

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA  
WYDZIAŁ ELEKTRONIKI

---

KIERUNEK: AUTOMATYKA I ROBOTYKA  
SPECJALNOŚĆ: ROBOTYKA

PRACA DYPLOMOWA  
INŻYNIERSKA

Fuzja sygnałów na potrzeby sterowania robotem  
balansującym

Sensor fusion applied to controlling a balancing  
robot

AUTOR:

Michał Nowak

PROWADZĄCY PRACĘ:

dr inż. Janusz Jakubiak, Wo4/K7

OCENA PRACY:



Tutaj będzie dedykacja...



# Spis treści

1.	Wstęp . . . . .	11
1.1.	Cel i zakres pracy . . . . .	11
1.2.	Zadania do wykonania . . . . .	11
1.3.	Przebieg realizacji projektu . . . . .	11
2.	Analiza ruchu robota . . . . .	13
2.1.	Model dynamiki robota balansującego . . . . .	13
2.2.	Sterowanie . . . . .	13
3.	Akwizycja i wykorzystanie danych z czujników ruchu . . . . .	15
3.1.	Żyroskop . . . . .	15
3.2.	Przyspieszeniomierz . . . . .	15
3.3.	Magnetometr . . . . .	15
3.3.1.	Kompensacja efektu „Soft Iron” i „Hard Iron” . . . . .	15
3.3.2.	Kompensacja kąta wychylenia magnetometru . . . . .	15
3.4.	Metody numeryczne pozwalające uzyskać orientację czujnika . . . . .	15
3.4.1.	Kąty Eulera . . . . .	15
3.4.2.	Proces całkowania . . . . .	15
3.4.3.	Funkcje cyklometryczne . . . . .	15
4.	Wybrane metody fuzji sygnałów . . . . .	17
4.1.	Filtr komplementarny . . . . .	17
4.1.1.	Filtr dolnoprzepustowy . . . . .	17
4.1.2.	Filtr górnoprzepustowy . . . . .	17
4.1.3.	Równanie filtru komplementarnego . . . . .	17
4.1.4.	Testy symulacyjne . . . . .	17
4.2.	Filtr Kalmana . . . . .	17
4.2.1.	Równanie stanu obiektu . . . . .	17
4.2.2.	Równanie filtru Kalmana . . . . .	17
4.2.3.	Testy symulacyjne . . . . .	17
4.3.	Filtr Madgwicka . . . . .	17
4.3.1.	Kwaterniony . . . . .	17
4.3.2.	Zasada działania algorytmu . . . . .	18
4.3.3.	Testy symulacyjne . . . . .	18
5.	Budowa dwukołowego robota balansującego i implementacja algorytmów . . . . .	19
5.1.	Konstrukcja mechaniczna . . . . .	19
5.2.	Układ elektroniczny . . . . .	19
5.2.1.	Zasilanie . . . . .	19
5.2.2.	Jednostka inercyjna MPU9250 . . . . .	19

---

5.2.3.	Moduł Bluetooth HC-05 . . . . .	19
5.2.4.	Silniki krokowe oraz sterowniki A4988 . . . . .	19
5.3.	Konfiguracja mikrokontrolera i peryferiów . . . . .	19
5.3.1.	ADC . . . . .	19
5.3.2.	PWM . . . . .	19
5.3.3.	$I^2C$ . . . . .	20
5.3.4.	USART . . . . .	20
5.3.5.	System czasu rzeczywistego FreeRTOS . . . . .	20
5.4.	Oprogramowanie . . . . .	20
5.4.1.	Struktura programu i algorytm sterowania . . . . .	20
5.4.2.	Implementacja akwizycji danych z czujników ruchu . . . . .	20
5.4.3.	Implementacja fuzji sygnałów . . . . .	20
5.4.4.	Pojedynczy regulator PID . . . . .	20
5.4.5.	Kaskada regulatorów PID . . . . .	20
5.4.6.	Obsługa silników krokowych . . . . .	20
5.4.7.	Pomiar stanu akumulatora . . . . .	20
5.4.8.	Komunikacja bezprzewodowa z komputerem . . . . .	20
5.5.	Testy eksperymentalne . . . . .	20
6.	Aplikacja do wizualizacji danych sensorycznych i komunikacji z robotem . . . . .	21
6.1.	Struktura programu . . . . .	21
6.2.	Funkcjonalności programu . . . . .	21
6.3.	Interfejs graficzny . . . . .	21
7.	Testy eksperymentalne . . . . .	23
	Literatura . . . . .	25
A.	Tytuł dodatku . . . . .	27
B.	Opis załączonej płyty CD/DVD . . . . .	29
	Indeks rzeczowy . . . . .	30

# Spis rysunków

Spis tabel



# Skróty

IMU (ang. Inertial Measurement Unit)

AHRS (ang. Attitude and Heading Reference System)



# Rozdział 1

## Wstęp

- 1.1. Cel i zakres pracy
- 1.2. Zadania do wykonania
- 1.3. Przebieg realizacji projektu



## Rozdział 2

# Analiza ruchu robota

2.1. Model dynamiki robota balansującego

2.2. Sterowanie



## Rozdział 3

# Akwizycja i wykorzystanie danych z czujników ruchu

### 3.1. Żyroskop

...

