

**БЕЗКОНТАКТНЕ КЕРУВАННЯ РОЗУМНИМИ ПРИСТРОЯМИ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ЖЕСТІВ****С. А. Шворов, доктор технічних наук, професор****Національний університет біоресурсів і природокористування України**<https://orcid.org/0000-0003-3358-1297>**E-mail:** sosdok@nubip.edu.ua**А. С. Луцик, SAP консультант Fozzy Group**<https://orcid.org/0009-0003-9534-2424>**E-mail:** slutsik@gmail.com

Анотація. Метою дослідження є розробка науково обґрунтованого підходу до проектування ергономічних систем керування сільськогосподарськими дронами на основі алгоритмів розпізнавання жестів рук із використанням сучасних технологій комп'ютерного зору та глибинного навчання. Запропонований підхід спрямований на підвищення ефективності, точності та зручності людино-машинної взаємодії в умовах реального застосування агродронів. У роботі використано методи системного аналізу для формалізації процесів взаємодії «користувач–пристрій», методи порівняльного аналізу сучасних бібліотек і фреймворків, методи побудови та дослідження моделей глибинного навчання, а також методи імітаційного моделювання для перевірки працездатності запропонованих рішень. В роботі розроблено методіку проектування ергономічної системи жестового управління агродронами, яка включає: формалізацію інформаційної моделі взаємодії, обґрунтування набору жестів з урахуванням ергономічних критеріїв, вибір програмних засобів реалізації та параметрів архітектури нейронних мереж. Реалізовано експериментальний прототип системи на базі MediaPipe та Python, що забезпечує розпізнавання жестів у реальному часі. Проведено імітаційне тестування із використанням моделі керування курсором, що дозволило оцінити точність і стабільність розпізнавання. Отримані результати підтверджують працездатність запропонованого підходу та демонструють можливість його практичного застосування для створення інтуїтивних інтерфейсів керування агродронами. Розроблена методика може бути використана при створенні систем управління не лише агродронами, але й іншими розумними пристроями.

Ключові слова: розпізнавання жестів, агродрон, комп'ютерний зір, MediaPipe, людино-машинна взаємодія, глибинне навчання, безконтактне управління

Вступ. Стрімкий розвиток технологій Інтернету речей (IoT), комп'ютерного зору та інтелектуальних систем управління зумовлює трансформацію підходів до автоматизації агропромислових процесів. Одним із ключових напрямів є використання безпілотних літальних апаратів (агродронів), які забезпечують ефективне виконання завдань моніторингу посівів, картографування та обробки сільськогосподарських угідь у рамках концепції точного землеробства.

Разом із тим, існуючі підходи до управління агродронами, що базуються на використанні пультів або мобільних застосунків, вимагають спеціальної підготовки операторів, є менш адаптивними в умовах обмеженого часу та можуть бути неефективними у критичних або аварійних ситуаціях. Це обумовлює необхідність розробки альтернативних, більш інтуїтивних та ергономічних інтерфейсів взаємодії.

Перспективним напрямом є використання жестового управління як природного способу людино-машинної взаємодії, що дозволяє забезпечити швидке навчання користувачів, зменшити ймовірність помилок та підвищити безпеку виконання операцій. Крім того, безконтактні інтерфейси керування є особливо ефективними в умовах надзвичайних ситуацій, де критично важливими є швидкість реакції, відновлення контролю та оперативне прийняття рішень.

Реалізація таких підходів потребує розробки надійних алгоритмів розпізнавання жестів на основі методів комп'ютерного зору та нейронних мереж, здатних забезпечити високу

точність, стабільність та роботу в реальному часі. Таким чином, актуальним є дослідження та розробка методів проектування ергономічних систем жестового управління агродронами, що дозволить підвищити ефективність їх використання, розширити функціональні можливості та забезпечити новий рівень людино-машинної взаємодії в агропромисловому секторі.

