

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА RSIM ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАНИПУЛЯТОРА**

### **Введение**

Современное развитие технологий в производственных системах требует интеграции и согласование составляющих, необходимого и достаточного по своему технологическому предназначению для определённой номенклатуры изделий. Системы подобного класса, как правило состоят из: основного оборудования; средств сервисного обслуживания промышленных роботов и упорядочивания среды для групповой технологии; материальных и информационных потоков и средств их накопления; средства перегрузки, распределения по обрабатывающим ресурсам; подсистем автоматизированного проектирования управляющих программ и технологического оснащения [4].

Для решения задач моделирование робототехнических систем представляет все больший интерес, особенно в областях, где физическое моделирование проблематично, в частности, для крупногабаритных манипуляторов и манипуляционных роботов (МР) агрессивных сред, широко используются моделирующие программы различной сложности и функциональности.

В качестве же дополнительного средства моделирования, и в частности визуализации, можно использовать программные комплексы, моделирующие манипуляторы различных конфигураций. Используя данные средства можно проверить корректность и адекватность проектируемой МР.

Также средства визуализации и моделирования могут помочь в задачах:

- рассмотрения динамических и кинематических характеристик составляющих модулей МР;
- синтеза/анализа в процессе конструирования МР как специалистами, так и студентами на этапе моделирования и разработки самой МР;
- моделирования и выбор конкретного манипулятора с учётом номенклатуры производства;
- анализ характеристик МР в условиях штатных и нештатных режимов работы модулей, входящих в производственную систему.

## **Анализ проблемы прикладного моделирования МР**

При решении задачи моделирования МР акцентируют внимание на двух очень важных подзадачах:

- конструктивная составляющая МР (состав модулей);
- определение характеристик, влияющих на поведение и управление МР.

Для эффективного решения первой задачи используются различные 3D-моделирующие системы. А для решения задачи оптимизации характеристик МР необходимо использовать различные аналитические методы (сети Петри, ТМО, теория агрегатов, нейро сети и т.д.). Комплексное решение подразумевает интеграцию использования методов и программ для синтеза/анализа МР.

Таким образом, как это было сказано выше, система моделирования должна содержать богатый набор функций. Данный набор должен удовлетворять потребностям конечного пользователя и снять с пользователя нагрузку по реализации базового функционала манипулятора. А использование макросредств описания и управления моделью МР позволит решить задачу динамического управления движением и характеристиками модулей МР непосредственно во время тестирования модели. Это позволит пользователю, при использовании данной среды моделирования, сфокусироваться на конечной цели и не расплываться на частности.

Просмотрев некоторые существующие разработки данного направления, такие как:

1. Система eM-Workplace PC (ROBCAD) - предназначена для разработки, симуляции, оптимизации, анализа и off-line программирования роботизированных и автоматизированных технологических процессов [6].

2. Система на базе grid-технологии, которая является географически распределенной инфраструктурой, объединяющей множество ресурсов разных типов (процессоры, долговременная и оперативная память, хранилища и базы данных, сети), доступ к которым пользователь может получить из любой точки, независимо от места их расположения [5].

После анализа представленных систем, можно отметить следующие факты:

- программная среда 3D-моделирования роботизированных ячеек ROBCAD, обладая богатым функционалом, предоставляющим возможности моделирования различных манипуляторов и систем манипуляторов, является средой разработки и не предназначена для проведения обучения. Можно отметить следующие негативные моменты: громоздкость, ориентированность непосредственно на разработку и практическое использование, сложность интеграции в стороннее программное обеспечение;
- система на базе grid-технологии, является средством дистанционного обучения и предоставляющее функции для решения прямой и

обратной задачи кинематики и визуализации перемещений не предоставляет возможности задания последовательности перемещений выбранной конфигурации посредством какой-либо вариации на тему языка скриптов и не предоставляет возможности интеграции визуализации перемещений манипулятора в стороннее программное обеспечение.

