

**Міністерство освіти і науки України
Клуб Пакувальників**

**Матеріали доповідей
XXIII Науково-практичної конференції
молодих вчених
«Новітні технології пакування»**

Додаток до журналу «Упаковка®»



**За
підтримки:**



Київ – 2025

ЗМІСТ

Майбутнє упаковки: інклюзивний дизайн як новий стандарт

О.Р. Загребельна, наук. кер. – О.В. Ганоцька, к.мист., ХДАДМ, м. Харків.....4

Створення серії етикеток бляшанок для стародавніх напоїв України в етнічному стилі

А.Г. Жерносек, наук. кер. – О.В. Чуєва, к.мист., КНУКіМ, м. Київ.....7

Мультисенсорний підхід у сучасному дизайні упаковки (інтеграція зорових, тактильних та аудіальних елементів у візуальні комунікації бренду)

А.Ю. Руденко, наук. кер. – О.В. Ганоцька, к.мист., ХДАДМ, м. Харків11

Моделювання та оцінка коливань траєкторії швидкісного маніпулятора за допомогою LESR і CV

А.А. Кохан, В.І. Туфекчі, к.т.н., наук. кер. – С.О. Володін, к.т.н., НУХТ, м. Київ.....14

Аналітична оцінка силового навантаження привода натискної плити секційної будови в штанцювальному пресі

Ю.Ю. Михайлів, наук. кер. – І.І. Регей, д.т.н., НУ «Львівська політехніка», м. Львів.....17

Синтез soft-захватів для мехатронного модуля маніпулятора

Д. Ємельянов, С. Семенюк, О. Гавва, наук. кер. – Л.О. Кривопляс-Володіна, д.т.н., НУХТ, м. Київ.....19

Особливості переміщення вантажів у керованому потоці повітря захватних пристроїв

О.Ю. Сокол, Л.О. Сотник, наук. кер. – А.В. Деренівська, к.т.н., НУХТ, м. Київ.....22

Моделювання та оцінка коливань траєкторії швидкісного маніпулятора за допомогою LESR і CV

*А.А. Кохан, В.І. Туфкєчі, к.т.н., наук. керівник – С.О. Володін, к.т.н.,
Національний університет харчових технологій, м. Київ*

Розробка та оптимізація роботизованих систем у середовищі CoppeliaSim набуває дедалі більшої актуальності завдяки можливості детального аналізу процесів керування та симуляції взаємодії між роботизованими ланками та зовнішнім середовищем. Серед ключових аспектів, які необхідно враховувати при налаштуванні таких систем, є оцінка похибок траєкторії й стабільності роботи виконавчих органів, особливо пневматичного захоплення. Для аналізу точності руху та стабільності широко використовуються показники середньоквадратичної похибки Root Mean Square Error (RMSE) та середньоабсолютної похибки Mean Absolute Error (MAE).

Під час досліджування враховувалося співвідношення RMSE/MAE, що дає змогу розуміти, як окремі великі відхилення впливають на загальну оцінку точності. За умови, коли RMSE/MAE близьке до 1, то похибки в траєкторії є більш-менш рівномірними. Якщо ж співвідношення набагато більше за 1, це свідчить про наявність значних викидів, які можуть бути спричинені недосконалим налаштуванням регулятора, шумом у сенсорах або іншими факторами (наприклад, некоректним тиском у системі).

Для покращення оцінки впливу цих викидів використовується коефіцієнт Large Error Sensitivity Ratio (LESR), що додатково підкреслює чутливість до великих похибок. Високі значення LESR може вказувати на необхідність адаптації алгоритму керування пневматичним захопленням, зменшення шумів у контурі керування або загального вдосконалення динамічної моделі віртуального маніпулятора.

Метою дослідження є розробка методики симуляції маніпулятора в CoppeliaSim із подальшим аналізом показників RMSE, MAE, коефіцієнта RMSE/MAE та LESR. Це дасть змогу:

- 1) визначити вплив великих відхилень на точність захоплення об'єктів пневматичним захватом;
- 2) оцінити стабільність роботи системи керування за умов змінного навантаження та шуму в сенсорах;
- 3) запропонувати рекомендації щодо покращення налаштувань симуляційної моделі для зменшення похибок руху.

