

Матеріали 92-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті", 20–24 квітня 2026 р. – Київ: НУХТ, – Ч.2.

Адаптивна координація мульти-роботних пакувальних систем на основі алгоритмів MRTA

Владислав Карпов, Валентин Туфекчі

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Зростання варіативності пакувальних операцій (змішані SKU, короткі серії, часті переналадки) робить мульти-роботні комірки ефективними, але в зоні перекриття досяжності виникають взаємні блокування, простоя та ризики колізій [1,3]. Деформовані вантажі (пакети/мішки) ускладнюють контроль: геометрія змінюється під час захвату, тому потрібно регулярно оновлювати оцінку положення й адаптувати траєкторії [1]. Мета дослідження — розробити та верифікувати (в цифровому двійнику) адаптивну координацію двох роботів із мінімізацією колізій і простоїв за рахунок поєднання локалізації, MRTA та планування руху [1,2].

Матеріали і методи. Експериментальний дизайн: симуляція; Середовище: CoppeliaSim; конвеєр 2 м із регульованою швидкістю; фізика Bullet 2.78 [1]. Апаратна конфігурація: два промислові роботи-маніпулятори по обидва боки конвеєра (Задано модель/вантажопідйомність/кількість осей); захват (вакуумний присмоктувач); сенсори — RGB-D камери над конвеєром для формування хмари точок [1]. Алгоритмічний контур: (і) локалізація об'єктів: хмара точок → опукла оболонка → центроїд; D2/D2m згадані як методи уточнення [1]; (розподіл завдань MRTA: децентралізований Contract-Net-подібний підхід із функцією вартості (відстань, прогнозований час, пріоритет, штраф конфлікту у спільній зоні) [1,2]; планування траєкторій та перевірка колізій: OMPL-плагін (RRT-Connect) у CoppeliaSim [1,3].

Метрики: пропускна здатність (об'єктів/год), час циклу/простої, колізії або «близькі проходи», рівномірність навантаження; для деформованих вантажів — частка успішних операцій та профілі похибки позиціонування $ex(t)$ [1].

Результати та обговорення. У цифровому двійнику розглянуто три сценарії взаємодії та запропоновано критерій вибору, який враховує не лише величину похибки $ex(t)$, а й її варіативність у часі (як проксі-ризик конфліктів) [1]. Для сценарію «координована робота у спільній зоні» наведено продуктивність: однороботний режим ≈ 200 об'єктів/год; двороботний без координації ≈ 250 об'єктів/год; двороботний з координацією ≈ 330 об'єктів/год. У підсумку зазначено приріст продуктивності на 32% (до 330 об/год) відносно некерованої двороботної роботи та усунення фізичних колізій у моделюванні. Для деформованих вантажів наведено частку успішно відсортованих пакунків 98.7%.

Висновки. Комбінування RGB-D-локалізації, децентралізованого market-based MRTA зі «штрафом колізій» та OMPL-планування траєкторій у цифровому двійнику є практичним шляхом підвищення пропускної здатності пакування без нарощення ризиків у спільній робочій зоні. За даними оглядів, перехід до MARL може дати результати в адаптивності, але має високу ціну навчання та Sim2Real-ризиків, тому порівняння підходів варто вести на єдиному тесті цифрового двійника.

Література

1. Quinton F., Grand C., Lesire C. Market Approaches to the Multi-Robot Task Allocation Problem: a Survey. *J Intell Robot Syst*, 2023. doi:10.1007/s10846-022-01803-0.
2. Surynek P. Problem Compilation for Multi-Agent Path Finding: a Survey. *IJCAI 2022 (Survey Track)*, 2022.
3. Coppelia Robotics. CoppeliaSim User Manual: Path/motion planning (OMPL plugin). Документація (доступ: 2026-03-23).