

ROBOT BALANSUJĄCY - IMPLEMENTACJA

Szymon LEBIODA¹, Marcin SIDZINA², Adam JABŁOŃSKI³, Jacek KŁOSIŃSKI⁴

1. Polmotors Sp. z o.o.
tel.: +48 518 319 977, e-mail: szy.lebioda@gmail.com
2. Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej
tel.: +48 338279361, e-mail: msidzina@ath.bielsko.pl,
3. Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej
tel.: +48 338279361, e-mail: ajablonski@ath.bielsko.pl,
4. Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej
tel.: +48 338279226, e-mail: jklosinski@ath.bielsko.pl,

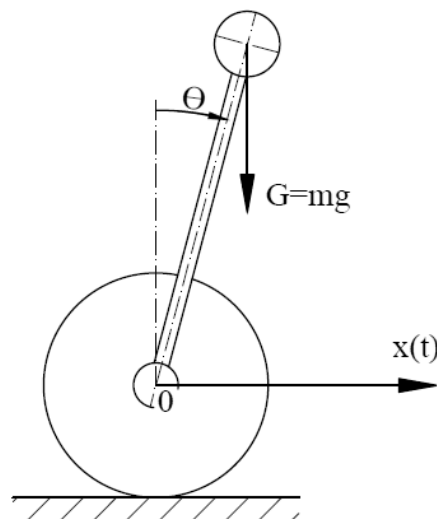
Streszczenie: W artykule przedstawiono projekt i realizację dwukołowego robota mobilnego działającego na zasadzie wahadła odwróconego z dwoma niezależnymi napędami. Zaprojektowany system kontroli pozycji został wykonany w oparciu o czujnik żyroskopowy oraz akcelerometr wraz z własnym oprogramowaniem sterującym pozycją robota. Własny algorytm sterujący zapewnia utrzymanie równowagi oraz możliwość zadawania kierunku ruchu poprzez interfejs umieszczony na urządzeniu mobilnym.

Słowa kluczowe: robot mobilny, wahadło odwrócone, regulacja, czujnik żyroskopowy, czujnik przyspieszeń.

1. WPROWADZENIE

Wahadło odwrócone jest charakterystycznym przypadkiem wahadła, którego środek masy znajduje się ponad osią obrotu. Podstawowym warunkiem poprawnego funkcjonowania omawianego modelu jest zapewnienie stabilności układu regulacji [1, 2, 3]. Zagadnieniu stabilności poświęca się wiele miejsca w procesie dydaktycznym. Jednym z przypadków rozważanego modelu wahadła odwróconego jest balansujący robot dwukołowy.

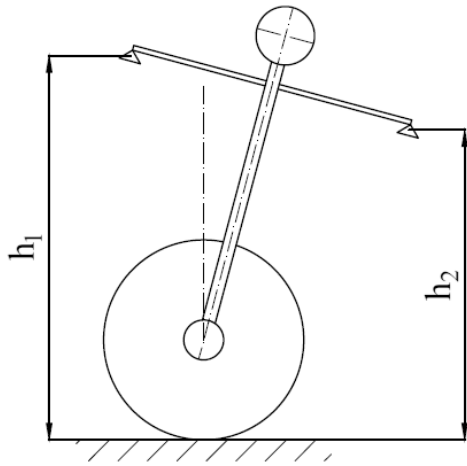
W konstrukcji dwukołowego robota balansującego oś obrotu jest tożsama z współosiowym wałem silników. W idealnym przypadku konstrukcję robota można przedstawić jako nieważki pręt o określonej długości z masą skupioną na jednym z końców, zaś drugi koniec zamocowany jest przegubem do osi obrotu pręta tak, jak to przedstawiono na rysunku 1. Układ taki posiada dwa stopnie swobody i zaliczany jest do grupy układów o mniejszej liczbie sygnałów sterowania niż liczba zmiennych pomiarowych (underactuated systems)[4]. Sterowanie w czasie rzeczywistym tego typu układu wymaga nie tylko znajomości wartości wychylenia pręta od pionu Θ ale również przemieszczenia osi obrotu 0 w kierunku poziomym x .



