

Daniel Subocz 154777

Mateusz Stencel 149110

Adam Dzierżawski 136929

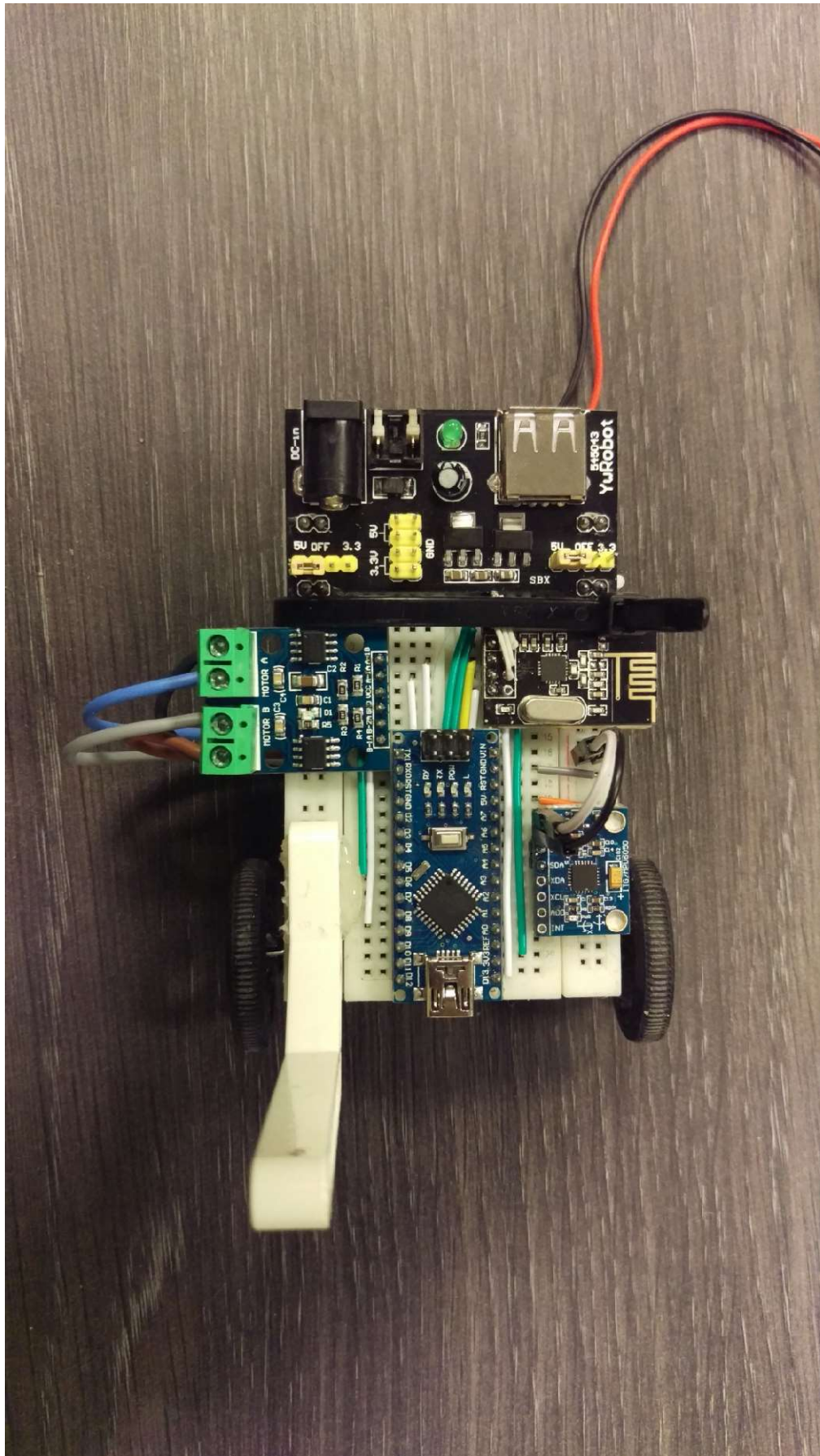
Marcin Bieszk 160232

Roboty mobilne

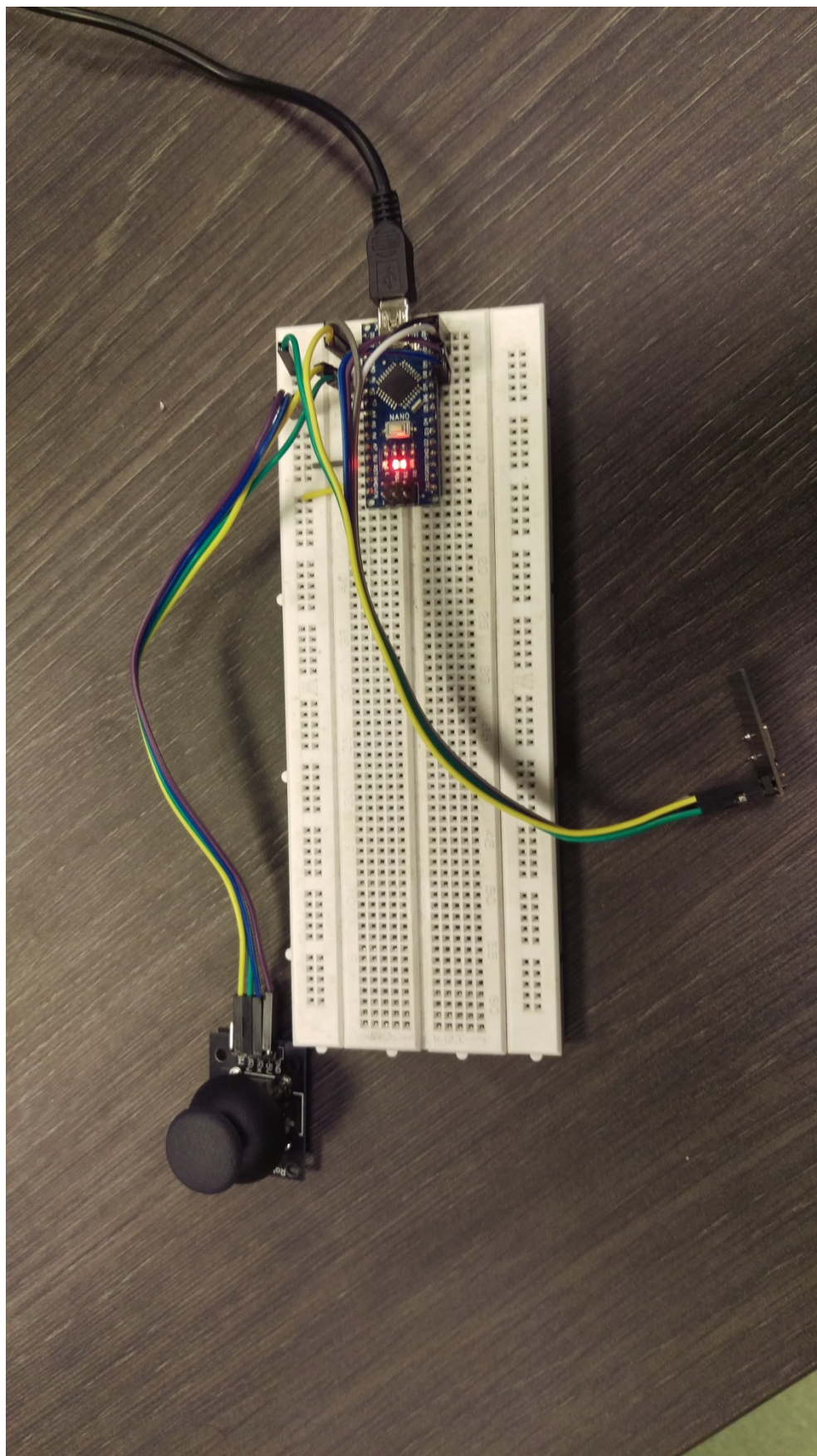
Sprawozdanie z projektu

1. Wstęp

Robotyka mobilna zajmuje się kwestiami konstrukcji oraz programowania robotów mogących samodzielnie się poruszać. Ta dynamicznie rozwijająca się dziedzina technologii łączy wiele nauk tj. mechanika, elektronika, informatyka itd. Dzięki miniaturyzacji elektroniki oraz dużej mocy obliczeniowej na pokładzie robota można realizować coraz bardziej złożone zadania, które wymagają znajomości otoczenia (np. omijanie przeszkód). Sterowanie robota odbywa się na podstawie danych zebranych z czujników umieszczonych na robocie. Aby zebrane były użyteczne muszą zostać przetworzone np. w celu usunięcia szumów zebranych podczas pomiarów. Filtracja danych dotyczy zazwyczaj zespołu czujników, dzięki czemu otrzymywane wyniki są niezależne od właściwości danego czujnika. Ponadto obliczenia powinny być wykonywane w czasie