

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
im. Stanisława Staszica w Krakowie



Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii
Biomedycznej
Katedra Automatyki i Inżynierii Biomedycznej

Autoreferat rozprawy doktorskiej

**Problemy sterowania robotami kroczącymi –
generatory chodu hexapoda**

mgr inż. Marcin Piątek

Promotor: dr hab. inż. Andrzej Turnau, prof. AGH

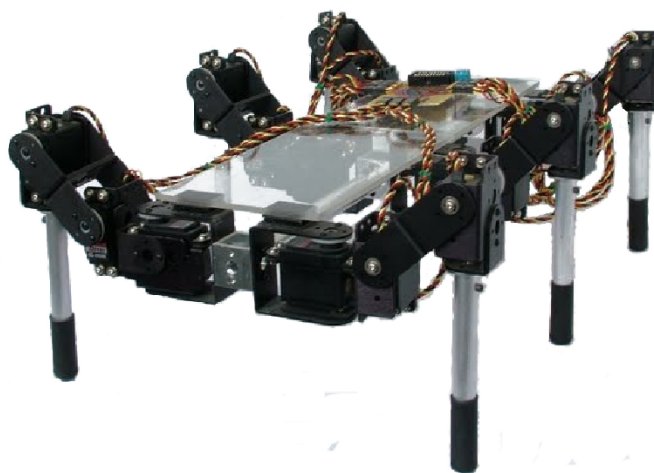
Kraków 2012

1. Wprowadzenie i zakres pracy

Roboty kroczące wśród mobilnych stanowią szczególną grupę. Naśladują sposób poruszania się człowieka i zwierząt. Większa ilość nóg u zwierzęcia czy robota to lepsza równowaga czyli stabilność statyczna i dynamiczna. Nieprzypadkowo w pracy wybór pada na sześcionoga. Taki robot pokonuje przeszkody, kroczy stabilnie po schodach, nie przewraca się po zatrzymaniu, korzysta z kilku rodzajów chodu. W tym celu robot wymaga wyposażenia go w Główny Generator Wzorców (ang. Central Pattern Generator) i w rozbudowany układ sterowania tym generatorem. Za ruch każdej z nóg robota odpowiadają trzy serwomechanizmy. Panowanie nad ruchem całego robota jest złożonym zadaniem równoczesnego sterowania osiemnastoma serwomechanizmami w czasie rzeczywistym.

Celem głównym rozprawy doktorskiej jest zbudowanie i przebadanie generatora chodu hexapoda. Po pierwsze, chodzi o wszelkie możliwe praktycznie realizowalne rodzaje chodu, zarówno te, które obserwujemy w przyrodzie wśród sześcionogów jak i takie, dla których nie ma wzorców biologicznych. Po drugie przedmiotem zainteresowania jest nie tylko pojedynczy rodzaj chodu, ale przede wszystkim płynna zmiana poruszania się przy przejściu z jednego rodzaju chodu w drugi. W pracy, tym zagadnieniom poświęca się największy wysiłek eksperymentalno-badawczy. Poczynając od oscylatorów liniowych przez nieliniowe skupiono się ostatecznie na oscylatorach Toda-Rayleigha.

Celem pobocznym pracy jest konstrukcja hexapoda i innych niezbędnych narzędzi w postaci stanowiska uruchomieniowego programowo-sprzętowego. Realizacja celu pobocznego pozwala na weryfikację poprawności projektowanych algorytmów i analizę jakościową uzyskanych rozwiązań. Rysunek 1 przedstawia stanowisko robota wykorzystane podczas eksperymentów.



Rysunek 1: Robot kroczący

2. Tezy pracy

Sformułowano następujące tezy rozprawy doktorskiej.

1. Obserwacja działania wzorców biologicznych jest najbardziej naturalnym sposobem budowy nieznanymi algorytmów ruchu gwarantującym zadowalający efekt kroczenia, a nawet w wielu przypadkach najlepszym z możliwych.
2. Zastosowanie zbiorów oscylatorów nieliniowych w modelu CPG – Central Pattern Generator pozwala na osiągnięcie płynnych przejść pomiędzy trybami chodu.
3. Zastosowanie oscylatorów nieliniowych umożliwia efektywną realizację CPG w układzie mikroprocesorowym.

