

Ryszard DINDORF, Paweł ŁASKI

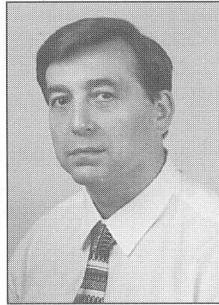
POLITECHNIKA ŚWIĘTOKRZYSKA, WYDZIAŁ MECHATRONIKI I BUDOWY MASZYN, ZAKŁAD MECHATRONIKI

Badania modelowe pneumatycznego manipulatora równoległego

Dr hab. inż. Ryszard DINDORF

jest profesorem i kierownikiem Zakładu Mechatroniki na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. Specjalizuje się w napędach i sterowaniach hydraulicznych i pneumatycznych stosowanych w automatyzacji i robotyzacji produkcji. Jest wykonawcą wielu prac badawczych i autorem licznych publikacji (książek, monografii, podręczników, skryptów, artykułów i referatów) w zakresie modelowania i symulacji, analizy i syntezy, badania i diagnostyki napędów hydraulicznych i pneumatycznych. Jego zainteresowania naukowe koncentrują się obecnie na systemach mechatronicznych w zwłaszcza w zakresie integracji układów hydraulicznych i pneumatycznych z elektroniką i informatyką oraz zastosowaniem sztucznej inteligencji w układach hydraulicznych i pneumatycznych.

e-mail: dindorf@tu.kielce.pl



Mgr inż. Paweł ŁASKI

ukończył studia w trybie indywidualnym na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. Obecnie jest asystentem w Zakładzie Mechatroniki PŚk. Główne jego zainteresowania skupiają się na wieloosiowych napędach pneumatycznych i ich zastosowaniu w manipulatorach równoległych. Jest autorem i współautorem 25 publikacji prezentowanych w czasopismach i na konferencjach krajowych i zagranicznych. Obecnie zajmuje się zagadnieniami projektowania i modelowania komputerowego oraz sterowania wieloosiowych serwonapędów pneumatycznych.

e-mail: laskip@eden.tu.kielce.pl



Streszczenie

Do badań symulacyjnych zbudowano w programie SolidWorks model bryłowy pneumatycznego manipulatora równoległego typu tripod. Badania symulacyjne ukierunkowane zostały na wyznaczenie przemieszczenia, prędkości i przyspieszenia ruchomej platformy manipulatora równoległego o strukturze 3-UPRR. Program CAD ma ograniczone możliwości zastosowania w modelowaniu kinematyki i dynamiki manipulatorów równoległych, dlatego dalsze badania symulacyjne przeprowadzono na modelu zastępczym po zastosowaniu biblioteki SimMechanics pakietu Matlab-Simulink.

Abstract

For simulation purposes a solid model of pneumatic tripod parallel manipulator in SolidWorks was constructed. The aim of the simulation was to determine position, velocity and acceleration of the moving platform of a 3-UPRR translational parallel manipulator. Since the application of CAD in modeling kinematics and dynamics of parallel manipulators is restricted further simulation was carried out by means of SimMechanics library and Matlab-Simulink package. In SimMechanics library all the solid elements of the manipulator were described by substitute geometry by means of ellipsoids and assigned both masses and inertial tensors. This manipulator consists of three identical kinematic chains (pneumatic axes) connecting the base and the moving platform. The center point of the moving platform is a resultant of relocation of three pneumatic rodless cylinders independently controlled by servo-valves.

Słowa kluczowe: manipulator elektropneumatyczny, kinematyka równoległa, manipulator tripod, przesuwny manipulator równoległy

Keywords: electro-pneumatic manipulator, parallel kinematic, tripod manipulator, translational parallel manipulator

1. Wprowadzenie

Rozwój automatyzacji i robotyzacji produkcji zwiększa zainteresowanie napędami pneumatycznymi w manipulatorach o strukturze kinematycznej szeregowej i równoległej. Wieloosiowe manipulatory pneumatyczne o kinematyce szeregowej, charakteryzujące się niekorzystnym rozkładem naprężeń i odkształceń, zastępuje się równoległymi strukturami kinematycznymi z liniowymi napędami pneumatycznymi [1,2]. Równoległe struktury kinematyczne definiuje się jako połączenie platformy roboczej z podstawą za pomocą członów napędowych nazywanych kończynami, które tworzą zamknięte łańcuchy kinematyczne. Taki układ kinematyczny zapewnia dużą sztywność konstrukcji i napędu oraz wysoką dokładność pozycjonowania manipulatorów równoległych, a w przypadku manipulatorów pneumatycznych także dużą szybkość działania [3]. W latach sześćdziesiątych powstała platforma Stewarda (hexpod), składająca się jednakowych łańcuchów kinematycznych połączonych z podstawą i platformą roboczą przegubami. Na bazie platformy Stewarda powstało wiele struktur kinematycznych równoległych

(Hexapod, Tripod) oraz szeregowo-równoległych tzw. hybrydowych (Tricept). Nazwy struktur kinematycznych równoległych wynikają z liczby stopni swobody oraz rodzaju ich połączeń [4].