rzeczywistym, aby robot mógł płynnie się przemieszczać. Jeśli robot porusza się w określonym terenie warto dokonać mapowania tego terenu, dzięki czemu w pamięci zostanie utworzona struktura otoczenia. Zazwyczaj mapowanie terenu przebiega powoli, natomiast później, na podstawie mapy, robot może poruszać się znacznie szybciej (gdyż wie gdzie rozmieszczone są przeszkody). Jeśli jednak otoczenie robota zmienia się to robot na bieżąco musi je analizować. W realizowanym projekcie skonstruowano robota jeżdżącego, na pokładzie którego zamontowano akcelerometr oraz żyroskop w celu zebrania informacji o położeniu i orientacji robota. Komunikacja z robotem została zrealizowana poprzez moduł radiowy. Zebrane dane zostały przetworzone w środowisku Matlab. Budowa robota oraz wyniki obliczeń zostaną przedstawione w niniejszym sprawozdaniu.



Rysunek 1 Robot.

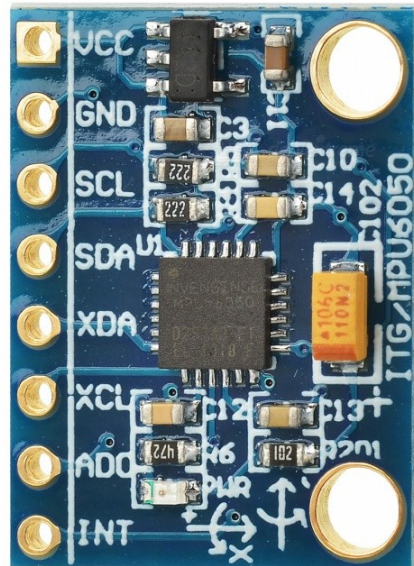


Rysunek 2 Nadajnik.

2. Konstrukcja robota

1) Czujniki [3]

