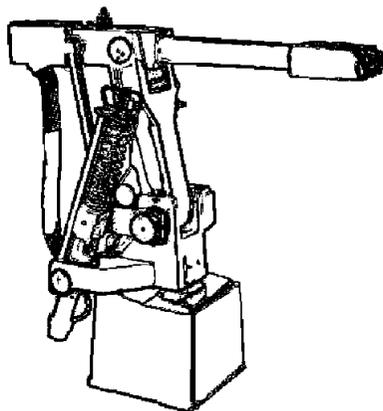


ГОУВПО «Воронежский государственный
технический университет»

Кафедра робототехнических систем

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам № 4-6
по курсу «Проектирование роботов
и робототехнических систем»
для студентов специальности 220402
"Роботы и робототехнические системы"
очной формы обучения



Воронеж 2010

Составитель канд. техн. наук В.А. Трубецкой

УДК 621.865.8

Методические указания к лабораторным работам № 4-6 по дисциплине «Проектирование роботов и робототехнических систем» для студентов специальности 220402 "Роботы и робототехнические системы" очной формы обучения / ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. В.А. Трубецкой. Воронеж, 2010. 17 с.

Методические указания содержат краткие сведения о прямых и обратных задачах кинематики и динамики манипуляционных систем, а также об областях использования результатов их моделирования.

Предназначены для студентов IV - V курсов обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе MS WORD, содержатся в файле PRTS_lab_4_5_6.doc

Табл. 2. Ил. 3. Библиогр.: 4 назв.

Рецензент канд. техн. наук, доц. М.И. Герасимов

Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. А.И. Шиянов

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ГОУВПО Воронежский государственный
технический университет, 2010

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ЗАДАЧ КИНЕМАТИКИ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Получение навыков решения задач кинематики на ЭВМ.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

При построении алгоритмов управления роботом используются прямая и обратная задачи кинематики.

Прямая задача кинематики состоит в следующем: необходимо найти матрицу, определяющую координаты захватного устройства манипулятора и его ориентацию относительно неподвижной системы координат, зная обобщенные координаты для всех звеньев манипулятора.

Обратная задача кинематики состоит в следующем: по известной матрице схвата T найти значения обобщенных координат. Характерной особенностью обратных задач кинематики является многозначность их решения.

При описании кинематических свойств многосвязных манипуляторов удобно использовать системы однородных координат. На практике чаще всего используются манипуляторы с кинематическими парами 5-го класса. В этом случае положение i -го звена манипулятора относительно $(i-1)$ -го определяется с помощью обобщенной координаты:

$$q_i = \sigma_i \gamma_i + (1 - \sigma_i) S_i. \quad (1)$$

Для вращательной пары $\sigma_i = 1$, для поступательной пары $\sigma_i = 0$. Матрица перехода от i -ой кинематической пары, связанной с i -м звеном, к $(i-1)$ -ой системе координат, связанной с $(i-1)$ -м звеном, определяется следующим выражением:

$$\dot{A}_i = \begin{bmatrix} \cos \gamma_i & -\sin \gamma_i \cos \alpha_i & \sin \gamma_i \sin \alpha_i & a_i \cos \gamma_i \\ \sin \gamma_i & \cos \gamma_i \cos \alpha_i & -\cos \gamma_i \sin \alpha_i & a_i \sin \gamma_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & S_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где α_i , a_i - конструктивные параметры манипулятора.

Решение прямой задачи кинематики задаётся с помощью следующего выражения:

$$\dot{O} = \dot{A}_1(q_1) \dot{A}_2(q_2) \dots \dot{A}_N(q_N); \quad (3)$$

где N - число звеньев манипулятора; матрицы T , \dot{A}_i , имеют размерность 4×4 .

При решении прямой задачи манипулятора на ЭВМ необходимо использовать выражения для элементов матрицы T , зависящих от обобщенных координат q_i , а также операции умножения матриц \dot{A}_i .

При решении обратной задачи по известной матрице T необходимо найти значения обобщенных координат q_i , являющихся решением нелинейного матричного уравнения (2).

3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

3.1. Изучить метод однородных координат при составлении кинематической модели манипулятора.

3.2. Получить у преподавателя вариант кинематической модели манипулятора.

3.3. Для заданного варианта задания составить матрицы перехода из неподвижной системы координат к системе координат схвата.

4. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

4.1. Ввести в матрицы, полученные в п. 3.3 конструктивные параметры звеньев манипулятора.

4.2. Решить прямую задачу кинематики на ЭВМ для множества значений обобщенных координат, заданных преподавателем.

4.3. Решить обратную задачу кинематики на ЭВМ для заданной траектории движения захватного устройства манипулятора. Вид траектории и её параметры задаются преподавателем.

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

5.1. К п. 4.1. При формировании матриц перехода следует учитывать, что только один из параметров является функцией времени, а остальные – константы.

5.2. К п. 4.2. При выполнении п. 4.2 необходимо найти параметры результирующей матрицы путём умножения трёх матриц перехода.