Огляд літературних джерел. Розвиток сучасних підходів до людино-машинної взаємодії характеризується активним впровадженням безконтактних інтерфейсів, серед яких особливе місце займають системи, що базуються на розпізнаванні жестів рук [1, 2]. Такі рішення забезпечують природний спосіб управління технічними пристроями, зокрема безпілотними літальними апаратами, і мають переваги у вигляді високої оперативності, інтуїтивності та адаптивності до умов реального середовища [3].

У дослідженні [1] запропоновано ефективну модель розпізнавання жестів на основі архітектури YOLOv3 (DarkNet-53), яка дозволяє досягати високої точності (порядку 97 %) без попередньої обробки зображень. Отримані результати демонструють перевагу цього підходу порівняно з іншими відомими моделями, зокрема SSD та VGG16, як для статичних, так і для динамічних жестів. Узагальнюючі роботи [2, 3] систематизують сучасні методи класифікації жестів, включаючи згорткові нейронні мережі, приховані марковські моделі, графові нейронні мережі та трансформерні архітектури, а також визначають ключові проблеми практичної реалізації, серед яких варіативність освітлення, часткові перекриття об'єктів та необхідність забезпечення роботи в режимі реального часу.

Важливим кроком у розвитку технологій комп'ютерного зору стало створення фреймворку MediaPipe [4], який забезпечує ефективне відстеження положення руки за допомогою визначення 21 тривимірної ключової точки з одного RGB-зображення. Даний підхід дозволяє реалізувати стабільне розпізнавання жестів у режимі реального часу навіть на пристроях з обмеженими обчислювальними ресурсами, включаючи мобільні платформи. Подальші дослідження показали, що поєднання MediaPipe із моделями глибинного навчання, зокрема CNN та LSTM, дозволяє досягти високого рівня точності при обробці динамічних жестів із збереженням ефективності обчислень [5]. Зокрема, використання гібридних архітектур забезпечує точність понад 89 % у задачах реального часу.

Практичні дослідження підтверджують можливість застосування жестових інтерфейсів для управління агродронами. У роботі [6] реалізовано прототип системи, що використовує обмежений набір базових жестів для виконання основних команд керування. Використання технології MediaPipe Hand Landmarks у поєднанні з легкою нейронною мережею (EfficientNet-B3) забезпечило стабільну роботу системи при зміні умов освітлення та кута спостереження, що є критичним для польових застосувань і вбудованих систем.

Значна увага в сучасних дослідженнях приділяється ергономічним аспектам проектування жестових інтерфейсів. Встановлено, що ефективність систем розпізнавання значною мірою залежить від відповідності жестів природним рухам користувача, їх однозначності та зручності виконання [6–8]. У зв'язку з цим активно розвиваються підходи, орієнтовані на користувача, які передбачають залучення кінцевих користувачів до формування наборів жестів відповідно до конкретних сценаріїв використання.

Незважаючи на досягнуті результати, низка проблем залишається невирішеною. До них належать забезпечення стійкої роботи систем у неконтрольованих умовах, адаптація алгоритмів до індивідуальних особливостей користувачів, підвищення точності розпізнавання динамічних жестів та створення універсальних бібліотек жестових команд [2, 3]. Перспективними напрямками подальших досліджень є використання трансформерних моделей, інтеграція мультисенсорних даних та розробка уніфікованих підходів до жестового управління в системах Інтернету речей, зокрема в агропромисловому секторі.

Мета дослідження – розробка науково обґрунтованого підходу до проектування ергономічних систем керування сільськогосподарськими дронами на основі алгоритмів розпізнавання жестів рук із використанням сучасних технологій комп'ютерного зору та глибинного навчання. Реалізація запропонованого підходу спрямована на підвищення ефективності, надійності та зручності людино-машинної взаємодії в умовах реального

застосування агродронів. Для досягнення поставленої мети сформульовано наступні завдання на дослідження:

1. Формалізація взаємодії «користувач–пристрій» шляхом розробки ергономічної моделі управління, що передбачає використання інтуїтивно зрозумілих жестів та забезпечує зниження когнітивного навантаження на оператора.

