

Streszczenie

W niniejszej rozprawie zaprezentowano wyniki teoretyczne, symulacyjne oraz eksperymentalne dotyczące analizy i sterowania wybranej klasy nieliniowych układów niedosterowanych. W dysertacji omówiono zagadnienie częściowej linearyzacji przez sprzężenie zwrotne planarnych manipulatorów posiadających n stopni swobody i pokazano oryginalne rozwiązania w zakresie syntezy algorytmów stabilizacji dla obiektów o dwóch i trzech członach, które rozszerzają wyniki znane z literatury przedmiotu.

Wykorzystując do opisu matematycznego modelu naturalne zmienne konfiguracyjne zaproponowano standardowy sterownik bazujący na częściowej linearyzacji przez sprzężenie zwrotne, będący punktem wyjścia do dalszej analizy. Następnie zaproponowano warianty algorytmów z użyciem transformacji zmiennych stanu oraz wejścia, które uwzględniały m.in. zastosowanie pseudoprędkości oraz formy normalne dynamiki. Dokonano porównania skuteczności metod opartych na zmiennych naturalnych i przekształconych dla zadania sterowania polegającego na stabilizacji robota w górnym niestabilnym położeniu równowagi. Efektywność proponowanych metod została zilustrowana wieloma wynikami badań symulacyjnych dla struktur dwu- i trójczłonowych oraz wynikami eksperymentalnymi uzyskanymi dla robota typu *Pendubot*. Symulacyjne porównanie efektywności polegało na wyznaczeniu dla każdej z rozpatrywanych strategii sterowania tzw. obszarów zbieżności, tj. zbiorów warunków początkowych, dla których analizowany algorytm osiąga założony cel sterowania. Ponadto analizowano wskaźniki opisujące jakość regulacji dla zastosowanych praw sterowania celem wzajemnego porównania rozpatrywanych strategii.

Badania eksperymentalne zostały wykonane na obiekcie rzeczywistym firmy *Quanser*. Przedstawiono opis stanowiska laboratoryjnego oraz podano szczegóły praktycznej implementacji rozważanych algorytmów sterowania dla robota typu *Pendubot*. Przedstawiono wyniki sterowania dla zadania stabilizacji w górnym niestabilnym punkcie równowagi.

Za pomocą symulacji numerycznych i badania obszarów zbieżności wykazano przewagę stosowania pseudoprędkości nad zmiennymi naturalnymi do opisu modelu robota oraz strategii sterowania. Badania eksperymentalne potwierdzają natomiast zarówno słuszność symulacji numerycznych jak i możliwość wykorzystania pseudoprędkości do opisu i sterowania wybranej, analizowanej grupy modeli rzeczywistych.

Abstract

This dissertation presents theoretical, simulation and experimental results concerning an analysis and control of a selected class of non-linear underactuated systems. The problem of partial feedback linearization of n degrees of freedom planar manipulators, was demonstrated. New solutions in the field of stabilization algorithms synthesis for two- and three-link objects are shown, which extend the well-known literature results.

Using natural configuration variables to describe the mathematical model, a standard controller based on partial feedback linearization was proposed, which constituted the starting point for further analysis. Subsequently the transformation of inputs and state variables, taking into account pseudovelocities and the normal form, was discussed, together with a proposal for the construction of a dedicated controller. A comparison of the effectiveness of both methods based on natural and transformed variables was conducted, for the control task specified as stabilizing the robot in the upper unstable equilibrium position. The effectiveness of the proposed methods was illustrated by the results of simulation tests for two- and three-link structures and experimental results were obtained on the *Pendubot* robot. The simulation comparison of effectiveness was performed to determine the so-called areas of convergence, i.e. the sets of initial conditions for which the analyzed algorithm achieves the assumed control goal. In addition, the quality indicators for the applied control laws were analyzed in order to compare the aforementioned strategies.

Experimental studies were performed on a real test-bed by *Quanser* company. A description of the laboratory test-bed was presented and details of the practical implementation of the considered control algorithms for the *Pendubot* type robot were provided. The results of the problem of stabilization at the upper unstable equilibrium pose were presented.

The advantage of using pseudovelocities over natural variables to describe the robot model and control strategy was demonstrated using numerical simulations and examining areas of convergence. Experimental research confirms both the pertinence of numerical simulations and the possibility of using pseudovelocities to describe and control a selected group of analyzed real models.