

Maciej PETKO

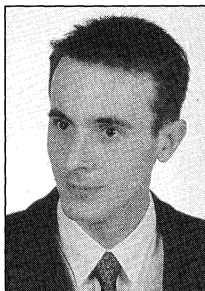
AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA, WYDZIAŁ INŻYNIERII MECHANICZNEJ I ROBOTYKI, KATEDRA ROBOTYKI I DYNAMIKI MASZYN

Mechatroniczne podejście do projektowania robotów równoległych

dr inż. Maciej Petko

Adiunkt w Katedrze Robotyki i Dynamiki Maszyn Akademii Górniczo-Hutniczej. Ukończył studia na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Elektroniki w 1991 r. W 1999 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie Automatyka i Robotyka, ze specjalnością Mechatronika. Jego zainteresowania skupiają się na mechatronice, robotyce, zagadnieniach prototypowania i implementacji algorytmów przetwarzania sygnałów, głównie w sterowaniu i diagnostyce technicznej.

petko@agh.edu.pl



Streszczenie

W artykule opisano zastosowanie podejścia mechatronicznego w projektowaniu robotów równoległych. Przedstawiono metodę postępowania w przypadku projektowania tego typu konstrukcji oraz wskazano na jej specyficzne cechy. Opisano przykładowe zastosowanie tego podejścia podczas projektowania trójramiennego robota równoległego, którego prototyp wykonano w Katedrze Robotyki i Dynamiki Maszyn AGH.

Abstract

In the paper, a mechatronic approach toward parallel robots design is described. A methodology of dealing with such a construction is shown and its peculiar features are indicated. A case study, based on this approach is described: design of three-limb parallel robot, which prototype has been constructed in Department of Robotics and Machine Dynamics, AGH University of Science and Technology.

1. Wstęp

Ostatnio daje się zaobserwować rozwój robotów o kinematyce równoległej stosowanych w automatyzacji procesów przemysłowych [1] jak i wspomagających procesy technologiczne [2]. Ich cechą charakterystyczną jest to, że każdy łańcuch kinematyczny działa bezpośrednio na platformę (chwytnak), a ramiona tworzą zamknięty łańcuch kinematyczny. Taka konstrukcja wyróżnia się przede wszystkim zwiększoną sztywnością. Z drugiej strony kinematyka zamknięta stwarza wiele problemów, zarówno w procesie projektowania konstrukcji jak i sterowania [3]. Często napędy stanowią element konstrukcji nośnych, a do takich zadań na ogół nie są przewidziane przez producentów. Poza tym niemożliwe jest rozpatrywanie każdego łańcucha kinematycznego osobno; należy rozpatrywać je łącznie zarówno w procesie projektowania konstrukcji jak i sterowania. Równania kinematyki prostej są skomplikowane; dodatkowo niewielkie modyfikacje konstrukcji robota silnie wpływają na postaci tych równań.

Wszystkie te cechy powodują konieczność jednoczesnego uwzględnienia wszystkich aspektów konstrukcji: mechanicznych, elektrycznych, elektronicznych, informatycznych i teorii sterowania w sposób łączny i zastosowanie metod projektowania mechatronicznego [4, 5, 6]. Praktycznie nie da się rozdzielić na żaden z etapów projektu poszczególnych dziedzin. Są na tyle ze sobą powiązane, że wymagana jest ich pełna integracja w trakcie całego procesu.

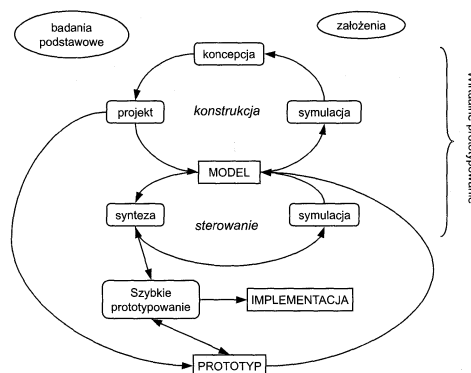
W Katedrze Robotyki i Dynamiki Maszyn opracowano procedurę projektowania robotów równoległych i zgodnie z nią został wykonany prototyp robota równoległego o trzech stopniach swobody.

