

# Reglare optimală, robustă și predictivă în aplicații pentru sisteme aerospațiale

– Dosar abilitare. Rezumat –

Ciubotaru Bogdan-Dumitru

Acest manuscris prezintă rezultatele profesionale (academice și științifice) obținute în ultimii 15 ani de carieră (parcurși ulterior obținerii titlului de doctor), precum și direcții de interes pe care doresc să le urmăresc pe termen mediu și lung (pe baza problemelor deschise pe care le-am identificat în cadrul domeniului meu de interes în ultimii 5 ani).

În particular, sunt interesat de aplicarea metodelor optimale, robuste și predictive în cadrul unor probleme apărute în aplicațiile de reglare a sistemelor aerospațiale (reglare optimală tolerantă la defecte, în varianta hibridă; reglare robustă și reglare predictivă, în variantele clasice). Consider că aceste metode încă expun numeroase dificultăți datorită unei varietăți de factori (grad ridicat de provocare teoretică, numeroase probleme numerice la implementare, etc.). Succesul aplicării lor pe modele ale unor prototipuri de aeronave civile, microlansatoare de sateliți, roboți lunari sau/și formații de sateliți/drone va permite o analiză riguroasă a stabilității și performanței asigurate.

Prima parte a manuscrisului face o trecere sintetică în revistă a carierei mele profesionale în domeniul academic până în acest moment (de după susținerea tezei). Principalele etape parcurse au fost urmarea unui stagi postdoctoral de tip POSDRU și promovarea în cadrul Departamentului de Automatică și Ingineria Sistemelor al Facultății de Automatică și Calculatoare din Universitatea “Politehnica” București, România (Universitatea Națională de Știință și Tehnologie “Politehnica” București, începând din anul universitar 2023 – 24), unde, în prezent, ocup poziția de conferențiar (din anul universitar 2020 – 21). De-a lungul acestei evoluții, am fost implicat în nenumărate activități didactice și de cercetare ce, astfel, mi-au permis să îmi dezvolt capacitatea de lucru independent și, mai ales, ca director de proiect în granturile naționale ori ca lider coordonator de pachet de lucru în proiectele internaționale, de asemenea.

A doua parte a manuscrisului enumeră principalele rezultate științifice obținute și publicate după finalizarea tezei, în principal în aria de control optimal, robust și predictiv, respectiv:

- i) proiectarea unei soluții de reglare tolerantă la defecte, în variantă hibridă, cu o componentă optimală, prin care se minimizează un criteriu integral pătratic generalizat, asigurând stabilizarea, și una de corecție pentru urmărire, apelând la o abordare cu inversă matriceală generalizată; aceasta a fost aplicată cu succes în simulările pe un model de avion civil de tip B-747/100-200;
- ii) integrarea unei soluții de reglare robustă în sens  $\mathcal{H}_\infty$  și adaptivă pe stagii de traiectorie pentru un microlansator de sateliți; aceasta a fost aplicată cu succes într-un simulator dedicat pe un prototip de MLV (Micro-Launcher Vehicle), investigat în cadrul unui proiect dezvoltat de către UPB în parteneriat cu ESA (European Space Agency);
- iii) analiza robusteții în dinamica unui satelit dezvoltat de către ONERA (French Aerospace Lab), folosind abordarea de anvelopare cu tuburi a traiectoriei acestuia, TMPC (Tube Model Predictive Control);
- iv) analiza eficienței căutării soluției unei probleme de reglare predictivă, folosind diagrama Hasse a reprezentării posibilităților de rezolvare.

Ultimul capitol al manuscrisului dezvoltă sintetic partea analitică a unor probleme abordate în ultimii ani, dar cu unele aspecte foarte dificile urmând a fi investigate în viitorul apropiat, după cum urmează:

- i) dezvoltarea unei soluții de control robust în sens  $\mathcal{H}_2$  folosind abordarea cu triplet Popov; această tehnică a condus la corecția analitică printr-o formulă pe stare a normei  $\mathcal{H}_2$  a unui sistem generalizat, având în vedere aplicarea ei spre ilustrare pentru modelul unui prototip de aeronavă civilă RCAM;
- ii) suprapunere optimală și robustă de model ideal cu triplet Popov; ne propunem să studiem echivalența în acest sens a diferitelor abordări ROMM prin variantele simplificată, modificată și extinsă;
- iii) suprapunere și urmărire de model ideal precum și conexiunea dintre acestea prin intermediul unei soluții de control optimal; ne dorim să studiem similaritățile și diferențele dintre cele două abordări de urmărire, implicită și explicită, atunci când controlul liniar pătratic este folosit în primul pas de stabilizare, înaintea celui de corecție, așa cum s-a procedat și la tehnica de suprapunere;
- iv) control de tip “hands-off”; ne asumăm să studiem metodele de control de tip  $\mathcal{L}^1/\mathcal{L}^2$  ca o contramăsură la abordarea de tip  $\mathcal{L}^0$ , având în vedere și dezvoltarea unei aplicații aerospațiale pentru satelitul de tip GFO.

# **Optimal, robust and predictive approaches for control applications in aerospace systems**

**– Habilitation thesis. Abstract –**

Ciubotaru Bogdan-Dumitru

This short manuscript presents very synthetically my professional results (academic and scientific) obtained within the last 15 years (after my PhD defense), altogether with the directions of interest which I would like to develop (based on the problems identified in my research area in the last 5 years).

In particular, I am interested in optimal, robust and predictive control and their applications in aeronautical or aerospace systems (fault tolerant optimal control, with its hybrid version; robust and predictive control, with their classical variants). I think that these methods still pose several difficulties due to numerous issues (high theoretical degree, numerical problems in software implementation, etc.). The success of their application on various models or prototypes of civil aircraft, satellite microlaunchers, lunar robots and/or satellite/drone formation flying will allow a rigorous analysis of stability and performance guaranteed.

The first part of the manuscript lists synthetically the steps done in academia until now (after the PhD defense). The first ones were a postdoctoral period under the POSDRU scholarship and getting promoted within the Department of Automatic Control and Systems Engineering, Faculty of Automatic Control and Computers, University “Politehnica” of Bucharest (National University of Science and Technology “Politehnica” Bucharest, starting from the academic year 2023-2024), where I am an associate professor now (since the academic year 2020-2021). Alongside this evolution, I was involved in countless teaching and research activities which have strengthen my capacity of independent work and also as a project director in national grants or as a workpackage leader in international projects, as well.

The second part of the manuscript enumerates the main scientific results obtained and published after the PhD thesis defense, principally in the area of optimal, robust and predictive control, as follows:

- i) the design of a solution to the fault tolerant control problem, in its hybrid variant, in which a generalized integral quadratic criterion is minimized, ensuring stability, and a correction component for matching an ideal behavior, using an approach based on the generalized matrix inverse; this technique was applied with success to some extent in simulation on a model of a civil aircraft B-747/100-200;
- ii) the integration of a robust control solution in the  $\mathcal{H}_\infty$  sense and an adaptive control component on stages of the trajectory for a satellite microlauncher; this technique was applied with success in a dedicated simulator on a MLV (microlauncher vehicle) prototype, investigated within a project between UPB and ESA (European Space Agency);
- iii) the robustness analysis of a satellite dynamics developed by ONERA (French Aerospace Lab), using an approach with tube-like envelopes, TMPC (Tube Model Predictive Control);
- iv) the efficiency analysis in finding the solution to a predictive control problem, using the Hasse diagram of representation of its search possibilities.

The last chapter of the manuscript develops briefly the analytical part of some problems tackled in the last few years, but with some very difficult aspects waiting to be investigated in the near future, as follows:

- i) the development of a theoretical control solution in the  $\mathcal{H}_2$  sense using the Popov triplets approach; this technique has provided an analytical correction of the  $\mathcal{H}_2$  norm of a generalized system under the form of a state-space formula, having in mind its application in aeronautics for the RCAM (Research Civil Aircraft Model) prototype;
- ii) robust optimal model matching (ROMM) with Popov triplets; we foresee to study the equivalence in this sense of the simplified, modified and extended variants;
- iii) model matching and model following connection through an optimal control solution; we envisage to study the similarities and the differences involved in the two components of implicit and explicit model following correction approaches, when the linear quadratic technique is used in the first step of stabilization;
- iv) hands-off control; we forecast to study the application of  $\mathcal{L}^1/\mathcal{L}^2$  control as a countermeasure of the  $\mathcal{L}^0$  approach, having in mind its application in aerospace for a GFO (GRACE Follow-On) satellite.