2. Model bryłowy manipulatora pneumatycznego

Zbudowano prototyp pneumatycznego manipulatora równoległego typu tripod o trzech stopniach swobody, który składa się z trzech pojedynczych osi serwo-pneumatycznych złożonych z beztłoczyskowych siłowników pneumatycznych typu DGPIL-25-600 z magnetystrycyjnym bezstykowym pomiarem położenia Temposonics, serwozaworów proporcjonalnych 5/3 typu MPYE-5-1/8-HF-010-B, interfejsów sieci CAN-BUS i sterownika SPC 200. Widok prototypu manipulatora pneumatycznego przedstawiono na rys.1. Ponieważ manipulator ten zbudowany został z trzech pojedynczych liniowych napędów serwo-pneumatycznych, dlatego należy on do przesuwnych manipulatorów równoległych typu TPM (ang. Translational Parallel Manipulators). Zgodnie z ogólnie przyjętą systematyką kinematyki równoległej prototyp badanego manipulatora pneumatycznego ma strukturę kinematyczną 3-UPRR, ponieważ każdy z trzech zamkniętych łańcuchów kinematycznych składa się z szeregowego połączenia: przegubu kardana (U), połączenia pryzmatycznego (P) utworzonego przez beztłoczyskowy siłownik pneumatyczny oraz dwóch przegubów obrotowych R powstałych z rozsunęcia uniwersalnego kardana. Suwaki beztłoczyskowych siłowników pneumatyczne połączono z podstawą przegubami kardana U, a korpusy tych siłowników połączono z ruchomą platformą roboczą dwoma przegubami obrotowymi RR. Taki układ kinematyczny zapewnia równoległe położenie platformy roboczej w stosunku do podstawy podczas ruchu manipulatora. Symboliczny schemat struktury kinematycznej analizowanego pneumatycznego manipulatora równoległego przedstawiono na rys.2. W ramach prowadzonych badań projektowych i symulacyjnych w programie SolidWorks wykonano model bryłowy 3D pneumatycznego manipulatora równoległego o kinematyce 3-UPRR, który przedstawiono na rys.3. Model bryłowy umożliwił wyznaczenie przestrzeni roboczej oraz określanie właściwości kinematycznych pneumatycznego manipulatora równoległego. Analizowano zagadnienie planowania bezkolizyjnej trajektorii manipulatora oraz badano rozkład naprężeń i odkształceń w przegubach i konstrukcji nośnej manipulatora. Zastosowane oprogramowanie SolidWorks umożliwiło nie tylko utworzenie parametrycznego modelu bryłowego, a także wygenerowanie ruchu modelu bryłowego i analizę kinematyczną pneumatycznego manipulatora równoległego. W analizie kinematycznej manipulatora odniesiono się do pojedynczego łańcucha kinematycznego UPRR zakończony punktem środkowym TPC (ang. Tool Point Center) platformy roboczej. Schemat kinematyczny i model bryłowy pojedynczego łańcucha

kinematycznego manipulatora pneumatycznego o kinematyce 3-UPRR przedstawiono na rys.4. Przedstawione modele kinematyczne i bryłowy posłużyły do określenia związków geometrycznych i kinematycznych manipulatora równoległego.

3. Model zastępczy manipulatora pneumatycznego

Ponieważ model bryłowy wykonany w programie SolidWorks miał ograniczone zastosowanie w modelowaniu kinematyki analizowanego manipulatora równoległego, dlatego dalsze badania prowadzono przy użyciu biblioteki SimMechanics pakietu Matlab. W bibliotece SimMechanics elementy bryłowe opisane są za pomocą geometrii zastępczej z możliwością uwzględnienia masy i tensora bezwładności członów napędowych. Biblioteka SimMechanics pozwala na budowę złożonych mechanizmów manipulatorów równoległych z uwzględnieniem ich modeli kinematycznych i dynamicznych. Wykorzystując bibliotekę SimMechanics utworzono zastępczy model bryłowy pneumatycznego manipulatora równoległego o kinematyce 3-UPRR z zachowaniem więzów kinematycznych i orientacji przestrzennej utworzonej w modelu bryłowym za pomocą programu SolidWorks. Model zastępczy manipulatora równoległego o kinematyce 3-UPRR przedstawiono na rys.5. Wykonanie modelu zastępczego umożliwiło analizę kinematyczną pneumatycznego manipulatora równoległego o strukturze kinematycznej 3-UPRR w zakresie zdefiniowanej przestrzeni roboczej. Model kinematyczny zastępczy posłużył do określenia związków geometrycznych oraz równań kinematycznych opisujących ruch punktu środkowego TPC platformy roboczej manipulatora równoległego w zależności od przemieszczeń beztłoczyskowych siłowników pneumatycznych. Zaprezentowane podejście do modelowego projektowania złożonych struktur kinematycznych skróciło czas wykonania prototypu pneumatycznego manipulatora równoległego o strukturze kinematycznej 3-UPRR (patrz rys.1).

