

Piotr WODARSKI¹, Michał DRABEK²

¹Katedra Biomechatroniki, Wydział inżynierii Biomedycznej, Politechnika Śląska, Zabrze

²Wydział inżynierii Biomedycznej, Politechnika Śląska, Zabrze

ANALIZA ZMIAN SYGNAŁU UCHYBU DLA ALGORYTMÓW STEROWANIA REGULATORA P, PI I PID ZAIMPLEMENTOWANYCH W BIOMECHATRONICZNEJ PLATFORMIE MOBILNEJ LEGO

Streszczenie: W pracy przeprowadzono badania zmian parametrów regulacji algorytmów P, PI oraz PID pod kątem wpływu na jakość sterowania robotem mobilnym, śledzącym krawędź na podłożu. Analiza uzyskanych wyników umożliwiła ocenę wpływu poszczególnych członów na przebiegi sygnału uchybu oraz odniesienie wyników badań do podanych w literaturze.

SŁOWA KLUCZOWE: sterowanie, regulacja, otwarty układ sterowania, zamknięty układ regulacji

1. WSTĘP

Sterowaniem nazywa się czynność kierowania urządzeniem lub systemem w taki sposób, aby uzyskać określone wyniki jego pracy. Ten system lub urządzenie nazywane są obiektami sterowania, natomiast miano sterownika nosi element sterujący ich pracą. Sterownik wraz z obiektem sterowania tworzą układ sterowania [1].

Proces sterowania może zachodzić na dwa sposoby: w układzie otwartym lub w układzie zamkniętym. W pierwszym z nich sterownik generuje sygnał sterujący wyłącznie na podstawie wielkości zadanej, bez informacji zwrotnej na temat wyników pracy obiektu sterowania. Drugi rodzaj nazywany jest regulacją. Występuje w nim pętla ujemnego sprzężenia zwrotnego, dzięki której możliwe jest porównanie wartości otrzymywanej na wyjściu układu z wartością zadaną. Dzięki temu sterownik, zwany w tym przypadku regulatorem, ma możliwość dostosowania sygnału sterującego na podstawie wartości uchybu – czyli różnicy między wartością zadaną, a otrzymaną [2].

Jedne z najczęściej wykorzystywanych w praktyce algorytmów regulacji stanowią regulatory liniowe, a konkretnie specjalna ich podgrupa – regulatory PID (proporcjonalno-całkująco-różniczkujące). Generują one sygnał sterujący składający się z trzech odpowiednio wzmocnionych składowych – P, I oraz D. Każda z nich stanowi odpowiednio przekształcony sygnał uchybu: składowa P jest do niego proporcjonalna, składowa I stanowi jego całkę, a składową D reprezentuje jego pochodna. Udział poszczególnych członów w regulatorze może być różny w zależności od potrzeb dla danego obiektu sterowania oraz wymagań stawianych przed wynikami jego pracy.

Wiedza na temat sterowania oraz regulacji ma istotne znaczenie przy projektowaniu różnego typu układów, urządzeń i systemów biomechatronicznych. W pracy przeprowadzono badania wybranych parametrów regulacji podczas sterowania robotem mobilnym.

2. CEL BADAŃ

Celem przeprowadzonych badań była analiza zmian sygnału uchybu dla zaimplementowanych w robocie Lego Mindstorms programowo algorytmów sterowania P, PI, PID przy wykorzystaniu opracowanego stanowiska badawczego.

3. STANOWISKO DO BADAŃ

Opracowane stanowisko do implementacji układów regulacji robotów mobilnych składa się z następujących elementów: robota mobilnego, planszy, stanowiska komputerowego z oprogramowaniem. Konstrukcja robota oparta została o technologię Lego Mindstorms. Za śledzenie pola przed robotem odpowiada czujnik natężenia światła (wartość sygnału od 0 do 100% natężenia światła odbitego), natomiast za jazdę – dwa niezależne od siebie serwomotory. Wszystkie te elementy połączone są z płytką sterującą robota za pomocą przewodów. Plansza stanowi podłoże, po którym robot porusza się, śledząc krawędź czarnej prostej linii umieszczonej na białym tle. Stanowisko komputerowe zawiera środowisko Bricks Command Center, za pomocą którego możliwa jest realizacja, kompilacja oraz wgrywanie do sterownika robota skryptów zawierających algorytmy regulacji. Budowę robota oraz fragment stanowiska przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Fragment stanowiska pomiarowego