2. Обґрунтування вибору програмних засобів реалізації, зокрема фреймворків і бібліотек (TensorFlow, PyTorch, MediaPipe, OpenCV), для задач розпізнавання жестів на основі візуальних даних із урахуванням вимог до точності, швидкодії та можливості застосування в системах управління агродронами.

3. Розробка та реалізація алгоритму управління агродроном, що забезпечує стабільну роботу системи в умовах реального середовища, включаючи змінне освітлення, динамічні перешкоди та обмежені обчислювальні ресурси.

Матеріали і методи дослідження. У роботі використано комплекс взаємопов'язаних методів дослідження, зокрема:

- методи системного аналізу – для формалізації структури та процесів взаємодії в ергономічних системах управління;
- методи аналізу та порівняння програмних засобів – для вибору ефективних бібліотек і фреймворків комп'ютерного зору та машинного навчання (MediaPipe, OpenCV, TensorFlow, PyTorch);
- методи глибинного навчання – для побудови та дослідження моделей розпізнавання жестів рук;
- методи імітаційного моделювання – для перевірки працездатності розробленого алгоритму управління із використанням мови програмування Python.

Результати досліджень та їх обговорення. Розвиток агропромислових безпілотних літальних апаратів обумовлює необхідність впровадження більш ефективних та інтуїтивних способів управління. Традиційні засоби керування, зокрема пульти, залишаються складними для освоєння користувачами без спеціальної підготовки [9]. У зв'язку з цим жестові інтерфейси розглядаються як перспективний підхід, що забезпечує природну взаємодію з дроном та можливість передачі команд без фізичного контакту [10], що особливо важливо в польових умовах.

Сучасні системи комп'ютерного зору забезпечують надійне розпізнавання жестів у реальному часі. Зокрема, технологія MediaPipe Hands дозволяє відстежувати 21 ключову точку кисті у тривимірному просторі на основі одного RGB-зображення [11], що створює передумови для формування стабільних алгоритмів керування агродронами.

Важливим результатом дослідження є встановлення критеріїв формування ефективного набору жестів. Показано, що ергономічність та інтуїтивність жестів безпосередньо впливають на зниження навантаження на оператора та підвищення точності управління [9]. При цьому ключовим є забезпечення однозначності інтерпретації кожної команди як користувачем, так і алгоритмом.

Аналіз існуючих підходів показує доцільність використання комбінованих моделей жестового управління, які поєднують статичні пози та динамічні рухи руки [10]. Статичні жести характеризуються простотою класифікації, тоді як динамічні дозволяють передавати додаткову інформацію про напрямок руху. У роботах [12–14] підтверджено ефективність такого підходу для керування рухом безпілотних літальних апаратів.

Практичні експерименти свідчать, що сучасні методи машинного навчання забезпечують високу точність розпізнавання жестів. Зокрема, у [14, 15] досягнуто точності близько 93 % при класифікації набору базових жестів для управління дроном у реальному часі. Додаткове підвищення стабільності системи досягається за рахунок використання методів фільтрації, зокрема аналізу послідовності кадрів [10].

На основі проведеного аналізу сформульовано вимоги до набору жестів для управління агродроном:

- ергономічність і зручність виконання;

інтуїтивна відповідність командам;
унікальність та відсутність неоднозначності;
висока розпізнаваність у різних умовах;
обмежений обсяг команд (6–10 жестів) для забезпечення надійності системи.

Відповідно до цих вимог розроблено набір із 8 базових жестів, що забезпечують виконання основних команд керування агродроном: зліт, посадка, зависання, рух у горизонтальній площині (вперед, назад, вліво, вправо) та зміну висоти. Запропоновані жести базуються на природних асоціаціях (напрямок руху задається положенням пальців), що підвищує інтуїтивність управління, а також мають унікальні конфігурації пальців, що спрощує їх автоматичну класифікацію.