Rys. 1. Robot balansujący jako przykład wahadła odwróconego

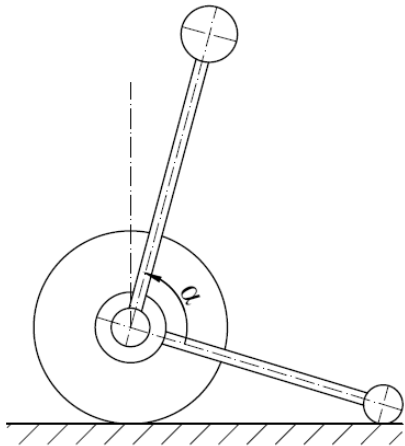
1.1. Pomiar kąta wychylenia

Niestabilność robota balansującego jest jego cechą strukturalną, dlatego koniecznym jest nieustanna kontrola kąta wychylenia względem punktu równowagi, aby układ sterowania mógł wprowadzać odpowiednie korekty umożliwiające utrzymanie zadanej pozycji. Zadaniem regulatora jest doprowadzenie do stanu, kiedy środek ciężkości konstrukcji będzie oscylował nad punktem styku kół z podłożem. Pomiar kąta wychylenia można wykonać na kilka sposobów. W ramach pracy badano kilka metod pomiaru kąta. Pierwszą było zastosowanie czujników odległości zamocowanych na wystających poza obrys konstrukcji ramionach, mierzących odległość pomiędzy ramieniem a podłożem (rys. 2).



Rys. 2. Pomiar kąta wychylenia z użyciem czujników odległościowych

Innym rozwiązaniem było zainstalowanie ramienia opierającego się o podłoże, które zamocowane jest do robota bezpośrednio na enkoderze, (rys. 3).

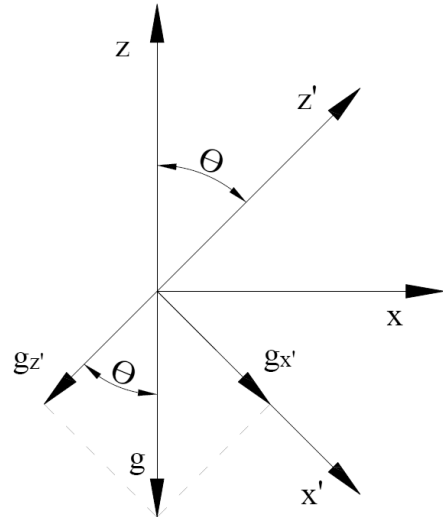


Rys. 3. Pomiar kąta wychylenia ramieniem zamontowanym na enkoderze

Skuteczność pierwszego rozwiązania jest uzależniona od rodzaju podłoża oraz jakości czujników odbiciowych i jest zależna od stopnia pochłaniania światła przez podłoże. Niezależnie od rodzaju czujnika odległości metoda ta nie jest skuteczna w przypadku pochyłości bądź w przypadku występujących nierówności, które w konsekwencji mogą być mylnie odebrane za zmianę kąta wychylenia.

W przypadku drugiej metody opierające się o podłoże ramie w przypadku napotkanych nierówności może utrudniać, a nawet uniemożliwić poruszanie się robota. Tak samo jak przy użyciu czujników odległości metoda ta jest wrażliwa na nierówności i pochylenie podłoża.

Kolejna metoda do pomiaru kąta wykorzystywała akcelerometr. Mierzając przyspieszenie liniowe w kierunku poszczególnych osi, można obliczyć kąt wychylenia akcelerometru (robota). Wiedząc, że w pewnej pozycji czujnika przyspieszeń, przyspieszenie ziemskie pokrywa się z jedną z osi czujnika, a każde odchylenie od tej pozycji powoduje rozłożenie wektora przyspieszenia ziemskiego na dwie składowe. Posiadając taką wiedzę można obliczyć kąt wychylenia (rys. 4) akcelerometru (robota) używając funkcji cyklometrycznych [5] w radianach (1) lub w stopniach (2).



Rys. 4. Rozkład wektora przyspieszenia ziemskiego

$$\theta = \arctg \frac{g_{x'}}{-g_{z'}} \quad (1)$$

$$\theta = \arctg \frac{g_{x'}}{-g_{z'}} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} \quad (2)$$

gdzie: θ – kąt wychylenia robota, $g_{x'}$, $g_{z'}$ – składowe przyspieszenia ziemskiego w kierunkach osi x' i z' .

Metoda wykorzystująca akcelerometr jest skuteczna wyłącznie, gdy czujnik jest w spoczynku. W przypadku, gdy akcelerometr porusza się, pomiar jest zakłócany przez dodatkowe przyspieszenia związane z ruchem. Z tego powodu pomiar kąta wychylenia robota balansującego, nie może opierać się na danych z czujnika przyspieszeń. Użycie akcelerometru może mieć wyłącznie charakter uzupełniający.