Для моделювання використано програмне середовище CoppeliaSim (раніше відоме як V-REP), яке дає можливість налаштувати фізичні та кінематичні характеристики роботизованих систем. Було застосовано:

- 3D-модель маніпулятора із двома ступенями вільності;
- скрипти на мові Lua, вбудовані в CoppeliaSim, для реалізації логіки керування та збирання даних про поточні кути, положення та зусилля;
- параметричне задання характеристик пневмосистеми – моделювання подачі повітря, втрат тиску та часу спрацювання;

- обчислення похибок RMSE, MAE та додаткових коефіцієнтів RMSE/MAE, LESR у реальному часі під час симуляції за допомогою зовнішнього Python-скрипта, який обмінюється даними з CoppeliaSim через API.

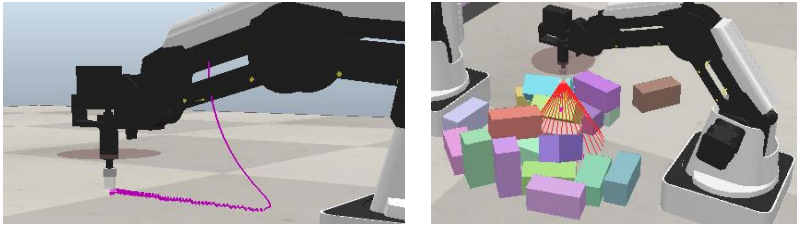


Рис. 1. 3D-модель основних кінематичних ланок маніпулятора в CoppeliaSim із параметрами системи

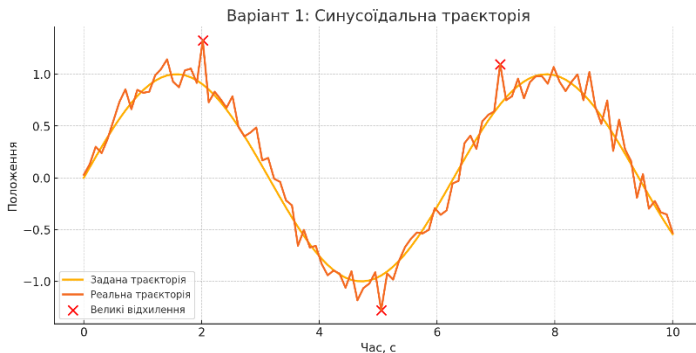


Рис. 2. Порівняння реальної та заданої траєкторії руху з позначенням великих відхилень

При тестуванні маніпулятора під різним тиском повітря було виявлено, що RMSE у середньому становила $2,1^\circ$ від заданої траєкторії, а MAE – $1,9^\circ$. Співвідношення $RMSE/MAE \approx 1,1$, що свідчить про відносно рівномірний розподіл похибок.

У разі збільшення навантаження на захват або при різкій зміні тиску LESR різко зростає (понад 1,5), вказуючи на наявність епізодичних великих похибок. Додатково було обчислено коефіцієнт варіації (CV) як відношення середньоквадратичного відхилення до середнього значення. Цей показник допоміг оцінити стабільність руху відносно середнього положення. Однак слід пам'ятати, що CV може бути менш інформативним за умов, коли середні значення позицій змінюються.

Таким чином, коефіцієнт LESR у поєднанні з RMSE та MAE дає змогу оперативно виявляти великі відхилення, які можуть виникати через недосконалу модель або шум у системі.

Висновки. Запропонована методика використання RMSE, MAE, RMSE/MAE та LESR у CoppeliaSim показала ефективність при виявленні великих відхилень у рухах маніпулятора.

Високе значення LESR свідчить про необхідність додаткового налаштування системи керування захватом та фільтрації шумів.

Використання CV у комплексі з іншими показниками покращує розуміння стабільності роботи, хоча і залежить від середнього значення кутів/положення. Для подальшого підвищення точності захоплення рекомендується уточнювати динамічну модель (враховувати реальні втрати тиску та часові затримки) та застосовувати адаптивні регулятори.

Література:

1. Офіційний сайт CoppeliaSim – документація та приклади використання симуляційного середовища. URL: <https://www.coppeliarobotics.com/>
2. *Gavva O.M., Kryvoplias-Volodina L., Blazhenko S., Tokarchuk S., Derenivska A.* Synthesis of precision dosing system for liquid products based on electropneumatic complexes // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. № 6 (2 (114)).
3. *Teixeira A.P., Ferreira R.J.P.* Augmented reality as a tool for engineering education // Proceedings of the International Conference on Information and Communication Technology. 2020.
4. *Doherty J.G. McGinn T.M.* Automated hybrid package sealing system // Electronic Manufacturing Technology Symposium, Design-to-Manufacturing Transfer Cycle. Fifth IEEE/CHMT International. 1988. Pp. 183–187.