Додатково визначено принципи функціонування системи: у разі відсутності розпізнаного жесту або невизначеного положення руки команда не передається, що забезпечує стійкість до помилкових спрацьовувань. Такий підхід підвищує безпеку експлуатації системи в реальних умовах.

Для перевірки працездатності запропонованого підходу реалізовано програмний прототип системи жестового управління із використанням вебкамери, бібліотек MediaPipe та OpenCV і середовища Python. Як тестове середовище використано імітацію керування курсором комп'ютера, що дозволяє безпечно оцінити поведінку системи до її інтеграції з реальним дроном. Подібні підходи до валідації описані в роботі [15].

Отримані результати показали, що використання MediaPipe Hands забезпечує обробку відеопотоку в реальному часі (порядку 30 кадрів/с) на стандартному процесорі, що дозволяє досягти мінімальної затримки між виконанням жесту та реакцією системи [11]. Це підтверджує можливість практичного застосування запропонованого підходу в задачах управління агродронами.

Алгоритм розпізнавання жестів. Алгоритм розпізнавання жестів базується на аналізі координат ключових точок кисті (landmarks), що визначаються на кожному кадрі відеопотоку. Після виявлення руки отримуються нормалізовані координати 21 точки, які використовуються для подальшої класифікації. Визначення стану пальців (розпрямлений/зігнутий) здійснюється шляхом порівняння геометричного розташування відповідних суглобів: кінчик пальця (TIP) порівнюється з базовими точками (PIP або MCP), що дозволяє формалізувати ознаки жесту [15].

Реалізація алгоритму передбачає багатоступеневу обробку даних. На першому етапі виконується детекція руки в кадрі засобами MediaPipe із подальшою візуалізацією маркерів та їх зв'язків. Далі здійснюється отримання координат та визначення типу руки (ліва або права), що задає відповідну гілку обробки. Приклади конфігурацій жестів для лівої руки наведено на рис. 1.

Для лівої руки реалізовано розпізнавання набору дискретних жестів, що відповідають командам керування, тоді як для правої руки використано підхід аналізу її переміщення у просторі. Зокрема, переміщення руки по осях координат x та y інтерпретується як керуючі сигнали.

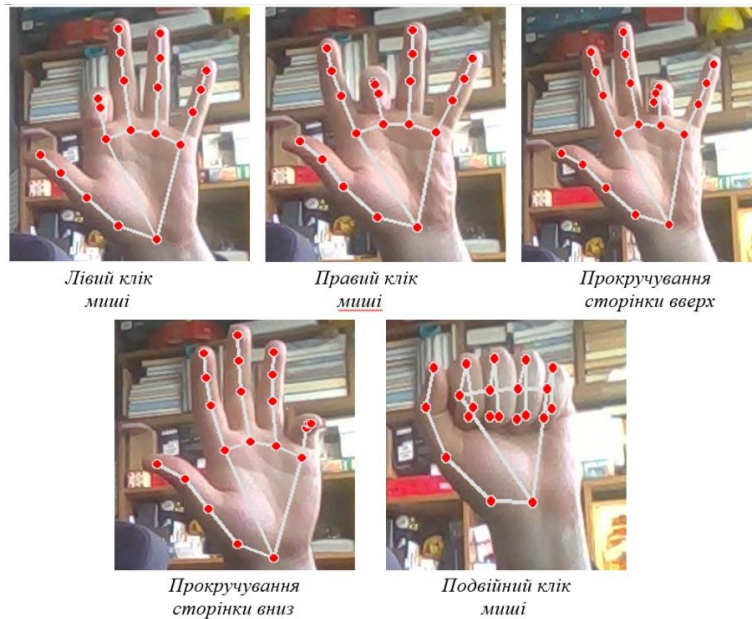


Рис. 1. Приклади реалізації жестів для лівої руки

Для апробації алгоритму реалізовано програмний модуль керування курсором миші з використанням бібліотеки PyAutoGUI. Координати окремих маркерів кисті використовуються для визначення положення курсора (рис. 2), що дозволяє моделювати взаємодію з об'єктом управління в безпечному середовищі.