Kolejną metodą jest pomiar z zastosowaniem czujnika żyroskopowego. Sygnał wyjściowy reprezentuje wartość prędkości obrotowej względem danej osi. Aby otrzymać konieczną wielkość wychylenia kąta należy dokonać całkowania sygnału wyjściowego żyroskopu. Głównym mankamentem metody jest występowanie tzw. dryfu żyroskopu, czyli ciągłego wzrastania błędu całkowania owocującego przemieszczaniem się punktu zerowego [5, 6].

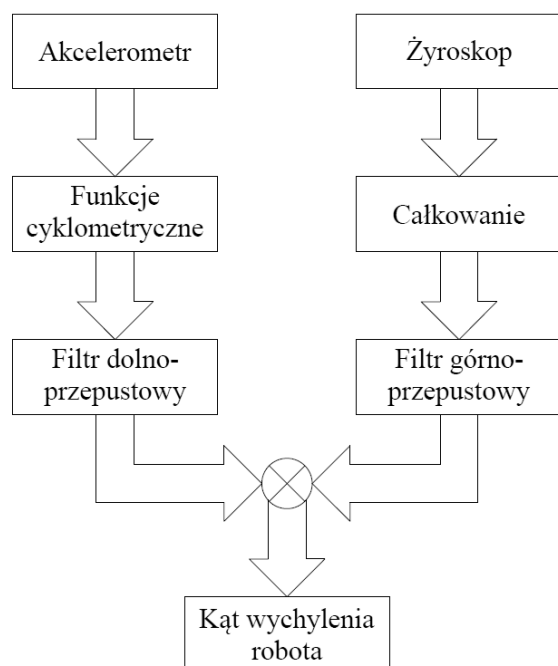
1.2. Filtr komplementarny

Niedoskonałości metod pomiaru kąta zarówno przy użyciu żyroskopu jak i akcelerometru powodują, że koniecznym stało się zastosowanie filtracji pomiaru. W tym celu zaimplementowano filtr komplementarny.

Założeniem tego filtra jest fuzja danych dostarczanych z obu czujników w celu ograniczenia błędów pomiaru akcelerometru i żyroskopu. W przypadku czujnika przyspieszeń pojawiają się zakłócenia szybkozmiennie, które można ograniczyć stosując filtr dolnoprzepustowy. Rozwiązanie takie wprowadza opóźnienie względem rzeczywistej zmiany kąta oraz charakteryzuje się brakiem wrażliwości czujnika na szybkie zmiany kąta. W przypadku czujnika prędkości obrotowej względem osi mamy do czynienia z dryfem żyroskopu, czyli z zakłóceniami

wolnozmiennymi. Aby ograniczyć wpływ zakłóceń na pomiar stosuje się filtr górnoprzepustowy, który powoduje niewrażliwość czujnika na wolne zmiany kąta pochylenia. Tak przefiltrowane sygnały następnie zostają zsumowane [5, 6].

Uzyskany w ten sposób sygnał jest mniej wrażliwy zarówno na szybkie, jak i wolne zmiany kąta. W ten sposób zmniejszane są główne przeciwwskazania dotyczące stosowania obu czujników, czyli w przypadku żyroskopu zmiana punktu zerowego czyli dryf oraz zakłócenia spowodowane ruchem robota w przypadku akcelerometru [5]. Zasada działania filtru komplementarnego została przedstawiona na rysunku 5.



Rys. 5. Schemat działania filtru komplementarnego

1.3. Regulator PID

Regulator PID, czyli regulator proporcjonalno – całkująco – różniczkujący, jest najpopularniejszym rodzajem regulatora stosowanego w typowych układach regulacji. Zasada działania regulatora PID opiera się o sumaryczne działanie regulatorów P, I oraz D. Sygnał sterujący wygenerowany przez regulator PID można zapisać zależnością:

$$u(t) = k_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{d}{dt} e(t) \right] \quad (3)$$

gdzie: $u(t)$ – sygnał sterujący, k_p – współczynnik wzmocnienia, T_i – czas zdwojenia, T_d – czas wyprzedzenia, $e(t)$ – uchyb regulacji.