4. Modelowanie kinematyczne manipulatora pneumatycznego

Do modelowania kinematycznego pneumatycznego manipulatora równoległego o kinematyce 3-UPRR wykorzystano schemat przedstawiony na rys.6. Na podstawie tego schematu posługując się metodą wektorową wyrażono zależności kinematyczne między punktem TPC platformy roboczej, a elementami napędowymi - siłownikami pneumatycznymi. Wektor Z pozycji i orientacji środkowego punktu TPC platformy roboczej względem układu bazowego (podstawy manipulatora) zapisano następująco:

$$Z = [{}_b x, {}_b y, {}_b z, {}_b \alpha, {}_b \beta, {}_b \theta]^T \quad (1)$$

gdzie: ${}_b x, {}_b y, {}_b z$ - współrzędne punktu TPC w układzie X,Y,Z względem podstawy,
 ${}_b \alpha, {}_b \beta, {}_b \theta$ - kąty obrotu punktu TPC względem osi X,Y,Z.

Wektor przesunięcia członów napędowych L określono następująco:

$$L = [L_1, L_2, L_3]^T \quad (2)$$

gdzie: L_1, L_2, L_3 - wektory przesunięć siłowników wynikają z zależności geometrycznych.

Uwzględniając wzajemne zależności między wektorami Z i L określono:

- równanie położenia punktu środkowego TPC względem położenia członów napędowych:

$$dZ = J(Z) dL \rightarrow dL = J^{-1}(L) dZ \quad (3)$$

gdzie: J - Jakobian manipulatora,

- równania prędkości punktu środkowego względem prędkości członów napędowych:

$$V_Z = J(V_Z) V_L \rightarrow V_L = J^{-1}(V_L) V_Z \quad (4)$$

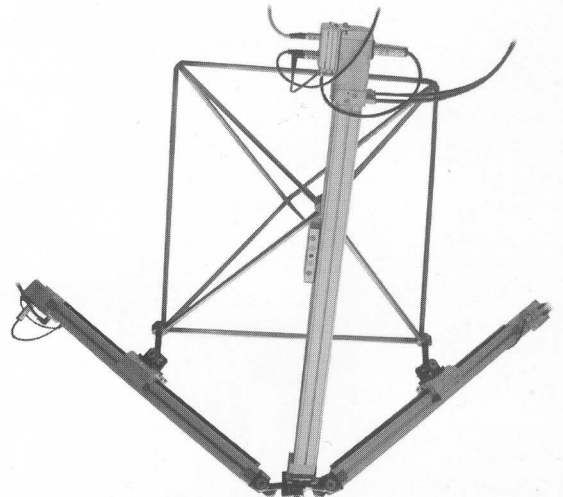
- błąd położenia punktu środkowego z uwzględnieniem błędów położenia członów napędowych