Рис. 2. Приклад реалізації керування курсором миші

Аналіз руху руки в просторі здійснюється шляхом визначення векторів зміщення ключових точок між послідовними кадрами. Це дозволяє інтерпретувати напрямок руху як відповідні команди (рис. 3).

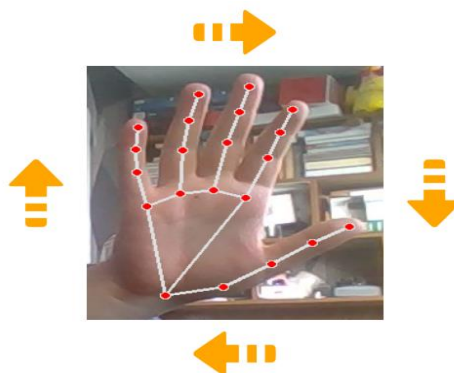


Рис. 3. Можливі вектори руху долоні

Для підвищення надійності роботи алгоритму введено додаткові обмеження на розпізнавання жестів. Зокрема, здійснюється перевірка орієнтації руки з метою виключення

випадків її неприродного положення (нахил або "завалення"), що може призводити до хибних спрацьовувань. Приклади таких ситуацій наведено на рис. 4.

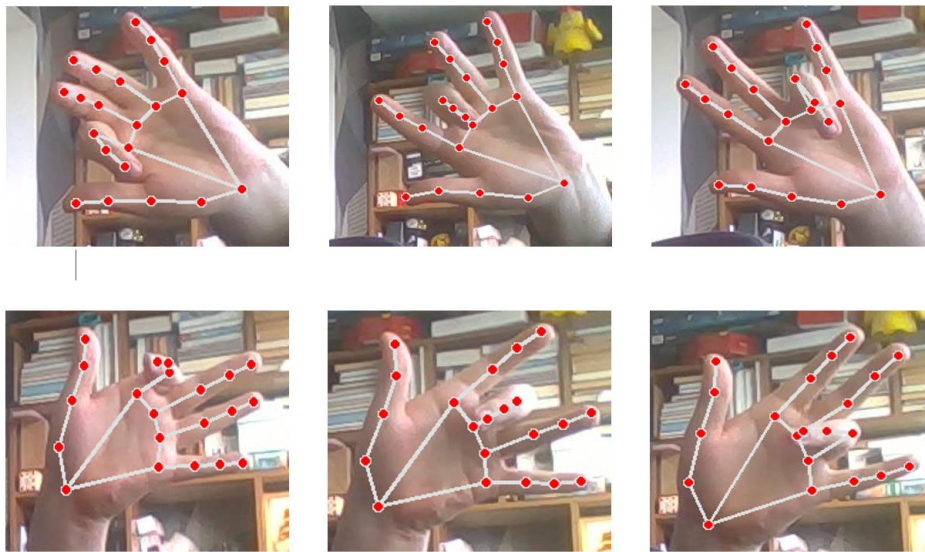


Рис. 4. Приклади положення руки, коли керування заборонено

Додатково реалізовано механізм активації системи за допомогою службового жесту («вказівника»), який використовується як умова ініціалізації обробки. За відсутності цього жесту система ігнорує вхідні дані, що дозволяє уникнути випадкової генерації команд.

Експериментальні результати показали, що запропонований алгоритм забезпечує стабільне розпізнавання жестів у реальному часі та може бути використаний для побудови інтуїтивних систем управління. Порівняно з традиційними засобами керування БПЛА, жестовий підхід забезпечує зменшення кількості помилок, скорочення часу навчання операторів та підвищення оперативності прийняття рішень.