Regulator PID można zrealizować w postaci dyskretnej dla sygnału, którego postać jest ciągiem pomiarów. W takim przypadku generowana wartość sygnału sterującego określana jest wzorem:

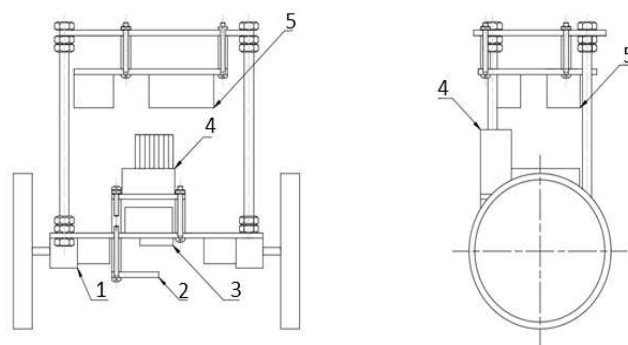
$$u_n = K_p e_n + K_i \sum_{j=0}^n e_j + K_d (e_n - e_{n-1}) \quad (4)$$

gdzie: K_p, K_i oraz K_d nastawy regulatora, e_n, e_{n-1} to obecny i poprzedni uchyb dla iteracji n .

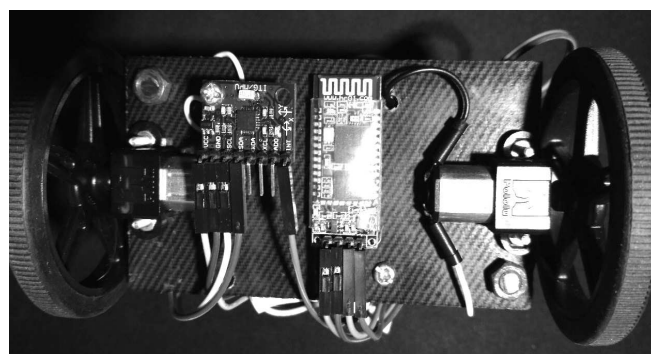
2. PLATFORMA SPRZĘTOWA

2.1. Konstrukcja mechaniczna

Podczas projektowania konstrukcji postawiono za cel uzyskanie odpowiedniego wyważenia tak, aby konstrukcja została podzielona na tzw. warstwy, których rozmieszczenie było uwarunkowane wagą elementów wchodzących w ich skład. Najniższą warstwę stanowią jednostki napędowe robota, a najwyższą układy elektroniki. W konstrukcji występują niewielkie odstępstwa od tej reguły, np. czujniki odpowiadające za pomiar kąta wychylenia robota umieszczone zostały w warstwie przydzielonej układowi napędowemu, co zostało przedstawione na rysunku 6. Odstępstwo to wynika z potrzeby eliminacji dodatkowych zakłóceń w pomiarze kąta. W przypadku umieszczenia modułu z czujnikami w górnej warstwie poświeconej elektronicznie koniecznym byłoby uwzględnić w obliczeniach ewentualne błędy pomiaru. Kolejnym przypadkiem odstępstwa od reguły warstw jest moduł służący do komunikacji z wykorzystaniem protokołu Bluetooth. Jego umiejscowienie również znajduje się w warstwie przydzielonej układowi napędowemu robota (rys. 7). Powód takiego rozwiązania jest prozaiczny i wynika z efektywnego wykorzystania ograniczonej przestrzeni.



Rys. 6. Rozmieszczenie elementów robota 1-silnik z przekładnią, 2-MPU 6050, 3-HC-06, 4-mostek H L298N, 5-Arduino Uno R3



Rys. 7. Podwozie wykonanego robota [fotografia własna]

2.2. Układ elektroniczny

Sercem układu elektronicznego jest platforma Arduino Uno, która wyposażona jest w mikrokontroler Atmega 328. Zastosowany moduł MPU 6050 jest połączeniem 3-osiowego akcelerometru i żyroskopu. Zakres napięć wejściowych i wyjściowych mieści się w przedziale 3.0 – 5.0 V. Oba czujniki wchodzące w skład modułu mogą

pracować w różnych konfiguracjach w zależności od potrzeb [7]. Wymiana danych pomiędzy platformą Arduino Uno, a modulem MPU6050 jest realizowana przy użyciu magistrali szeregowej I²C.

