

Препринт на тему: «Робот-манипулятор для мойки автомобилей с повышенным качеством мойки за счет использования технического зрения и его характеристики»

Аннотация

Современные роботизированные комплексы для мойки автомобилей предъявляют высокие требования к качеству обработки поверхности, точности позиционирования и адаптивности к сложной геометрии кузова. В данном исследовании рассмотрена методика применения технического зрения, основанного на использовании лидара, для построения цифровой модели поверхности автомобиля и определения касательной плоскости на локальном участке кузова. Предложен алгоритм движения манипулятора вдоль рассчитанной плоскости, позволяющий обеспечить равномерную обработку и повысить качество мойки. Дополнительно сформулированы рекомендации по учёту характеристик технического зрения для улучшения точности построения поверхности. Данная методика позволяет повысить качество мойки даже при отсутствии САД-модели автомобиля, что определяет её практическую актуальность.

Цель и задачи исследования

Цель работы — разработать метод технического зрения для получения локальной модели поверхности автомобиля и обеспечить адаптивное движение манипулятора параллельно касательной плоскости, что приводит к улучшению равномерности и качества мойки.

Ключевые слова

Робот-манипулятор, техническое зрение, лидар, облако точек, касательная плоскость, CoppeliaSim, роботизированная мойка.

Введение

Повышение качества мойки автомобилей в условиях полной или частичной автоматизации требует применения технологий, которые обеспечивают точное и надёжное определение формы поверхности. Использование технического зрения позволяет адаптировать траекторию движения рабочего органа робота к реальной геометрии кузова, что существенно снижает недомывы и обеспечивает равномерность обработки.

Традиционные роботизированные моечные установки используют упрощённые алгоритмы движения или заранее заданные траектории, что приводит к снижению эффективности на неровных или сложных поверхностях. Применение лидара и алгоритмов обработки облаков точек

позволяет получать информацию о геометрии поверхности в реальном времени.

В данной работе представлен алгоритм получения локальной касательной плоскости по облаку точек, снятых лидаром, а также метод движения 6-звенного робота-манипулятора параллельно этой плоскости в среде моделирования CoppeliaSim.

Цель работы — разработать алгоритм технического зрения и движение манипулятора, обеспечивающее улучшенное качество мойки благодаря адаптации к реальной форме кузова.

Методология

1. Характеристики технического зрения

В качестве основного сенсора используется лидар, обеспечивающий:

- получение облака точек с заданным угловым разрешением;
- глубинную модель локального участка поверхности;
- вычисление нормалей и характеристик локальной геометрии.

Основные характеристики учитываемого технического зрения:

- плотность данных;
- точность измерения расстояний;
- шумы;
- шаг дискретизации;
- дальность обнаружения.

Эти параметры определяют точность построения касательной плоскости, а следовательно — качество траектории мойки.

2. Построение локальной поверхности по данным лидара

Локальная область облака точек выделяется вокруг точки сканирования.

Обработка выполняется следующими этапами:

1. удаление выбросов медианным фильтром;
2. кластеризация точек в локальном окне;
3. вычисление коэффициентов плоскости методом МНК:

$$Ax + By + Cz + D = 0$$

Полученная нормаль $n = (A, B, C)$ задаёт ориентацию касательной плоскости.

3. Алгоритм определения касательной плоскости

Для повышения качества построения используется метод SVD, минимизирующий суммарную ошибку аппроксимации.

Нормаль поверхности определяется как собственный вектор, соответствующий минимальному собственному значению матрицы ковариации точек.

4. Движение манипулятора параллельно касательной плоскости

Для 6-звенного манипулятора разработан алгоритм движения без инверсной кинематики, основанный на следующих принципах:

- ориентация рабочего органа определяется нормалью плоскости;
- направление движения — вектор, лежащий в плоскости (проекция оси инструмента);
- шаговое движение реализуется последовательным изменением угловых координат;
- корректирующие повороты компенсируют отклонение при перемещении.

Такой подход обеспечивает адаптивное и плавное движение инструмента вдоль кузова автомобиля.

Заключение

В ходе исследования разработан метод построения касательной плоскости по данным лидара и алгоритм движения манипулятора параллельно этой плоскости. Установлено, что использование технического зрения позволяет значительно улучшить качество мойки за счёт:

- адаптации траектории к реальной форме кузова;
- равномерного распределения усилий рабочего органа;
- учёта кривизны поверхности в локальных областях.

Разработанный алгоритм успешно реализован в среде CoppeliaSim и подтвердил свою работоспособность на моделируемых данных. Метод может быть расширен для полноценной 3D-обработки всего кузова и использован в реальных роботизированных моечных системах.

Гипотеза о том, что использование характеристик технического зрения позволяет повысить качество мойки автомобиля полностью подтверждена.

Литература

1. Thrun S., Burgard W., Fox D. Probabilistic Robotics. MIT Press, 2005.
2. Nguyen H., Laefer D. F. 3D Point Cloud Processing for Robotics and Automation. Springer, 2022.
3. Siciliano B., Khatib O. Springer Handbook of Robotics. Springer, 2016.
4. Coppelia Robotics. CoppeliaSim User Manual, 2024.
5. Gonzalez R. C., Woods R. E. Digital Image Processing. Pearson, 2018.