2. Procedura mechatronicznego projektowania robotów równoległych

Opracowana procedura jest przedstawiona schematycznie na rys. 1. Wstępnym etapem projektu jest specyfikacja założeń oraz badania podstawowe, obejmujące analizę istniejących konstrukcji stosowa-

nych do podobnych zadań, zarówno pod kątem teoretycznym jak i praktycznym. Wynikiem takiej analizy może być albo wstępne zaakceptowanie istniejącego rozwiązania jako podstawy do dalszych prac, jeżeli spełnia ono wymagania projektu, albo wykaz tych jego "słabych punktów", które decydują o braku możliwości spełnienia założeń. W takim wypadku należy przeanalizować dostępne metody i zaproponować korekty, albo sformułować wytyczne dla stworzenia konstrukcji oryginalnej. W wyniku tych działań powinna powstać koncepcja robota, obejmująca kinematykę oraz podstawowe rozwiązania konstrukcji mechanicznej i sterowania.

Następnym etapem procedury jest wirtualne prototypowanie, przeprowadzane iteracyjnie w dwóch pętlach, aż do spełnienia założeń. W pierwszej (górnej) pętli projektowana i modelowana jest część konstrukcyjna robota, a w drugiej (dolnej) odbywa się synteza sterowania. Stopień spełnienia założeń jest sprawdzany poprzez symulację modelu robota, przy wymuszaniu w układzie otwartym, jak też ze sterownikiem w pętli sprzężenia zwrotnego. W miarę postępu prac model staje się coraz bardziej szczegółowy, ale od samego początku obejmuje wszystkie elementy robota: mechanikę (kinematyka i dynamika), napędy, czujniki, sterowanie oraz oddziaływanie z otoczeniem (przedmiot manipulowany albo obrabiany, sposób mocowania robota). Jest to model interdyscyplinarny, są w nim reprezentowane i integrowane wszystkie dziedziny odgrywające rolę w pracy robota. Ze względu na mnogość i złożoność zjawisk o różnej naturze fizycznej występujących w robotach, często trzeba tworzyć wiele modeli o różnym stopniu szczegółowości reprezentacji poszczególnych zjawisk, przeznaczonych do różnych celów. Na przykład często podczas syntezy sterowania opartego na modelu, preferowane są modele prostsze, mniej dokładnie oddające te cechy manipulatora, które mają ograniczony wpływ na jakość projektowanego sterownika.



Rys. 1 Procedura mechatronicznego projektowania robotów równoległych

Po osiągnięciu zgodności wirtualnego robota z założeniami można przystąpić do wykonania prototypu fizycznego. W pierwszej kolejności jest on wykorzystywany w eksperymencie identyfikacyjnym do dostrojenia modelu i, co za tym idzie, algorytmu sterowania. W tym miejscu może się ujawnić konieczność modyfikacji konstrukcji robota, jednakże jest to przypadek skrajny, który przy poprawnym i odpowiednio dokładnym modelowaniu na poprzednim etapie nie powinien wystąpić. Prototyp fizyczny jest wykorzystywany również przy szybkim prototypowaniu algorytmu sterowania. Etap ten ma na celu sprawdzenie efektywności algorytmu podczas pracy w czasie rzeczywistym i precyzyjne dostrojenie jego parametrów. Gdy osiągi sterowania staną się satysfakcjonujące, można przystąpić do implementacji algorytmu sterowania na docelowej platformie sprzętowej.

3. Trójramienny robot równoległy

W Katedrze Robotyki i Dynamiki Maszyn opracowano prototyp robota równoległego trzyramiennego o trzech stopniach swobody z wykorzystaniem opisaną powyżej procedury projektowania mechatronicznego. Założono, że jego konstrukcja powinna pozwalać zarówno na prace związane z montażem i paletyzacją jak i na zastosowanie go przy obróbce materiałów jako konstrukcji wsporczej obrabiarki.