Bezpośrednie podłączenie silników do wyjść mikrokontrolera mogłoby doprowadzić do jego uszkodzenia, co spowodowane jest niską wydajnością prądową dyskretnych wyjść mikrokontrolera (40 mA). W tym celu zastosowano układ pośredni, umożliwiający kontrolę kierunku ruchu oraz prędkości obrotowej silników. W omawianym rozwiązaniu zastosowano mostek H, pozwalający zarówno na zmianę kierunku pracy silników jak i płynną zmianę prędkości obrotowej. Sterowanie silnikami odbywa się poprzez generowanie odpowiednich impulsów prostokątnych. Zmianę prędkości obrotowej wykonano stosując modulację szerokości impulsu PWM (Pulse Width Modulation). Metoda polega na odpowiedniej zmianie szerokości impulsu prostokątnego.

Zastosowany w projekcie moduł zawiera dwukanałowy sterownik silników L298, do jego cech charakterystycznych można zaliczyć napięcie zasilania silników na poziomie 12 V oraz części logicznej na poziomie 5 V. Istotnym parametrem jest maksymalny prąd wyjściowy wynoszący maksymalnie 2 A [8].

3. OPROGRAMOWANIE

3.1. Algorytm

Kod programu rozdzielony został na następujące części: Main, Bluetooth, PID, PID2 oraz Silniki. Plik Main jest głównym plikiem programu, w nim wywoływane są wszystkie instrukcje. W pozostałych plikach znajdują się poszczególne instrukcje. Powodem podziału jest zwiększenie czytelności programu co ułatwiało nanoszenie poprawek w trakcie procesu prototypowania.

Pierwszym etapem w budowaniu algorytmu było dołączenie wymaganych do działania bibliotek. Biblioteka Wire.h jest wymagana w celu użycia magistrali I²C (TWI), MPU6050.h jest biblioteką napisaną z myślą o zastosowaniu modułu MPU 6050. Natomiast math.h konieczna jest do wykonania działań matematycznych wykorzystujących funkcje cyklometryczne.

Kolejnym etapem programu była deklaracja oraz definiowanie niektórych zmiennych.

Po wykonaniu operacji konfiguracyjnych program przechodzi do cyklicznego wykonywania funkcji loop(), w której zawarty jest algorytm. Pierwsza iteracja algorytmu zawartego w funkcji loop() jest opóźniona o 2 sekundy w celu opóźnienia pracy robota tuż po załączeniu zasilania.

Aby wyznaczyć kąt wychylenia wykorzystując filtrację sygnałów koniecznym jest wcześniejsze pobranie danych z czujników. W tym celu zapisywane są odpowiednie wartości do wcześniej zadeklarowanych zmiennych.

Po ustaleniu wartości zadanej (do osiągnięcia której algorytm będzie dążył) i odczytu danych z czujników następuje przetworzenie informacji koniecznej do wyznaczenia ostatecznej wartości kąta wychylenia robota. W pierwszym kroku konieczne jest obliczenie wartości kąta wychylenia na podstawie pomiaru z czujnika przyspieszeń. Realizacja filtru komplementarnego składa się z dwóch składników: z wartości kąta wychylenia wyznaczonej na podstawie danych z akcelerometru oraz scałkowanego sygnału z żyroskopu [6]. Całkowanie odbywa się metodą prostokątów, gdzie podstawą sumowanych prostokątów jest

czas poszczególnej iteracji (timer). Wartość ta jest wyznaczona przez różnicę aktualnego stanu zegara i wartości zmiennej, w której został zapisany czas po wykonaniu poprzedniej iteracji.

