

# MODELOWANIE SYSTEMÓW NIELINIOWYCH O NIEZNANEJ STRUKTURZE

## STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Rozprawa dotyczy problemu modelowania dynamicznych systemów nieliniowych w warunkach nieznajomości ich struktury wewnętrznej. Niewielka wiedza wstępna na temat badanego systemu wymaga zastosowania odpowiednio uniwersalnych metod. W związku z powyższym, w rozprawie wykorzystuje się posiadające własność uniwersalnej aproksymacji reprezentacje wielomianowe, oparte o szereg Volterra oraz szeregi ortogonalne (szeregi Wienera). Inherentnym problemem rozważanej klasy modeli jest wysoka liczba nieznanych parametrów, rosnąca eksponencjalnie wraz ze stopniem złożoności modelu. Zaproponowane w pracy metody modelowania, wykorzystujące nowoczesne algorytmy optymalizacji wypukłej, w istotnym stopniu niwelują niekorzystny wpływ tego zjawiska na jakość uzyskanych modeli, a przy tym cechują się niską złożonością obliczeniową.

Rozdział pierwszy zawiera wprowadzenie do problemu modelowania systemów. Wyjaśniony został wpływ wiedzy wstępnej na wybór reprezentacji systemu oraz przedstawiono powód, dla którego modele wielomianowe są odpowiednim wyborem w przypadku nieznajomości struktury badanego systemu. Następnie dokonano przeglądu istniejących metod modelowania systemów oraz zaproponowano, by do celów estymacji modeli wielomianowych wykorzystać algorytmy optymalizacji stochastycznej. Na końcu rozdziału zaprezentowano tezę i cele pracy. W rozdziale drugim i trzecim omówiona została reprezentacja systemów oparta kolejno o szereg Volterra oraz szeregi ortogonalne. Szczególny nacisk położono na przedstawienie ich własności aproksymacyjnych, najpierw o charakterze ogólnym, a następnie na przykładzie wybranych systemów o strukturze blokowej z gładkimi nieliniowościami, tj. systemów Wienera-Hammersteina (w przypadku reprezentacji opartej o szereg Volterra) oraz systemów Hammersteina (w przypadku reprezentacji opartych o szeregi ortogonalne). W rozdziale czwartym zbadano możliwość wykorzystania algorytmu lustrzanego z uśrednianiem w zadaniu estymacji modeli wielomianowych, szczególną uwagę poświęcając entropijnemu wariantowi metody. Jako główne osiągnięcie wskazać można dowód zbieżności błędu estymacji metody dla systemów z pamięcią zanikającą eksponencjalnie. Działanie zaproponowanego algorytmu zostało zilustrowane eksperymentem numerycznym. Rozdział piąty zawiera podsumowanie uzyskanych w pracy rezultatów oraz przedstawienie otwartych problemów badawczych.

Szymon Łagoda

# MODELLING OF NONLINEAR SYSTEMS WITH UNKNOWN STRUCTURE

## DOCTORAL THESIS SUMMARY

The thesis concerns the problem of modelling dynamic nonlinear systems in the absence of information regarding their inner structure. Limited a priori knowledge about the examined system requires application of sufficiently universal methods. In view of the above, in the thesis representations possessing the universal approximation property have been employed, specifically those based on Volterra and orthogonal (Wiener) series. The inherent problem of the considered class of models is a huge number of unknown parameters, growing exponentially with the candidate models' complexity. The modelling methods proposed in the thesis employ modern optimization methods and to a large extent reduce the negative impact of this phenomenon on the quality of obtained models while at the same time keeping low computational cost.

The first chapter of the thesis serves as an introduction to the systems modelling problem. It discusses the role of a priori knowledge in choosing the system's representation and explains the reason for which polynomial models are suitable candidates when the system's structure remains unknown. Then, we review existing methods for nonlinear systems modeling and propose to apply stochastic optimization algorithms for the purpose of polynomial models estimation. The last part of the chapter presents the statement and aims of the thesis. In chapters two and three we discuss systems representations based on Volterra and orthogonal series, with particular emphasis on their approximation properties, examined in details for particular block-oriented systems with smooth nonlinearities, i.e. Wiener-Hammerstein systems (in case of Volterra representation) and Hammerstein systems (in case of orthogonal representations). In chapter four we inspect the theoretical possibilities of applying the dual averaging algorithm for polynomial models estimation, paying special attention to the entropic variant of the method. In the main result of this study we demonstrate that the estimation error of the aforementioned algorithm converges for systems possessing exponentially fading memory. Numerical experiments are supplied to illustrate the effectiveness of the proposed method. Finally, chapter five summarizes the main research findings and presents open research problems.

Szymon Łęga