

Wykorzystanie sygnałów z akcelerometru, magnetometru i żyroskopu do wyznaczania orientacji w przestrzeni 3D

Agnieszka Szczęsna¹, Janusz Słupik², Andrzej Polański^{1,3}

¹Politechnika Śląska, Instytut Informatyki, ul. Akademicka 16, 44-100 Gliwice

²Politechnika Śląska, Instytut Matematyki Stosowanej, ul. Kaszubska 23, 44-100 Gliwice

³Polsko-Japońska Wyższa Szkoła Technik Komputerowych, Al. Legionów 2, 41-902 Bytom

WSTĘP

Potrzeba szeroko rozumianego pomiaru ruchu człowieka i estymacji parametrów ruchu występuje w wielu obszarach życia od ortopedii przez sport, sztukę do rozrywki. Badania opisywane w artykule są niezbędne do konstrukcji opartego na czujnikach IMU (*Inertial Measurement Unit*) systemu typu *out-door* dla akwizycji i analizy ruchu. IMU to urządzenie do pomiaru prędkości i orientacji bryły sztywnej do której przymocowane jest urządzenie. W najprostszym przypadku na podstawie wskazań akcelerometru poprzez całkowanie wektora przyspieszeń można wyznaczyć wektor prędkości, a poprzez powtórne całkowanie przemieszczenie. Analogicznie jest w przypadku 3-osiowych żyroskopów. Kąt obrotu potrzebny do określenia orientacji wyznacza się wobec tego poprzez całkowanie sygnału wyjściowego z żyroskopu. Ponieważ kąt obrotu jest całką wyjścia z żyroskopu, dokładność określenia kąta w największym stopniu zależy od stabilności położenia zera czujnika. Płynięcie zera (np. na skutek zmiany temperatury) powoduje w krótkim czasie powstanie dużych wartości błędów wyznaczenia kąta. W celu jego eliminacji najczęściej stosuje się różne warianty filtru Kalmana do estymacji wartości zera i jej kompensacji. W literaturze można znaleźć wiele propozycji zastosowania filtrów Kalmana do tego zadania [3].

Filtr Kalmana [1] jest algorytmem rekurencyjnego wyznaczania minimalno-średniokwadratowej estymaty wektora stanu dyskretnego modelu liniowego układu dynamicznego na podstawie pomiarów wyjścia oraz wejścia tego układu. Zakłada się, że zarówno pomiar, jak i proces przetwarzania wewnątrz układu jest obciążony błędem o rozkładzie gaussowskim. Rozwiązanie bazuje na schemacie typu predyktor-korektor.

W ramach prac zaimplementowano kwaternionowy rozszerzony filtr Kalmana (*Extended Quaternion Kalman Filter, EQKF*) oparty o publikację [2]. Filtr ten umożliwia śledzenie orientacji segmentu. Opiera się o architekturę dwu-warstwową zbudowaną z algorytmu QUEST przetwarzającego dane z akcelerometru i magnetometru oraz filtru EQKF operującego na kwaternionowej reprezentacji orientacji i danych z żyroskopu.