$$\Delta Z = J(Z) \Delta L \rightarrow \Delta L = J^{-1}(L) \Delta Z \quad (5)$$

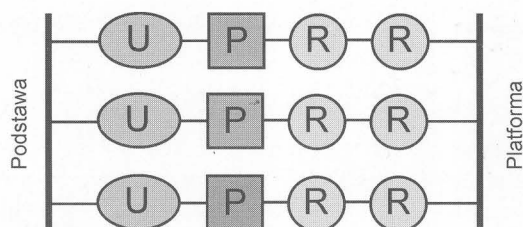
Rozwiązanie zadania odwrotnego kinematyki pneumatycznego manipulatora równoległego 3-UPRR jest podstawową programowania manipulatora, w celu uzyskania pożądanego położenia punktu TPC na podstawie sterowania członów napędowych - siłowników pneumatycznych. Zadanie to zostało zrealizowane za pomocą programu Simulink z wykorzystaniem biblioteki SimMechanics. Model kinematyczny pneumatycznego manipulatora równoległego przedstawiono w postaci schematu blokowego Simulinka na rys.7. Schemat blokowy zawiera zdefiniowane w modelu zastępczym elementy bryłowe i więzy kinematyczne manipulatora pneumatycznego. Podczas symulacji planowano trajektorie punktu środkowego TPC platformy roboczej manipulatora równoległego na podstawie wysunięć siłowników pneumatycznych. Przykładową trajektorię punktu TPC wyznaczoną we współrzędnych kartezjańskich przedstawiono na rys.8. Określenie ruchu punktu środkowego TPC platformy roboczej manipulatora na podstawie przemieszczeń siłowników wymaga także rozwiązania problemu ich sterowania serwozaworami proporcjonalnymi [5]. Przeprowadzono badania symulacyjne pneumatycznego manipulatora równoległego z wykorzystaniem regulacji przestawnej, regulacji nadążnej oraz regulatora rozmytego FLC (ang. Fuzzy Logic Controller). Badania modelowe pozwoliły na wybór regulacji opartej na logice rozmytej (ang. Fuzzy Logic), która umożliwia najdokładniejsze odwzorowywanie zadanej trajektorii punktu TPC platformy pneumatycznego manipulatora równoległego [6].

5. Podsumowanie

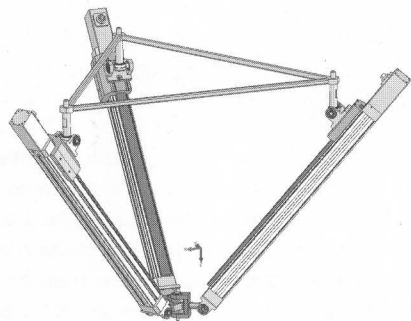
Do badań symulacyjnych pneumatycznego manipulatora równoległego typu tripod o strukturze kinematycznej 3-UPRR zbudowano w programie SolidWorks jego model bryłowy. Ponieważ oprogramowanie CAD ma ograniczone zastosowanie w modelowaniu kinematyki manipulatorów równoległych, dlatego dalsze badania symulacyjne manipulatora przeprowadzono na modelu zastępczym wykonanym przy wykorzystaniu biblioteki SimMechanics pakietu Matlab-Simulink. Badania symulacyjne ukierunkowane zostały na wyznaczenie trajektorii punktu środkowego TPC platformy roboczej pneumatycznego manipulatora równoległego na podstawie przemieszczeń beztłoczyskowych siłowników pneumatycznych sterowanych serwozaworami. Badania symulacyjne przeprowadzone na modelach bryłowym, zastępczym i kinematycznym pozwoliły na wyciągnięcie wniosków dotyczących optymalizacji konstrukcji, własności kinematycznych i dynamicznych oraz sterowania pneumatycznego manipulatora równoległego o kinematyce 3-UPRR.



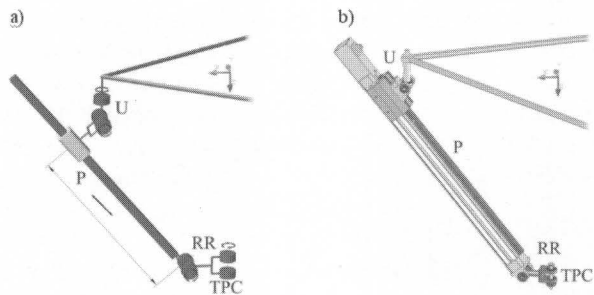
Rys. 1. Widok pneumatycznego manipulatora równoległego typu 3-UPRR



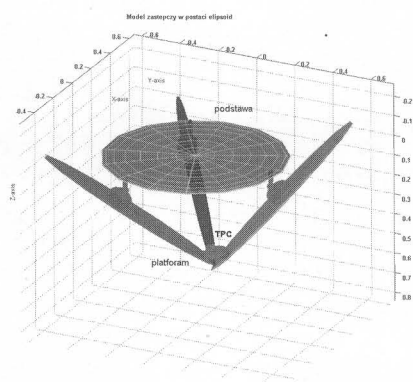
Rys. 2. Symboliczny schemat struktury kinematycznej pneumatycznego manipulatora równoległego



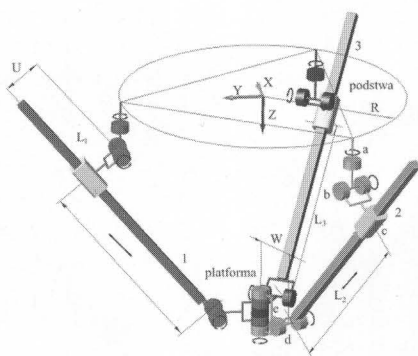
Rys. 3. Model bryłowy pneumatycznego manipulatora równoległego o kinematyce 3-UPRR



