

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМ СБОРОЧНЫМ КОМПЛЕКСОМ

С.О Иванов, Т.Е. Мамонова  
Томский политехнический университет  
sterliextrime@yandex.ru

### Введение

В настоящее время развитие практически любого производства зависит от используемых электромеханических и механических систем. Большое распространение получили ленточные конвейеры в совокупности с манипуляционными роботами

Исследование и анализ систем управления удобнее всего проводить на учебных робототехнических комплексах. Анализ систем управления необходим для оптимизации выполняемых действий. Это может позволить расширить область применения исследуемого объекта.

### Описание робототехнического сборочного комплекса

Робототехнический сборочный комплекс, общий вид которого представлен на рисунке 1, состоит из толкателей 1 – 4, транспортера 5, накопителей 6 – 8 для деталей типа «Основание», «Ось», «Кольцо», приемочного лотка 9, основания 10, манипулятора 11, ПК с монитором 12, системы технического зрения (СТЗ) 13.

Крайние положения выдвижного модуля толкателя фиксируются по двум оптическим датчикам с открытыми каналами.

Мини-робот имеет пять степеней подвижности и функционирует в ангулярной сферической системе координат. В начальном положении наклоны всех звеньев робота принимаются равными нулю. Положительным наклоном считается вращение звена против часовой стрелки.

Видеокамера предназначена для приема графической информации о наличии детали на конвейере. Входит в систему технического зрения РСКТЗ.

Персональный компьютер предназначен для управления РСКТЗ при помощи программного обеспечения, которое обеспечивает передачу команд системе управления комплексом.

Система управления предназначена для управления толкателями М1– М4, транспортером М5 и мини-роботом.

### Описание системы компьютерного управления

Программное обеспечение РСКТЗ состоит из файла Complex.exe – основной программы для ПК, файлов инициализации комплекса, вспомогательных изображений, динамически подключаемых библиотек (DLL) и примеров управляющих программ. Существует возможность управления в ручном и в автоматическом режимах.

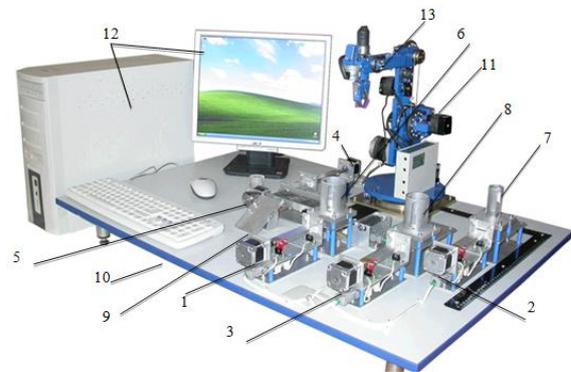


Рис. 1. Общий вид РСКТЗ

### Исследование системы компьютерного управления

Команды перехода робота в заданное положение «ПРх» и «Отн» не всегда обеспечивают перемещение по кратчайшей траектории. Возможно несколько вариантов положений звеньев в пространстве. Другими словами – возникает неоднозначность определения входных значений координат каждого звена.

Еще одной особенностью управления РСКТЗ является то, что при задании координат центра схвата перемещение схвата осуществляется в вертикальном положении.

Для того чтобы обеспечить манипулятору эффективное управление, необходимо составить его кинематическую модель или схему. После того, как кинематическая схема составлена, можно приступать к решению прямой задачи кинематики – нахождение координат точки по заданным воздействиям на звенья.

Методы решения прямой задачи кинематики можно разбить на три основные группы: матричные, геометрические и векторные [1].

Для решения прямой задачи для исследуемого манипулятора воспользуемся матричным методом решения – преобразованием Денавита-Хартенберга. В основе данного метода лежит единое расположение координатных осей для каждого из сочленений звеньев [2]

В преобразовании используются следующие параметры: присоединенный угол  $\theta_i$ , перемещение  $d_i$ , перемещение  $a_i$ , угол  $\alpha_i$ . [3].

Матрица преобразования Денавита-Хартенберга определяется выражением (1):

$$\begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \cdot \cos \alpha_i & \sin \theta_i \cdot \sin \alpha_i & a_i \cdot \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \cdot \cos \alpha_i & -\cos \theta_i \cdot \sin \alpha_i & a_i \cdot \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

На Рис.2. представлена кинематическая схема рассматриваемого манипулятора с расставленными по правилам осями.