W robocie wykorzystano moduł MPU-6050. Zawiera on 3-osiowy żyroskop oraz 3-osiowy akcelerometr. W skład modułu wchodzi również czujnik temperatury, lecz nie jest on wykorzystywany w tym projekcie. Na rysunku 3. przedstawiono wygląd modułu MPU-6050.



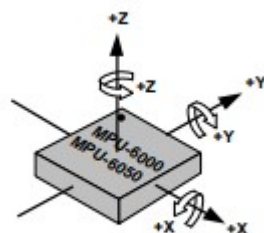
Rysunek 3 Płytką modułu 6050.

Żyroskop umożliwia pomiar prędkości obrotu. Wykorzystywany układ zawiera 3 niezależne żyroskopy służące do pomiaru obrotu dla każdej z osi X, Y i Z. Podczas obrotu wokół którejś z osi efekt Coriolisa wprawia układ MEMS w vibracje, które są wykrywane przez czujnik pojemnościowy. Wykryty sygnał (jako zmiana pojemności czujnika) jest wzmacniany i filtrowany tak, aby wyjściowy sygnał pojemnościowy był proporcjonalny do kąta obrotu. Następnie sygnał jest przetwarzany na postać cyfrową przez 16-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy. Możliwe jest programowe ustawienie zakresów pomiarowych z: ± 250 , ± 500 , ± 1000 lub ± 2000 stopni na sekundę. Do wyboru jest również zakres próbkowania od 8000 próbek na sekundę do 4 próbek na sekundę oraz ustawienia filtra dolnoprzepustowego.