Отже, запропонований алгоритм розпізнавання жестів дозволяє підвищити ергономічність систем управління агродронами, забезпечуючи ефективну та надійну людино-машинну взаємодію, що має як технічні, так і економічні переваги.

Висновки. У роботі розроблено підхід до проектування ергономічних систем керування сільськогосподарськими дронами на основі алгоритмів розпізнавання жестів рук із використанням сучасних технологій комп'ютерного зору та глибокого навчання. Запропонований підхід забезпечує підвищення ефективності та зручності людино-машинної взаємодії, зокрема за рахунок використання інтуїтивних безконтактних інтерфейсів управління.

У результаті дослідження сформовано вимоги до набору жестів з урахуванням ергономічних критеріїв, розроблено відповідний набір команд для базового керування агродроном та запропоновано алгоритм їх розпізнавання на основі аналізу координат ключових точок кисті. Реалізовано програмний прототип системи із використанням MediaPipe та Python, що забезпечує обробку жестів у режимі реального часу.

Для перевірки працездатності запропонованих рішень застосовано метод імітаційного моделювання, зокрема керування курсором миші як тестового об'єкта. Отримані експериментальні результати підтвердили стабільність роботи алгоритму, адекватність розпізнавання жестів та можливість практичного застосування запропонованого підходу в системах управління агродронами.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розробленої методики для створення ергономічних систем управління не лише агродронами, але й іншими інтелектуальними пристроями, що функціонують у складі кіберфізичних систем. Використання жестового управління дозволяє зменшити вимоги до підготовки операторів, підвищити оперативність виконання завдань та знизити ймовірність помилок.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розширенням функціональності системи за рахунок введення додаткових жестів для спеціалізованих задач, реалізацією адаптивних алгоритмів персоналізації під користувача, а також інтеграцією жестового управління з іншими каналами взаємодії (зокрема голосовими). Важливим напрямом є проведення експериментальних досліджень у реальних польових умовах із використанням фізичних агродронів для оцінки ефективності та надійності запропонованих рішень.

Таким чином, результати дослідження підтверджують доцільність використання жестового управління як перспективного напрямку розвитку систем керування агродронами та інших інтелектуальних технічних засобів.

