

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

На правах рукописи

УДК 621.865.8:621.791

Снисаренко
Светлана Валерьевна

СИНТЕЗ КОМПОНОВКИ РТК ЛАЗЕРНОЙ И ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ

АВТОРЕФЕРАТ
магистерской диссертации на соискание степени
магистра технических наук
по специальности 1-40 80 01
«Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления»

Научный руководитель
канд.техн.наук, доцент
Чумаков О.А.

Минск 2018

Нормоконтроль

ВВЕДЕНИЕ

Существующие системы автономного программирования и автоматизированного проектирования РТК не учитывают технологические особенности операций резки, что затрудняет их использование в этой области. При автоматизации программирования РТК резки необходима разработка эффективных алгоритмов оптимизации движений робота и синтеза компоновки РТК с учетом кинематической избыточности манипулятора, а также технологических ограничений производственного процесса и ограничений манипуляционной и управляющей систем робота. В известных работах, посвященных роботизации процессов резки, рассматривались лишь отдельные аспекты этой проблемы для двумерного случая без учета кинематической избыточности и коррекции ориентации плазмотрона для компенсации скола кромок. Кроме того, исследования по оптимизации движений роботов ограничивались использованием скалярных критериев качества.

Решение указанных задач позволяет повысить эффективность использования роботизированных комплексов в условиях мелкосерийного производства, где присутствует большое количество модификаций, требующих частой переналадки производственного процесса, что характерно для предприятий автомобильной и автотракторной промышленности Беларуси в современных экономических условиях.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Наиболее эффективно применение технологии лазерной и плазменной резки в сочетании с промышленными роботами, которые позволяют перемещать инструмент с заданной точностью и скоростью по сложной траектории.

Применение антропоморфных роботов с ангулярной системой координат позволяет эффективно производить обработку трехмерных материалов, но для этого необходимо программирование траектории инструмента манипулятора.

При оффлайн – программировании роботов-манипуляторов САМ-система должна понимать кинематику робота и учитывать все его возможности для позиционирования инструмента, избегать сингулярности и коллизий.

К числу актуальных задач, возникающих при программировании РТК резки, относятся разработка эффективных алгоритмов оптимизации движений робота и синтеза компоновки РТК с учетом кинематической избыточности манипулятора, а также технологических ограничений производственного процесса и ограничений манипуляционной и управляющей систем робота. Указанные задачи являются наиболее существенными для РТК резки, поэтому эффективность их решения непосредственно влияет на показатели качества РТК в целом.

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является разработка методов синтеза оптимальных программных движений промышленных роботов при операциях лазерной и плазменной резки трехмерных объектов сложной формы, а также компоновки РТК лазерной и плазменной резки с учетом кинематической избыточности манипуляционных систем, что обеспечит решение некоторых прикладных задач в области автоматизации технологических процессов и создания промышленных роботизированных систем.

Для выполнения поставленной цели в работе были сформулированы **следующие задачи:**

- разработать метод планирования и сегментации траектории резки с учетом особенностей реализации команд линейного и кругового движения в промышленных системах управления;

- разработать алгоритм оптимизации движений робота-манипулятора для резки трехмерных объектов сложной формы на основе векторного критерия качества с учетом кинематической избыточности антропоморфных манипуляторов;

- разработать методы и алгоритмы оптимизации компоновки РТК резки с учетом особенностей технологического процесса и реализации команд движения в промышленных системах управления;

- реализовать программно алгоритмы оптимизации движения манипулятора и алгоритмы оптимизации компоновки РТК резки.

Объектом являются трехмерные модели роботизированных технологических комплексов лазерной и плазменной резки. Предметом исследования являются методы и алгоритмы автоматизированного синтеза программных движений антропоморфных роботов с кинематической избыточностью применительно к операции резки.

Предметом исследования являются методы и алгоритмы автоматизированного синтеза программных движений антропоморфных роботов с кинематической избыточностью применительно к операции резки

Область исследования. Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-40 80 01 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли результаты исследований в области синтеза компоновки роботизированных технологических комплексов с применением антропоморфного робота – манипулятора, решение проблемы планирования траектории манипуляторов с избыточным числом степеней подвижности.