Akcelerometr służy do pomiaru przyspieszenia. Podobnie jak w przypadku żyroskopu w układzie zastosowano 3 akcelerometry, po jednym dla każdej z osi X, Y oraz Z. Pomiar przyspieszenia polega na pomiarze zmiany pojemności czujnika pojemnościowego. Zmiana ta zależy od przemieszczenia bezwładnej masy wewnątrz czujnika. W wykorzystanym module zredukowano podatność akcelerometru na dryft temperaturowy. Gdy układ znajduje się na płaskiej powierzchni wskazuje zerowe przyspieszenie w osi X i Y oraz przyspieszenie $1g$ w osi Z. Pomierzona wartość jest zamieniana na wartość cyfrową w przetworniku analogowo-cyfrowym. Zakres pomiarowy może być programowo wybierany spośród: $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ oraz $\pm 16g$.

Na rysunku 4 przedstawiono układ współrzędnych wykorzystany w module MPU-6050. Oznaczenia osi zostały również przedstawione na płytce drukowanej. Sygnał wyjściowy z danymi

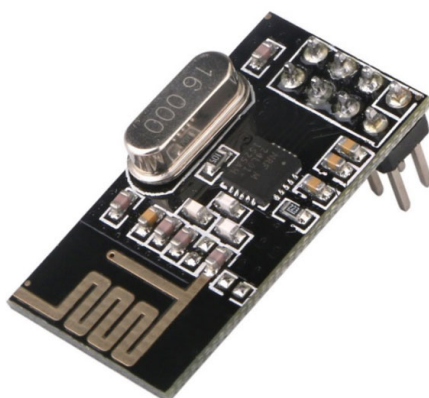
pomiarowymi jest macierzą o 6 kolumnach, które odpowiadają kątom obrotu wzdłuż osi X, Y i Z oraz przyspieszeniom wzdłuż każdej z osi.



Rysunek 4 Układ współrzędnych modułu MPU-6050.

2) Komunikacja [2]

Do komunikacji robota ze stacją Arduino wykorzystano moduł radiowy nRF24L01. Zawiera nadajnik i odbiornik pracujący na częstotliwości 2,4 GHz. Dostępne pasmo zostało podzielone na 125 kanałów, na którym można zapamiętać po 6 adresów urządzeń, z którym moduł się komunikuje. Komunikacja opiera się na interfejsie komunikacyjnym SPI. Zasięg transmisji wynosi 100 m. Można dobrać prędkość transmisji danych spośród: 250kbps, 1Mbps lub 2Mbps. Wygląd modułu przedstawiono na rysunku 5.



Rysunek 5 Moduł radiowy nRF24L01.

3. Sterowanie

Operator steruje robotem za pomocą joysticka umieszczonego przy nadajniku. Kąt oraz kierunek wychylenia gałki jest przekształcany przez przetwornik do postaci cyfrowej, a następnie przesyłany za pomocą modułu radiowego. Informacja odebrana przez moduł znajdujący się w robocie jest przekazywana do Arduino.

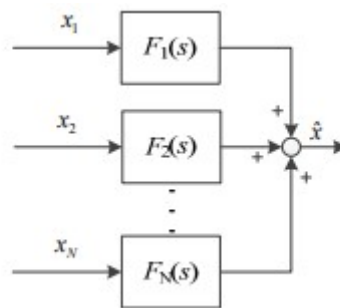
Do sterowania silnikami wykorzystywane są wyjścia PWM (pozwalające na modulację szerokości impulsów), przez które sygnał sterujący trafia do wzmacniaczy. Za każdy z

silników odpowiedzialne są dwa wzmacniacze. W zależności od pożądanego kierunku ruchu (a zatem odpowiadającym mu kierunkom obrotów silnika) sygnały przesyłane są na odpowiednie wyjścia.

Informacja o położeniu robota w przestrzeni jest otrzymywana poprzez akcelerometr i żyroskop. Dane z nich przesyłane są do operatora poprzez kolejny kanał modułu radiowego.

4. Filtr komplementarny [4]

Ideą filtru komplementarnego jest wykorzystanie kilku źródeł informacji (czujników) obarczonych różnym rodzajem zakłóceń. Głównym kryterium podziału zakłóceń jest częstotliwość ich występowania. Każdy pomiar jest filtrowany, a następnie sumowany z innymi, dając informację o badanym parametrze. Poniższy schemat przedstawia sposób otrzymywania informacji w filtrze komplementarnym.



