2. TinyML Platforms Benchmarking / A. Osman, U. Abid, L. Gemma [et al.]. – Povo : Dept. of Industrial Engineering, University of Trento.
3. Towards Energy-Aware TinyML on Battery-Less IoT Devices / A. Sabovica, M. Aernoutsa, D. Subotica [et al.] // Internet of Things. – Feb. – 2023. – DOI 10.1016/j.iot.2023.100736

СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ЖЕСТОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОМ Unitree Go2 Edu НА БАЗЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И ROS2

В. Е. Назарчук

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого, Республика Беларусь

Научный руководитель В. А. Савельев

Представлена система бесконтактного управления роботом-собакой Unitree Go2 Edu с использованием камеры глубины Intel RealSense D435i и библиотеки MediaPipe для распознавания жестов рук. Система интегрирована с ROS2 через специализированный SDK; позволяет роботу выполнять команды «встать», «лечь», «остановиться», «поздороваться». Применен алгоритм стабилизации жестов и фильтрации по глубине для повышения надежности. Реализован графический интерфейс для отладки. Эксперименты подтвердили эффективность подхода: точность распознавания достигла 92 % при нормальном освещении.

Ключевые слова: компьютерное зрение, бесконтактное управление, распознавание жестов, Unitree Go2, ROS2, MediaPipe, Intel RealSense.

Современные роботы все чаще интегрируются в повседневную жизнь человека, и возникает потребность в интуитивно понятных и гигиеничных способах взаимодействия. Бесконтактное управление жестами рук позволяет оператору отдавать команды на расстоянии без использования пультов или сенсорных экранов. В данном докладе описывается разработка системы управления роботом Unitree Go2, которая анализирует видеоизображения с камеры глубины, распознает жесты и передает соответствующие команды через ROS2. На рис. 1 изображен робот Unitree Go2 Edu.



Рис. 1. Робот-собака Unitree Go2 Edu

В качестве исполнительного устройства выбран робот-собака Unitree Go2, оснащенный вычислительным модулем NVIDIA Jetson Orin NX под управлением Ubuntu 20.04. Для захвата видео используется стереокамера Intel RealSense D435i, которая обеспечивает цветное изображение (640 × 480, 30 fps) и карту глубины. Ка-

мера подключается через USB 3.0 и располагается на статическом штативе перед роботом. Робот и компьютер с камерой находятся в одной локальной сети; связь реализована по Ethernet (интерфейс eth0). Выбор D435i обусловлен наличием активного инфракрасного проектора, что позволяет работать при недостаточном освещении.

Система написана на Python 3. Для получения видеопотока с камеры Intel RealSense D435i используется библиотека pyrealsense2, которая обеспечивает захват цветных кадров и карт глубины. Распознавание кистей рук и выделение ключевых точек (суставов) выполняется с помощью фреймворка MediaPipe (модуль mp.solutions.hands), который на каждом кадре строит скелет руки – соединяет точки линиями, как показано на рис. 1. Далее самописная функция recognize_gesture() из модуля naive_from_video.py классифицирует жест (ладонь, кулак, мир и т. д.). Визуализация и обработка клавиш реализованы через OpenCV, а для работы с массивами данных используется NumPy. Непосредственное управление роботом Unitree Go2 осуществляется через Unitree SDK 2.0 (класс SportClient), который предоставляет методы StandUp(), StandDown(), Hello() и StopMove(). Вывод программы изображен на рис. 2.

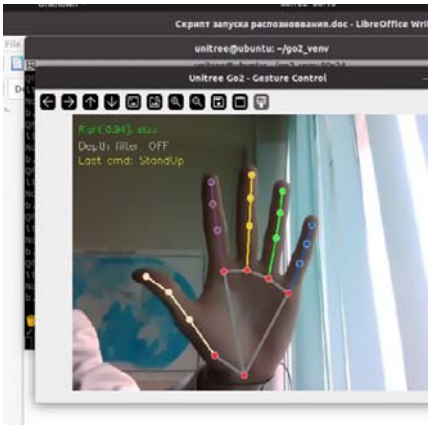


Рис. 2. Вывод программы распознавания жестов

На рис. 2 показан результат работы MediaPipe: на изображение руки наложен скелет из ключевых точек и соединяющих их линий, что позволяет системе понимать форму ладони и положение пальцев.