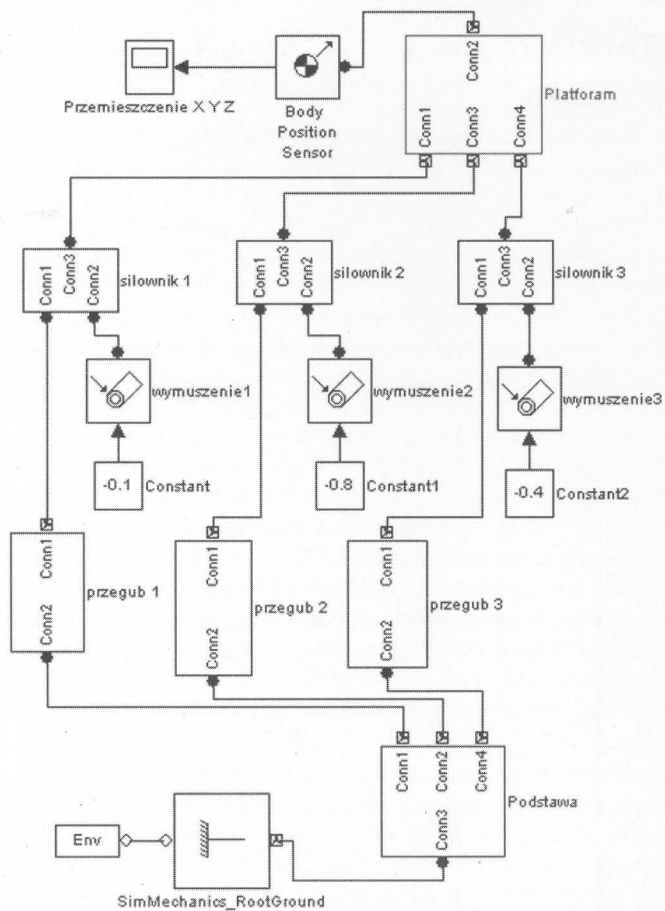
Rys. 4. Model kinematyczny (a) i model bryłowy (b) pojedynczego łańcucha kinematycznego pneumatycznego manipulatora równoległego o kinematyce 3-UPRR



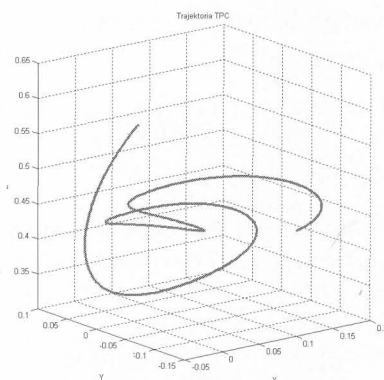
Rys. 5. Model zastępczy pneumatycznego manipulatora równoległego o kinematyce 3-UPRR



Rys. 6. Schemat kinematyczny manipulatora równoległego o kinematyce 3-UPRR



Rys. 7. Schemat blokowy modelu kinematycznego pneumatycznego manipulatora równoległego o kinematyce 3-UPRR



Rys. 8. Trajektoria ruchu punktu środkowego TPC platformy roboczej pneumatycznego manipulatora równoległego

6. Literatura

- [1] R. Dindorf, P. Łaski: Electro-pneumatic manipulator with serial and parallel kinematic chain. Proc. The 18th International Conference on Hydraulics and Pneumatics - ICHP'2003, Prague (Czech Republic).
- [2] Łaski P.: Analiza nowych struktur kinematycznych napędów elektropneumatycznych. I Seminarium Naukowe Automatyzacja Systemów Płynowych. Kielce 2002.
- [3] P. Łaski: Analiza odkształcenia wieloosiowego napędu elektropneumatycznego. Pneumatyka, 2, 2002
- [4] L-W Tsai: Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators. John Wiley & Sons, New York 1999.
- [5] P. Łaski, R. Dindorf: Analiza kinematyki manipulatora elektropneumatycznego typu tripod. IV Warsztaty Projektowania Mechatronicznego. Kraków 20-21 maja 2004. Projektowanie Mechatroniczne. Zagadnienia Wybrane. Zespół Mechatroniki KBM PAN, Kraków 2004
- [6] R. Dindorf, J. Takosoglu: Analiza serwonapędu pneumatycznego z regulatorami rozmytymi. Pneumatyka, 1, 2005.

Title: Model research of pneumatic parallel manipulator

Artykuł recenzowany