Исходя из выше сказанного, можно сделать выводы, что существующие программные комплексы, реализующие среды 3D-моделирования и комплексного решения различных задач кинематики не удовлетворяют некоторым требованиям:

- возможность задать произвольную конфигурацию манипулятора;
- возможность управления МР посредством составления управляющих программ;
- открытая платформа с возможностью подключения внешних модулей, позволяющих производить управление реальным манипулятором;
- возможность использования программного обеспечения, как составляющего в более мощных системах, для обеспечения визуализации заданной конфигурации манипулятора и отображения его перемещений;
- удобный и лёгкий интерфейс для обучения молодых специалистов при решении задач синтеза/анализа МР.

Целью данной статьи является обзор программного комплекса RSIM, удовлетворяющего изложенным выше требованиям.

### **Концептуальный подход к решению задачи управления МР**

Задача программного управления движениями виртуальной модели манипулятора (ВММ) промышленного робота является задачей разработки достаточно эффективного и гибкого механизма задания перемещений в пространстве, которое позволяет максимально эффективно учитывать характеристики манипулятора при этом не обременяя избыточным количеством деталей.

При решении задач управления ВММ является важной задачей учёта реальных характеристик, поскольку только в случае корректного учёта характеристик можно достигнуть адекватного переноса движений виртуальной модели на реальных манипулятор [2,3]. Таким образом модель должна учитывать кинематические и динамические характеристики реального объекта. Однако модель не должна быть чрезвычайно сложной, поскольку снижается её практический смысл – в связи с усложнением модели значительно сужаются возможности её использования: выбор оптимальной скорости перемещения рабочего органа ВММ и степень влияния точности позиционирования на быстродействие манипулятора.

Таким образом, виртуальная среда должна удовлетворять следующим требованиям:

- возможность синхронизировать ВММ с реальным манипулятором для решения задач в физическом пространстве;
- учитывать кинематические и динамические характеристики ВММ;
- возможность составления программ управления и возможность управления как ВММ так и реальным манипулятором;
- удобный и гибкий интерфейс для составления программ управления;
- достаточные средства наглядности модели для пользователя;
- возможность взаимодействия со сторонним программным обеспечением;
- возможность подключения сторонних модулей для работы с реальными манипуляторами различных типов. Что позволит, используя единое виртуальное представление, взаимодействовать с различными типами реальных манипуляторов;
- возможность визуализации и изучения переходных процессов в реальном времени, а также различные методы экспорта графиков работы ВММ.

В случаях, когда виртуальная среда позволяет моделировать разные типы манипуляторов наиболее целесообразным также является возможность задания динамических характеристик посредством загрузки внешних файлов конфигурации или управляющего скрипта.

В случае, когда виртуальной средой предоставляется возможность взаимодействия со сторонним программным обеспечением (посредством файлов с сохранённой конфигурацией), виртуальная среда должна использовать в качестве формата файлов общепринятый стандарт. В качестве данного стандарта может быть использован формат XML, являющийся общепризнанным и легко интегрируемым в любое программное обеспечение.

При составлении программ управления, необходимо, чтобы управляющие программы имели простой синтаксис и грамматику. Что облегчит работу со средой для конечного пользователя, поскольку изучение новых и сложных языков требует дополнительного времени и может быть негативно воспринято конечным пользователем.

### **Реализация системы моделирования МР**

Целью создания дополнительного обучающего места на базе программного комплекса RSIM является обеспечение пользователя дружелюбным интерфейсом и многофункциональной средой относительно определенной проблемной отрасли. Дружелюбный интерфейс повышает интерес пользователя к процессу обучения за счет внедрения 3D мультимедийных технологий (рис. 1). Многофункциональная среда предусматривает реализацию возможности изучения теоретического материала,

выполнения лабораторно исследовательских практикумов и проектно-расчетных работ, самоконтроля пользователя и аттестацию со стороны преподавателя, посредством создания и сохранения протоколов работы.

Реализация RSIM в таком объеме возможностей требует семантически согласованных инструментальных средств, на основе которых функционируют и синхронизируются отдельные составные части [2].