Разработанная система демонстрирует возможность надежного бесконтактного управления роботом Unitree Go2 с помощью камеры RealSense D435i и методов компьютерного зрения. Использование MediaPipe обеспечивает высокую скорость детекции, а фильтр глубины и стабилизация повышают помехоустойчивость. Интеграция с ROS2 через Unitree SDK позволяет легко расширять функционал (например, добавить навигацию жестами). В дальнейшем планируется обучить нейронную сеть распознавать динамические жесты (свайпы, вращение) для управления движением робота в пространстве.

Литература

1. MediaPipe: A Framework for Building Perception Pipelines / C. Lugaresi, J. Tang, H. Nash [et al.]. – 2019. – 12 p. – DOI 10.48550/arXiv.1906.08172
2. Intel RealSense D435i datasheet / Intel Corporation. – 2020. – URL: https://www.intelrealsense.com/wp-content/uploads/2020/06/Intel-RealSense-D435i-Datasheet.pdf (date of access: 20.03.2026).

3. Unitree SDK 2.0 Documentation / Unitree Robotics. – 2024. – URL: https://github.com/unitreerobotics/unitree_sdk2 (date of access: 20.03.2026).
4. OpenCV: Open Source Computer Vision Library / OpenCV Development Team. – 2024. – URL: https://opencv.org (date of access: 20.03.2026).
5. ROS2 Humble Documentation / Open Robotics. – 2023. – URL: https://docs.ros.org/en/humble (date of access: 20.03.2026).

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКЗОСКЛЕТА

А. А. Белоусов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель М. Н. Погуляев

Рассмотрены современные методы повышения энергоэффективности экзоскелетов, включая рекуперацию энергии, оптимизацию приводов, биомеханическую синхронизацию и применение легких конструкционных материалов. Проанализированы технические решения из научных публикаций и патентов, посвященных генерации энергии в суставах, квазипассивным приводам и интеллектуальным алгоритмам управления. Показано, что интеграция рекуперации, адаптивного управления и снижения массы конструкции позволяет увеличить время автономной работы экзоскелета в 1,5–2,5 раза. Представлены перспективные направления развития энергоавтономных систем, включая гибридные источники питания и использование биомеханической энергии пользователя.

Ключевые слова: экзоскелет, энергоэффективность, рекуперация энергии, квазипассивные приводы, биомеханическая синхронизация, интеллектуальное управление, легкие материалы; автономное питание,мотор-генератор, отрицательная работа сустава.

Энергоэффективность является одним из ключевых факторов, определяющих практическую применимость экзоскелетов в медицине, промышленности, военной сфере и мобильной робототехнике. Большинство современных систем ограничены массой аккумуляторов, временем автономной работы и потерями энергии в приводах, что существенно снижает их функциональность и удобство использования. В связи с этим разработка методов повышения энергоэффективности становится важнейшим направлением исследований. Основные источники потерь энергии в экзоскелетах связаны с низким КПД приводов, трением и нагревом редукторов, несогласованностью движений человека и устройства, избыточной массой конструкции, а также неоптимальными алгоритмами управления, которые продолжают активировать приводы даже в тех фазах движения, где можно использовать пассивные элементы. Кроме того, большинство экзоскелетов не используют возможности рекуперации энергии, хотя в человеческой походке и движениях рук присутствуют значительные фазы отрицательной работы, которые потенциально могут быть преобразованы в электрическую энергию.

Одним из наиболее перспективных направлений повышения энергоэффективности является рекуперация энергии. Современные исследования показывают, что экзоскелеты способны возвращать от 5 до 30 % энергии, затрачиваемой на движение, если использовать генераторные режимы электродвигателей в фазах отрицательной мощности, например, при спуске, опускании руки или торможении шага. Наиболее эффективными точками для рекуперации являются коленный сустав, где наблюдается максимальная отрицательная работа при ходьбе, плечевой сустав при опускании руки и голеностоп при контролируемом приземлении стопы. Помимо электрической