

Control-aided construction of basins of attraction of nonlinear dynamical systems Université de Liège

Auteur : Benlachhab, Reda

Promoteur(s) : Raze, Ghislain

Faculté : Faculté des Sciences appliquées

Diplôme : Master en ingénieur civil en aérospatiale, à finalité spécialisée en "aerospace engineering"

Année académique : 2025-2026

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/26173>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Control-aided construction of basins of attraction of nonlinear dynamical systems

AUTHOR BENLACHHAB Reda

SUPERVISOR RAZE Ghislain

ACADEMIC YEAR 2025–2026

SUBMITTED IN FULFILMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF *Master of Science in Aerospace Engineering*

Abstract

Nonlinear mechanical systems subject to harmonic excitation can exhibit multistability, where qualitatively different steady-state responses coexist under identical operating conditions. The set of initial conditions converging to a given attractor, known as its basin of attraction (BoA), determines which response is observed in practice and how robust it is to perturbations. While numerical methods for basin reconstruction are well established, their experimental counterpart remains comparatively undeveloped: mapping a basin requires placing a physical system at many precisely specified states in the phase plane, simultaneously in displacement and velocity, which no existing experimental technique achieves in a systematic and automated way.

This thesis proposes and demonstrates a control-aided method for the experimental reconstruction of basins of attraction of a Duffing oscillator. A proportional-derivative controller tracks a reference trajectory to drive the system from rest to the neighbourhood of any prescribed target state. A systematic reference design strategy is introduced to ensure energetic consistency between the reference and the true system dynamics across the full phase plane. Control gains are scheduled automatically from the local backbone frequency, and a stroboscopic Poincaré criterion monitors convergence after the controller is released. A trajectory-based backfilling strategy further reduces the number of required experimental runs by propagating attractor labels along confirmed free-evolution paths.

The method is validated numerically on four Duffing configurations of increasing complexity and implemented in real time on a dSPACE MicroLabBox controlling an electronic analogue Duffing oscillator. Experimental basin maps agree closely with numerical references across all configurations, including cases with coexisting subharmonic attractors.

Keywords: Nonlinear dynamics, Basin of attraction, Control-based testing, Duffing oscillator, Reference trajectory, Poincaré map