Следует заметить, что в программном комплексе RSIM реализованы не только возможности изменения кинематических и динамических характеристик манипулятора, но и программные средства для решения прямой и обратной задачи кинематики, переходные процессы в МР во время движения. При этом визуальная среда предоставляет возможность построения различных типов манипулятора из определенного набора звеньев (изгиб, вращение, выдвигание).

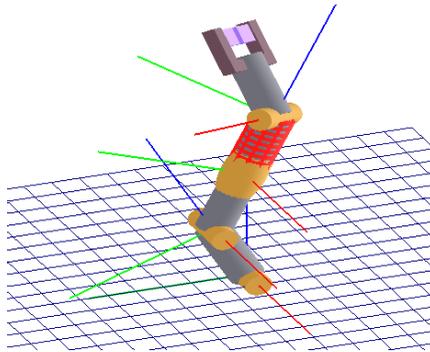


Рис. 1 – Модель четырёхзвенного манипулятора

Программное управление манипулятором робота в среде RSIM реализовано посредством языка скриптов, содержащего определённый набор функций, предназначенных для задания конкретных перемещений, создания манипулятора, решения прямой и обратной задачи кинематики и некоторых других функций визуальной среды моделирования МР. Встроенный язык скриптов среды RSIM насчитывает несколько десятков запрограммированных функций для работы с МР, предназначенных для задания параметров рабочей среды, параметров модели манипулятора, перемещений манипуляционной системы в пространстве и решения прямой и обратной задачи для позиционирования манипулятора [1].

Все функции языка скриптов дублируют функции, предоставляемые визуальными средствами среды. Рассмотрим использование среды на конкретных примерах в обучающих целях.

Приведем некоторые возможности работы на примере: необходимо построить ВММ (рис. 1), состоящий из 4-х звеньев с определёнными ха-

характеристиками для каждого звена (рис. 2): три типа изгиб и одна типа вращение.

Для звеньев данного манипулятора задано следующие кинематические и динамические характеристики:

Решим прямую и обратную задачи кинематики используя среду моделирования RSIM, при этом будем использовать все предоставленные средства: как функции языка скриптов, так и визуальные.

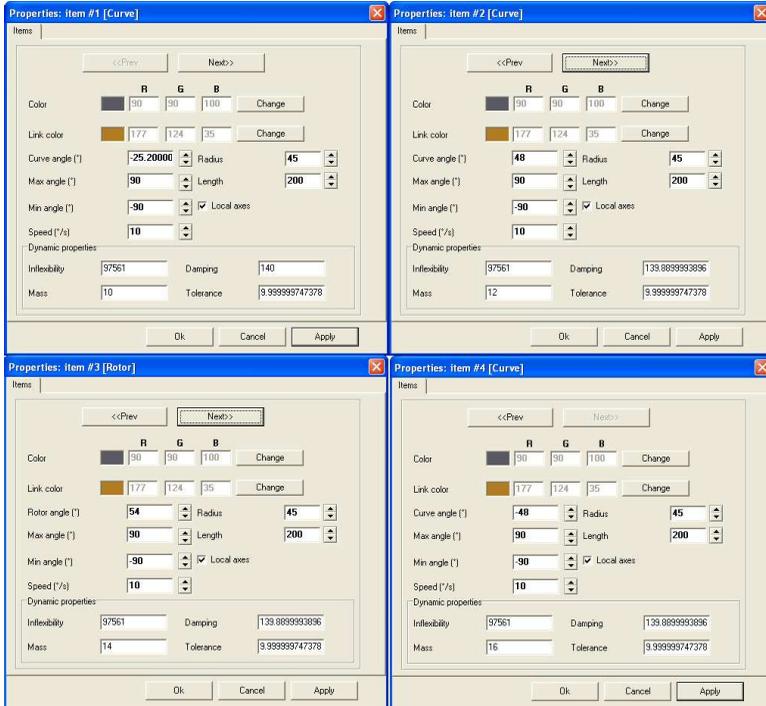


Рис. 2 – Характеристики звеньев манипулятора

**Рассмотрим решение прямой задачи кинематики.** Для решения прямой задачи кинематики, посредством визуальных средств среды, необходимо вызвать пункт меню “Задачи – > Прямая задача кинематики”. Вызываем окно настройки параметров отдельных звеньев МР (рис. 3).

