

# FILTR ESTYMUJĄCY ORIENTACJĘ ROBOTA

raport z projektu z przedmiotu "Roboty Mobilne"

Bartosz Filipów 160488

Jakub Pełka 160648

AiR KSA 2

Politechnika Gdańska

Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki

Grudzień 2018

## Streszczenie

W projekcie zdecydowaliśmy się na implementację trzech gotowych rozwiązań: filtru komplementarnego, filtru Kalmana i filtru Mahony'ego. Rozwiązania te zostały opisane w sekcjach 1-3. Jako dane wykorzystaliśmy własne pomiary, zebrane przy użyciu gotowego układu akcelerometru i żyroskopu oraz Atmegi8. Zadanie wzbogaciliśmy o filtr własnego pomysłu. Został on opisany w sekcji 4. Dodatkowo wykonaliśmy porównanie działania filtrów w sekcji 5 oraz napisaliśmy program, w środowisku Java 3D, wizualizujący działanie wszystkich filtrów. Link do repozytorium online: [https://github.com/bertonoon/roboty\\_mobilne](https://github.com/bertonoon/roboty_mobilne).

## 1 Filtr Komplementarny [2]

Filtr komplementarny stosuje filtr górnoprzepustowy na odczyt z żyroskopu w celu usunięcia jego dryftu. Natomiast na odczyt z akcelerometru nałożony jest filtr dolnoprzepustowy w celu usunięcia zakłóceń. Na poniższym rysunku przedstawiono jego opis matematyczny.

$$\theta = \frac{1 + \frac{K_p}{K_i}s}{1 + \frac{K_p}{K_i}s + \frac{1}{K_i}s^2}a + \frac{\frac{1}{K_i}s^2}{1 + \frac{K_p}{K_i}s + \frac{1}{K_i}s^2} \frac{1}{s} \omega.$$

Rysunek 1: Matematyczny opis filtru komplementarnego

## 2 Filtr Kalmana [3], [1]

Do działania filtru Kalmana potrzebny jest opis obiektu w przestrzeni stanu. Filtr ten jest obserwatorem stanu minimalizujący średniokwadratowy błąd estymacji. Jego działanie opiera się o dwie fazy. Faza pierwsza - predykcji stanu (rysunek 2), faza druga - aktualizacja pomiarów (rysunek 3). Zmiennymi stanu wybranymi w naszym filtrze jest położenie kątowe robota oraz dryftu żyroskopu.

$$\begin{aligned}\hat{\mathbf{x}}(t+1|t) &= \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}}(t|t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t) \\ \mathbf{P}(t+1|t) &= \mathbf{A}\mathbf{P}(t|t)\mathbf{A}^T + \mathbf{V}\end{aligned}$$

Rysunek 2: Filtr Kalmana – predykcja stanu

$$\begin{aligned}
\varepsilon(t) &= \mathbf{y}(t) - \mathbf{C}\hat{\mathbf{x}}(t|t-1) \\
\mathbf{S}(t) &= \mathbf{C}\mathbf{P}(t|t-1)\mathbf{C}^T + \mathbf{W} \\
\mathbf{K}(t) &= \mathbf{P}(t|t-1)\mathbf{C}^T\mathbf{S}^{-1}(t) \\
\hat{\mathbf{x}}(t|t) &= \hat{\mathbf{x}}(t|t-1) + \mathbf{K}(t)\varepsilon(t) \\
\mathbf{P}(t|t) &= \mathbf{P}(t|t-1) - \mathbf{K}(t)\mathbf{S}(t)\mathbf{K}(t)^T
\end{aligned}$$

Rysunek 3: Filtr Kalmana – aktualizacja pomiarów

### 3 Filtr Mahony’ego [2]

Filtr Mahony’ego sprowadza się do użycia regulatora PI w celu zniwelowania efektu dryftu żyroskopu. Na poniższym rysunku przedstawiono jego matematyczny opis.

