

М. У. УТЕНОВ, Д. К. БАЛТАБАЙ*, С. Ж. БАТЫРБЕК

*Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, Казахстан*

КОМПЬЮТЕРНОЕ 3D МОДЕЛИРОВАНИЕ МАНИПУЛЯТОРОВ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MAPLE

Создание 3D модели любых роботизированных систем получило широкое распространение в последние несколько лет и применяется как в образовательных, так и в исследовательских целях, где требуется работа с наглядным изображением объекта в трехмерном пространстве. В настоящее время доступно множество сред 3D моделирования для различных областей исследований робототехники с некоторыми преимуществами и ограничениями. Компьютерное 3D моделирование пространственных манипуляторов и их движения с наглядным изображением объекта позволяет визуально наблюдать за результатами при изучении его кинематических, динамических, силовых, управляющих и других аспектов. В данной работе компьютерная 3D модель пространственного манипулятора RRRRT и его движения была получена путем разработки и реализации программы в среде Maple. Для создания трехмерной модели манипулятора требуется получить 3D модели составных частей манипулятора: кинематических пар, звеньев, схватов и объединить все части манипулятора в одну систему с помощью разработанной программы в среде Maple.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, 3D модель манипулятора, движение манипулятора, Maple.

Введение. Безусловно, современные программные решения для различных целей основаны на потребностях реальной отрасли с целью проведения надежных и быстрых анализов, а также для создания оптимальных решений в соответствии с целевой функцией по умолчанию [1-2].

Существуют различные программные среды, которые позволяют моделировать и анализировать сложные механизмы, а также предоставляют очень подробный анализ всех движений элементов в характерных точках, отдельных положениях элементов манипулятора или для полных циклов движения. Некоторые из них: SimMechanics, Autodesk Inventor, SolidWorks, CadMech, Adams, Matlab и Maple [3-4].

Создание 3D модели пространственного манипулятора можно произвести в программах SimMechanics, Autodesk Inventor, SolidWorks, CadMech, Adams, но дальнейшее кинематическое исследование можно будет выполнить в других пакетах программ, таких как Matlab, импортируя готовую 3D модель, созданную в одной из вышеперечисленных программ [5-7].

Что касается среды Maple, то при 3D моделировании манипулятора, все операции выполняются в одной среде Maple, начиная от получения 3D модели составных частей манипулятора до аналитического исследования позиционной кинематической задачи данного пространственного манипулятора, что является более простым и эффективным ходом.

* E-mail корреспондирующего автора: dauren.baltabay.95@gmail.com

Методы исследования и результаты. Моделирование и сборка звеньев манипулятора RRRRT были проведены с помощью оператора Maple `parallelepiped(u, v, w, p, options)` и следующих команд.

```
zveno1 := parallelepiped([0.12, 0, 0], [0, 0.1, 0], [0, 0, 0.85], [-0.06, -0.05, 0], color = blue):
```

```
zveno2 := parallelepiped([0.85, 0, 0], [0, 0.08, 0], [0, 0, 0.1], [0., 0.05, 0.80], color = blue):
```

```
zveno3 := parallelepiped([0.1, 0, 0], [0, 0.08, 0], [0, 0, 0.85], [0.80, 0.13, 0.85], color = blue):
```

```
zveno4 := parallelepiped([0.1, 0, 0], [0, 0.08, 0], [0, 0, 0.4], [0.80, 0.13, 1.7], color = blue):
```

```
zveno5 := parallelepiped([0.08, 0, 0], [0, 0.06, 0], [0, 0, 0.4], [0.81, 0.14, 1.7 + d5], color = white):  
osnovanie := parallelepiped([1, 0, 0], [0, 1, 0], [0, 0, 0.07], [-0.5, -0.5, -0.05], color = magenta):
```

В результате получим собранную 3d модель звеньев манипулятора RRRRT, которая приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – 3d модель и сборка звеньев манипулятора RRRRT.