Совокупность использованных в работе средств исследований базируется на аппарате матричного анализа, однородных преобразований, векторной оптимизации, динамического программирования, а также методах трехмерного моделирования. Экспериментальная проверка основ-

ных положений и результатов работы проводилась с помощью математического пакета Matlab и САПР ROBOMAX.

Научная новизна диссертационной работы заключается в усовершенствовании следующих методов и алгоритмов работы РТК лазерной и плазменной резки:

1) метода планирования траектории резки, который обеспечивает требуемую точность при заданной скорости перемещения инструмента с учетом особенностей реализации алгоритмов контурного движения в промышленных системах управления роботами;

2) метода оптимизации движений манипулятора в РТК резки трехмерных объектов сложной формы, в основе которого лежит векторный критерий качества, обеспечивающий минимизацию скоростей движения суставов, диапазона изменения обобщенных координат, объема движений, а также использующем кинематическую избыточность манипулятора;

3) метода и алгоритма оптимизации компоновки РТК резки, позволяющих производить поиск оптимального положения основания робота в ячейке путем оптимизации векторного критерия качества, учитывающего характер движения всех суставов.

Теоретическая значимость диссертации заключается в том, что в результате разработаны и интегрированы в САПР ROBOMAX алгоритмы оптимизации движений робота при резке трехмерных объектов сложной формы, основанные на векторном критерии качества. В отличие от известных, эти алгоритмы позволяют получить множество Парето-оптимальных решений для синтеза гладких траекторий, удовлетворяющих ограничениям реальных промышленных систем управления роботами. Разработаны средства для автоматизированного синтеза компоновки РТК резки трехмерных объектов сложной формы, что позволяет производить оптимизацию положения основания робота в ячейке на основе векторного критерия качества.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в том, что разработанные алгоритмы позволят повысить точность и качество траектории лазерной и плазменной резки, а именно производить поиск оптимального положения основания робота в ячейке путем оптимизации на основе векторного критерия качества учитывающего объем движений по обобщенным координатам с учетом весовых коэффициентов.

Основные положения, выносимые на защиту

– алгоритм синтеза программы управления роботом для воспроизведения в системе управления в реальном времени с заданной точностью и учетом ограничений реальных промышленных систем управления роботами;

– алгоритм оптимизации движений антропоморфных манипуляторов с кинематической избыточностью для резки трехмерных объектов сложной формы на основе векторного критерия оптимальности, учитывающего отклонение координат от предписанных значений, диапазон изменения координат, приращение координат, объем движений суставов и угол ориентации инструмента;

– метод оптимизации компоновки РТК резки трехмерных объектов сложной формы на основе векторного критерия качества, учитывающего диапазон изменения обобщенных координат и объем движений по обобщенным координатам с учетом весовых коэффициентов.

Апробация и внедрение результатов исследования

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 54 научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР и VI Международной научно-технической интернет-конференции «Информационные технологии в образовании, науке и производстве» БНТУ.

Публикации

По материалам диссертационной работы опубликована 1 статья в журнале «Доклады БГУИР» №2(112) 2018 «Имитационное моделирование четырехпрессовой линии штамповки деталей» в соавторстве, опубликованы тезисы доклада 54-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, опубликованы тезисы доклада VI Международной научно-технической интернет-конференции «Информационные технологии в образовании, науке и производстве» БНТУ на тему «Оптимизация перемещений инструмента антропоморфного робота - манипулятора».

Структура и объем работы. Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, пяти глав и заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации –100 страниц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, формулируются цель и задачи исследования.

В первой главе проведен анализ различных источников по теме, проанализированы возможности существующих систем оффлайн – программирования роботов-манипуляторов, поставлена цель - разработка эффективных алгоритмов оптимизации движений робота и синтеза компоновки.

Во второй главе представлены технические характеристики робота-манипулятора РМ-01 для РТК резки, представлена последовательность формирования множества допустимых локаций инструмента.

В третьей главе разработан алгоритм синтеза программы управления роботом, разработан алгоритм, позволяющий сформировать множество локаций инструмента в САПР РТК, сформулированы технические требования к качеству траектории резки и представлены в виде векторного критерия оптимальности.

В четвертой главе разработан алгоритм оптимизации компоновки РТК лазерной и плазменной резки на основе сформулированных критериев оптимальности компоновки РТК, проведены исследования эффективности предложенного алгоритма в пакете Matlab.

