

УДК 531.8

РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОКРАСКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ СУДОВ

Н.А. Мостаков

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук
Россия, 117997, Москва ул. Профсоюзная, 65
E-mail: nikrus333@yandex.ru

А.О. Винокуров

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук
Россия, 117997, Москва ул. Профсоюзная, 65
E-mail: vinokurov1768@yandex.ru

А.А. Фильченков

Московский политехнический университет
Россия, 107023 г. Москва, ул. Большая Семеновская, 38
E-mail: al.filchenkov@gmail.com

А.А. Захарова

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук
Россия, 117997, Москва ул. Профсоюзная, д. 65
E-mail: zaawmail@gmail.com

Ключевые слова: автоматизированная покраска, робототехнический комплекс, покраска судов, система управления, манипуляторный робот, мобильная платформа, робототехника, техническое зрение.

Аннотация: Целью доклада является описание работы робототехнического комплекса (РТК) для автоматизированной подготовки и покраски поверхностей судов, который обеспечивается за счёт синхронизированной работы подъемника, манипуляционного робота, системы технического зрения и навесного оборудования. Проведен обзор существующих решений, показаны их преимущества и недостатки. В докладе приведено описание: проблемы, архитектуры системы, работы системы окраски.

Система управления РТК позволяет заранее определять параметры управляющей программы в зависимости от требуемой технологической операции. На данный момент реализованы режимы для подготовки поверхности с помощью лазерной очистки и режимы для нанесения лакокрасочных материалов (ЛКМ). Система управления позволяет предварительно визуализировать автоматически сгенерированные траектории движения манипуляционного робота для обрабатываемого участка и требуемое положение РТК для обработки следующего участка.

1. Введение

Лакокрасочное покрытие можно наносить на многие поверхности, в том числе металлические. Прежде всего оно служит для того, чтобы защитить металл от коррозии, а также в целях эстетического назначения.

Очень часто причиной преждевременного выхода машин из строя является коррозия, возникшая вследствие несоответствия защитного покрытия с

эксплуатационными условиями и параметрами агрессивности среды, также это может происходить из-за нарушения технологии нанесения лакокрасочного покрытия [1].

Разработка и внедрение автоматизированной системы окраски судна требует решения нескольких задач. Во-первых, необходимо создать систему, способную обеспечивать высокоточное движение и нанесение краски на различные геометрические формы поверхности судна.

Во-вторых, система должна быть способна адаптироваться к различным типам судов и их особенностям, таким как размер, форма и материал.

Кроме того, система должна быть безопасной, как для окружающей среды, так и для работников, чтобы избежать негативного воздействия на экологию и предотвратить возможные проблемы со здоровьем [2].

Как известно, что качество малярных работ очень влияет на защиту корпуса судна от обрастания ракушками, мидиями и водорослями. Чем хуже качество, тем сильнее обрастание. С помощью автоматизированной системы можно обеспечить определенный уровень качества поверхности, а также данная система менее вредна для окружающей среды.

Заменив рабочую силу на автоматизированные РТК, можно в разы увеличить скорость, качество и уменьшить цену покраски поверхности судна.

РТК имеет следующие преимущества: расчёт подачи материала, снижение травмоопасности производства, повышение скорости работ. Вычисление целевой точки рассчитывается автоматически, сообщая оператору необходимые параметры для точной установки стрелы.

2. Существующих решений

Качественное нанесения ЛКМ на поверхность судна является одним из основных факторов, продлевающих эксплуатацию судна, поэтому множество компаний занимаются разработкой своей мобильную платформу для задач обработки поверхности судна. Компания Hammelmann представила двух мобильных роботов для удаления ЛКМ с поверхности судна: Dockmate и Dockboy. На рис. 1 представлен мобильный автономный робот от компании AMBPR. Робот разработан для автоматизированных решений обслуживания и обновления лакокрасочных покрытий. На рынке также существует комплекс от компании Semcon, которая участвовала в разработке судна Jotun HullSkater.

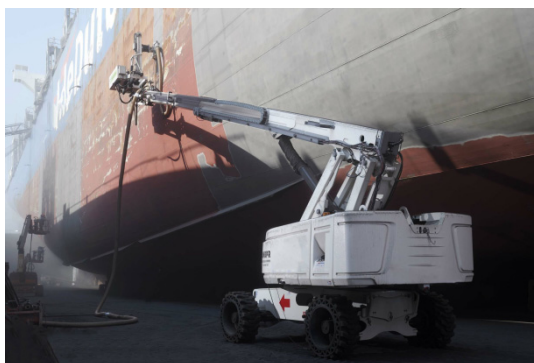


Рис. 1. Очистка поверхности судна с помощью мобильного робота AMBPR.