Rysunek 6 Schemat ideowy działania filtra komplementarnego.

W przypadku wyznaczania kąta orientacji robota można wykorzystać akcelerometr i żyroskop. Taka para czujników pozwala na zastosowanie filtra komplementarnego. Pomiary z akcelerometru zawierają wysokoczęstotliwościowe zakłócenia, które mogą zostać usunięte poprzez filtrację dolnoprzepustową. Natomiast pomiary z żyroskopu obarczone są zakłóceniami niskoczęstotliwościowymi oraz składową stałą – dryft. Mogą być one usunięte poprzez filtrację górnoprzepustową.

5. Filtr Kalmana [1]

Filtr Kalmana realizuje estymację zmiennych stanu badanego procesu. Przeznaczony jest dla układów liniowych, lecz przy odpowiednich założeniach możliwa jest estymacja w układach niestacjonarnych oraz nieliniowych.

Model obiektu:

$$x[t + 1] = Ax[t] + Bu[t] + v[t]$$

$$y[t] = Cx[t] + w[t]$$

gdzie:

- $x[t]$ – wektor zmiennych stanów,
- A – macierz przejścia,

- B – macierz wejścia,
- C – macierz wyjścia,
- $v[t]$ – wektor szumu procesowego,
- $y[t]$ – zmienna wyjściowa,
- C – macierz wyjścia,
- $w[t]$ – wektor szumu pomiarowego.

Wyznaczanie wartości zmiennych stanu przebiega w dwóch etapach:

Aktualizacja czasu – polega na wyznaczeniu estymaty stanu *a priori* (przed pomiarem) $x[t+1|t]$ oraz macierzy kowariancji $P[t+1|t]$:

$$\hat{x}[t+1|t] = A\hat{x}[t|t] + Bu[t]$$

$$P[t+1|t] = AP[t|t]A^T + V$$

gdzie:

- V – macierz kowariancji szumu przetwarzania,

Aktualizacja pomiarów – polega na wyznaczeniu macierzy kowariancji *a posteriori* $P[t+1|t+1]$, estymaty stanu $x[t+1|t+1]$ oraz wzmocnieniu Kalmana (chwili czasu $t+1$):

$$\varepsilon[t+1] = y[t+1] - C\hat{x}[t+1|t]$$

$$S[t+1] = CP[t+1|t]C^T + W$$

$$K[t+1] = P[t+1|t]C^T S^{-1}[t+1]$$

$$\hat{x}[t+1|t+1] = \hat{x}[t+1|t] + K[t+1]\varepsilon[t+1]$$

$$P[t+1|t+1] = P[t+1|t] - K[t+1]S[t+1]K[t+1]^T$$

gdzie:

- $\varepsilon[t+1]$ – innowacja – określona jest przez różnicę między wartością pomierzoną a wartością oczekiwaną na podstawie estymacji,
- $K[t+1]$ – wzmocnienie Kalmana,
- W – macierz kowariancji szumu pomiarowego,

Wartość innowacji zawiera w sobie najnowsze informacje o procesie oraz wskazuje dokładność z jaką dokonywana jest estymacja wektora stanu. Wzmocnienie Kalmana określa w jakim stopniu estymata stanu $x[t+1|t+1]$ zależy od nowych danych pomiarowych, im większa wartość tym większy udział danych pomiarowych.

