

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Редьки Михайла Олександровича
«Моделі та методи машинного навчання для аналізу динаміки та керування
супутників при видаленні космічного сміття іонним променем», представлену
на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю – 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Актуальність теми дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Редьки М. О. безумовно є актуальною, оскільки пов'язана з актуальною науково-технічною проблемою видалення навколосемного космічного сміття та актуальним напрямком комп'ютерних технологій – розвитком методів штучного інтелекту.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалась в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт, що були профінансовані НАН України, та виконувались в ІТМ НАНУ і ДКАУ: "Розробка та вдосконалення методів системного аналізу, керування та дослідження динаміки, спрямованих на створення об'єктів космічної техніки" (тема фундаментальних досліджень Ш-110-21, № ДР 0121U100542).

Ступінь обґрунтованості і достовірності отриманих результатів і зроблених висновків.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі, забезпечується коректністю постановок задач, застосуванням апробованих методів автоматичного керування та машинного навчання. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі, забезпечується коректністю постановок задач, застосуванням апробованих методів автоматичного керування та машинного навчання. В дисертаційній роботі для завдання початкових алгоритмів керування використані спрощення, коректність яких підтверджена отриманими

експериментальними даними та практикою. Теоретичні висновки, отримані в дисертації, підтверджено шляхом чисельного моделювання. У випадках, де це можливо, вірогідність також підтверджується гарним узгодженням результатів, отриманих різними методами, та їх порівнянням з уже відомими даними.

Основні положення і результати опубліковано в рецензованих журналах і пройшли апробацію на науково-технічних конференціях і семінарах.

Наукова новизна отриманих результатів.

Наукова новизна отриманих результатів пов'язана з підвищенням ефективності аналізу динаміки та керування супутників для вирішення задачі видалення космічного сміття іонним променем шляхом застосування моделей та методів машинного навчання. А саме:

- вперше запропоновано та протестовано використання моделей нейронних мереж декількох архітектур для вирішення задачі визначення сили впливу факела електрореактивного двигуна на об'єкт космічного сміття за інформацією про його відносне положення та орієнтацію. Створено датасети та розрахункові випадки для валідації моделей;

- створено алгоритм визначення ознак із зображення об'єкта космічного сміття з фотокамери для покращення точності визначення сили впливу на об'єкт космічного сміття за допомогою нейронних мереж. Такий підхід забезпечує кращу точність визначення сили у порівнянні з нейромережевим методом без попередньої обробки зображення з фотокамери;

- вперше отримано оцінки обчислювальної складності нейромережевих моделей, а також аналітично-чисельного алгоритму, що використовує метод центральних проєкцій на допоміжну площину. Ці оцінки демонструють, що нейромережеві алгоритми характеризуються меншою обчислювальною складністю у порівнянні з раніше відомими алгоритмами. Ця перевага суттєво зростає при збільшенні розмірності параметрів, які мають безпосередній вплив на точність визначення сили;

- продемонстровано можливість застосування методів навчання із підкріпленням для керування орієнтацією космічного апарату-переслідувача

для методу видалення космічного сміття із використанням іонного променя. Отриманий алгоритм дозволяє досягти кращих показників керування у порівнянні з методом, що використовує лінійно-квадратичний регулятор. Крім цього, можливе покращення якості керування орієнтацією космічного апарату у процесі його функціонування завдяки використанню алгоритму навчання із підкріпленням «критик-виконавець» та Гаусівської регресії;

- встановлено, що навчання з підкріпленням є перспективним методом синтезу закону керування для задачі керування відносним положенням космічного апарату при видаленні космічного сміття за допомогою іонного променя. Використання методології навчання з підкріпленням дозволяє досягти кращих показників керування за ті, які забезпечуються традиційним підходом при імпульсному керуванні відносним рухом з точки зору точності керування, швидкодії, кількості включень реактивних двигунів, або витрат палива. Запропонований алгоритм дає можливість розробляти системи керування, які можуть покращувати свої характеристики у міру накопичення даних при функціонуванні конкретного об'єкта;

- визначено, що з практичної точки зору запропонована методологія на базі методів машинного навчання має потенціал зменшити витрати на проведення місії з видалення космічного сміття, знизити вимоги до елементів систем керування (сенсорів, обчислювальної системи), відмовитись від спеціального стендового обладнання, знизити терміни та вартість розробки.

Усі отримані результати суттєво нові для України.

Публікації.