Моделирование и сборка кинематических пар совместно со звеньями манипулятора RRRRT были проведены с помощью операторов Maple `cylinder(c, r, h, capped=boolean, strips=n, options)`, `rotate(q, alpha, beta, gamma)`, `translate(q, a, b, c)` и следующих команд.

```
cyl10 := cylinder([0., 0., 0], 0.12, 0.06, color = blue, capped = true, strips = 500):
```

```
cyl21 := cylinder([0, 0, 0], 0.1, 0.2, color = blue, capped = true, strips = 500):
```

```
cyl21 := rotate(cyl21, Pi/2, 0, 0):
```

```
cyl21 := translate(cyl21, 0, -0.06, 0.85):
```

```
cyl32 := cylinder([0, 0, 0], 0.1, 0.2, color = blue, capped = true, strips = 500):
```

```
cyl32 := rotate(cyl32, Pi/2, 0, 0):
```

```
cyl32 := translate(cyl32, 0.85, 0.04, 0.85):
```

```
cyl43 := cylinder([0, 0, 0], 0.08, 0.12, color = blue, capped = true, strips = 500):
```

```
cyl43 := translate(cyl43, 0.85, 0.17, 1.64):
```

В результате получим собранную 3d модель манипулятора RRRRT, которая показана на рисунке 2.



Рисунок 2 – Собранная 3d модель манипулятора RRRRT.

Смоделированный RRRRT манипулятор обладает пятью степенями свободы. Так как оси кинематических пар взаимно перпендикулярны и параллельны, то можно использовать способ построения системы координат, предложенный Дж. Денавитом и Р. Хартенбергом при формировании систем координат звеньев манипулятора. Ниже приведены команды для построения связанных со звеньями 0 и 1 системы координат, использующие следующие операторы Maple `arrow(base, dir, pv, wb, wh, hh, sh, fr, options)`, `textplot3d(L, options)`, `display(P)`, аналогичного строятся для остальных звеньев RRRRT манипулятора.

```
X01 := arrow(<1, 0, 0>, color = green, thickness = 3, shape = arrow);
X02 := textplot3d([[1.05, 0, 0, " X0 ", 'font' = ["times", "roman", 15]]], 'axes' = 'none');
X0 := display(X01, X02);
Y01 := arrow(<0, 1, 0>, color = green, thickness = 3, shape = arrow);
Y02 := textplot3d([[0, 1.05, 0, " Y0 ", 'font' = ["times", "roman", 15]]], 'axes' = 'none');
Y0 := display(Y01, Y02);
Z01 := arrow(<0, 0, 1.5>, color = green, thickness = 3, shape = arrow);
Z02 := textplot3d([[0, 0, 1.55, " Z0 ", 'font' = ["times", "roman", 15]]], 'axes' =
'none');
Z0 := display(Z01, Z02);
X0Y0Z0 := display(X0, Y0, Z0);
X11 := arrow(<0.5, 0, 0>, color = magenta, thickness = 3, shape = arrow);
X12 := textplot3d([[0.55, -0.09, 0, " X1 ", 'font' = ["times", "roman", 15]]], 'axes' = 'none');
X1 := display(X11, X12);
Y11 := arrow(<0, 0, 0.4>, color = magenta, thickness = 3, shape = arrow);
Y12 := textplot3d([[0, 0.09, 0.30, " Y1 ", 'font' = ["times", "roman", 15]]], 'axes' = 'none');
```

```

Y1 := display(Y11, Y12);
Z11 := arrow(<0, -0.5, 0>, color = magenta, thickness = 3, shape = arrow);
Z12 := textplot3d([[0, -0.55, 0, "Z1 ", 'font' = ["times", "roman", 15]]], 'axes' = 'none');
Z1 := display(Z11, Z12);
X1Y1Z1 := display(X1, Y1, Z1);
X1Y1Z1 := translate(X1Y1Z1, 0., 0., 0.85);

```

Чтобы связать системы координат с соответствующими звеньями, достаточно следующие команды для 0 и 1 звена RRRRT манипулятора:

```

zveno1 := display(X1Y1Z1, zveno1):
zveno2 := display(X2Y2Z2, zveno2):

```

Полученные результаты RRRRT манипулятора приведены на рисунке 3.