4. METODYKA BADAŃ

Badanie kolejnych algorytmów regulacji przeprowadzone zostało według ściśle określonej procedury. Dla każdej z prób zapewnione zostały takie same warunki początkowe – oświetlenie oraz punkt startowy robota. Realizacja każdego z regulatorów oparta została o metodę Zieglera-Nicholsa, gdzie w pierwszym kroku dla każdego pojedynczego przejazdu wyznaczono wzmocnienie członu proporcjonalnego dla maksymalnych oscylacji stanowiące kryterium regulacji, a następnie na podstawie tej wartości obliczone zostały wzmocnienia pozostałych członów dla każdego z regulatorów. Przykładowo dla regulatora PID zaimplementowano następujące wartości nastaw: $K_i=0,78$, $K_p=0,00195$, $K_d=7800$. Regulator zaimplementowano programowo. Następnie, po wgryciu programu na płytke sterującą robota, umieszczany on był w punkcie początkowym, z którego zaczynał on jazdę w przód, śledząc jednocześnie krawędź linii zamieszczonej na planszy. Podczas jazdy robot dokonywał pomiaru oraz zapisu do pliku wartości uchybu, który po każdej przeprowadzonej próbie przenoszony był do komputera i poddawany dalszej analizie.

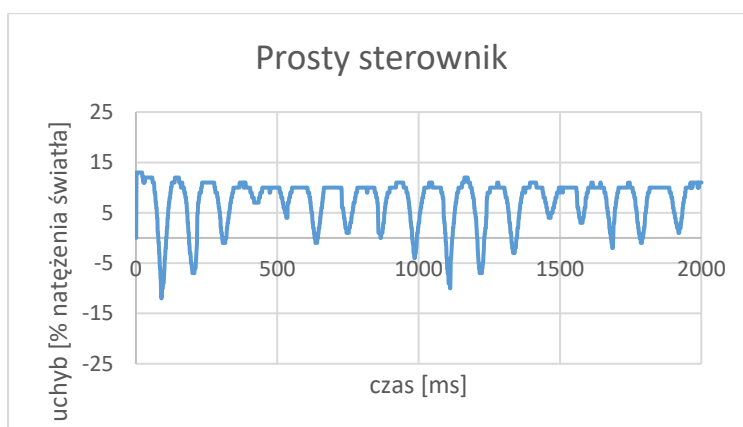
5. WYNIKI

Na podstawie wartości mierzonych podczas przeprowadzonych badań otrzymano przebiegi czasowe wartości uchybu dla każdego z regulatorów, z których następnie wyznaczono parametry istotne z punktu widzenia badania jakości jazdy robota po krawędzi.

Na podstawie wartości uchybu wyznaczone zostały: stała czasowa świadcząca o szybkości dążenia układu do stanu ustalonego, amplitudy górne oraz dolne regularnych drgań, informujące jaką wartość uchybu rejestrował robot dla maksymalnych wychyleń w obie strony od krawędzi, a także okres oraz częstotliwość regularnych drgań. Na podstawie amplitud dolnych oraz górnych została dodatkowo wyznaczona ich różnica, będąca odzwierciedleniem procentowej rozbieżności w natężeniu światła, jaka występowała między maksymalnymi położeniami robota po obu stronach śledzonej krawędzi. Wszystkie parametry zostały następnie przeanalizowane pod kątem zmian, jakie w ich wartościach powodował wpływ poszczególnych członów regulatora. Zmierzone oraz wyznaczone wartości zaprezentowane zostały w Tabeli 1, natomiast zarejestrowane przebiegi uchybu regulacji obrazują Rys. 1 – 5.