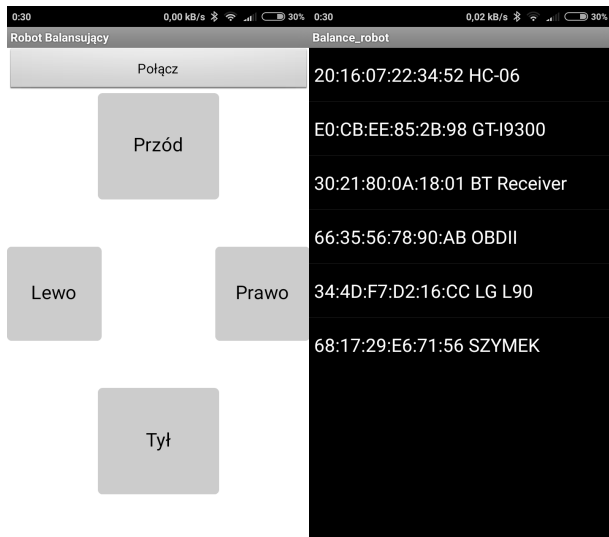
Aby robot zachował równowagę zaimplementowano programowo regulator PID. Zadaniem regulatora jest doprowadzenie rzeczywistego kąta wychylenia robota do wartości zadanej kąta. Regulator jest realizowany w sposób dyskretny zgodnie ze wzorem (4). Dobór nastaw regulatora dokonano empirycznie. W tym celu nastawy członu całkującego i różniczkującego wyzerowano, a wzmocnienie członu proporcjonalnego zwiększano do momentu otrzymania stałych oscylacji. Następnie wartość nastawy członu proporcjonalnego pomniejszono do wartości 0.6K_p oraz dokonano zwiększenia wartości nastawy członu całkującego do momentu, gdy poziom regulacji jest zadowalający. W końcowej fazie dostrajania całość uzupełniono poprzez zwiększenie nastawy członu różniczkującego. Ostatecznie wartości nastaw dla skonstruowanego robota wyniosły: $K_p = 40$, $K_i = 4$, $K_d = 0,5$.

Z racji, że sygnał wyjściowy regulatora sterującego silnikami jest wartością PWM w omawianym przypadku musi mieścić się w przedziale od 0 do 255. W programie użyty jest przedział powiększony o analogiczne wartości ujemne, czyli od -255 do 255. Taki zabieg jest konieczny aby rozróżnić kierunek regulacji, co realizuje funkcja Kierunek_ruchu(). W przypadku przekroczenia kąta wychylenia o 35° w obie strony przyjęto, że układ regulacji przestaje działać i napęd jest odcinany, jest to zabezpieczenie przed uszkodzeniem silników w momencie przewrócenia się konstrukcji.

Kolejną, niezwykle ważną, częścią programu było wymuszenie kierunku ruchu robota w zależności od działań użytkownika. Istotą sterowania jest ciągła zmiana wartości zadanego kąta, który w normalnym trybie pracy przy ustalonym empirycznie środku ciężkości wynosił około 3°. Oznacza to, że wartość zadana dla regulatora PID (odpowiadającego za utrzymanie równowagi) będzie ciągle zmieniana. W tym celu zaimplementowano kolejny regulator PID2. W przypadku, gdy użytkownik nie korzysta z aplikacji, bądź nie wymusza żadnego kierunku ruchu, działanie algorytmu opiera się wyłącznie o jeden regulator i stałą wartość zadaną kąta. Warty odnotowania faktem jest zastosowanie offsetu – przesunięcia wartości sygnału wyjściowego z regulatora PID2. Wynika to z działania regulatora, gdzie wartość sygnału wyjściowego oscyluje wokół $\theta = 0^\circ$, a pożądana wartość jest przesunięta o niecałe 3° w kierunku dodatnim (jest to uzależnione od montażu elementów w konstrukcji). Problem ten został zneutralizowany poprzez dodanie stałej w równaniu opisującym wartości sygnału wyjściowego.

3.2. Aplikacja sterująca

Aplikacja zdalnego sterowania ruchami robota została napisana w oparciu o darmową platformę appinventor2.edu. Aplikacja sterująca składa się z dwóch okien: głównego oraz drugiego okna zawierającego listę urządzeń (rys. 8). Interfejs aplikacji zawiera wyłącznie pięć przycisków. W celu przejęcia kontroli nad ruchem robota pierwszą operacją jest połączenie się z modulem Bluetooth zamontowanym na robocie (HC-06). Dokonać tego możemy wybierając opcję połącz i wybierając z listy interesujące nas urządzenie. Po nawiązaniu połączenia możliwe jest zdalne sterowanie robotem za pomocą klawiszów: Przód, Tył, Lewo, Prawo.

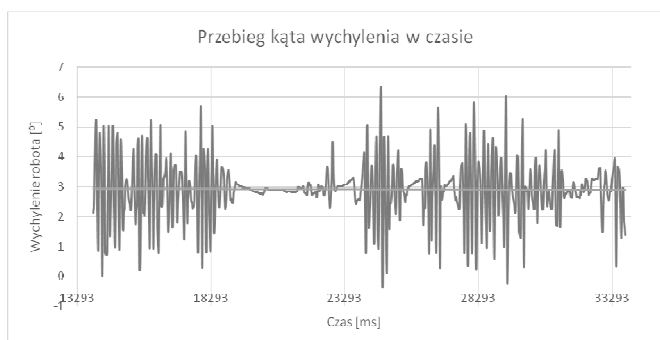


Rys. 8. Okno aplikacji

Interfejs aplikacji zawiera wyłącznie pięć przycisków. W celu przejęcia kontroli nad ruchem robota pierwszą operacją jest połączenie się z modułem Bluetooth zamontowanym na robocie (HC-06). Dokonać tego możemy wybierając opcję połącz i wybierając z listy interesujące nas urządzenie. Po nawiązaniu połączenia możliwe jest zdalne sterowanie robotem za pomocą klawiszów: Przód, Tył, Lewo, Prawo.

