

Filtr estymujący orientację robota

raport z projektu

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. 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.

1 Filtr Komplementarny [2]

Filtr komplementarny stosuje filtr górnoprzepustowy na odczyt z żyroskopu w celu usunięcia jego dryfu. 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).

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

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. Kolejnym krokiem 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

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 zmieniania się orientacji sześcianu względem osi y.

Bibliografia

- [1] Stanisław Raczyński *Mobile Robots – Sensors*.
- [2] <http://www.olliv.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).