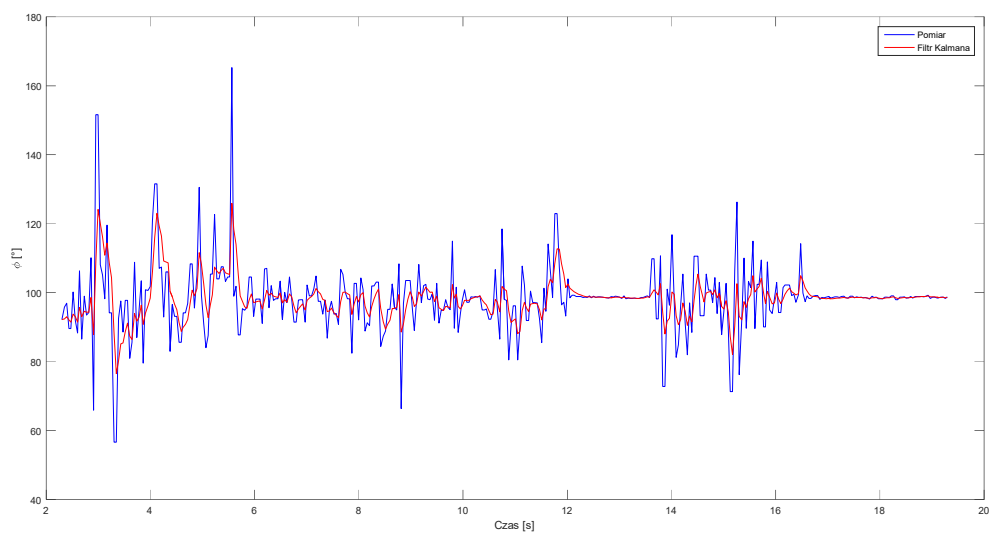
6. Filtr Mahony'ego

Ideą filtru Mahony'ego jest estymata za pomocą wektora korekcji, otrzymywanego poprzez sterownik proporcjonalno – całkujący. Kąt jest obliczany jako suma poprzedniej estymowanej wartości kąta, scałkowanego pomiaru z żyroskopu oraz wzmocnionej i scałkowanej wartości błędu kąta – to różnica pomiaru oraz poprzedniej estymowanej wartości kąta.

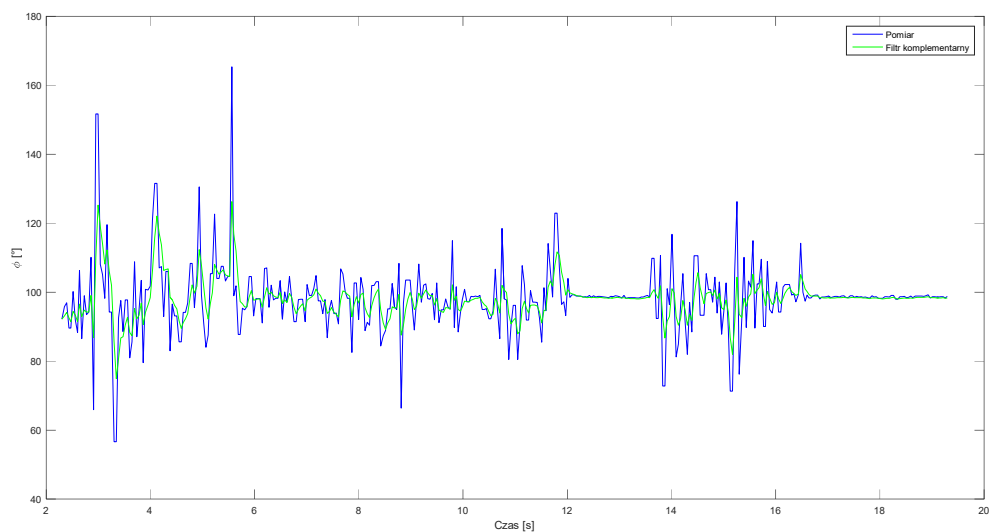
7. Wyniki

Na podstawie pomiarów z akcelerometru i żyroskopu dokonano estymacji orientacji robota poprzez wyznaczenie kąta przechylenia