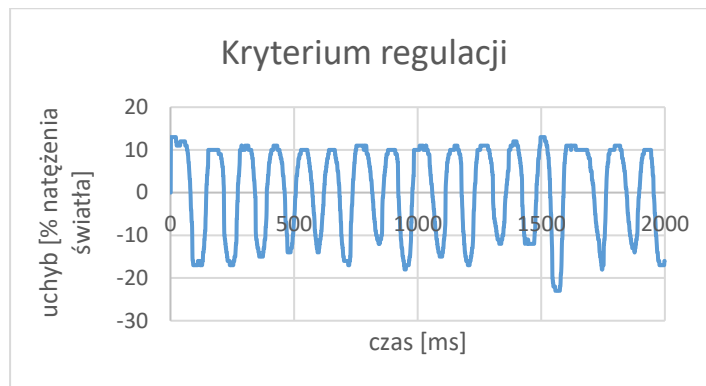
Tabela 1. Wyznaczone średnie wartości analizowanych parametrów, nazwy algorytmów zgodne z nomenklaturą kryterium Zieglera-Nicholsa (prosty sterownik – sterowanie w następujący sposób: linia biała układ skręca w lewo, linia czarna układ skręca w prawo, 50% mocy silników, kryterium regulacji – sterowanie z maksymalnym akceptowalnym uchybem, P, PI, PID sterowanie z zaimplementowanymi algorytmami regulacji)

Algorytm sterowania	Stala czasowa [ms]	Różnica amplitud [% natężenia światła]	Częstotliwość [Hz]	Okres [s]
<i>Prosty sterownik</i>	74	12,95	8,86	0,11
<i>Kryterium regulacji</i>	76	25,98	8,27	0,12
<i>P</i>	95	8,57	2,33	0,43
<i>PI</i>	236	8,98	0,94	1,06
<i>PID</i>	166	-	-	-



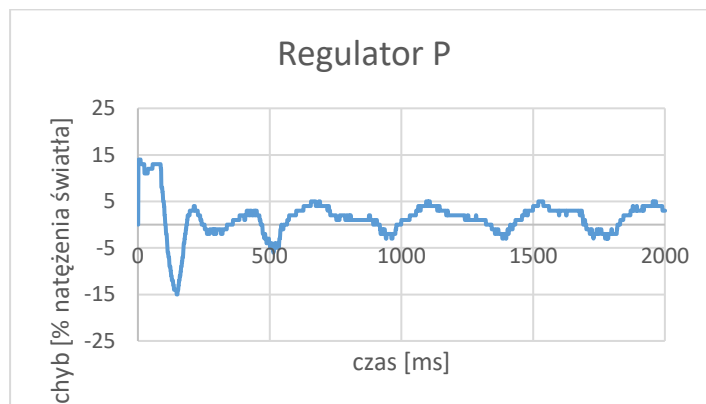
Rys. 2. Przebieg uchybu zarejestrowany dla prostego sterownika

Rys. 2. obrazuje przebieg uchybu dla prostego sterownika. Można na nim zaobserwować regularne oscylacje charakteryzujące się dużą częstotliwością oraz widoczną rozbieżnością w amplitudach dolnych, które pojawiają się już na początku jazdy robota.



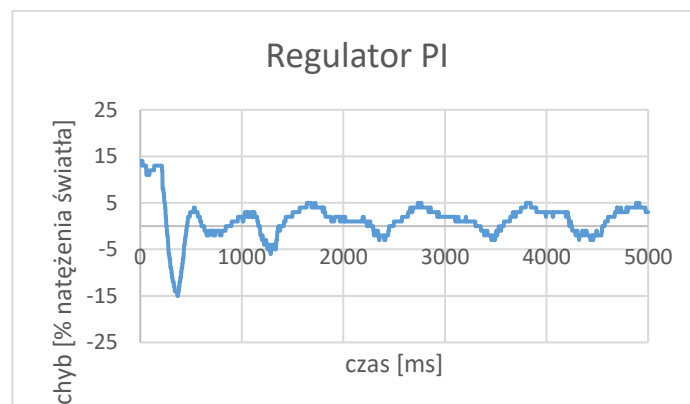
Rys. 3. Przebieg uchybu zarejestrowany dla przyjętego kryterium regulacji

