

MACHINE-LEARNING ENABLED DIGITAL-TWINS OF MULTI-DRONE SWARM SYSTEMS

UC Berkeley, Will C. Hall Family Endowed Chair in Engineering Dept. of Mechanical

Abstract

The report presents the development of a digital twin based on machine learning to quickly determine the optimal programming to achieve the desired tactical behavior, similar to the behavior of a swarm of several drones. The goal is to create a system with fully autonomous behavior by optimizing the values of the operating parameters embedded in the coupled differential equations of the dynamics of a swarm of drones. Ways to achieve minimization of the "cost-error" function are presented. A discrete element method (DEM) has been developed for the rapid design of a quadcopter of any complex shape, the attachment of engines, and then its exposure to an aggressive environment in order to determine its performance.

Keywords: Drone-swarms, Machine-learning, Multibody dynamics, Structural-dynamics.

The goal of this work is to develop a machine-learning enabled digital-twin to rapidly ascertain optimal programming to achieve desired tactical multi-drone swarmlike behavior. There are two main components of this work. The first main component is a framework comprised of a multibody dynamics model for multiple interacting agents, augmented with a machine-learning paradigm that is based on the capability of agents to identify (a) desired targets, (b) obstacles and (c) fellow agents, as well as the resulting collective actions of the drone-swarm of agents. The objective is to construct a system with entirely autonomous behavior by optimizing the actuation parameter values that are embedded within the coupled multibody differential equations for drone-swarm dynamics. This is achieved by minimizing a cost-error function that represents the difference between the simulated overall group behavior and in-field behavior from observed ground truth synthetic data in the form of temporal snapshots corresponding to multiple camera frames. The second main component of the analysis is to deeply assess the structural performance of drone-swarm members, by studying chassis design, deployment and dynamic-structural performance. As an example, we investigate a tactical quadcopter drone under attack, specifically by subjecting it to series of launched explosions. A Discrete ElementMethod (DEM) is developed to rapidly design a quadcopter of any complex shape, attach motors and then to subject it to a hostile environment, in order to ascertain its performance. The method also allows one to describe structural damage to the quadcopter drone, its loss of functionality (thrust), etc. Furthermore, the use of DEM can also capture fragmentation of the quadcopter and can ascertain the resulting debris field. Numerical examples are provided to illustrate the two components of the overall model, the computational algorithm and its ease of implementation.

Tarek Zohdi, Professor of Mechanical Engineering, W. C. Hall Family Endowed Chair in Engineering, Chair of the Designated Emphasis Program in Computational and Data Science and Engineering and Associate Dean for Research in the College of Engineering at UC Berkeley, as well as Faculty Scientist at Lawrence Berkeley National Labs, member of the National Academy of Sciences and the National Research Council of the US National Commission on Theoretical and Applied Mechanics, national coordinator of AmeriMech USA, Email: zohdi@berkeley.edu

ЦИФРОВІ ДВОЙНИКИ БАГАТОДРОННИХ РОЄВИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Анотація.

В доповіді представлена розробка цифрового двійника на основі машинного навчання для швидкого визначення оптимального програмування для досягнення бажаної тактичної

поведінки, подібної до поведінки рою кількох дронів. Метою є створення системи з повністю автономною поведінкою шляхом оптимізації значень параметрів спрацьовування, вбудованих у зв'язані диференціальні рівняння динаміки рою дронів. Наведено шляхи досягнення мінімізації функції «вартість-помилка». Розроблено метод дискретних елементів (DEM) для швидкого проектування квадрокоптера будь-якої складної форми, приєднання двигунів, а потім його впливу на агресивне середовище з метою визначення його продуктивності.

Ключові слова: Рої дронів, машинне навчання, динаміка багатьох тіл, структурна динаміка.

Тарек І. Зохді, професор кафедри інженерії, заступник декана з дослідження в Інженерному коледжі Каліфорнійського університету в Берклі, науковий співробітник університету Лоуренса Берклі, член Американської академії механіки, член Національної Академії наук та Національної дослідницької ради Національної комісії США за відділенням теоретичної та прикладної механіки, національний координатор AmeriMech США, Email: zohdi@berkeley.edu