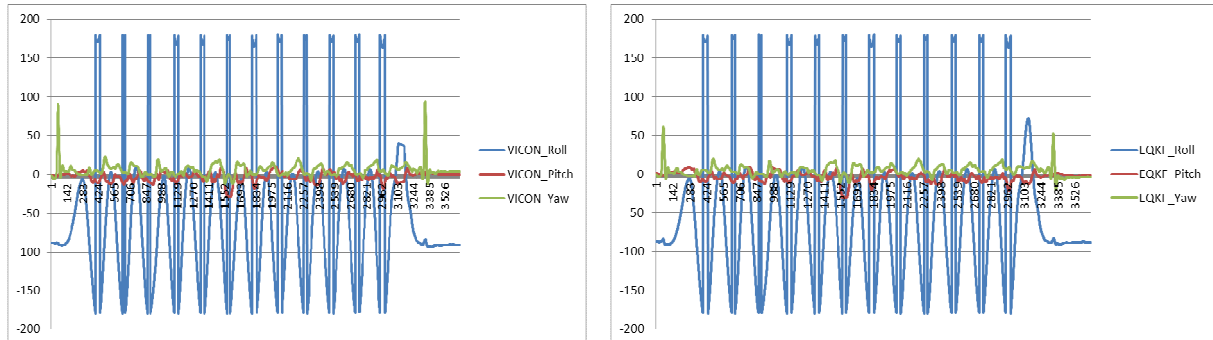
MATERIAŁ I METODA

W ramach eksperymentu wykazano błędy powstające przy najprostszym wyznaczaniu orientacji za pomocą całkowania wskazań żyroskopu oraz zaimplementowano i przetestowano działanie filtru kwaternionowego rozszerzonego filtru Kalmana (EQKF) do wyznaczenia orientacji w przestrzeni 3D na podstawie wskazań magnetometru, akcelerometru i żyroskopu. Wektor przyspieszenia i lokalnego pola magnetycznego są wejściami algorytmu QUEST. Algorytm ten oblicza wyjściowy kwaternion, który łącznie z prędkością kątową, wyznaczoną przez żyroskop, stanowi wejście pomiarowe filtru Kalmana. W takim podejściu równania dotyczące wartości mierzonych są liniowe. Wektor stanu filtru Kalmana składa się z 7 elementów, wektor prędkości kątowych i kwaternion.

Bazą testową stanowiły eksperymenty z wykorzystaniem czujnika firmy Xsens. Uzyskane kąty Eulera były porównywane do orientacji wyznaczonej za pomocą systemu referencyjnego Vicon Nexus. W celu porównania wyznaczone kąty zostały przeliczone do układu referencyjnego.

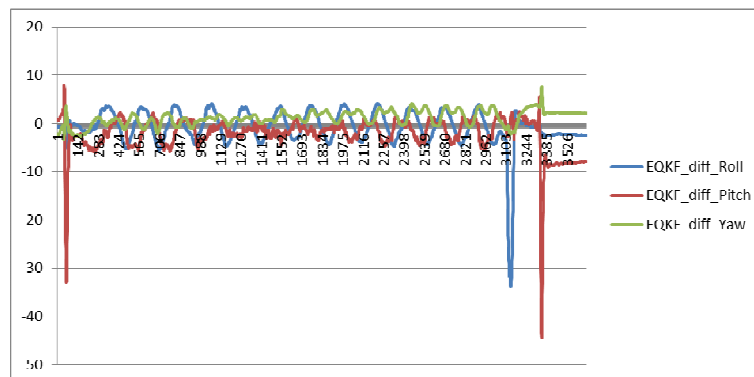
WYNIKI

Wykresy prezentują estymowaną orientację za pomocą filtru EQKF dla testu szybkiego obrotu w jednej osi (Rys. 1).



Rysunek 1: Wykresy katów Eulera systemu Vicon i estymowanych za pomocą filtru EQKF.

Wykres (Rys. 2) prezentuje błąd różnicy w wyznaczonych kątach.



Rysunek 2: Wykresy różnicy katów Eulera systemu Vicon i estymowanych za pomocą filtru EQKF.

DYSKUSJA

Dzięki zastosowaniu algorytmu fuzji danych z magnetometru, żyroskopu i akcelerometru na podstawie filtru Kalmana można wyeliminować błąd płynięcia zera, bias i szum pomiarowy, a wyznaczone kąty określają aktualną orientację w przestrzeni 3D. Na podstawie wyznaczonych orientacji poszczególnych segmentów na których są umieszczone czujniki, można zbudować system do przechwytywania i analizy ruchu człowieka (kostium do akwizycji ruchu typu *out-door*).

PODZIĘKOWANIE

Projekt współfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki (NN516 4757 40).

LITERATURA

1. Kalman, R.E.: A new approach to linear filtering and prediction problems, Journal of Basic Engineering (1960).
2. Yun, X. Bachmann, E.R.: Design, Implementation, and Experimental Results of a Quaternion-Based Kalman Filter for Human Body Motion Tracking, Robotics, IEEE Transactions on , vol.22, no.6, pp.1216-1227, (2006)
3. Sabatini, A.M.: Kalman-Filter-Based Orientation Determination Using Inertial/Magnetic Sensors: Observability Analysis and Performance Evaluation, Sensors, 2011.