

УДК 62-932:62.532

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО АВТОМАТИЧНОГО НАПОВНЕННЯ КОВША НАВАНТАЖУВАЧА

Гурко В. О.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Переміщення сипучих матеріалів є невід'ємною частиною багатьох будівельних робіт. Основною машиною, яка при цьому використовується, є колісний навантажувач. Типовий робочий цикл колісного навантажувача складається з трьох етапів: завантаження ковша матеріалом, транспортування матеріалу і його вивантаження. Переміщення навантажувача під час транспортування матеріалу між точками завантаження і вивантаження може здійснюватися з використанням супутникових навігаційних систем GPS-навігації або більш складних методів з області мобільної робототехніки [1]. Вивантаження матеріалу є відносно простим завданням для автоматизації і може бути виконане шляхом програмного керування, хоча в складніших випадках необхідно використовувати системи машинного зору для оцінки відстані ковша до транспортного засобу [2].

Стосовно фронтальних навантажувачів найскладнішим є завдання автоматичного завантаження ковша матеріалом. З погляду підвищення продуктивності навантажувача, а також для зниження шкідливого впливу на навколишнє середовище необхідно, щоб ківш заповнювався матеріалом максимально за мінімізації механічних навантажень на механізмі стріли та на машину в цілому.

Більшість наявних робіт, присвячених автоматизації навантажувачів, зосереджені на завданні автоматичного черпання матеріалу і практично не розглядають питання вибору місця для початку черпання, покладаючись при цьому на людину-оператора. І вже після контакту ковша з матеріалом система управління бере на себе виконання операції наповнення ковша. Водночас на наповнюваність ковша впливає його положення перед початком

черпання матеріалу. Ківш навантажувача має входити у забій із матеріалом горизонтально. В іншому разі буде складніше повністю заповнити ківш, і буде складніше зберегти гарний профіль забою. По горизонталі ківш слід орієнтувати так, щоб більше об'єму матеріалу знаходилося в середині ковша, а не по його краях. Це дає змогу запобігти асиметричному навантаженню на ківш.

Наявні підходи щодо автоматичного заповнення ковша можна розділити на дві великі групи: що ґрунтуються на положеннях теорії автоматичного керування, та підходи, що для керування навантажувачем використовують різноманітні інтелектуальні методи.

Підходи, що ґрунтуються на досягненнях теорії автоматичного керування, засновані на розв'язанні задачі оптимального керування за фізичними обмеженнями та з урахуванням таких критеріїв ефективності, як коефіцієнт заповнення ковша, паливна економічність і тривалість робочого циклу. Прикладом такого підходу є роботи [3, 4].

Основна проблема використання традиційної теорії управління полягає в необхідності моделювання взаємодії між ковшем і матеріалом, що виймається. Тому останнім часом дедалі більше уваги приділяється інтелектуальним методам керування процесом наповнення ковша.

Серед рішень, що використовуються в рамках інтелектуального управління, поширеними є рішення, засновані на використанні апарату нечіткої логіки [5]. Однак останнім часом намітилася тенденція на дедалі ширше використання технологій машинного навчання. Для цього використовуються різні лінійні та нелінійні алгоритми навчання: лінійна регресія, дерева прийняття рішень, метод k -найближчих сусідів та інші. Однак найперспективнішим напрямком бачиться використання алгоритмів, заснованих на навчанні з підкріпленням [6].

У навчанні з підкріпленням інтелектуальний агент взаємодіє з навколишнім середовищем, здійснюючи певні дії. За результатами цих дій навколишнє середовище дає агентові або позитивну винагороду за правильну

дію, щоб спонукати агента, або негативну за неправильну. Це програмує агента на пошук довгострокової та максимальної загальної винагороди для досягнення оптимального рішення. З часом система вчиться уникати негативних дій і вчиняє тільки позитивні.

Використання такого підходу для реалізації системи керування навантажувачем дає змогу системі керування автоматично адаптуватися до змін складу і властивостей матеріалу в забої та з огляду на це змінювати траєкторію руху ковша і сили, що розвиваються. Складністю використання навчання з підкріпленням для автоматизації процесу заповнення ковша навантажувача є вимога до значної кількості навчальних даних, отримання яких в реальних умовах може бути затратним. Виходом є використання для навчання комп'ютерної симуляції, що дозволяє моделювати різноманітні сценарії процесу наповнення ковша навантажувача без ризиків для обладнання.

Література:

1. Гурко О. Г., Гурко В. О., Кучеренко А. Ю. Керування рухом фронтального навантажувача за заданою траєкторією. *Вісник ХНАДУ*, 2023, вип. 101, т. 1. С. 26–34. doi: [10.30977/BUL.2219-5548.2023.101.0.26](https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2023.101.0.26)
2. Borngrund C., Bodin U., Sandin F. Machine Vision for Construction Equipment by Transfer Learning with Scale Models, *2020 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, Glasgow, UK, 2020, pp. 1-8, doi: 10.1109/IJCNN48605.2020.9207577
3. Yao J. et al. Bucket Loading Trajectory Optimization for the Automated Wheel Loader. *In IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 72, no. 6, pp. 6948-6958, June 2023, doi: 10.1109/TVT.2023.3236507
4. Dobson A. A., Marshall J. A., Larsson J. Admittance control for robotic loading: Design and experiments with a 1-tonne loader and a 14-tonne load-haul-dump machine, *Journal of Field Robotics*, vol. 34, no. 1, pp. 123–150, 2017. doi: 10.1002/rob.21654

5. Lever PJA. An automated digging control for a wheel loader. *Robotica*. 2001;19(5):497-511. doi: 10.1017/S0263574701003435

6. Dadhich S., Sandin F., Bodin U., Andersson U. and Martinsson T., Adaptation of a wheel loader automatic bucket filling neural network using reinforcement learning, *2020 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, Glasgow, UK, 2020, pp. 1-9, doi: 10.1109/IJCNN48605.2020.9206849