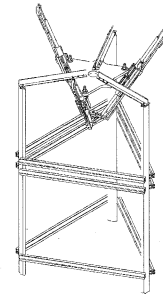
W pierwszej kolejności ustalono, że robot będzie posiadał trzy napędy liniowe działające bezpośrednio na platformę (narzędzie/chwytek) poruszającą się w trzech płaszczyznach x , y , z , a chwytak będzie skierowany prostopadłe do podłoża. Prostopadłość chwytaka do podłoża zapewnia oryginalna konstrukcja przegubu łączącego trzy napędy ze sobą oraz sposób mocowania napędów do podłoża. Wybranie takiej koncepcji pozwala uniknąć stosowania równoległoboków, a co za tym idzie daje możliwość oddziaływania większą siłą na przedmiot chwytany/obrabiany przy stosunkowo dużej przestrzeni roboczej, jak na roboty równoległe. Jest to więc konstrukcja pośrednia pomiędzy rozwiązaniami opartymi na platformie Stewarta-Gougha i robota Delta.

Według opracowanej koncepcji kinematycznej stworzono model pozwalający sprawdzić poprawność kinematyki oraz zweryfikować ją z przyjętymi założeniami. W kolejnych krokach model był rozbudowywany poprzez uwzględnianie coraz to większej ilości szczegółów konstrukcyjnych. Korzystne jest, gdy istnieje środowisko pozwalające na automatyczne powiązanie wszystkich użytych programów w procesie projektowania. Projekt manipulatora wykonany w środowisku CAD powinien być automatycznie przeniesiony do aplikacji symulującej dynamikę manipulatora, gdzie ustala się więzy oraz połączenia ruchome, wykorzystywane są dane o rodzaju materiałów oraz, w przypadku nietypowych elementów (np. napędy), o ich masach wg katalogu. W rezultacie otrzymuje się model kinematyczny i dynamiczny manipulatora. Dokładność takiego modelu zależy od precyzji tworzonych brył. W praktyce do coraz dokładniejszego modelu dochodzi się iteracyjnie uwzględniając coraz to więcej szczegółów. Posiadając tak utworzony model można projektować sterownik. Ponieważ z reguły aplikacja symulująca dynamikę manipulatora nie pozwala na równoczesną symulację sterowania to musi mieć ona możliwość wymiany informacji z innymi programami. W rezultacie tworzone jest środowisko pozwalające na testowanie wszystkich niezbędnych parametrów robota. Dodatkowo takie środowisko pozwala na stworzenie rysunków i animacji pracy robota oraz gromadzenie w formie czytelnej wykresów zmian interesujących parametrów projektowanej konstrukcji. Z jednej strony pozwala to wzbogacić dokumentację techniczną, z drugiej ma istotne znaczenie w celach marketingowych. Przed wykonaniem prototypu klient może się w przystępny i obrazowy sposób zapoznać z projektowaną konstrukcją robota równoległego. Podczas projektowania robota trójramiennego wykorzystano m.in. programy AutoCAD, Visual Nastran, Matlab i Simulink.

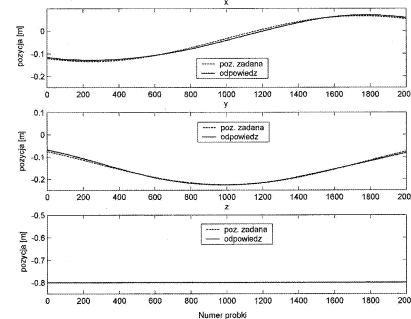
Na rysunku 2 przedstawiono model robota równoległego wykonanego w Katedrze Robotyki i Dynamiki Maszyn. Robot składa się z trzech ramion napędzanych przez liniowe silniki elektryczne. Napędy działają bezpośrednio na specjalnie wykonany przegub, do którego przymocowany jest chwytak. Odpowiednie prowadzenie części suwliwej napędu liniowego zapewniają prowadnice o dużej wytrzymałości i sztywności. Przestrzeń robocza robota zawarta jest w walcu o średnicy 450mm i wysokości 350mm. Siły, z jakimi chwytak może działać wahają się w granicach 50N. Całość konstrukcji robota podwieszona jest do płyty podpartej na trzech nogach.