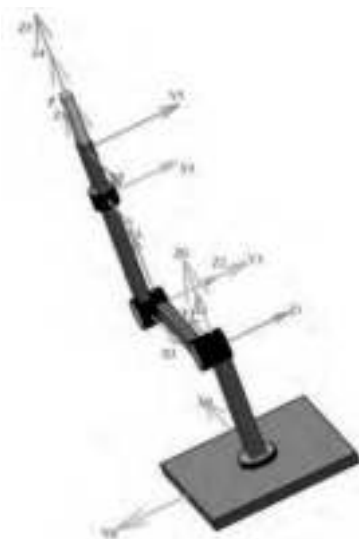


Рисунок 3 – 3d модель RRRRT манипулятора, каждое звено которого связано жестко собственными системами координат, построенными по правилу Денавита-Хартенберга.

Для создания полноценной визуализированной движущейся модели манипулятора при заданных законах обобщенных координат манипулятора, необходимо объединить все части манипулятора в одну систему с помощью программ в среде Maple, задав при этом основные связи между ними. Это было достигнуто для манипулятора RRRRT с помощью операторов Maple `display(P)` `rotate(q,alpha,beta,gamma)` и ниже приведенных команд:

```

zv54 := display(zveno5, zveno4):
zv53 := display(cyl43, zv54):
zv53 := rotate(zv53, tet4, [[0.85, 0.17, 1.73], [0.85, 0.18, 1.77]]):
zv52 := display(cyl32, zveno3, zv53):
zv52 := rotate(zv52, tet3, [[0.85, 0.05, 0.85], [0.85, 0.01, 0.85]]):

```

```
zv51 := display(cyl21, zveno2, zv52):  
zv51 := rotate(zv51, tet2, [[0, -0.06, 0.85], [0, -0.08, 0.85]]):  
zv50 := display(cyl10, zveno1, zv51):  
zv50 := rotate(zv50, tet1, [[0, 0, 0], [0, 0, 5]]):
```

На рисунке 4 приведено одно из положений смоделированного RRRRT манипулятора при движениях.



Рисунок 4 – Несколько положений смоделированного RRRRT манипулятора в движениях.

На рисунке 5 приведено транспортировочное положение RRRRT манипулятора.



Рисунок 5 – Транспортировочное положение RRRRT манипулятора.

По данной методике также были смоделированы 3D модели манипуляторов RТТ, RТТТ и их движения.

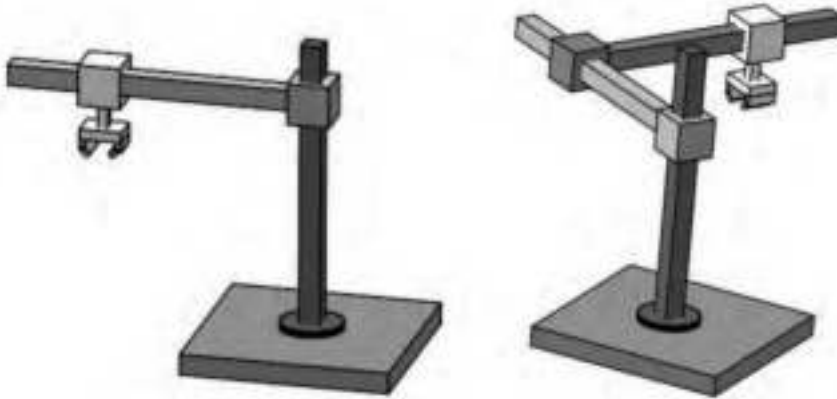


Рисунок 6 – 3D модель манипуляторов RТТ и RТТТ.

