

## **МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЙ МАНИПУЛЯТОРА В РТК РЕЗКИ**

*Р.И. Гомолицкий, А.М. Трусевич*

*Научный руководитель – О.А. Чумаков*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники*

Лазерная обработка материалов получила широкое распространение в современной промышленности. Однако широкое применение РТК резки сдерживается сложностью его программирования. Метод автономного программирования позволяет заменить ручное обучение графическим компьютерным моделированием [1]. Автоматизация такого процесса требует разработки алгоритмов, обеспечивающих автоматическую генерацию управляющей программы робота, при минимальном вмешательстве оператора. Существующие системы графического моделирования РТК не позволяют производить оптимизации движений робота по векторным критериям, с учетом кинематической избыточности манипуляционной системы [2], поэтому необходима разработка эффективных алгоритмов планирования траектории робота, а также программного обеспечения, их реализующего.

Предложенные алгоритмы используют в процессе оптимизации кинематическую избыточность, которой обладают манипуляторы с шестью степенями подвижности применительно к операции резки. При этом учитываются как ограничения на кинематику манипуляционной системы, на близость к препятствиям и точкам сингулярности, так и технические возможности реальных систем управления. При синтезе траектории осуществляется оптимизация по критериям минимизации энергии, скорости движения суставов, диапазона изменения обобщенных координат, объема движений суставов, что позволяет учесть характер изменения координат и углов ориентации инструмента [3]. Кроме того, вводится оценочная функция, которая позволяет комплексно оптимизировать движение всех суставов, с учетом присвоенных им параметров, назначаемых по весам суставов и расположению их относительно силовых и управляющих кабелей.

Пространство поиска решений преобразуется в направленный граф и исходная задача формулируется в терминах теории комбинаторной оптимизации. Затем, методом динамического программирования создается последовательность вариантов решений путем изменения весов комбинированного критерия качества. В результате генерируется плавная траектория движения инструмента манипулятора, которая может быть точно воспроизведена в реальном масштабе времени. Из этих решений автоматически выбирается только Парето-оптимальные, которые заносятся в библиотеку решений, из которой выбирается окончательное решение и по нему генерируется управляющая программа робота.

### **Литература**

1. Geiger, M. & Otto, A. Laser in der Elektronikproduktion & Feinwerktechnik, Tagungsband des 3. Erlanger Seminars LEF 2000, Bamberg: Meisenbach 2000.
2. L. Sciacivico and B. Siciliano Modelling and control of robot manipulators. Springer, New York, 2000, 377 p.
3. Pashkevich A., Dolgui A., Chumakov O. Optimal Control of Robotic Manipulator for Laser Cutting Applications. 15<sup>th</sup> Triennial World Congress of the International Federation of Automatic Control. Barcelona, SPAIN, 21th-26th July, 2002. Book of abstracts p.273. CDROM proceedings, 6pp.

## **ИНТЕРНЕТ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ РОБОТОТЕХНИКЕ**

*С.В. Буцев, А.А. Александрович, А.С. Яковенко, А.А. Дубинин, А.С. Бабеня*

*Научные руководители – д.т.н., профессор А.П. Пашкевич, С.И. Городко*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники*

Работа посвящена разработке программного обеспечения для дистанционного изучения материала по калибровке геометрических моделей робототехнических комплексов (РТК).

Калибровка позволяет обеспечить привязку разработанной программы управления к реальному РТК, т.е. компенсировать погрешности номинальной математической модели, используемой в системе off-line программирования [1].

В качестве обучающей среды проекта задействована сеть Интернет, а сам проект написан с использованием открытых Интернет-технологий, которые позволяют достичь охвата наиболее полной аудитории, а также снизить стоимость процесса обучения. При реализации проекта применялись языки Java, VRML, а также язык обработки гипертекста PHP. В качестве дополнительной возможности, некоторые алгоритмы были написаны с применением технологии Macromedia Flash. Каждая технология реализует отдельный функциональный модуль, дополняющий или взаимозаменяющий другие с целью построения полноценной системы обучения. Таким образом, система может расширяться для включения нового материала.

Разработанная система позволяет обучить студентов теории калибровки роботов, провести эксперименты с использованием как реальных роботов, так и их виртуальных моделей, а также проконтролировать правильность усвоения материала. Рассматриваемые теоретические вопросы включают алгоритмы калибровки положения детали относительно робота; алгоритмы калибровки геометрических параметров технологического инструмента робота; исследование точности и сходимости этих алгоритмов; оптимальное планирование калибровочного эксперимента [2,3].

Система состоит из трех основных модулей. Первый модуль содержит теоретические сведения по кинематике роботов. В нем также излагаются вопросы калибровки положения и ориентации объекта относительно робота и калибровки геометрических параметров инструмента. Второй модуль содержит средства визуального отображения теоретической информации, позволяющие наглядно продемонстрировать технические аспекты калибровки и закрепить материал, содержащийся в первом модуле. В третьем модуле реализована система контроля процесса обучения, которая следит за последовательностью выполнения работ, предоставляет возможность автоматической оценки знания студентов, выставления рейтингов и сбора статистики.

В настоящее время разработанная система размещена по адресам <http://robot-calibration.fatal.ru>, <http://alpha.ieor.berkeley.edu/calibration>, где проводится ее тестирование, совершенствование и расширение модулей.

#### **Литература**

1. Bernhardt A., Albright S.L.. Robot calibration. – Chapman & Hall, London, 1993. – 311 pp.
2. Robinette M., Manseur R. Robot-Draw, a visualization tool for robotics education. // IEEE Transactions on Education, Vol. 44, No. 1, 2001, pp. 29-34.
3. Zhang M.T., Kambouridis D., Lum R., Wahl T., Larskulsint P., Hirth G., Carlisle B., Goldberg K.. Fixture-based industrial robot calibration for silicon wafer handling // IEEE International Conference on Robotics and Automation, Taipei, Taiwan, China, 2003, 8 pp..

## **НЕРАЗРУШАЮЩАЯ САМОДИАГНОСТИКА ВСТРОЕННЫХ ОЗУ**

*Д.С. Петроненко*

Научный руководитель – к.т.н., доцент *А.А.Иванюк*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники*

На протяжении последних лет наблюдается устойчивая тенденция по совершенствованию технологий производства цифровых устройств. С каждым годом всё большее распространение получают встроенные системы и системы на кристалле, когда практически вся аппаратура устройства расположена на одном чипе. В структуре таких систем доминирующее положение постепенно начинают занимать оперативные запоминающие устройства (ОЗУ).

Постоянное увеличение емкости и уменьшение технологических норм производства встроенной памяти приводит к значительному снижению качества выпускаемой памяти и увеличению количества сбоев и отказов запоминающих устройств в процессе эксплуатации