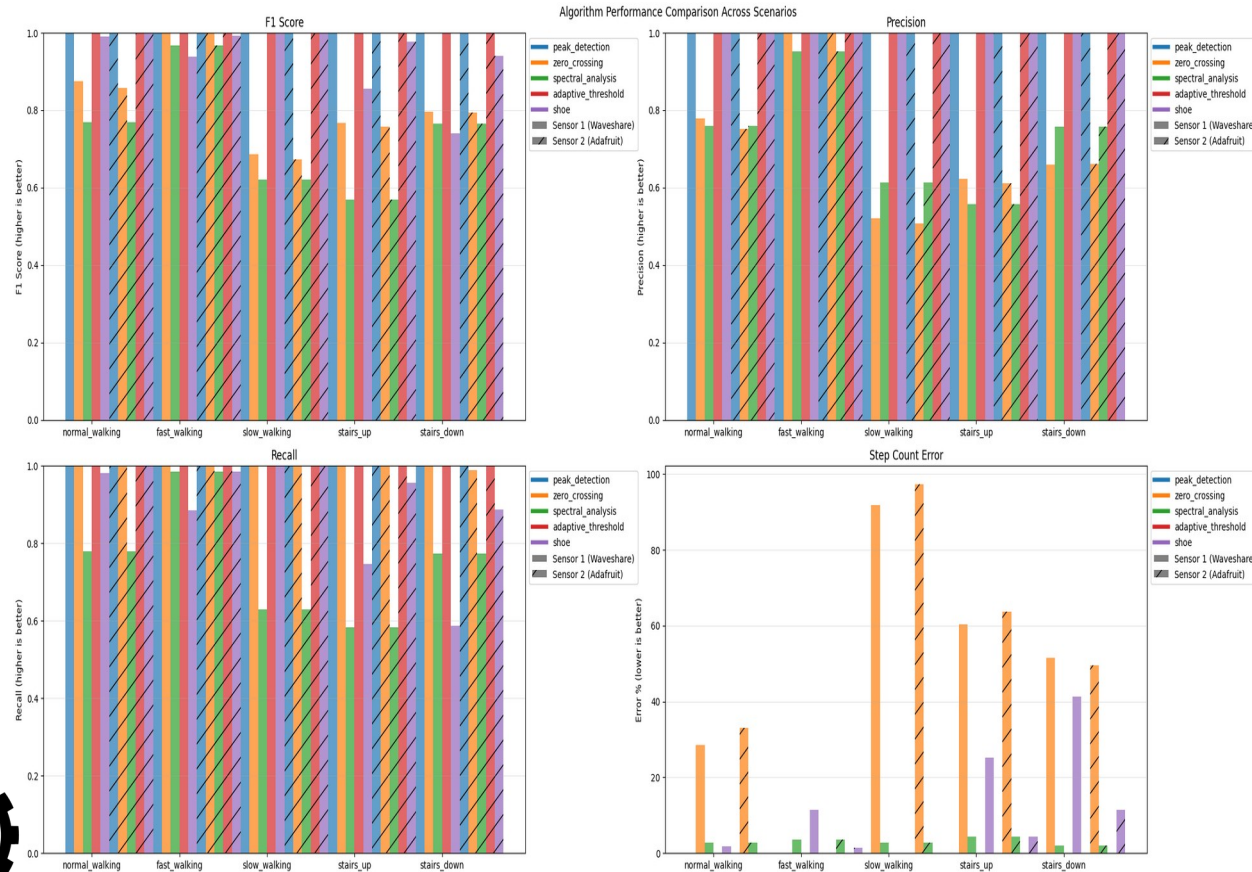
Prezentacja uzyskanych wyników



Porównanie skuteczności wszystkich algorytmów dla normalnego chodu. Każdy panel pokazuje wykryte kroki (czerwone) vs. referencyjne (zielone).



Prezentacja uzyskanych wyników



Kompleksowe porównanie metryk (F1-score, precision, recall, błąd zliczania) dla wszystkich algorytmów i scenariuszy.