W przyjętym kryterium regulacji (maksymalna wartość akceptowalna dla regulatora P), którego przebieg uchybu widoczny jest na Rys. 3, wprowadzony został człon proporcjonalny. Częstotliwość drgań w tym przypadku nie uległa widocznej zmianie, jednak amplitudy dolne osiągnęły mniejsze i bardziej ustabilizowane wartości. Co więcej, moment, w którym pojawiły się regularne wahania wartości uchybu nie został zmieniony i dalej przypadał na początkową fazę jazdy robota.



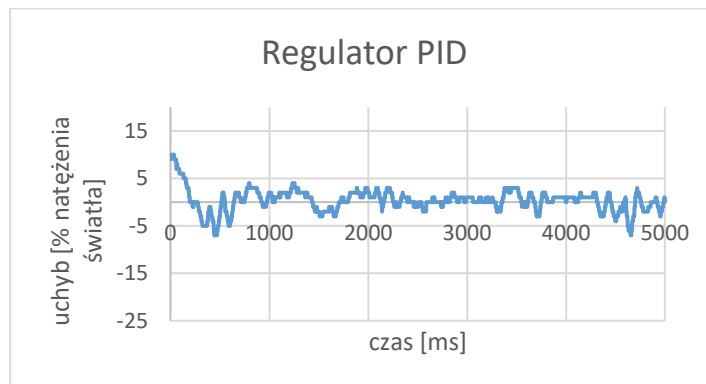
Rys. 4. Przebieg uchybu zarejestrowany dla regulatora P

Rys. 4. Przedstawia przebieg uchybu, który został osiągnięty przy regulacji typu P, przyjmując połowę wartości nastawy kryterium regulacji. Wpłynęło to na widoczne zmniejszenie się różnicy amplitud oraz częstotliwości regularnych oscylacji. Dodatkowo, czas pojawienia się regularnych oscylacji wydłużył się w stosunku do przyjętego kryterium regulacji oraz prostego sterownika do około 500 ms.



Rys. 5. Przebieg uchybu zarejestrowany dla regulatora PI

Dla regulatora PI, którego przebieg uchybu obrazuje Rys. 5., nastąpiło ponad dwukrotne zmniejszenie częstotliwości obserwowanych regularnych oscylacji w stosunku do algorytmu P. Dodanie członu całkującego wpłynęło dodatkowo na znaczne zwiększenie czasu, po którym drgania ustabilizowały się.



Rys. 6. Przebieg uchybu zarejestrowany dla regulatora PID

Przebieg uchybu ostatniego z rozpatrywanych algorytmów przedstawiony został na Rys. 6. W regulatorze PID zanikły wyraźne i pełne oscylacje przebiegu uchybu na rzecz nieregularnych drgań o małych różnicach amplitud.

6. ANALIZA WYNIKÓW I WNIOSKI

Najmniejsze wartości stałej czasowej zarejestrowane zostały dla prostego sterownika oraz kryterium regulacji (74 i 76 ms) (tab. 1). Można więc stwierdzić, że najszybciej dążą one do osiągnięcia stanu ustalonego. Samo wprowadzenie członu proporcjonalnego nie wpłynęło więc w większym stopniu na wartość stałej czasowej. Dopiero zmniejszenie wartości wzmocnienia tego członu o połowę, osiągając w ten sposób regulator P, pozwoliło na zwiększenie wartości stałej czasowej do 95 ms. Wprowadzenie członu całkującego do układu spowodowało osiągnięcie przez niego największej wartości stałej czasowej – 236 ms (tab. 1). Można więc powiedzieć, że regulator PI najwolniej dąży do osiągnięcia stanu ustalonego. Dołączenie do niego natomiast członu różniczkującego spowodowało zmniejszenie wartości stałej czasowej do 166 ms (tab. 1) podobnie jak u [5].