W celu weryfikacji powyższych tez skonstruowano stanowisko sześcionożnego robota kroczącego i przygotowano trzy algorytmy sterujące kroczeniem. Pierwszy algorytm – oparty na oscylatorach liniowych nie przyniósł spodziewanych efektów. Drugi algorytm oparto na równaniach oscylatorów nieliniowych Rayleigha i Van der Pola. Trzeci algorytm oparto na układzie oscylatorów nazywanych kratą Toda-Rayleigha. Wyniki przeprowadzonych badań dla algorytmu drugiego i trzeciego potwierdziły słuszność postawionych tez. Potwierdziła się także teza, że oscylatory nieliniowe mogą być z powodzeniem zaimplementowane mikroprocesorowo jako program generatora chodu CPG.

3. Przedmiot pracy

W rozdziale drugim rozprawy doktorskiej zdefiniowano podstawowe pojęcia związane z chodem zwierząt i owadów. Przedstawiono wzorce biologiczne chodów owadów sześcionożnych. Chody biologiczne inspirowały autora do zaprojektowania chodu robota kroczącego.

Trzeci rozdział pracy przedstawia budowę stanowiska badawczego przygotowanego w celu weryfikacji tez pracy i przyszłych badań. Stanowisko składa się z mechanicznej konstrukcji robota sześcionożnego i mikroprocesorowego systemu sterującego w czasie rzeczywistym z odpowiednim oprogramowaniem. Rozdział ten przedstawia także stosowaną w pracy metodykę badań naukowych z wykorzystaniem modeli symulacyjnych.

W rozdziale czwartym opisano proces powstawania i budowę modelu matematycznego stanowiska robota opracowanego w pakiecie MATLAB & Simulink. Model pozwolił na zastosowanie techniki szybkiego prototypowania podczas syntezy algorytmów sterujących, a także ułatwił ocenę jakości uzyskanych wyników eksperymentalnych. Przygotowany model matematyczny składa się z następujących elementów:

- zidentyfikowanego modelu serwomechanizmu,
- obserwatora stanu układu serwomechanizmu,
- zadania prostego kinematyki położenia,
- zadania prostego kinematyki prędkości,
- odwrotnego zadania kinematyki.

W kolejnych rozdziałach pracy przedstawiono algorytmy sterujące chodem robota sześciopodporowego opracowane przez autora. Stanowisko robota kroczonego domyślnie ustawione jest w pozycji bazowej (patrz rysunek 1). Podczas chodu końcówki nóg robota nigdy nie osiągają położenia, w których znajdują się w pozycji bazowej, stąd wynika potrzeba wprowadzenia fazy rozruchu.

Proces sterowania chodem robota podzielono na trzy fazy:

- fazę rozruchu – czyli etap pośredni pomiędzy bazową pozycją robota, a chodem właściwym,
- chód właściwy – czyli realizację trajektorii końcówki nogi charakterystycznej dla danego rodzaju chodu,
- fazę zatrzymania – czyli etap pośredni pomiędzy chodem właściwym, a pozycją bazową robota.

Podczas prac nad algorytmami autor zwracał szczególną uwagę na to, by każde z prezentowanych rozwiązań generowało poprawne sygnały sterujące dla wszystkich sześciu nóg z uwzględnieniem wszystkich wymienionych faz chodu.

Ruch końcówki nogi podczas chodu właściwego przemierza trajektorię przypominającą elipsę. Różne rodzaje chodu uzyskuje się dzięki odpowiedniej synchronizacji ruchu nóg w czasie. Naturalnym, więc wydaje się wykorzystanie równania oscylatora lub oscylatorów do realizacji chodu robota.

W rozdziale piątym przedstawiono pierwszy z zaproponowanych algorytmów sterujących chodem robota sześciopodporowego. Jest to algorytm oparty na oscylatorach liniowych. Na etapie symulacji autorowi udało się uzyskać poprawne wyniki sterowania dla chodu trójpodporowego we wszystkich trzech fazach chodu. Niestety algorytm okazał się bardzo trudny do realizacji w układzie mikroprocesorowym, więc zrezygnowano z dalszych prac nad jego rozwojem.

W rozdziale szóstym zaprezentowano opracowany algorytm oparty na oscylatorach nieliniowych. Badano dwa niezależne przypadki:

- sterowanie z wykorzystaniem oscylatorów Rayleigha,
- sterowanie z wykorzystaniem oscylatorów Van der Pola.