Analiza wyników i ich interpretacja

Kluczowe obserwacje:

1. Najwyższą średnią skuteczność (F1-score) wykazały algorytmy:
 - Adaptive Threshold (F1 = 1.00) - doskonała adaptacja do zmiennych warunków
 - Peak Detection (F1 = 1.00) - bardzo dobra skuteczność dla wyraźnych wzorców chodu
 - SHOE (F1 = 0.91) - solidne wyniki dzięki fuzji danych z akcelerometru i żyroskopu
2. Nieco niższą skuteczność osiągnęły:
 - Zero-Crossing (F1 = 0.82) - podatność na zakłócenia przy nieregularnym chodzie
 - Spectral Analysis (F1 = 0.74) - trudności w detekcji pojedynczych kroków
3. Wpływ czujników:
 - Oba czujniki wykazały podobną skuteczność w większości scenariuszy
 - Adafruit (Sensor 2) wykazał nieznacznie lepsze wyniki w trudniejszych scenariuszach



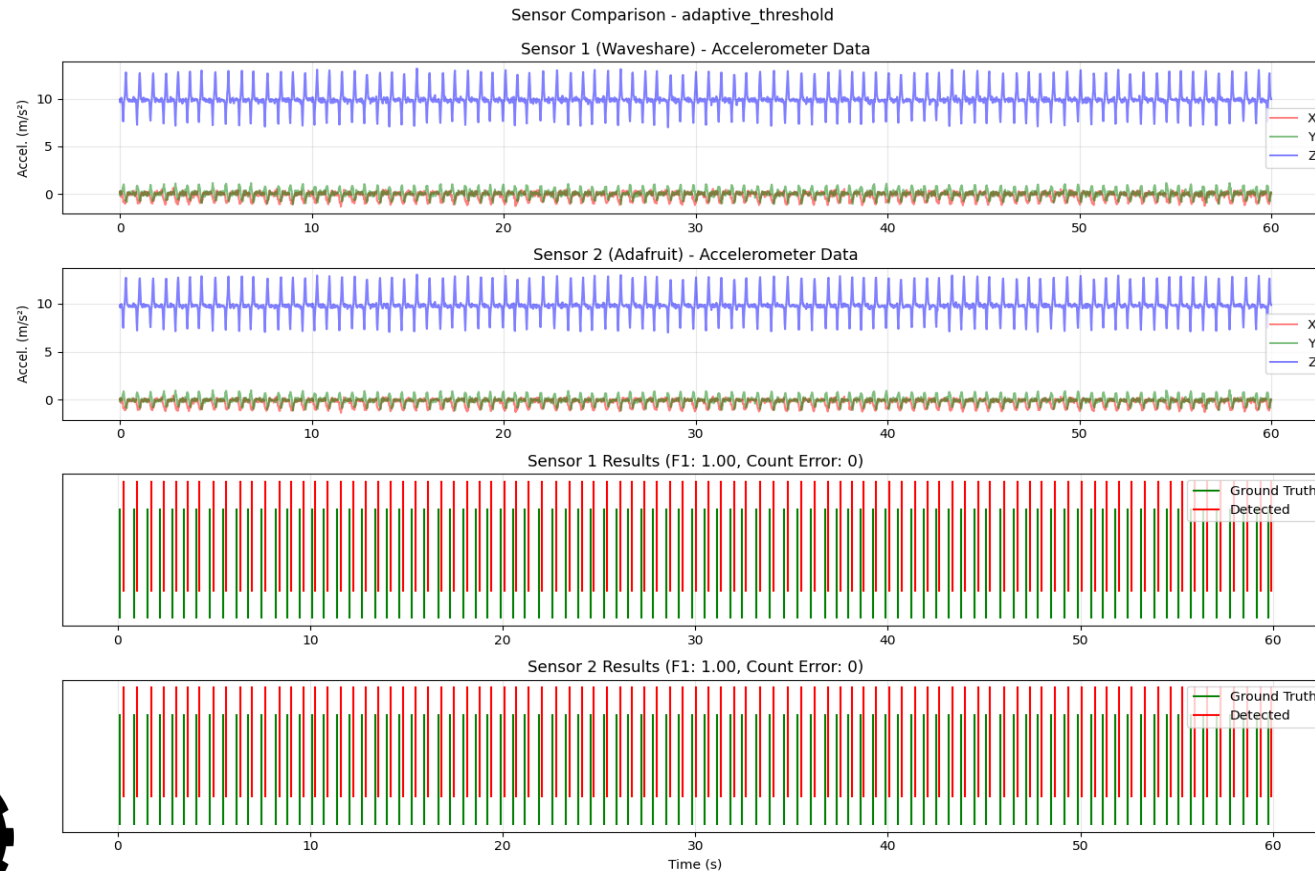
Przedstawienie dowodów potwierdzających hipotezy