Podstawowym zadaniem projektowanego robota jest realizacja trajektorii w przestrzeni kartezjańskiej. Jest to cecha niezbędna przy pracach montażowych i paletyzacji. Dodatkowo sterownik powinien mieć możliwość kontroli i limitowania siły, z jaką działa chwytak na przedmiot obrabiany. Efekt ten uzyskuje się poprzez kontrolę wartości sił każdego z napędów.

Przykład realizacji trajektorii przez wirtualny sterownik przedstawiono na rys. 3. Zadaniem robota było przemieszczanie chwytaka wzdłuż półokręgu równoległego do płaszczyzny x , y .



Rys 2. Widok robota równoległego zaprojektowanego i wykonanego w Katedrze Robotyki i Dynamiki Maszyn.



Rys 3. Realizacja trajektorii w kształcie półokręgu przez wirtualnego robota - przestrzeń kartezjańska.

4. Wnioski

Przedstawiony sposób postępowania w przypadku projektowania robotów równoległych charakteryzuje się spójnym, interdyscyplinarnym podejściem do problemu, integrując mechanikę, elektronikę, informatykę i teorię sterowania. Zastosowane oprogramowanie pozwoliło na wykonanie projektu, modelowanie i symulację w jednolitym środowisku współpracujących ze sobą programów. Głównymi zaletami zaproponowanej metody są:

- skrócenie czasu realizacji i obniżenie kosztów projektu,
- możliwość wstępnej weryfikacji na poszczególnych etapach pracy,
- duża elastyczność, pozwalająca na zmiany koncepcji w trakcie pracy niskim kosztem,
- ograniczenie potrzeby przeprowadzania drogich i czasochłonnych eksperymentów,
- ograniczenie ilości budowanych prototypów fizycznych.

Metodologia ta została zastosowana podczas projektowania równoległego robota trójramiennego o trzech stopniach swobody. Otrzymane do tej pory rezultaty są bardzo zachęcające i potwierdzają użyteczność zaproponowanego podejścia do projektowania robotów równoległych. Równocześnie praktyka wykazała, że ze względu na złożoność konstrukcji równoległych oraz znaczny wpływ szczegółów konstrukcyjnych na kinematykę i sterowanie, tylko użycie metody projektowania mechatronicznego doprowadzić może do opracowania robota spełniającego wymagania.

Bibliografia

- [1] Pierrot F., Reynaud C., Fournier A., DELTA: A Simple and Efficient Parallel Robot, *Robotica*, vol. 8, pp. 105-109, 1990
- [2] Koch T., Kinematyki równoległe w budowie maszyn wytwórczych, AUTOMATICON 2002: Materiały konferencyjne, Wyd. PIAP, Warszawa, 2002
- [3] Lung-Wen Tai, Robot analysis, John Wiley & Sons, New York, 1999
- [4] Auslander D.M., Kempf C.J., Mechatronics, Prentice Hall, Upper Saddle River, 1996
- [5] Uhl T., Komputerowe wspomaganie w projektowaniu mechatronicznym. W: Projektowanie Mechatroniczne, Wydawnictwo Katedry Robotyki i Dynamiki Maszyn, Kraków, 2002
- [6] Uhl T., Bojko T., Podstawy projektowania mechatronicznego. W: Wybrane problemy projektowania mechatronicznego, Wydawnictwo Katedry Robotyki i Dynamiki Maszyn, Kraków, 1999

Title: Mechatronic design of parallel robots

Artykuł recenzowany