Заключение. В этом исследовании предложена методология создания 3d модели манипуляторов и их движения в среде Maple. В нем описаны простые и понятные методы для создания любой трехмерной виртуальной модели манипуляторов для моделирования движения и различных видов анализа. Полученную 3D модель RRRRT манипулятора и его движения можно посмотреть наглядно в трехмерном пространстве со всех сторон. С помощью разработанный методики можно быстро смоделировать любой другой трехмерный манипулятор.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Saeed B. (2001). Introduction to Robotics. Niku, Prentice Hall: 67-76.
- 2 Manseur R. “A software package for computer-aided robotics education”, Proceedings of IEEE 26th Annual Conference on Frontiers in Education, (1996): 1409-12
- 3 Dung L.T., Kang H.J., Ro Y.S., «Robot manipulator modeling in MATLAB/Sim-Mechanics with PD control and online gravity compensation», Proceedings of International Forum on Strategic Technology, (2010): 446–449.
- 4 Shaoqiang Y, Zhong L, Zhingshan L., “Modeling and simulation of robot based on MATLAB/Sim-Mechanics”, Proceedings of 27th Chinese Control Conference; Kunming, Yunnan, China, (2008): 161–5.
- 5 Wood GD., “A technical report in simulating mechanical systems in Simulink with Sim-Mechanics”, The MathWorks, Inc; USA, (2003).
- 6 Zheng-Wen L., Guo-liang Z., Wei-ping Z., Bin J., “A simulation platform design of Humanoid robot based on Sim-Mechanics and VRML”, Procedia Engineering, (2011): 215–219.
- 7 Schlotter M., «Multibody system simulation with Sim-Mechanics», University of Canterbury, (2003): 1–23.

М. У. УТЕНОВ, Д. Қ. БАЛТАБАЙ, Ж. Т. РАХЫМ, С. Ж. БАТЫРБЕК

ал-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қаласы

MAPLE БАҒДАРЛАМАЛАУ ОРТАСЫНДА МАНИПУЛЯТОРЛАРДЫ КОМПЬЮТЕРЛІК 3D МОДЕЛЬДЕУ

Кез келген роботтандырылған жүйелердің 3D моделін жасау соңғы бірнеше жылда кеңінен таралған және үш өлшемді кеңістіктегі объектінің көрнекі бейнесімен жұмыс істеу талап етілетін білім беру және зерттеу мақсаттарында да қолданылады. Қазіргі уақытта робототехниканы зерттеудің әртүрлі салалары үшін бірнеше артықшылықтары мен шектеулері бар көптеген 3D модельдеу орталары бар. Кеңістіктік манипуляторларды және олардың қозғалысын объектінің көрнекі бейнесімен компьютерлік 3D модельдеу оның кинематикалық, динамикалық, күш, басқару және басқа аспектілерін зерттеу кезінде нәтижелерді көзбен байқауға мүмкіндік береді. Бұл жұмыста RRRRT кеңістіктік манипуляторының компьютерлік 3D моделі және оның қозғалысы Maple ортасында бағдарламаны әзірлеу және іске асыру арқылы алынды. Манипулятордың үш өлшемді моделін жасау үшін манипулятордың құрамдас бөліктерінің 3D модельдерін алу қажет: кинематикалық жұптар, буындар, ұстағыштар және манипулятордың барлық бөліктерін Maple ортасында жасалған бағдарламаны қолдана отырып, бір жүйеге біріктіру керек.

***Түйін сөздер:** компьютерлік модельдеу, 3D манипулятор моделі, манипулятор қозғалысы, Maple.*

M. U. UTENOV, D. K. BALTABAY, ZH. T. RAHIM, C. ZH. BATYRBEK

al-Faraby Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan

COMPUTER 3D MODELING OF MANIPULATORS IN THE MAPLE SOFTWARE ENVIRONMENT

The creation of a 3D model of any robotic systems has become widespread in the last few years and is used both for educational and research purposes, where work with a visual image of an object in three-dimensional space is required. Currently, there are many 3D modeling environments available for various fields of robotics research with some advantages and limitations. Computer 3D modeling of spatial manipulators and their movements with a visual image of the object allows you to visually observe the results when studying its kinematic, dynamic, power, control and other aspects. In this paper, a 3D computer model of the spatial manipulator RRRRT and its movement was obtained by developing and implementing a program in the Maple environment. To create a three-dimensional model of the manipulator, it is required to obtain 3D models of the components of the manipulator: kinematic pairs, links, grips and combine all parts of the manipulator into one system using the developed program in the Maple environment.

***Key words:** computer modeling, 3D manipulator model, manipulator movement, Maple.*