Największe wartości różnicy amplitud osiągnięte zostały w przypadku, gdy jazdę robota regulował algorytm przyjęty za kryterium regulacji. Wówczas pokonywał on największą odległość między maksymalnymi wychyleniami, co ma odzwierciedlenie w 25,9649 % różnicy natężenia światła. Blisko połowę mniejszą wartość – 12,9474 % osiągnął prosty sterownik. Zmniejszenie o połowę wzmocnienia członu proporcjonalnego w stosunku kryterium regulacji pozwoliło zredukować różnicę amplitud do 8,5746 % natężenia światła. Wprowadzenie członu całkującego I do algorytmu P nieznacznie wpłynęło na zwiększenie się tej różnicy do 8,9766 % podobnie jak u [4]. Natomiast zastosowanie algorytmu PID spowodowało brak zarejestrowanych regularnych oscylacji. Jak jednak można zaobserwować na wykresie rys. 5 osiągnięte amplitudy są znacznie mniejsze niż w pozostałych przypadkach. Można więc stwierdzić, że robot w tym przypadku odjeżdżał na mniejsze odległości od krawędzi.

W przypadku analizy okresu oraz częstotliwości regularnych oscylacji można stwierdzić, że najczęściej występowały one w przypadku prostego sterownika (częstotliwość 8,8596 Hz oraz okres 0.01138 s) podobnie jak u [3,5]. Wprowadzenie członu proporcjonalnego w postaci kryterium regulacji pozwoliło na zredukowanie częstotliwości, a tym samym zwiększenie czasu trwania oscylacji (częstotliwość 8,2681 Hz oraz okres 0.1214 s). Zastosowanie regulatora P spowodowało spadek częstotliwości do wartości 2,3323 Hz oraz wzrost czasu ich

trwania do 0.4288 s. Najmniejszą częstotliwością drgań regularnych oscylacji charakteryzował się algorytm PI osiągając 0,9403 Hz, co miało przełożenie na 1,0635 s czasu trwania jednej pełnej oscylacji. Regulator PID natomiast nie wykazał tendencji do regularnych drgań.

Dobór nastaw dla regulatora P, PI i PID stosując metodę Zieglera-Nicholsa skutkuje każdorazowo implementacją innych wartości wzmocnień K_p , K_i , i K_d , a tym samym uzyskaniem różnych wartości przebiegu uchybu. Przeprowadzone badania pozwoliły na przetestowanie funkcjonowania zaimplementowanych programowo algorytmów dla różnych wariantów regulatora, a wyniki posłużą jako źródło odniesienia dla prac badawczych oraz ćwiczeń laboratoryjnych z wykorzystaniem zaprojektowanej biomechatronicznej platformy LEGO.

LITERATURA

- [1] Gawrysiak M.: Mechatronika i projektowanie mechatroniczne. Dział Wydawnictw i Poligrafii Politechniki Białostockiej, Białystok 1997.
- [2] Kwiatkowski W.: Wprowadzenie do automatyki. Bell Studio, Warszawa 2005.
- [3] P. Lindstedt, Praktyczna regulacja maszyn i jej teoretyczne podstawy, Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warszawa 2010.
- [4] T. Kawka, Regulacja w oparciu o parametry PID - cz.2, Biuletyn Akademia Automatyki nr. 5, 2008.
- [5] S. Paszkiel, M. Sikora, Zastosowanie regulatora PID w napędzie autonomicznego robota mobilnego, Pomiary Automatyka Robotyka, R. 19, nr. 2, 2015.

EXAMPLE OF REGULATOR IMPLEMENTATION P, PI AND PID IN THE CONTROL OF BIOMECHATRONIC LEGO PLATFORM

Abstract: The problem of the steering and the control is very important part of the engineer's knowledge. Testing allowed to compare the parameters of the control algorithms P, PI and PID for the quality of steering of a mobile robot tracking the edge of a groundwork. Additionally the analysis allowed the estimation of the influence of each parts on waveforms errors and on making conclusions and reference them to the literature.