Определив параметры для каждого из звеньев, в нижней части окна можно получить координаты точки, в которой окажется схват спроектированного манипулятора. С целью удобства были использованы следующие параметры: сцена имеет вид куба со сторонами 100x100x100. Решим задачу, задав следующие углы для звеньев: 40, -50, 0, -10. Решением пря-

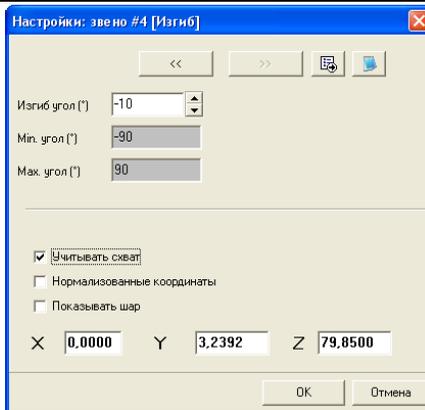


Рис. 3 – Окно настройки параметров выбранного звена

мой задачи является точка 0.0; 3.24; 79.85 – координаты перемещения схвата после обработки указанных параметров каждого из звеньев.

**Рассмотрим решение прямой задачи кинематики посредством языка скриптов.** Для этого создадим скрипт (рис. 4), использующий текущую модель манипулятора и выполняющий решение прямой задачи кинематики с теми же самыми углами:

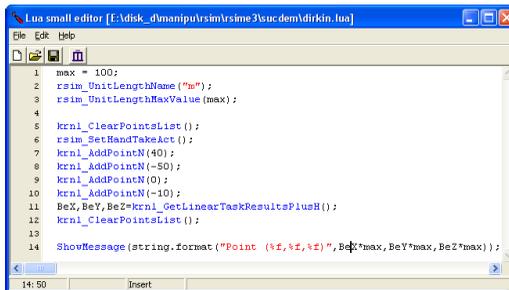


Рис. 4 – Скрипт решение прямой задачи кинематики в редакторе скриптов

Данный скрипт задаёт конфигурацию сцены – размеры куба сцены, и выполняет решение прямой задачи кинематики, задавая те же самые углы перемещения, что и в случае решения прямой задачи посредством графического интерфейса пользователя.

Результатом выполнения данного скрипта являются координаты точки являющейся решением прямой задачи кинематики. Результат работы скрипта отображается в форме диалога (рис. 5):

**Рассмотрим решение обратной задачи кинематики** для достижения точки (0.0; 3.24; 79.85). Выполним решение обратной задачи



Рис. 5 – Результат решения прямой задачи кинематики посредством языка скриптов

кинематики как с использованием механизма скриптов так средствами графического интерфейса пользователя.

Для решения обратной задачи кинематики посредством графического интерфейса необходимо открыть соответствующий пункт меню, при этом откроется окно, изображённое на рис. 6. В этом окне, нам необходимо задать координаты точки, которую необходимо достигнуть, разблокировать необходимые звенья (чтобы учитывать их в поиске результатов решения), задать шаг поиска для каждого из узлов манипулятора. После этого, мы можем указать допуск, для нахождения параметров перемещения для каждого звена.

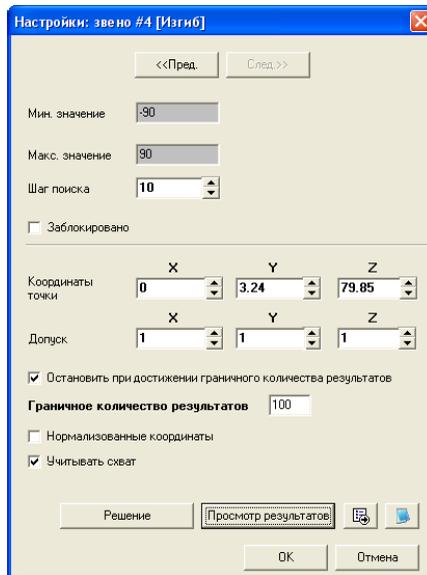


Рис. 6 – Окно решения обратной задачи кинематики

Проведём поиск, укажем допуск в 1, разблокируем все звенья, шаг поиска выберем равным 10, укажем максимальное количество резуль-