4. BADANIA STANOWISKA TESTOWEGO

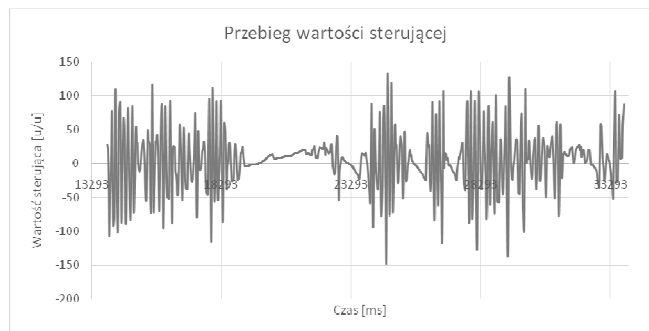
Efekt funkcjonowania oprogramowania sterującego można obserwować na wyprowadzonym przebiegu czasowym kąta wychylenia (rysunek 9). Na wykresie można zaobserwować występujące ciągle oscylacje wokół punktu równowagi (ok. 3°) spowodowane występowaniem zakłóceń. W skrajnym przypadku oscylacje sięgają nieco ponad $\pm 3^{\circ}$. Nieustające oscylacje obrazują pracę rzeczywistego obiektu. Robot cały czas wykonuje niewielkie korekty swojej pozycji. W czasie pomiędzy 19 – 22 sekundą swojej pracy kąt wychylenia praktycznie pokrywa się z wartością zadaną. Efektem tego jest zaprzestanie przez robota wykonywania oscylacji. Można powiedzieć, że układ regulacji ustawił robota w stanie równowagi.



Rys. 9. Przebieg kąta wychylenia robota

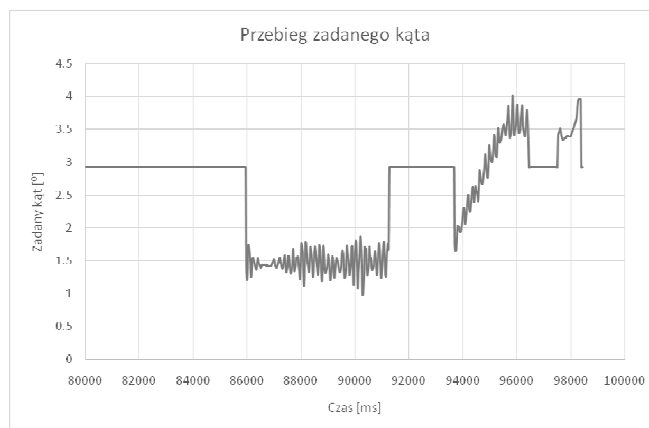
Charakter przebiegu wartości wyjściowej regulatora przedstawiono na rysunku 10. Wykres ten ukazuje zbieżność z układem pomiaru kąta wychylenia. Można zaobserwować, że w przybliżeniu wykres wielkości sterującej jest powtórzeniem, względem osi odciętych, wykresu kąta

wychylenia. Ma to sens ze względu na sposób korygowania kąta wychylenia względem wartości zadanej.



Rys. 10. Przebieg wartości wyjściowej regulatora podana w jednostkach użytkownika, zależna od rozdzielczości zastosowanego przetwornika AC/DC

Kolejny wykres (rysunek 11) przedstawia wartości zadanego kąta, ukazuje zasadę działania sterowania ruchem robota. W przypadku, gdy kierunek ruchu nie jest wymuszony wartość zadanego kąta jest stała (ok. 3°). W przypadku wymuszenia kierunku ruchu (86 sekunda pracy robota) następują oscylacje wartości zadanego kąta wokół wartości $\theta = 1.5^{\circ}$. Spowodowane jest to pracą regulatora opisanego funkcją PID2(), który uaktywnia się podczas sterowania robotem. Efektem jego działania jest dopasowywanie zadanego kąta, tak aby utrzymać zadaną prędkość liniową robota. Od ok. 94 do 96 sekundy pracy widać zmianę wymuszanego kierunku jazdy na przeciwny, a następnie zaprzestanie wymuszania kierunku poruszania się.