Данные решения к сожалению, слабо автоматизированы и требуют присутствия нескольких работников-операторов, что значительно замедляет скорость работы систем.

3. Архитектура системы

Архитектура разработанного РТК представлена на рис. 2. Оператор управляет положением стрелы и, согласно указанию системы, осуществляет процесс сканирования и нанесения ЛКМ на поверхность судна.

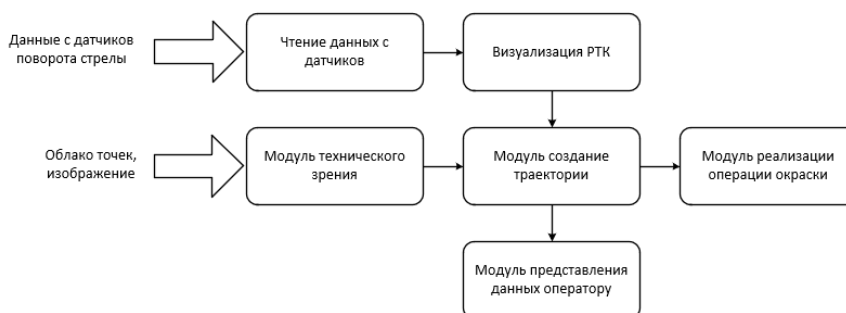


Рис. 2. Архитектура системы сканирования. На вход алгоритма поступает три источника Point Cloud, RGB изображение и база данных STL всех объектов.

Модуль по созданию траектории обрабатывает полученные данные о поверхности судна. На рис. 3 показан пример создания траектории по сканированной плоскости. Используя информацию о наклоне плоскости в пространстве, модуль строит траекторию движения манипулятора, учитывая предпочтительное направление движения: справа налево и сверху вниз.

После выполнения первого прохода по окрашиваемой поверхности, в зависимости от выбранного дальнейшего пути, модуль определяет крайние точки предыдущей окрашенной поверхности и строит новую траекторию движения в соответствующем направлении. Это обеспечивает последовательное окрашивание поверхности манипулятором. Для объектов сложной формы применяется алгоритм, разобранный в работах [3, 4].

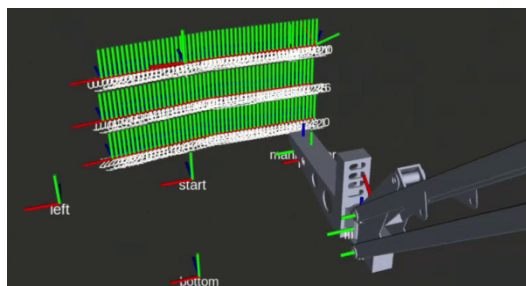


Рис. 3. Создание траектории движения покраски. На рисунке представлены две области покраски с дополнительными точками для перемещения и покраски следующей области.

Модуль системы технического зрения является важной составляющей для обнаружения наклона и поворота плоскости перед построением траектории движения манипулятора [5].

Модуль сканирования может отобразить оператору облако точек, в процессе сканирования, который показан на рис. 4. Далее происходит фильтрация облака точек, удаляются выбросы и выбирается плоскость наиболее близкая ко всем точкам. На рис. 5 показано облако точек после фильтрации.

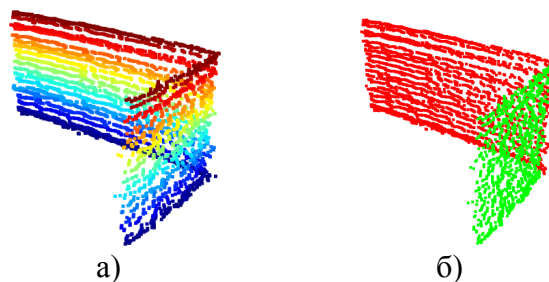


Рис. 4. а) Облако точек, отсканированный с учетом боковой стенки для проверки разделения на несколько плоскостей. б) Облако точек после фильтрации. Алгоритм смог явно определить две плоскости и дать выбор оператору, какую необходимо использовать для создания траектории движения.

Разработанный модуль обеспечивает отображение РТК и помощь в перемещении РТК в заданную точку в пространстве для реализации поступательного движения в целях окрашивания больших объемов [6]. На рис. 5 показан пример отображения при перемещении в точку в начальную точку покраски.