татов равным 10. После завершения поиска мы получим 9 результатов, указанных в табл. 1:

Таблица 1

Результаты решения обратной задачи кинематики

№	Звено 1	Звено 2	Звено 3	Звено 4
1	-40	40	0	20
2	-40	60	0	-30
3	-30	20	0	40
4	-10	-10	0	50
5	-10	30	0	-50
6	30	-30	0	-30
7	40	-50	-10	-10
8	40	-50	0	-10
9	40	-50	10	-10

Все эти решения приводят к одному и тому же результату и могут быть использованы для дальнейшей оптимизации работы МР по самым различным критериям.

Аналогичным образом, решение обратной задачи может быть найдено с использованием языка скриптов. Язык скриптов позволяет задать все необходимые параметры решения задачи: выбор заблокированных звеньев; шаг поиска для любого из звеньев; максимальное количество результатов решений (если необходимо ограничить количество решений). Результаты решения могут быть использованы в дальнейшей работе скрипта, в т.ч. для оптимизации и выбора решения, удовлетворяющего определенным критериям.

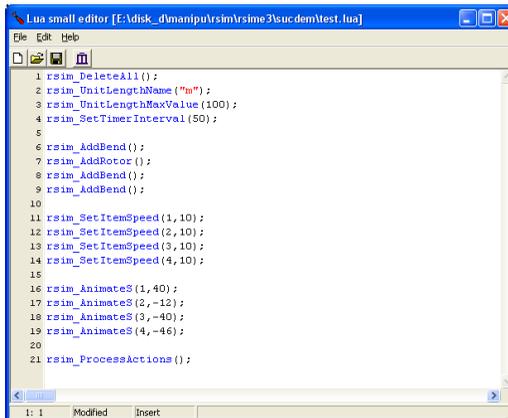


Рис. 7 – Скрипт, выполняющий анимацию звеньев

Для достижения более пространственного воображения, программный комплекс предоставляет возможность анимационного представления перемещений в заданную точку. Таким образом, задав в скрипте перемещения, можно наблюдать анимацию работы манипулятора и исследовать переходные процессы, которые возникают при перемещении схвата МР в заданную точку. Возможно осуществление анимации как любого отдельного звена, так и всего манипулятора в целом.

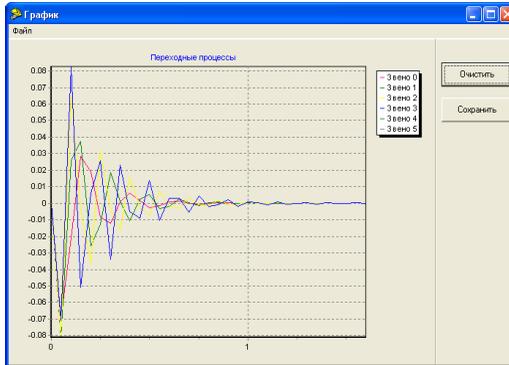


Рис. 8 – График переходных процессов в звеньях во время движения в заданную точку

Параметры анимации рассчитываются для каждого конкретного звена с учётом кинематических и динамических характеристик звена. Учитываются следующие параметры: длина, радиус, скорость, масса, коэффициент демпфирования и жёсткость звена. При анимации можно наблюдать переходные процессы в звеньях непосредственно, во время перемещении схвата МР в заданную точку (рис 8). Графики могут быть сохранены в различные форматы графических файлов и использованы в дальнейшем.

Таким образом, в процессе обучения, при использовании программной среды RSIM, студент может практически реализовать следующие задачи:

- построить модель МР произвольной конфигурации;
- составить скрипт на языке LUA (с использованием редактора скриптов LuaEdit, входящем в состав программной среды);
- решить прямую или обратную задачи кинематики;
- просмотреть перемещение манипулятора в виде анимации;
- сохранить полученные результаты и скрипты для дальнейшего использования.