### 3.2. Przyspieszeniomierz

...

### 3.3. Magnetometr

#### 3.3.1. Kompensacja efektu „Soft Iron” i „Hard Iron”

...

#### 3.3.2. Kompensacja kąta wychylenia magnetometru

...

### 3.4. Metody numeryczne pozwalające uzyskać orientację czujnika

#### 3.4.1. Kąty Eulera

...

#### 3.4.2. Proces całkowania

...

#### 3.4.3. Funkcje cyklometryczne

...





# Rozdział 4

## Wybrane metody fuzji sygnałów

### 4.1. Filtr komplementarny

#### 4.1.1. Filtr dolnoprzepustowy

...

#### 4.1.2. Filtr górnoprzepustowy

...

#### 4.1.3. Równanie filtru komplementarnego

...

#### 4.1.4. Testy symulacyjne

...

### 4.2. Filtr Kalmana

#### 4.2.1. Równanie stanu obiektu

...

#### 4.2.2. Równanie filtru Kalmana

...

#### 4.2.3. Testy symulacyjne

...

### 4.3. Filtr Madgwicka

#### 4.3.1. Kwaterniony

...

#### 4.3.2. Zasada działania algorytmu

...

#### 4.3.3. Testy symulacyjne

...

## Rozdział 5

# Budowa dwukołowego robota balansującego i implementacja algorytmów

### 5.1. Konstrukcja mechaniczna

### 5.2. Układ elektroniczny

#### 5.2.1. Zasilanie

...

#### 5.2.2. Jednostka inercyjna MPU9250

...

#### 5.2.3. Moduł Bluetooth HC-05

...

#### 5.2.4. Silniki krokowe oraz sterowniki A4988

...

### 5.3. Konfiguracja mikrokontrolera i peryferiów

#### 5.3.1. ADC

...

#### 5.3.2. PWM

...

### 5.3.3. $I^2C$

...

### 5.3.4. USART

...

### 5.3.5. System czasu rzeczywistego FreeRTOS

...

## 5.4. Oprogramowanie

### 5.4.1. Struktura programu i algorytm sterowania

...

### 5.4.2. Implementacja akwizycji danych z czujników ruchu

...

### 5.4.3. Implementacja fuzji sygnałów

...

### 5.4.4. Pojedynczy regulator PID

...

### 5.4.5. Kaskada regulatorów PID

...

### 5.4.6. Obsługa silników krokowych

...

### 5.4.7. Pomiar stanu akumulatora

...

### 5.4.8. Komunikacja bezprzewodowa z komputerem

...

## 5.5. Testy eksperymentalne

...

## Rozdział 6

# Aplikacja do wizualizacji danych sensorycznych i komunikacji z robotem

### 6.1. Struktura programu

...

### 6.2. Funkcjonalności programu

...

### 6.3. Interfejs graficzny

...



## Rozdział 7

# Testy eksperymentalne





# Literatura

- [1] M. Bickley, C. Slominski. A MySQL-based data archiver: preliminary results. Proceedings of ICALEPCS07, Paz. 2007. <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/922267> [dostęp dnia 20 czerwca 2015].
- [2] J. Jędrzejczyk, B. Śródka. Segmentacja obrazów metodą drzew decyzyjnych. Raport instytutowy, Politechnika Wrocławska, Wydział Elektroniki, 2007.



# Dodatek A

## Tytuł dodatku

Zasady przyznawania stopnia naukowego doktora i doktora habilitowanego w Polsce określa ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65 z 2003 r., poz. 595 (Dz. U. z 2003 r. Nr 65, poz. 595)). Poprzednie polskie uregulowania nie wymagały bezwzględnie posiadania przez kandydata tytułu zawodowego magistra lub równorzędnego (choć zasada ta zazwyczaj była przestrzegana) i zdarzały się nadzwyczajne przypadki nadawania stopnia naukowego doktora osobom bez studiów wyższych, np. słynnemu matematykowi lwowskiemu – późniejszemu profesorowi Stefanowi Banachowi.

W innych krajach również zazwyczaj do przyznania stopnia naukowego doktora potrzebny jest dyplom ukończenia uczelni wyższej, ale nie wszędzie.



## Dodatek B

# Opis załączonej płyty CD/DVD

Tutaj jest miejsce na zamieszczenie opisu zawartości załączonej płyty. Należy wymienić, co zawiera.