В пятой главе интегрированы в состав подсистемы ROBOMAX/Laser разработанные в предыдущих главах алгоритмы компоновки РТК резки трехмерных объектов сложной формы.

В приложении приведен листинг программы формирования узловых точек

траектории в пространстве присоединенных переменных и листинг программы поиска оптимального положения основания робота в роботизированной ячейке.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, формулируются цель и задачи исследования.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, показана связь с научными программами и проектами, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

В **первой главе** проведен анализ источников, который показал, что наиболее эффективно применение технологии лазерной и плазменной резки в сочетании с промышленными роботами, которые позволяют перемещать инструмент с заданной точностью и скоростью по сложной траектории.

Применение антропоморфных роботов с ангулярной системой координат позволяет эффективно производить обработку трехмерных материалов, но для этого необходимо программирование траектории инструмента манипулятора.

Проанализированы возможности существующих систем оффлайн – программирования роботов-манипуляторов. САМ-система должна понимать кинематику робота и учитывать все его возможности для позиционирования инструмента, избегать сингулярности и коллизий.

К числу актуальных задач, возникающих при программировании РТК резки, относятся разработка эффективных алгоритмов оптимизации движений робота и синтеза компоновки РТК с учетом кинематической избыточности манипулятора, а также технологических ограничений производственного процесса и ограничений манипуляционной и управляющей систем робота. Указанные задачи являются наиболее существенными для РТК резки, поэтому эффективность их решения непосредственно влияет на показатели качества РТК в целом.

Во **второй** представлены технические характеристики робота-манипулятора РМ-01 для РТК резки, представлена кинематическая схема, решена прямая и обратная кинематические задачи для дальнейшего синтеза компоновки РТК. Представлена последовательность формирования множества допустимых локаций инструмента, из чего следует, что при заданном взаимном расположении робота и детали рассматриваемый контур резки определяет множество локаций инструмента.

В **третьей главе** сформулированы технические требования к качеству траектории резки и представлены в виде векторного критерия оптимальности, учитывающего отклонение координат от предписанных значений, диапазон изменения координат, приращение координат, объем движения для каждого сустава и угла ориентации инструмента. Разработан алгоритм оптими-

зации, позволяющий построить множество Парето-оптимальных решений для искомых траекторий резки, а также алгоритмы оптимизации траектории по скалярным компонентам векторного критерия. Проведены исследования эффективности предложенных алгоритмов и доказана их эффективность при решении задачи синтеза траекторий резки в среде с препятствиями. Установлено, что наиболее существенными компонентами векторного критерия являются составляющие, учитывающие объем движения суставов.

В четвертой главе сформулированы критерии оптимальности компоновки РТК, учитывающие особенности технологических процессов лазерной и плазменной резки. Они учитывают объем движения для каждого сустава манипулятора, а также диапазон изменения как обобщенных координат, так и характер изменения ориентации режущего инструмента.

Разработан алгоритм оптимизации компоновки РТК лазерной и плазменной резки. Он позволяет найти глобальный экстремум показателя качества за счет адаптивного изменения шага дискретизации и вариации весовых коэффициентов скалярной свертки векторного критерия и включает в себя эффективные численные процедуры оптимизации траектории резки, разработанные в главе 3.

Проведены исследования эффективности предложенного алгоритма и показана его работоспособность при решении задач поиска оптимального положения основания робота в среде с препятствиями. Разработан метод интерактивного поиска положения робота для РТК резки, который целесообразно использовать в САПР РТК.

В пятой главе разработана и интегрирована в пакет САПР ROBOMAX подсистема ROBOMAX/Laser, в которой реализованы алгоритмы оптимизации движений робота при резке трехмерных объектов сложной формы, основанные на векторном критерии качества. Эти алгоритмы учитывают кинематическую избыточность антропоморфных манипуляторов для операций лазерной и плазменной резки. Разработанные программные средства позволяют получить множество Парето-оптимальных решений для синтеза гладких траекторий, удовлетворяющих ограничениям по скорости и точности реальных промышленных систем управления роботами.

Разработаны и интегрированы в состав подсистемы ROBOMAX/Laser алгоритмы компоновки РТК резки трехмерных объектов сложной формы, что позволило производить поиск оптимального положения основания робота в ячейке путем оптимизации на основе векторного критерия качества учитывающего объем движений по обобщенным координатам с учетом весовых коэффициентов.