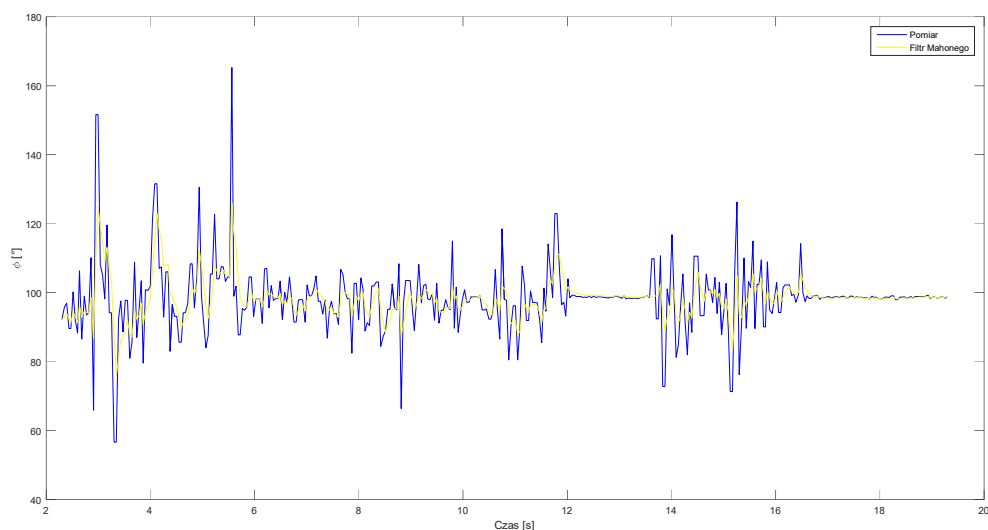
$$\Phi = \text{atan2}(a_y, a_z)$$



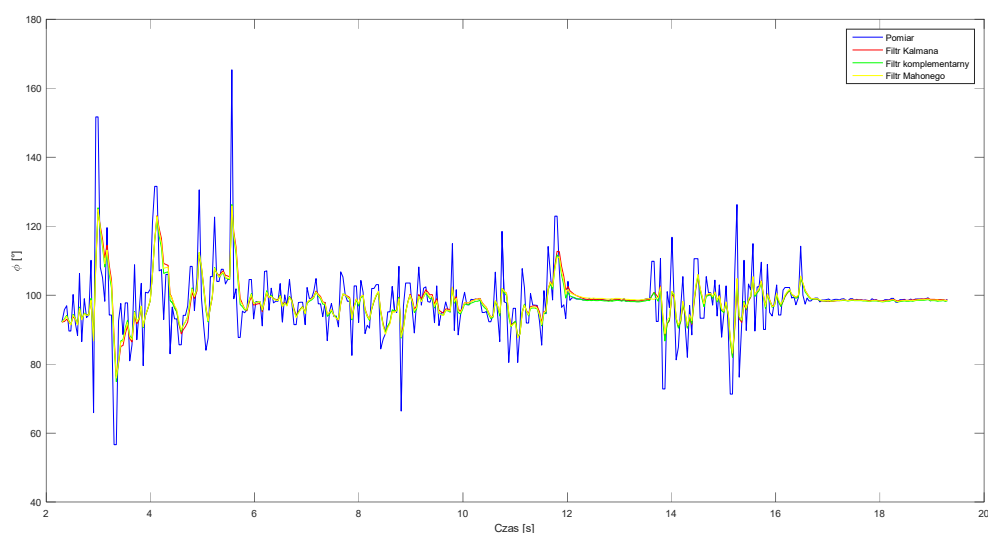
Rysunek 7 Filtr Kalmana.



Rysunek 8 Filtr komplementarny.



Rysunek 9 Filtr Mahonego.



Rysunek 10 Porównanie 3 filtrów.

Jak widać na rysunku 10 wartości otrzymywane za pomocą każdego z trzech filtrów są do siebie bardzo zbliżone.

8. Bibliografia

1. <https://forbot.pl/blog/filtr-kalmana-od-teorii-praktyki-2-id3885> (data dostępu 29.12.2018)
2. https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-wireless-communication-nrf24l01-tutorial/?fbclid=IwAR2TgYz_7AKmRegPGXhLKy8uoDyBC4oRMnuNGZOJC40nIX4D24kp0XRicIU (data dostępu 29.12.2018)

3. <https://www.mschoeffler.de/2017/10/05/tutorial-how-to-use-the-gy-521-module-mpu-6050-breakout-board-with-the-arduino-uno/?fbclid=IwAR1b4nwctzE7MN69sv8sQ6Hz9cEpuNamm4CjHQWHaZxuYZGf0z2r41AdSrU> (data dostępu 29.12.2018)
4. Grygiel R., Bieda R., Wojciechowski K.: *Metody wyznaczania kątów z żyroskopów dla filtru komplementarnego na potrzeby określania orientacji IMU*, Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 90 NR 9/2014.
5. <http://www.olliw.eu/2013/imu-data-fusing/> (data dostępu 03.01.2019)