

Universitat de Girona
Escola Politècnica Superior

Treball Final de Màster

Estudi: Màster en Ciència de Dades

Títol: Solving classical astrodynamics problems by means
of Machine Learning approaches

Document: Resum

Alumne: Isaac de Palau

Tutor: Esther Barrabés Vera
Departament: Departament d'Informàtica, Matemàtica Aplicada i Estadística
Àrea: Matemàtica aplicada

Convocatòria (mes/any): Juny 2023

Solving classical astrodynamics problems by means of Machine Learning approaches

Isaac de Palau, Esther Barrabés (supervisora)

Juny 2023

El propòsit d'aquesta tesis de màster és analitzar l'utilitat de mètodes i models de Machine Learning i Intel·ligència Artificial per resoldre dos problemes clàssics de l'àmbit de l'astrodinàmica i la mecànica celeste: el problema del control d'actitud (i.e. orientació) de vehicles espacials i el càlcul de mapes de poincaré d'un sistema dinàmic.

El problema del control de l'actitud consisteix en determinar la seqüència de moviments (normalment en forma de *torques* generats per motors d'impuls feble, *magnetorques* i/o altres tipus d'actuadors similars) que permeten a un vehicle espacial corregir la seva orientació i velocitat angular per tal d'assolir una actitud desitjada. Un controlador es un algorisme que permet assolir aquest objectiu. En el context d'aquesta tesi de màster, aquest problema s'ha plantejat com a un problema d'aprenentatge per reforç a on un agent (el satèl·lit) ha d'aprendre a través de l'experiència una política (estratègia) òptima per tal de controlar l'actitud. Hem construït un simulador virtual que emula el comportament del satèl·lit quan se li aplica un torque, i un controlador basat en una xarxa neuronal profunda. Mitjançant l'algorisme *Proximal-Policy Optimization*, i interactuant amb l'entorn de simulació, la xarxa neuronal acaba aprenent quina és l'estratègia òptima per controlar l'actitud. S'han realitzat varis experiments amb satèl·lits de diverses formes i amb/sense pertorbacions, i els resultats mostren que el nostre controlador és capaç d'estabilitzar l'actitud amb un error mitjà proper als ± 2 graus, sense arribar mai a superar els ± 4 graus, començant des d'una orientació arbitrària i una velocitat angular màxima de ± 4 rad/s en cada un dels tres eixos del cos.

En el segon problema, l'objectiu és aproximar per mitjà d'una xarxa neuronal el mapa de poincaré d'un sistema dinàmic. En el camp de la Mecànica Celeste, els mapes de Poincaré són una eina matemàtica clau que permet als científics estudiar la dinàmica global de regions específiques de l'espai de fase a on es defineix un determinat problema. Per tal d'aproximar el mapa de Poincaré, hem generat un gran dataset que conté les condicions inicials i les seves respectives imatges per l'aplicació de Poincaré d'un determinat problema. Aquest dataset ha estat després utilitzat per entrenar dos regressors, cada un

compost de tres xarxes neuronals profundes. El primer regressor ha estat entrenat per tal d'aprendre el mapa de Poincaré integrant el temps cap endavant, mentre que el segon intenta reproduir-lo integrant el temps cap enrere. Per desgràcia, els resultats obtinguts en aquesta segona part del treball han estat bastant dolents, i els dos regressors tenen dificultats importants per aprendre correctament el mapa de Poincaré del problema considerat, malgrat que sí són capaços de reproduir algunes de les dinàmiques locals del sistema. No obstant, en aquest document es mostren i es discuteixen els resultats, i es proposa una línia d'investigació futura en la qual es podria treballar per intentar millorar la precisió obtinguda.