Weryfikacja hipotez badawczych:

1. Hipoteza: "Różne algorytmy estymacji kroków charakteryzują się różną skutecznością w zależności od warunków"
 - POTWIERDZONA: widoczne różnice w F1-score między algorytmami i scenariuszami
 - Spectral Analysis najslabiej radzi sobie z nieregularnym chodem (schody)
 - Adaptive Threshold najlepiej adaptuje się do różnych warunków
2. Hipoteza: "Jakość czujników ma istotny wpływ na wyniki estymacji"
 - CZĘŚCIOWO POTWIERDZONA: zaobserwowano niewielkie różnice między czujnikami
 - Czujnik Adafruit (niższy poziom szumów) osiągał nieznacznie lepsze wyniki w trudniejszych scenariuszach
3. Hipoteza: "Optymalizacja algorytmu może znacząco zwiększyć precyzję detekcji"
 - POTWIERDZONA: adaptacyjne wersje algorytmów (Adaptive Threshold, SHOE) osiągały lepsze wyniki
 - Dobór parametrów znacząco wpływał na skuteczność algorytmów



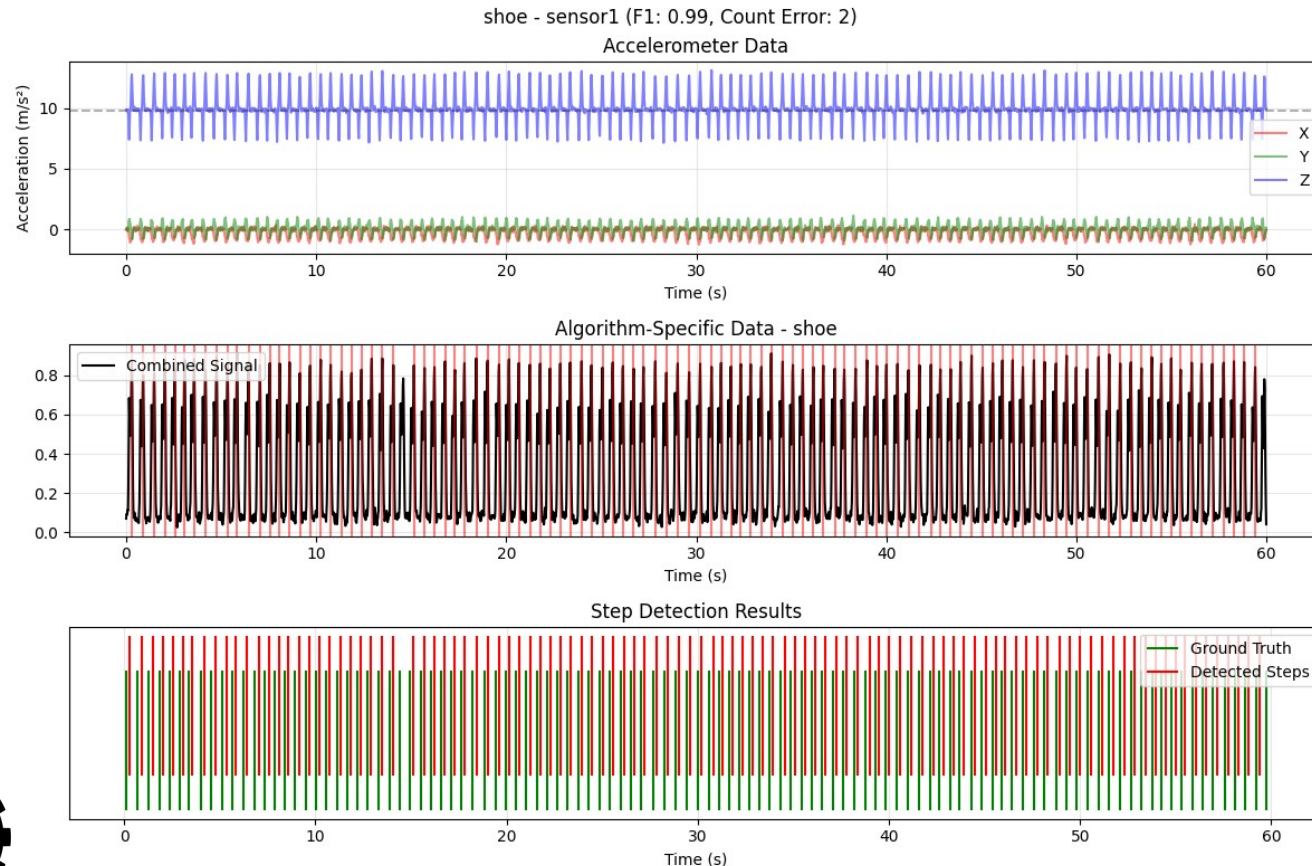
Przedstawienie dowodów potwierdzających hipotezy



