

Thruster-based ADCS Momentum Management for Deep-Space CubeSats Arcsec Space

Auteur : Lambelin, Alexandre

Promoteur(s) : Collette, Christophe

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/2268.2/26172>

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.

Abstract

Title: Thruster-based ADCS Momentum Management for Deep-Space CubeSats

Author: Alexandre Lambelin

Section: Master of Science in Aerospace Engineering, University of Liège

Academic Year: 2025 - 2026

Promoter: Prof. Dr. Ir. Christophe Collette

Arcsec advisors: Ir. Mikel Samson, Ir. Rhimas Van de Putte, Dr. Ir. Tjorven Delabie, and Dr. Ir. Wim De Munter

Keywords: ADCS, AOCS, deep-space, control, desaturation, detumbling, momentum management, micro-propulsion system, reaction wheel, thruster, CubeSat

The CubeSat platform has revolutionized access to space, enabling a new era of low-cost, rapid-development missions. While these nanosatellites have demonstrated widespread utility in Low Earth Orbit (LEO) applications, there is growing interest from space agencies and academia in deploying them in deep-space environments. However, traditional LEO actuators, such as magnetorquers, rely on an ambient magnetic field and are consequently ineffective in deep space.

To address this hardware gap, this thesis investigates a thruster-based approach for deep-space momentum management, specifically focusing on reaction wheel desaturation and post-deployment detumbling maneuvers to define the capability of an universal deep-space AOCS (based on an ESA future commercial call). The primary objectives are to investigate thruster control in CubeSats and to evaluate the impact of different control strategies on overall maneuver performance.

Because thrusters are discrete (on/off), unipolar actuators, they introduce allocation challenges compared to continuous torque providers. This work explores thruster control by comparing heuristic bang-bang strategies against pulse-modulated continuous approximation architectures. For the latter, the software pipeline is divided into three distinct stages: a continuous control law, a thruster allocation logic (evaluating pseudo-inverse versus direct-table mapping, and clipping versus proportional scaling), and a discrete pulse modulator (PWM versus impulse accumulation).

The algorithms are validated within a Simulink environment, adapting an existing magnetorquer-based ADCS model provided by *arcsec*. The simulated plant features a fixed, four-nozzle cold-gas propulsion system, representing a highly constrained architecture at the boundary of 3-DOF rotational control capability. To manage the coupled dynamics during desaturation, a dual-loop control architecture featuring a feed-forward path is implemented.

Simulation results demonstrate that while heuristic bang-bang control provides highly robust and rapid actuation, continuous architectures offer superior mission extendibility. Crucially, the comparative analysis reveals that continuous controllers demand strict direction-preserving allocation (proportional scaling) and memoryless modulation (PWM) to prevent cross-axis lock-outs and post-maneuver pointing spikes. Ultimately, this master thesis establishes an algorithmic and design framework for constrained momentum management, laying a foundation for the development of a versatile AOCS adequate deep-space CubeSat missions.