The gyro drift estimation is facilitated by using a PI controller [RM08], and the transfer function is accordingly

$$\theta = \left( K_p + K_i \frac{1}{s} \right) \frac{1}{s} (a - \theta) + \frac{1}{s} \omega, \quad \text{Eq. (3.5)}$$

Following again the standard implementation (positional PID algorithm) one separates Eq. (3.5) into  $e = a - \theta$ ,  $I = K_i \frac{1}{s} e$ , and  $\theta = \frac{1}{s} (K_p e + I + \omega)$ , and discretizes it as

$$\begin{aligned}
e_k &= a_k - \theta_{k-1} \\
I_k &= I_{k-1} + K_i \Delta t e_k \\
\theta_k &= \theta_{k-1} + (K_p e_k + I_k + \omega_k) \Delta t \quad \text{Eq. (3.6)}
\end{aligned}$$

This results in the update laws

$$\begin{aligned}
I_k &= I_{k-1} + K_i \Delta t (a_k - \theta_{k-1}) \\
\theta_k &= \alpha \theta_{k-1} + (1 - \alpha) a_k + (\omega_k + I_k) \Delta t \quad \text{Eq. (3.7)}
\end{aligned}$$

with  $\alpha = 1 - K_p \Delta t$ .

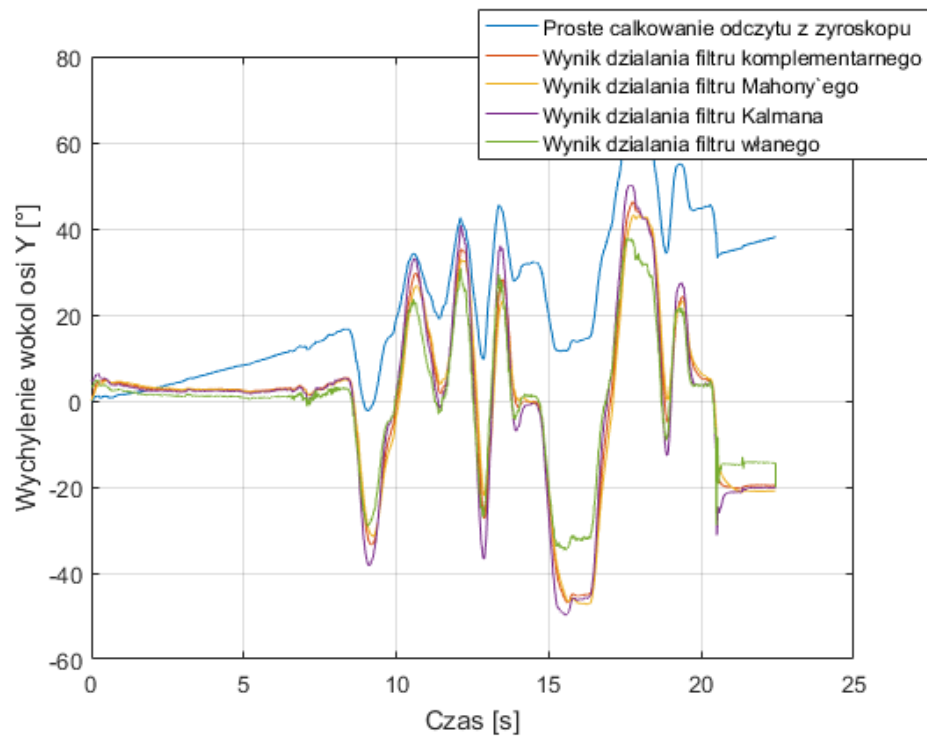
Rysunek 4: Matematyczny opis filtru Mahony’ego