Porównanie skuteczności obu czujników dla trudniejszego scenariusza (schody). Widoczne różnice w jakości sygnału i detekcji.



Przedstawienie dowodów potwierdzających hipotezy



Zobrazowanie działania algorytmu SHOE wykorzystującego fuzję danych z akcelerometru i żyroskopu, pokazującego lepszą adaptację do zmian w sygnale.



Porównanie wyników z literaturą

Porównanie z wynikami z literatury:

- Uzyskane wartości F1-score (0.74-1.00) są zgodne z wynikami raportowanymi w literaturze:
 - Susi et al. (2013): F1-score 0.78-0.95 dla różnych algorytmów
 - Ying et al. (2007): dokładność 82-94% dla detekcji kroków z akcelerometru
- Najskuteczniejsze algorytmy w naszych badaniach (Adaptive Threshold, Peak Detection) również wskazywane są w literaturze jako efektywne:
 - Pan & Tompkins (modyfikowany Peak Detection): dokładność >95%
 - Metody adaptacyjne: przewaga w scenariuszach zmiennego chodu
- Wyniki potwierdzają obserwacje z innych badań dotyczące wpływu pozycji czujnika i charakterystyki chodu na skuteczność algorytmów



Omówienie ograniczeń badania

Ograniczenia badania:

1. Techniczne:

- Ograniczona częstotliwość próbkowania (50 Hz)
- Wpływ mocowania czujników na jakość sygnału
- Ograniczenia dokładności znakowania referencyjnego (ground truth)

2. Metodologiczne:

- Badania przeprowadzone na ograniczonej liczbie scenariuszy
- Brak testów na większej grupie użytkowników (różnice w chodzie)
- Konieczność doboru parametrów algorytmów do specyfiki chodu

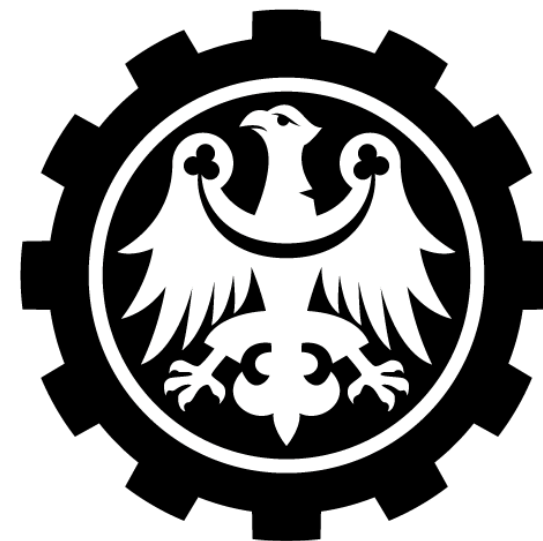
3. Analityczne:

- Przyjęte metryki mogą nie odzwierciedlać wszystkich aspektów działania algorytmów
- Tolerancja czasowa przy ocenie poprawności detekcji ($\pm 0.2s$) wpływa na wyniki

4. Dalsze badania powinny obejmować większą grupę użytkowników i bardziej zróżnicowane scenariusze.



Dziękuję za
uwagę



**Politechnika
Śląska**