Rys. 11. Przebieg zadanego kąta

5. WNIOSKI KOŃCOWE

Przedstawiona w artykule implementacja wahadła odwróconego w formie balansującego dwukołowego robota mobilnego miała na celu zdobycie doświadczenia związanego z budową robotów mobilnych cechujących się brakiem stabilności. Wykonany robot nie tylko utrzymuje pozycję równowagi, ale również może być sterowany za pomocą urządzenia mobilnego posiadającego interfejs Bluetooth. Pierwsza implementacja omawianego modelu posiada możliwość śledzenia wartości zadanych jak i sterujących co pozwala na dodatkową analizę układu regulacji. Zarejestrowane wyniki pomiarów będą pomocne w przyszłych pracach związanych z implementacją

algorytmów regulacji np. Fuzzy Logic, LQR czy bardziej rozbudowanych układów regulacji kaskadowej. Poprawne działanie układu sterowania wiąże się również ze starannym wykonaniem rzeczywistego prototypu. Konstrukcja robota podczas procesu prototypowania znacznie zmieniła swoje wymiary. Wspólnym mianownikiem jednak jest koncepcja konstrukcji przypominająca rusztowanie, która w znaczny sposób przyspieszyła proces prototypowania. Dzięki możliwości szybkiej i łatwej zmiany w konfiguracji elementów konstrukcji.

Jednym z zadań stawianych w dalszych pracach jest opracowanie systemu, który będzie umożliwiał samoczynne osiągnięcie pozycji wertykalnej, rozbudowa aplikacji na urządzenie mobilne pozwalająca na zmianę aktualnych parametrów układu regulacji oraz uzupełnienie układu o czujniki umożliwiające uniknięcia kolizji.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Kaczorek T, Dąbrowski W, Łopatka R.: Podstawy teorii sterowania. WNT, Warszawa 2005.
2. Dinsdale J., Kłosiński J.: Podstawy automatyki z elementami mechatroniki, Wyd. Politechniki Łódzkiej, Filia w Bielsku-Białej, 1998.
3. Brzózka J.: Regulatory w układach automatyki okrętowej. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Morskiej, 1996.
4. De Luca A., Mattone R., Oriolo G.: Control of underactuated mechanical systems: Application to the planar 2r robot in Proc 35th IEEE Conf Decision Contr. Kobe, Japan 1996 s 1455–1460.
5. Nowik M.: Pomiar wartości kąta przechyłu z wykorzystaniem akcelerometru i żyroskopu. Pomiary Automatyka Robotyka 11/2009.
6. Wnuk M.: Filtracja komplementarna w inercyjnych czujnikach orientacji. Katedra Cybernetyki i Robotyki, Wydział Elektroniki PWr. Raport Serii: SPR nr 3/2014.
7. InvenSense Inc.: MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification, PS-MPU-6000A-00 Revision: 3.4 Release Date: 08/19/2013.
8. STMicroelectronics: L298, Dual full-bridge driver, Printed in Italy 2000

BALANCING ROBOT - IMPLEMENTATION

The article presents the design and implementation of a two-wheeled mobile robot acting on the principle of inverted pendulum with two degrees of freedom. The design of the position control system was based on a gyro sensor and an accelerometer with its own robot position control software. Its own control algorithm ensures balance and the ability to set the direction of travel via the interface on the mobile device. The first implementation of this model has the ability to trace setpoints and control signals, allowing for additional analysis of the control system. Measurement results will be helpful in future work on the implementation of control algorithms such as Fuzzy Logic, LQR or more complex cascade control systems. The correct operation of the control system is also related to the careful execution of the actual prototype. Robots construction during the prototype process has significantly changed its dimensions. The common denominator, however, is the construction concept resembling scaffolding, which significantly accelerated the prototyping process with the ability to quickly and easily change the configuration of elements in the structure.

Presented robot is the first prototype and next versions are prepared with additional functions such as the ability to automatically achieve vertical position, further application development for mobile devices allowing to change the current parameters of the control system and supplement of the system with sensors to avoid collision.

Keywords: mobile robot, inverted pendulum, regulation, gyro sensor, accelerometer.