### 4 Własny filtr

Filtr naszego pomysłu aproksymuje, przy użyciu funkcji liniowej, pomiary z żyroskopu. Wiąże się to z wymogiem kalibracji przed załączeniem potencjalnego robota. Należy zebrać pomiar, dowolnej długości (kod programu wykorzystuje jedną z pierwszych i ostatnich próbek), na bazie którego zostanie wyliczony wpływ dryftu. Kolejnym krokiem algorytmu jest odjęcie od wartości kolejnych próbek żyroskopu, odpowiadającym im wartości punktów linii prostej, wyznaczonej przez aproksymację z poprzedniego kroku. ”Wyprostowane” pomiary są sprzężone z pomiarami z akcelerometru poprzez filtr medianowy, który to bierze 3 sąsiednie próbki z każdego sposobu pomiaru. Wadą tego rozwiązania jest założenie o niezmienności dryftu w czasie.

### 5 Porównanie

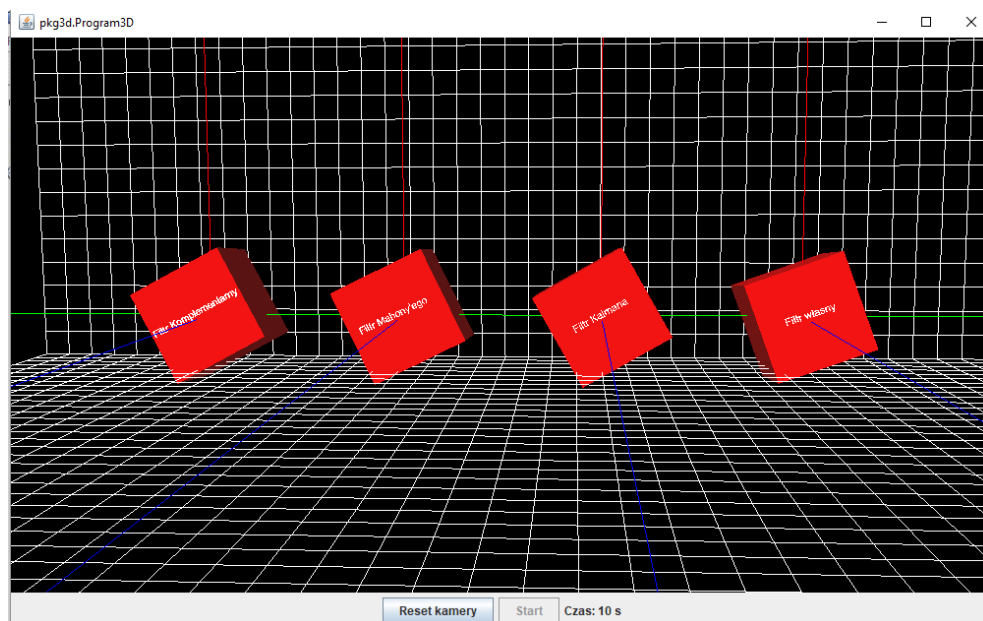
Porównanie wszystkich filtrów zostało przedstawione na rysunku poniżej. Widać drobne różnice pomiędzy poszczególnymi estymacjami. Można wpłynąć na nie poprzez inne dobranie parametrów w poszczególnych filtrach. Jak widać filtr naszego projektu nie radzi sobie ze dużymi zmianami kąta w przeciwieństwie do pozostałych.



Rysunek 5: Porównanie działania filtrów

## 6 Wizualizacja

Wizualizacja została wykonana w środowisku Java3D. Można w niej zobaczyć wizualizację i porównanie działania wszystkich opisanych filtrów w tym raporcie. Pomiary zostały przedstawione na przykładzie zmieniającego się orientacji sześcianu względem osi y. Widok z działania programu został przedstawiony na rysunku poniżej.



Rysunek 6: Program symulujący działanie filtrów.

## Bibliografia

- [1] Stanisław Raczyński, *Mobile Robots – Sensors*.
- [2] <http://www.olliw.eu/2013/imu-data-fusing/#chapter31> (data dostępu 26.11.2018r).
- [3] <https://forbot.pl/blog/filtr-kalmana-teorii-praktyki-1-id2855> (data dostępu 28.11.2018r).