Politechnika Poznańska
Wydział Informatyki
Instytut Automatyki i Robotyki

Rozprawa doktorska

Metoda sterowania suboptymalnego z wykorzystaniem linearyzacji układu zamkniętego

mgr inż. Paulina Superczyńska

Promotor:
dr hab. inż. Sławomir Jan Stępień

Poznań, wrzesień 2019

Streszczenie

Rozprawa doktorska dotyczy zakresu sterowania optymalnego oraz suboptymalnego dla obiektów nieliniowych. Zawarto w niej szczegółowy opis metody sterowania z regulatorem liniowo kwadratowym (*ang. Linear Quadratic Regulator- LQR*), na której opiera się metoda będąca głównym przedmiotem pracy, wykorzystująca nieliniowy kompensator SDRE (*ang. State Dependent Riccati Equation*). Praca zawiera analizę klasycznej metody wykorzystującej SDRE zarówno dla skończonego, jak i nieskończonego horyzontu czasowego, proponuje parametryzację nieliniowych modeli do postaci SDC (*State Dependent Coefficient Form*) oraz przedstawia zastosowanie w symulacjach.

Jako nowy wkład, autorka proponuje skuteczny algorytm syntezy nieliniowego systemu ze sterowaniem w sprzężeniu zwrotnym, zapewniając jednocześnie dużą elastyczność projektowania sterowania dzięki macierzom zależnym od stanu. Wprowadzając modyfikacje w macierzy kompensatora, uzyskano nowe prawa sterowania dla proponowanych metod, zarówno dla skończonego, jak i nieskończonego horyzontu czasowego. Proponowane metody pozwalają uprościć obliczenia wynikające ze znalezienia rozwiązania zależnego od stanu algebraicznego równania Riccatiego (*ang. State Dependent Algebraic Riccati Equation- SDARE*) oraz różniczkowego, zależnego od stanu równania Riccati'ego (*State Dependent Differential Riccati Equation-SDDRE*). Dowiedziono, że w przypadku nieskończonego horyzontu czasowego, możliwe jest rozwiązanie równania Riccatiego tylko raz w całym procesie sterowania. Natomiast w przypadku ze skończonym horyzontem czasowym równanie Riccatiego obliczane jest jedynie dla czasowo zależnych wzmocnień kompensatora w sprzężeniu zwrotnym – tak jak w zagadnieniach sterowania optymalnego LQR. Dokonano analizy i opracowano dowody stabilności dla proponowanego podejścia. Prezentowane metody zaimplementowano oraz poddano analizie symulacyjnej na wybranych modelach obiektów rzeczywistych (zarówno nieliniowych nieafinicznych, jak i afinicznych), wyniki potwierdziły poprawność działania oraz znaczące skrócenie czasu obliczeń.

Abstract

The doctoral dissertation concerns of the optimal and the suboptimal cotrol problem for non-linear plants. Detailed description of the Linear-Quadratic Regulator (LQR) control method was presented as well as the method that is an extension of the LQR metod- State Dependent Riccati Equation approach with non-linear compensator. An analysis of the classical metod using SDRE, for both finite and infinite time horizons is contained and the parametrization of non-linear models to the State Dependent Coefficient Form (SDC) is proposed and presented in simulations.

As a new contribution, the author proposed an effective algorithm for the synthesis of a non-linear closed- loop system providing high flexibility in the design of a control using state-dependent weight matrices. A new control laws have been obtained thanks to modifications of the compensation matrix for respectively finite and infinite time horizons. The proposed methods allowe one to simplify computations to solve State-Dependent Algebraic Riccati Equation (SDARE) and State-Dependent Differential Riccati Equation (SDDRE). It has been proven that in the case of an infinite time horizon, the Riccati equation can be solved only once in the entire control process. However, in the case of a finite time horizon, the Riccati equation is calculated only for the time-dependent gain of the compensator closed-loop system - as in the case of optimal LQR control problem. The stability analysis was performed and evidenced for the proposed approach. The implementation and simulations on selected models were presented (for non-linear non-affine and affine systems). The results confirmed the correctness of computations and a significant reduction of the computations time.