Студент может использовать среду RSIM в качестве инструмента отображения для собственного программного обеспечения, что обеспечивается

возможностью загрузки конфигурации манипулятора посредством XML файлов и возможностью загрузки скриптов на языке LUA. Контейнер XML позволяет сохранить не только произвольную конфигурацию виртуальной модели манипулятора, но и скрипт анимации перемещений данного манипулятора. Указанные возможности, предоставляются посредством ключей командной строки консольного вызова RSIM. Данное функциональное расширение облегчает интеграцию программной среды RSIM в стороннее программное обеспечение.

Пример командной строки (рис. 9), осуществляет запуск программного комплекса RSIM в следующем режиме – RSIM используется для выполнение скрипта `myscript.lua` (осуществляет построение и анимацию перемещений модели МР), при этом все панели пользовательского интерфейса RSIM скрыты (ключ `-h`) и выполнение программного комплекса будет завершено после выполнения скрипта.

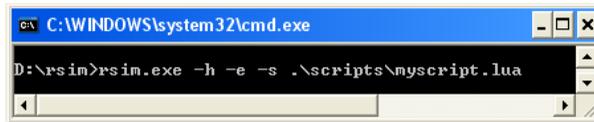


Рис. 9 – Командная строка для запуска RSIM

## Выводы

Результатом разработки программного комплекса является создание удобного за интерфейсом и многофункционального по назначению рабочего места студента и преподавателя, которое учитывая реализованные свойства позволяет использовать его как дополнительную оболочку обучающей системы для разных направлений подготовки в системе образования.

Таким образом, программный комплекс RSIM может быть использован для решения следующих задач:

- построение манипулятора произвольной конфигурации из набора звеньев таких типов как: изгиб, вращение, выдвижение;
- решения прямой задачи кинематики и поиска решений обратной задачи кинематики с заданной точностью;
- визуализации заданного посредством скриптов набора перемещений ВММ на рабочей области;
- изучение динамических характеристик процессов при выполнении анимации с целью исследования переходных процессов в звеньях;
- возможность управления реальными манипуляторами посредством подключаемых модулей.

Следует отметить, что удобный интерфейс и гибкость системы позволяют использовать данный комплекс в процессе обучения студентов. Возможность сохранения текущей конфигурации и возможность запуска

из командной строки с одновременной загрузкой скрипта, позволяет интегрировать данный программный комплекс в стороннее программное обеспечение с целью визуализации различных конфигураций манипулятора, а также выполнения анимации.

### Литература

1. Вукобратович М., Стокич Д., Кирчански Н. Неадаптивное и адаптивное управление манипуляционными роботами: Пер. с англ. - М.: Мир.- 1989. - 376 с.
2. Данішевський Б.М., Данішевська А.А., Лісовиченко О.І., Ямпольський Л.С. Використання мови скриптів як засобу програмного управління маніпулятором робота у віртуальному середовищі // Адаптивні системи автоматичного управління. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.-Вип.12(32).-Київ, 2008.-С. 25-31.
3. Лісовиченко О.І., Данішевський Б.М., Птічнікова А.С., Ланкін Ю.М., Ямпольський Л.С. Візуалізація моделювання гіперпросторово-розподілених гнучких комп'ютерно-інтегрованих виробничих систем // Адаптивні системи автоматичного управління. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.-Вип.8(28).-Дніпропетровськ, 2004.-С.3-13.
4. Лісовиченко О.І., Данішевський Б.М., Птічнікова А.С., Ланкін Ю.М., Ямпольський Л.С. Візуалізація моделювання гіперпросторово-розподілених гнучких комп'ютерно-інтегрованих виробничих систем // Адаптивні системи автоматичного управління. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.-Вип.8(28).-Дніпропетровськ, 2004.-С.34-47.
5. <http://www.worldcommunitygrid.org>
6. <http://www.plm.automation.siemens.com>

*Получено 24.03.2009*