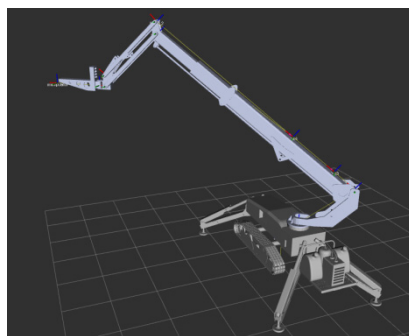


Рис. 5. Симуляция РТК в gviz посредством чтения положений звеньев с датчиков через CAN шину.

Посредством чтения данных по CAN-шине необходимых данных, полученных с датчиков поворота, наклона и удлинения стрелы, решается задача обратной кинематики. Это позволяет определить конечную точку в трехмерном пространстве, к которой возможно построение оптимального движения стрелы.

4. Эксперимент

В этом разделе приведено описание эксперимента по применению автоматизированной системы на практике. Робототехнический комплекс в готовом виде представлен на рис. 6.



Рис. 6. Робототехнический комплекс на тестах в реальных условиях. Тестирование проводилось на открытом воздухе с ЛКМ для окраски поверхностей судов.

Цель эксперимента заключалась в проверки работоспособности системы окраски с целью достижения ровного нанесения ЛКМ на последующую область окраски, таким образом, чтобы не возникало не закрашенных частей между двумя областями. При этом наложение одной области окраски на другую осуществлялось с необходимой точностью, не более 1-3 см. Результат эксперимента представлен на рис. 7.



Рис. 7. Тестирование системы окраски на стене ангара. Было окрашено две области для достижения окончательного результата.

Эксперимент показал хорошее наложение нескольких областей окраски. Пространства между областями не образуется, наложение составляет 1-3 см. Эксперимент считается успешным. Система в дальнейшем может осуществлять сшивание последующих областей покраски с предыдущем n количество раз.

5. Заключение

Разработанная система робототехнического комплекса для автоматизированной подготовки и покраски поверхностей успешно протестирована в реальных условиях. На данный момент система полностью функциональна и может выполнять работы в различных направлениях с целью достижения оптимальных результатов. Оператору требуется следовать указаниям системы для достижения наилучших результатов. Система автоматизированной покраски обладает небольшой погрешностью в перемещении, смещение при наложении двух соседних покрываемых областей составляет приблизительно 1-3 сантиметра. РТК уже была протестирована при окраске судна на судостроительном заводе «Лотос» [7]. РТК позволит судостроительным заводам снизить экономические затраты операции окраски на 20%.

Список литературы

1. Меднов Е.А. Диагностика и прогнозирование показателей коррозионной стойкости несущих металлических конструкций. М.: ВИНТИ, 2007. 152 с.
2. Цапко Г.П., Вериго А.А., Каташев А.С. Анализ рисков безопасности автоматизированных систем управления технологическими процессами // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». 2016. Т. 8, № 5. <http://naukovedenie.ru/PDF/55TVN516.pdf>.
3. Sadegh Poozesh, Nelson Akafuah, Kozo Saito. Effects of automotive paint spray technology on the paint transfer efficiency – a review. 2018. Vol. 232, No. 2. DOI: <https://doi.org/10.1177/0954407017695159>.
4. Захарова А.А., Мостаков Н.А., Винокуров А.О. Автоматизация процесса покраски металлических деталей со сложной геометрической формой // В сборнике: XVI Всероссийская мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2023). Материалы мультиконференции. В 4-х томах. Редколлегия: И.А. Каляев, В.Г. Пешехонов, С.Ю. Желтов [и др.]. Волгоград, 2023. С. 65-68.
5. Алтынцев М.В., Карпик П.А. Особенности построения трехмерных метрических моделей по данным лазерного сканирования // Интернет-журнал «Интерэкспо Гео-Сибирь». Область науки «Компьютерные и информационные науки», 2020.

6. Пономарев Д.А., Кузьмина Т.О. Система реального времени для управления мобильным роботом // Международные научно-исследовательский журнал. Область науки «Электротехника, электронная техника, информационные технологии», 2019.
7. На астраханской верфи ОСК представили уникальные роботизированные комплексы. Федеральное государственное унитарное предприятие «Информационное телеграфное агентство России [Электронный ресурс]: Официальный сайт: <https://www.rbc.ru/newspaper/2018/09/24/5ba221669a7947aff778f10e>.<https://tass.ru/ekonomika/17679877>.