W obydwu przypadkach uzyskano poprawny chód trójpodporowy z wszystkimi fazami chodu. Algorytm jest poprawny, o niewielkiej złożoności obliczeniowej i nadaje się do realizacji w układach mikroprocesorowych.

W rozdziale siódmym opisano algorytm sterujący oparty na kracie Toda-Rayleigha. Złożona dynamika tego układu pozwala na realizację trzech rodzajów chodu:

- chodu pięciopodporowego,
- chodu czteropodporowego,
- chodu trójpodporowego.

Autor uzyskał poprawne wyniki sterowania dla wszystkich trzech rodzajów chodu zarówno dla chodu właściwego, jak i fazy rozruchu i zatrzymania. Co więcej autor uzyskał fazy przejścia, czyli fazy, w których sygnały sterujące realizują płynne przejście z jednego rodzaju chodu w inny.

Proponowane algorytmy sterujące chodem robota sześcionożnego zostały zweryfikowane za pomocą symulacji, a następnie przy pomocy eksperymentu z rzeczywistym stanowiskiem robota kroczącego. Wyniki tych eksperymentów zostały zarejestrowane w postaci filmów dostępnych publicznie na stronie internetowej pod adresem:

<https://www.youtube.com/channel/UCeJVPT-RBaS3TphwwmFMsZg/videos?flow=grid&view=0>

4. Podsumowanie

Główny cel pracy osiągnięto. Zbudowano generatory chodu hexapoda w postaci oscylatorów liniowych i nieliniowych. Szczególną użyteczność ma krata Toda-Rayleigha z uwagi na płynną zmianę przy przełączaniu między różnymi rodzajami chodów. Tym samym zrealizowano tezę, że zastosowanie zbiorów oscylatorów nieliniowych w modelu CPG – Central Pattern Generator pozwala na osiągnięcie płynnych przejść pomiędzy trybami chodu.

Cel główny jest rozumiany szeroko. Obejmuje nie tylko symulacje generatorów chodu, ale przede wszystkim ich realizację. Robot porusza się wykorzystując wszystkie założone tryby chodu. Ruch ilustrują klatki filmu przedstawione w pracy. Generatorem chodu jest program nazwany CPG (ang. Central Pattern Generator) zapisany w układzie mikroprocesorowym. W ten sposób wykazana została teza, że zastosowanie oscylatorów nieliniowych umożliwia efektywną realizację CPG w układzie mikroprocesorowym.

Kolejna teza pracy brzmi: obserwacja działania wzorców biologicznych jest najbardziej naturalnym sposobem budowy nieznanymi algorytmów ruchu gwarantującym zadowalający efekt kroczenia, a nawet w wielu przypadkach najlepszym z możliwych. Zrealizowane algo-

rytmny były wzorowane na chodach stosowanych w przyrodzie przez owady sześćcionożne. Autor nie znalazł lepszych wzorców chodu niż biologiczne i będąc przekonany o słuszności teorii ewolucji uważa, że natura jest źródłem najlepszych wzorców.

W pracy zrealizowano kilka celów pobocznych. Należy podkreślić, że zbudowano kompletne środowisko programowo-sprzętowe służące do badań i eksperymentów symulacyjnych i rzeczywistych ruchu hexpoda. Przede wszystkim uporano się ze złożonością zadania sterowania, które polega na równoczesnym zbieraniu chwilowych położeń członów robota i wysyłaniu sterowań do serwomechanizmów. Powodzeniem zakończyła się nie tylko generacja stosownego chodu i wymuszenie właściwego kroczenia robota, ale powiązanie rzeczywistego ruchu z modelem symulacyjnym dynamiki robota i identyfikacją tego modelu.

Autor planuje dalsze badania nad konstrukcją w pełni autonomicznego robota sześćcionożnego, a przede wszystkim intryguje go niezwykle ciekawe zagadnienie pokonywania schodów i nim zajmie się w pierwszej kolejności. Niespełnionym dotychczas zamierzeniem jest zamiana podanych w pracy hipotez o stabilności, dokładniej ograniczoności trajektorii przy przechodzeniu z jednego cyklu granicznego w drugi cykl, w twierdzenia. Jest to zadanie istotne, otwarte dla przyszłych badań.