В приложении приведен листинг программы формирования узловых точек траектории в пространстве присоединенных переменных и листинг программы поиска оптимального положения основания робота в роботизированной ячейке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной результат данной магистерской работы заключается в разработке новых эффективных методов, алгоритмов и программных средств для синтеза оптимальных программных движений промышленных роботов, а также компоновки РТК лазерной и плазменной резки трехмерных объектов сложной формы с учетом кинематической избыточности манипуляционных систем, что обеспечивает решение важных прикладных задач в области автоматизации технологических процессов и создания промышленных роботизированных систем.

Полученные результаты можно сформулировать в виде следующих положений:

1. Разработан метод планирования движений промышленных роботов при операциях лазерной и плазменной резки трехмерных объектов сложной формы. В отличие от известных, этот метод позволяет представить исходную траекторию в виде совокупности линейных и дуговых сегментов максимальной длины, а также рассчитать величины допустимых углов между соседними сегментами, при которых обеспечивается постоянство скорости перемещения инструмента в режиме реального времени и заданная точность в местах сопряжений сегментов. Такой подход позволяет учесть особенности реализации команд линейного и кругового движения и ограничения реальных промышленных систем управления роботами.

2. Разработан алгоритм оптимизации движений антропоморфных роботов-манипуляторов в РТК резки трехмерных объектов сложной формы. В отличие от известных алгоритмов, в нем учитывается кинематическая избыточность манипуляционной системы, обусловленная инвариантностью технологической операции по отношению к вращению инструмента относительно оси режущего луча. Технические требования к качеству траектории резки представляются в виде векторного критерия оптимальности, учитывающего диапазон изменения обобщенных координат, отклонения обобщенных координат от предписанных значений, объем движений по обобщенным координатам и максимальную скорость суставов. В результате создано алгоритмическое обеспечение, позволяющее построить множество Парето-оптимальных решений для синтеза гладких траекторий резки, удовлетворяющих ограничениям реальных промышленных систем управления роботами. Проведены исследования эффективности предложенного алгоритма и доказана его работоспособность при решении задачи синтеза траекторий резки в среде с препятствиями. Установлено, что наиболее существенными компонентами векторного критерия являются составляющие, учитывающие объем движения суставов. Разработан сценарий интерактивного синтеза траектории резки для САПР РТК.

3. Разработаны метод и алгоритм оптимизации компоновки РТК резки трехмерных объектов, которые в отличие от известных, учитывают кинематическую избыточность манипулятора и позволяют найти глобальный экстремум за счет адаптивного изменения шага дискретизации и вариации весовых коэффициентов. Метод основан на скалярной свертке векторного крите-

рия качества, который учитывает объем движений и диапазон изменения обобщенных координат.

4. Разработаны и интегрированы в САПР ROBOMAX алгоритмы оптимизации движений робота при резке трехмерных объектов сложной формы, основанные на векторном критерии качества. В отличие от известных, эти алгоритмы позволяют получить множество Парето-оптимальных решений для синтеза гладких траекторий, удовлетворяющих ограничениям реальных промышленных систем управления роботами. Разработаны средства для автоматизированного синтеза компоновки РТК резки трехмерных объектов сложной формы, что позволяет производить оптимизацию положения основания робота в ячейке на основе векторного критерия качества.

Список опубликованных работ

1. Лукьянец С.В., Снисаренко С.В. Имитационное моделирование четырехпрессовой линии штамповки деталей// Докл.БГУИР. 2018.№2(112). С.92-97

2. Снисаренко С.В. Оптимизация перемещений инструмента антропоморфного робота - манипулятора /С. В. Снисаренко//Системы управления: материалы 54-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. / Минск 23-27 апреля 2018 года / Минск, БГУИР 2018.

3. Снисаренко С.В., Чумаков О.А. Оптимизация перемещений инструмента антропоморфного робота - манипулятора /С. В. Снисаренко// Информационные технологии в производстве и научных исследованиях: материалы VI Международной научно - технической интернет - конференции «Информационные технологии в образовании, науке и производстве» БНТУ/ Минск 17-18 ноября 2018 года / Минск, БНТУ 2018.