Список використаних джерел

1. Real-Time Hand Gesture Recognition Based on Deep Learning YOLOv3 Model / A. Mujahid et al. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, no. 9. P. 4164. URL: <https://doi.org/10.3390/app11094164>
2. Iqbal M. Z., Campbell A. G. From luxury to necessity: Progress of touchless interaction technology. *Technology in Society*. 2021. Vol. 67. Art. no. 101796. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101796>
3. Linardakis M., Varlamis I., Papadopoulos G. T. Survey on Hand Gesture Recognition from Visual Input. *IEEE Access*. 2025. P. 1. URL: <https://doi.org/10.1109/access.2025.3593428>
4. Bazarevsky V., Zhang F. On-Device, Real-Time Hand Tracking with MediaPipe / Google Research. 2019. URL: <https://research.google/blog/on-device-real-time-hand-tracking-with-mediapipe/>
5. Next-Gen Dynamic Hand Gesture Recognition: MediaPipe, Inception-v3 and LSTM-Based Enhanced Deep Learning Model / Yaseen et al. *Electronics*. 2024. Vol. 13, no. 16. P. 3233. URL: <https://doi.org/10.3390/electronics13163233>
6. Srinil P., Thongnim P. Deep Learning Enhanced Hand Gesture Recognition for Efficient Drone use in Agriculture. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2024. Vol. 15, no. 5. URL: <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2024.01505127>
7. User-Defined Gesture and Voice Control in Human-Drone Interaction for Police Operations / J. Hermann et al. *NordiCHI '22: Nordic Human-Computer Interaction Conference*, Aarhus Denmark. New York, NY, USA, 2022. URL: <https://doi.org/10.1145/3546155.3546661>
8. Hermann J., Dogangün A., Hesenius M. Age-Based Differences in Drone Control Gestures: An Exploratory Study. *OzCHI 2023: OzCHI 2023*, Wellington New Zealand. New York, NY, USA, 2023. URL: <https://doi.org/10.1145/3638380.3638401>
9. Drone Control in AR: An Intuitive System for Single-Handed Gesture Control, Drone Tracking, and Contextualized Camera Feed Visualization in Augmented Reality / K. Konstantoudakis et al. *Drones*. 2022. Vol. 6, no. 2. P. 43. URL: <https://doi.org/10.3390/drones6020043>
10. Kiselov N. Drone control via gestures using MediaPipe Hands / Google Developers Blog. 2021. URL: <https://developers.googleblog.com/en/drone-control-via-gestures-using-mediapipe-hands>
11. MediaPipe Hands: On-device Real-time Hand Tracking / F. Zhang et al. *CVPR Workshop on Computer Vision for Augmented and Virtual Reality (Seattle, WA, USA, 2020)*. 2020. 5 p. arXiv:2006.10214 [cs.CV]. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2006.10214>
12. Yun G., Kwak H., Kim D. H. Single-Handed Gesture Recognition with RGB Camera for Drone Motion Control // *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, no. 22. P. 10230. URL: <https://doi.org/10.3390/app142210230>
13. Online Hand Gesture Detection and Recognition for UAV Motion Planning / C. Lu et al. *Machines*. 2023. Vol. 11, no. 2. P. 210. URL: <https://doi.org/10.3390/machines11020210>
14. Nguyen V. K., Alba-Flores R. UAVs Control Using 3D Hand Keypoint Gestures // *Proceedings of SoutheastCon 2022 (Mobile, AL, USA, 2022)*. IEEE, 2022. P. 140–144. <https://doi.org/10.1109/SoutheastCon48659.2022.9764030>
15. Ferdousi M. Move your mouse pointer with hand gestures / DEV Community. 2023. URL: <https://dev.to/orthymarjan/move-your-mouse-pointer-with-hand-gestures-1gpl>

CONTACTLESS GESTURE-BASED CONTROL OF SMART AGRICULTURAL DEVICES.

S. Shvorov, A. Lutsyk

Abstract. The purpose of this study is to develop a scientifically grounded approach to the design of ergonomic control systems for information models of agricultural unmanned aerial vehicles based on hand gesture recognition algorithms using modern computer vision and deep learning technologies. The proposed approach aims to improve the efficiency, accuracy, and usability of human-machine interaction in real-

world agrodrone operation. The study applies system analysis methods to formalize the "user–device" interaction, as well as comparative analysis of modern software libraries and frameworks (MediaPipe, OpenCV, TensorFlow, PyTorch). Methods of deep learning, including convolutional neural networks, are used to solve hand gesture recognition tasks. Simulation modeling using Python is employed to test and validate the developed prototype. A methodology for designing an ergonomic gesture-based control system for agro-drones has been developed. It includes the formalization of the interaction model, justification of a gesture set based on ergonomic criteria, selection of software tools, and determination of neural network architecture parameters. An experimental prototype based on MediaPipe and Python has been implemented, providing real-time gesture recognition. Simulation testing using cursor control modeling was conducted to evaluate recognition accuracy and stability. The obtained results confirm the operability of the proposed approach and demonstrate its practical applicability for developing intuitive control interfaces for agro-drones.

The proposed approach improves human–machine interaction efficiency through the use of natural gesture interfaces and adaptive recognition algorithms. The developed methodology can be applied not only to agro-drones but also to other smart devices. Experimental results confirm the feasibility of applying computer vision and neural networks for contactless control systems, opening prospects for further research in improving accuracy, robustness, and integration into real cyber-physical systems.