Основні наукові результати викладено у 14 друкованих роботах, серед них: 6 наукових статей (3 проіндексовано в міжнародних наукометричних базах даних Scopus і Web of Science; 3 опубліковані в фахових виданнях категорії Б); 8 тез та матеріалів доповідей наукових конференцій.

Практичне значення отриманих результатів.

Безпосереднє практичне значення отриманих результатів полягає у вирішенні важливих задач видалення космічного сміття іонним променем.

Разом з тим, представлена дисертація містить гарний доробок для ефективного застосування елементів штучного інтелекту в розробці та використанні космічної техніки. Запропонована в дисертаційній роботі методологія на базі методів машинного навчання має потенціал знизити вимоги до елементів систем керування (сенсорів, виконавчих органів), відмовитись від спеціального стендового обладнання, знизити терміни та вартість розробки.

Структура і обсяг дисертації.

Дисертація складається з анотацій двома мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (130 найменувань), додатків (11 сторінок), містить 94 рисунки та 24 таблиці. Загальний обсяг дисертації становить 206 сторінок.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. N 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Академічна доброчесність.

В дисертації та наукових публікаціях, що містять результати дослідження, не виявлено порушень академічної доброчесності. Основні наукові результати, які автор представив для захисту, було отримано самостійно та відображено в опублікованих роботах. В публікаціях, які підготовлено у співавторстві, використано ідеї, положення та розрахунки, що є результатом особистих наукових досліджень автора.

Зауваження до дисертаційної роботи:

При запровадженні системи координат, що пов'язана з об'єктом космічного сміття, некоректно використано поняття «інерційні вісі».

Деякі скорочення, що використовуються в дисертації, або розшифровуються нижче за текстом, або взагалі не розшифровуються. Оскільки в дисертації використовується багато скорочень, то бажано було б зробити в дисертаційній роботі їх перелік.

На сторінці 81 вказано, що «Еталонні вихідні значення сили були розраховані за допомогою методології, що представлена у розділі 1.», але розділ 1 не містить опису такої методології.

Векторні та матричні величини бажано виділяти від написання скалярних величин.

На сторінці 91 «Як було сказано, значення вектору сили були розраховані за допомогою функції, яка була розроблена за методологією, яка описана у розділі 2.5.1.» однак розділу 2.5.1 в дисертаційній роботі не існує.

Назва пункту 2.4 «Порівняння обчислювальної складності нейромережових моделей з аналітичним розв'язком для задачі визначення сили електро-реактивного двигуна для видалення ОКС з орбіти.» містить логічну неточність. Порівняння здійснюється з чисельним рішенням на основі аналітичного описання сили.

На сторінці 128 переплутано назви кутів орієнтації: « ψ , ϕ , та θ (крен, тангаж, рискання).»

В рівняннях (3.3) додано зайву похідну за часом.

У фразі: «центральні моменти інерції КА відносно відповідних осей» слово «центральні» зайве.

«Перехід від лінійного керування для системи (8) до нелінійного керування для початкової системи (1), (2)» описано незрозуміло – не вистачає посилання. Формула (3.10), що описує цей перехід, не повна.

Фраза на сторінці 142 «Для цього розрахункового випадку, сумарні вартості для лінійного та інтелектуального регуляторів склали 882.491 і 720.718, відповідно.» потребує пояснення.

Фраза на сторінці 146 «Оскільки сучасна система керування космічним апаратом являє собою дискретну комп'ютерну систему» здається не зовсім коректною.

Наведені зауваження відносяться до оформлення дисертаційної роботи та не зменшують цінності її змісту.

Висновок:

За результатами розгляду дисертації Редьки Михайла Олександровича «Моделі та методи машинного навчання для аналізу динаміки та керування

супутників при видаленні космічного сміття іонним променем» представлену на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю – 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, вважаю дисертаційну роботу завершеною науковою працею, яка вирішує важливу науково-практичну задачу. За актуальністю, об'ємом та методичним рівнем досліджень, ступенем обґрунтованості наукових положень та висновків, науковою новизною та практичною цінністю, рівнем отриманих результатів та висновків, повнотою їх викладення в опублікованих працях, дисертаційна робота відповідає вимогам МОН України до кваліфікаційних наукових праць, а саме Наказу МОН України № 40 від 12 січня 2017 року, та вимогам, передбаченим 5-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44.

Вважаю, що виконано велику, важливу та цікаву роботу, а здобувач Редька Михайло Олександрович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю – 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Рецензент:

провідний науковий співробітник

Інституту технічної механіки НАНУ і ДКАУ,

доктор фізико-математичних наук,

старший науковий співробітник



Олександр ПИРОЖЕНКО

