

## Tytuł projektu: Filtr estymujący orientację robota

Katedra Systemów Automatyki

### 1. Cel projektu.

Zaimplementowano 3 filtry:

- filtr Kalmana,
- filtr Komplementarny,
- filtr Madwicka.

W projekcie należało dokonać filtracji danych wejściowych oraz zwizualizować implementacje filtrów. Jako próbki wejściowe wykorzystane zostały dane z sugerowanego źródła danych: <https://github.com/SMAC-Group/imudata> (navchip). Są to wyniki 4 godzin pomiarów z nieruchomego żyroskopu i akcelerometru.

Implementacji dokonano w środowisku Matlab. Kody skryptów znajdują się w pliku o nazwie 'FiltryOrientacji.zip'.

### 2. Implementacja filtru Kalmana.

Implementując filtr Kalmana należało wyznaczyć estymatę wektora stanu modelu układu dynamicznego. Filtr ten można zastosować do układów liniowych. Podczas implementacji założono, że błąd procesowy i pomiarowy mają charakter gaussowski. Filtr Kalmana przypomina układ obserwatora stanu, opisuje się go równaniami:

$$x(t+1) = Ax(t) + Bu(t) + V(t),$$

$$y(t) = Cx(t) + W(t).$$

Gdzie: A - macierz przejścia, B - macierz wejścia, C - macierz wyjścia, V(t) - wektor szumu procesowego, W(t) - wektor szumu pomiarowego, x(t) - wektor stanu, y(t) - wektor wyjścia.

Kroki implementacji:

1. Wyznaczenie stanu bez wpływu pomiarów z akcelerometru.
2. Wyznaczenie macierzy kowariancji bez wpływu pomiarów z akcelerometru.
3. Wyznaczenie macierzy pomocniczej oraz macierzy wzmocnień Kalmana.

4. Właściwe wyznaczenie stanu, przy wykorzystaniu pomiarów z akcelerometru.
5. Właściwe wyznaczenie macierzy kowariancji, przy wykorzystaniu pomiarów z akcelerometru.

### 3. Implementacja filtru Komplementarnego.

Realizacja filtru komplementarnego sprowadza się do fuzji danych z obu czujników z wykorzystaniem odpowiednich wzmocnień.

Kroki implementacji:

1. Położenie wyznaczone na podstawie pomiarów z żyroskopu (scątkowane pomiary z żyroskopu) zostaje wzmocnione (pomnożone) o współczynnik ' $K$ ', gdzie ' $K \in (0, 1)$ ' (w praktyce jest bliskie 1).
2. Położenie wyznaczone na podstawie pomiarów z akcelerometru zostaje wzmocnione o współczynnik ' $1 - K$ '.
3. Położenie kątowne wyznacza się sumując wartości uzyskane w kroku 1. i 2.

Suma wzmocnień dla obu typów danych jest zawsze równa 1. Scątkowane pomiary z żyroskopu są obciążone błędem - dryfem położenia kątownego, natomiast akcelerometr jest bardzo podatny na zakłócenia wynikające z ruchu i wibracji obiektu. Stąd wielokrotnie niższa wartość wzmocnienia danych z akcelerometru niż z żyroskopu.

### 4. Implementacja filtru Madgwicka.

Filtracja danych z czujników w przypadku tego filtru odbywa się poprzez odpowiednie skalowanie danych, czyli zastosowanie regulatora proporcjonalnego oraz wykorzystanie elementu całkującego.

Kroki implementacji:

1. Chwilowa wartość położenia kątownego jest sumą estymaty kąta z poprzedniej pętli oraz scątkowanego pomiaru z żyroskopu.
2. Błąd kąta ' $e$ ' to różnica pomiaru z akcelerometru i estymaty kąta z poprzedniej pętli.
3. Bieżąca wartość położenia kątownego wyznaczana jest jako chwilowa wartość położenia kątownego oraz wzmocniona i scątkowana wartość błędu ' $e$ '.

### 5. Wyniki implementacji.

Po zastosowaniu 3 wyżej wymienionych filtrów na próbkach z akcelerometru i żyroskopu otrzymano położenie obiektu pozbawione większych szumów, zakłóceń i dryfu pomiarowego. Każdy filtr pokazał, że fuzja danych z akcelerometru i żyroskopu daje

dokładniejsze położenie niż wykorzystanie pojedynczego czujnika. Wiedząc, że zebrane dane dotyczą nie poruszającego się przedmiotu, widzimy że zaimplementowane filtry poprawnie estymują położenie, choć mają różny czas ustalania i różną efektywność tłumienia zakłóceń. Po zastosowaniu filtrów (inaczej niż przy obserwacji danych z samego żyroskopu) widzimy, że obiekt nie porusza się, ma stałą orientację w przestrzeni kątowej.

#### Wnioski na podstawie testów:

Najlepsze wyniki dał filtr Madgwicka, choć cechuje go również wysokie przeregulowanie, jednak ma szybki czas ustalania, a przebieg jego wyjścia jest wolno zmienny, przez co skutecznie eliminuje szumy i zakłócenia.

Najmniejszy czas ustalania miał filtr Komplementarny, jednak ma bardzo niską w porównaniu do filtra Madgwicka odporność na zakłócenia wprowadzane przez pomiar z akcelerometru.

Filtr Kalmana mógłby działać lepiej przy zmienionej macierzy kowariancji. Obecna macierz kowariancji została wyznaczona doświadczalnie.

#### Podział prac:

Irena Połumackanycz - implementacja filtrów w środowisku MATLAB: Madgwicka, Komplementarny

Karolina Kogut - implementacja filtrów w środowisku MATLAB: Kalmana. Wykonanie raportu z projektu.