

УДК 004.93

Интеллектуальная система мультимодального позиционирования для безопасного человеко-машинного взаимодействия в промышленности и при космических миссиях

Карташев Всеволод Владимирович^{1(*)}

vsevolodkartashev@gmail.com

Чэнь Чжо²

schatten.cz@gmail.com

Яо Гочжэн²

yaog@my.msu.ru

Тан Ци²

t390697002@gmail.com

Сяо Цзыцян²

xiaoziqiang398@gmail.com

¹ ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия² ФКИ МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Аннотация. Представлена система комплексирования оценки совместного положения робота-манипулятора и человека-оператора в совместном пространстве с возможностью интеграции акустической локализации. Методика включает восстановление трехмерного положения манипулятора по нескольким изображениям, моделирование виртуальной робочейки и интеллектуальное определение положения источника звука или движения для полноценного мониторинга рабочей зоны. Использование нейросетевой модели YOLO обеспечивает высокую точность детекции ключевых точек. Акустическая подсистема (при наличии воздуха) и система анализа положения ключевых точек позволяют локализовать звуковые команды оператора с точностью до десятков градусов. Разработанная система обеспечивает безопасное взаимодействие человека и робота через многофакторный контроль пространства.

Ключевые слова: робот-манипулятор, робочейка, интеллектуальная система, мультимодальное позиционирование

Введение. Современные промышленные системы требуют интеграции множественных сенсорных модальностей для обеспечения безопасного взаимодействия человека и робота в едином рабочем пространстве. Оценка совместного положения робота-манипулятора и человека-оператора становится критически важной задачей при организации коллаборативных миссий при освоении космического пространства. При наличии атмосферы комбинирование визуального и акустического мониторинга позволяет создать полноценную систему пространственного контроля.

Методы и материалы; результаты. Разработанная методика восстановления трехмерной позы манипулятора базируется на использовании двух взаимно перпендикулярных камер, что обеспечивает преодоление проблемы окклюзий. Синхронизированные видеопотоки высокого разрешения (порядка нескольких тысяч пикселей по каждой стороне) обрабатываются нейросетевой моделью для детекции пяти ключевых точек: основания манипулятора, точки крепления, плечевого сустава, локтевого сустава и конечного эффекто-

ра. Калибровка камер выполняется методом оптимизации с использованием алгоритма наименьших квадратов для минимизации ошибки проекций.

Моделирование робоячейки в виртуальной среде реализуется через построение цифрового двойника рабочего пространства. Виртуальная модель включает геометрическое представление манипулятора, зоны досягаемости, потенциально опасные области и траектории движения. Система динамически обновляет виртуальную сцену на основе реальных данных с частотой в несколько десятков кадров в секунду, обеспечивая актуальное отображение состояния робоячейки.

Интеллектуальное вычисление положения главного источника звука реализовано через интеграцию микрофонных решеток в систему мониторинга. Массив из нескольких микрофонов, расположенных в вершинах объемной фигуры, обеспечивает трехмерную локализацию источника. Применение адаптивной фильтрации позволяет выделять голосовые команды оператора на фоне производственного шума.

Обработка акустических данных включает спектральный анализ, выделение характерных частотных компонент человеческой речи и подавление помех. Нейросетевой классификатор на основе сверточных слоев определяет тип звукового события.

Интеграция визуальной и акустической подсистем осуществляется через единую координатную систему робоячейки совместного рабочего пространства. Положение оператора/космонавта определяется комбинацией данных о позе человека из видеопотока и направления источника голосовых команд при возможности. Это позволяет системе различать активного оператора среди нескольких людей в рабочей зоне и корректно интерпретировать управляющие команды.

Экспериментальная проверка показала, что средняя ошибка определения положения ключевых точек манипулятора составила несколько десятков пикселей, что соответствует пространственной точности порядка сантиметров на расстоянии нескольких метров.

Заключение. Разработанная система представляет комплексное решение для безопасного человеко-роботного взаимодействия при проведении удаленных миссий, объединяя преимущества визуального мониторинга и акустической локализации в единой интеллектуальной платформе управления робоячейкой для безопасной коллаборативной работы в промышленных и космических условиях.

Список источников

- [1] Montiel-Ross O., Sepúlveda R., Castillo O., Quiñones J. Efficient Stereoscopic Video Matching and Map Reconstruction for a Wheeled Mobile Robot. *Mobile Robots — Current Trends. IntechOpen*, 2012, vol. 9 (4), pp. 1–22.
- [2] Hartley R., Zisserman A. *Multiple View Geometry in Computer Vision*. Cambridge, Cambridge University Press, 2004.