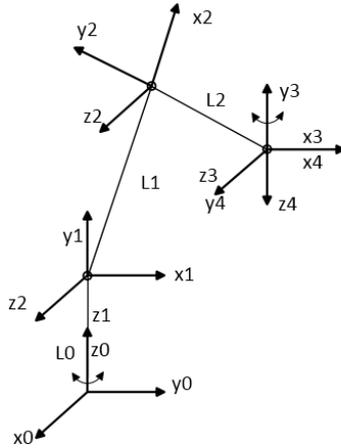


Рис.2. Кинематическая схема манипулятора

В таблице 1 представлены параметры преобразований.

Таблица 1. Параметры преобразований Денавита-Хартенберга

Рассматриваемая СК	$\theta_i$	$d_i$	$a_i$	$\alpha_i$
1	$q_0$	$L_0$	0	90
2	$-q_1 + 90$	0	$L_1$	0
3	$-q_2 - 90$	0	$L_2$	0
4	0	0	0	90

При решении системы были получены следующие зависимости углов координат центра схвата от углов поворота:

$$\begin{aligned} x &= \cos q_0 \cdot (L_2 \cdot \cos(q_1 + q_2) + L_1 \cdot \sin q_1); \\ y &= \sin q_0 \cdot (L_2 \cdot \cos(q_1 + q_2) + L_1 \cdot \sin q_1); \\ z &= L_0 - L_2 \cdot \sin(q_1 + q_2) + L_1 \cdot \cos q_1. \end{aligned} \quad (2)$$

Проверим полученные выражения, подставив значения углов поворота, равные нулю.

При проверке теоретических расчетов на лабораторном стенде обнаружилось отклонение результатов, а именно: по расчетной координате X отклонение составило 0 мм, по расчетной координате Y отклонение составило 30 мм, по расчетной координате Z отклонение составило 90 мм.

Далее были измерены размеры кисти манипулятора, а так же высота схвата, которые не учитывались при расчете. Размеры кисти как раз компенсируют разницу в теоретических и практических значениях по соответствующим осям координат. Таким образом, расчетные координаты примут вид:

$$\begin{aligned} x &= \cos q_0 \cdot (L_2 \cdot \cos(q_1 + q_2) + L_1 \cdot \sin q_1) + L_3 \cdot \cos q_0; \\ y &= \sin q_0 \cdot (L_2 \cdot \cos(q_1 + q_2) + L_1 \cdot \sin q_1) + L_3 \cdot \sin q_0; \\ z &= L_0 - L_2 \cdot \sin(q_1 + q_2) + L_1 \cdot \cos q_1 - L_4. \end{aligned} \quad (3)$$

После проверки получившегося выражения ошибка по координате Z становится равным нулю.

Обратная задача кинематики состоит в определении необходимых углов поворота и перемещений по заданным в базовой СК координатам.

При решении обратной задачи кинематики возможно несколько положений звеньев манипулятора при одних координатах центра схвата. Решение осложняется еще и наличием обратных тригонометрических функций, которые при некоторых значениях углов поворота звеньев являются неопределенными.

Методы решения обратной задачи кинематики можно разбить на две основные группы: аналитические и численные методы[4].

Для решения обратной задачи кинематики для исследуемого манипулятора воспользуемся геометрическим подходом. Попытка решения системы нелинейных уравнений (3) в пакет MatCAD 14 оказалась не возможна.

### Вывод

В ходе работы был произведен анализ и исследование учебного робототехнического комплекса и его системы управления. При этом были получены: кинематическая схема рассматриваемого манипулятора, математические формулы обобщенных координат центра схвата. Решение прямой задачи возможно с минимальной погрешностью, которая будет зависеть от суммы погрешностей измерения длин звеньев манипулятора и погрешности компьютерных вычислений.

### Литература

1. HP Adaptive Enterprise Grid for University Teaching and Learning [Электронный ресурс ]. URL:[http://www.aptechsar.com/hp/task\\_pzk.shtml](http://www.aptechsar.com/hp/task_pzk.shtml), свободный, (дата обращения: 10.05.2014 г.)
2. Forward kinematics: the denavit-hartenberg convention. unpublished. pp. 70–102.
3. Современные проблемы науки и образования (ВАК)/ Частиков А.П., Тотухов К.Е., Урвачев П.М. Теоретические основы интеллектуальной диагностики виртуального робота [Электронный ресурс ]. URL: [www.science-education.ru/107-8310](http://www.science-education.ru/107-8310) , свободный, (дата обращения: 15.05.2014 г.)
4. HP Adaptive Enterprise Grid for University Teaching and Learning [Электронный ресурс ]. URL:[http://www.aptechsar.com/hp/task\\_ozk.shtml](http://www.aptechsar.com/hp/task_ozk.shtml) , свободный, (дата обращения: 24.05.2014 г.)