Key words: hand gesture recognition, agricultural drone, computer vision, MediaPipe, human-machine interaction, deep learning, contactless control

References

1. Mujahid, A., Awan, M. J., Yasin, A., Mohammed, M. A., Damaševičius, R., Maskeliūnas, R., & Abdulkareem, K. H. (2021). Real-time hand gesture recognition based on deep learning YOLOv3 model. *Applied Sciences*, 11(9), 4164. <https://doi.org/10.3390/app11094164>
2. Iqbal, M. Z., & Campbell, A. G. (2021). From luxury to necessity: Progress of touchless interaction technology. *Technology in Society*, 67, 101796. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101796>
3. Linardakis, M., Varlamis, I., & Papadopoulos, G. T. (2025). Survey on hand gesture recognition from visual input. *IEEE Access*, 1. <https://doi.org/10.1109/access.2025.3593428>
4. Bazarevsky, V., & Zhang, F. (2019, August 19). On-device, real-time hand tracking with MediaPipe. *Google Research*. Retrieved from <https://research.google/blog/on-device-real-time-hand-tracking-with-mediapipe/>
5. Yaseen, M., Kwon, O., Kim, J., Jamil, S., Lee, J., & Ullah, F. (2024). Next-gen dynamic hand gesture recognition: MediaPipe, Inception-v3 and LSTM-based enhanced deep learning model. *Electronics*, 13(16), 3233. <https://doi.org/10.3390/electronics13163233>
6. Srinil, P., & Thongnim, P. (2024). Deep learning enhanced hand gesture recognition for efficient drone use in agriculture. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 15(5). <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2024.01505127>
7. Hermann, J., Plückthun, M., Doğangün, A., & Hesenius, M. (2022). User-defined gesture and voice control in human-drone interaction for police operations. *NordiCHI '22: Nordic Human-Computer Interaction Conference*. <https://doi.org/10.1145/3546155.3546661>
8. Hermann, J., Dogangün, A., & Hesenius, M. (2023). Age-based differences in drone control gestures: An exploratory study. *OzCHI 2023: OzCHI 2023*. <https://doi.org/10.1145/3638380.3638401>
9. Konstantoudakis, K., et al. (2022). Drone control in AR: An intuitive system for single-handed gesture control, drone tracking, and contextualized camera feed visualization in augmented reality. *Drones*, 6(2), 43. <https://doi.org/10.3390/drones6020043>
10. Kiselov, N. (2021). Drone control via gestures using MediaPipe Hands. *Google Developers Blog*. Retrieved from <https://developers.googleblog.com/en/drone-control-via-gestures-using-mediapipe-hands>
11. Zhang, F., Bazarevsky, V., Vakunov, A., Tkachenka, A., Sung, G., Chang, C. L., & Grundmann, M. (2020). MediaPipe Hands: On-device real-time hand tracking. *arXiv preprint arXiv:2006.10214*.
12. Yun, G., Kwak, H., & Kim, D. H. (2024). Single-handed gesture recognition with RGB camera for drone motion control. *Applied Sciences*, 14(22), 10230. <https://doi.org/10.3390/app142210230>
13. Lu, C., Zhang, H., Pei, Y., Xie, L., Yan, Y., Yin, E., & Jin, J. (2023). Online hand gesture detection and recognition for UAV motion planning. *Machines*, 11(2), 210. <https://doi.org/10.3390/machines11020210>
14. Nguyen, V. K., & Alba-Flores, R. (2022). UAVs control using 3D hand keypoint gestures. *Proceedings of SoutheastCon 2022*, 140–144. <https://doi.org/10.1109/SoutheastCon48659.2022.9764030>
15. Ferdousi, M. (2023, June 1). Move your mouse pointer with hand gestures. *DEV Community*. Retrieved from <https://dev.to/orthymarjan/move-your-mouse-pointer-with-hand-gestures-1gpl>