5.3. К п. 4.3. Найти одно из возможных решений обратной задачи. Варианты манипуляционных устройств, значений обобщённых координат и виды траекторий приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры кинематической модели, значения обобщённых координат и виды траекторий

№ пп	Вариант КМ на рис. 1	Значения параметров КМ	Значения обобщённых координат			Координаты траектории		
			q_1	q_2	q_3	x	y	z
1.	а	$0 \leq z \leq 1,0$ $0 \leq r \leq 1,2$ $0 \leq \varphi \leq 240^\circ$	0	0,5	0	0	0,8	0,8
			0,5	0,7	90	0,4	0,6	0,9
			1,0	1,2	180	0,6	0,4	1,0
2.	б	$l_1=0,8$ м $l_2=0,2$ м $0 \leq r \leq 1,0$ $0 \leq \varphi_1 \leq 180^\circ$ $0 \leq \varphi_2 \leq 90^\circ$	0	30	0,2	0,3	0,8	0,8
			90	45	0,8	0,6	0,6	1,0
			180	60	1,0	0,8	0,4	1,2
3.	в	$l_1=0,6$ м $l_2=0,6$ м $l_3=0,6$ м $0 \leq \varphi_1 \leq 180^\circ$ $0 \leq \varphi_2 \leq 90^\circ$ $0 \leq \varphi_3 \leq 90^\circ$	15	30	0	0,6	0,4	0,5
			45	45	30	0,8	0,6	0,8
			90	60	60	1,2	0	1,4

Продолжение табл. 1

4.	а	$0 \leq z \leq 1,2$ $0 \leq r \leq 0,8$ $0 \leq \varphi \leq 180^\circ$	0,2	0,2	30°	0,8	0,8	0,8
			0,8	0,4	60°	0,4	0,6	0,9
			1,2	0,8	90°	0,2	0,7	0,8
5.	б	$l_1=0,9$ м $l_2=0,3$ м $0 \leq r \leq 0,8$ $0 \leq \varphi_1 \leq 180^\circ$ $0 \leq \varphi_2 \leq 90^\circ$	30	15	0,2	0,4	0,6	0,6
			45	45	0,4	0,6	0,6	1,0
			120	90	0,6	0,8	0,4	1,2
6.	в	$l_1=0,8$ м $l_2=0,6$ м $l_3=0,4$ м $0 \leq \varphi_1 \leq 180^\circ$ $0 \leq \varphi_2 \leq 90^\circ$	60	0	30	0,6	0,4	0,5
			75	30	60	0,8	0,6	0,8
			120	45	90	0,6	0,5	0,4
7.	а	$0 \leq z \leq 1,5$ $0 \leq r \leq 0,8$ $0 \leq \varphi \leq 180^\circ$	0,2	0,2	30°	0,8	0,8	0,8
			0,8	0,4	60°	0,4	0,6	0,9
			1,2	0,8	90°	0,2	0,7	0,8
8.	б	$l_1=0,8$ м $l_2=0,2$ м $0 \leq r \leq 0,7$	30	15	0,2	0,6	0,4	0,5
			45	45	0,4	0,8	0,6	0,8
			120	90	0,6	0,6	0,5	0,4
9.	в	$l_1=0,4$ м $l_2=0,6$ м $l_3=0,3$ м	60	0	30	0,6	0,4	0,5
			75	30	60	0,8	0,6	0,8
			120	45	90	0,6	0,5	0,4
10.	а	$0 \leq z \leq 1,2$ $0 \leq r \leq 0,7$ $0 \leq \varphi \leq 270^\circ$	0,2	0,2	30°	0,8	0,8	0,8
			0,8	0,4	60°	0,4	0,6	0,9
			120	45	90°	0,2	0,7	0,8

6. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- теоретические пояснения и вывод уравнений динамики манипулятора;
- схему компьютерной модели манипулятора;
- таблицу параметров модели;
- графики исследуемых функций.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем состоит прямая задача кинематики?
2. В чем состоит обратная задача кинематики?
3. Назовите области применения прямой и обратной задач кинематики.
4. Что такое однородная координата?
5. Какую информацию несет матрица положения?
6. Что такое матрица поворота?
7. Запишите выражение для единичной матрицы E .

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ЗАДАЧ ДИНАМИКИ НА ЭВМ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Получение навыков моделирования прямой и обратной задач динамики манипуляторов на ЭВМ и использования результатов моделирования для решения проектных задач.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Процесс проектирования роботов является задачей многокритериальной оптимизации. Для решения подобных задач используется метод итераций. На первом этапе проектирования исполнительной системы роботов осуществляется предварительный выбор основных элементов системы, оценка её характеристик при заданном диапазоне изменения инерционных параметров и нагрузок. На втором этапе составляется динамическая модель робота, которая используется для оценки соответствия характеристик спроектированной системы техническому заданию.

Моделирование применения робота в конкретных производственных условиях с учетом реальных режимов его работы и обрабатываемых траекторий позволяет осуществить проверку правильности проведенных на первом этапе расчётов.

Решение прямой задачи динамики позволяет определить силы и моменты приводов по известным внешним силам и моментам и закону изменения обобщённых координат, что необходимо для рационального выбора мощности приводов. Обратная задача динамики связана с определением обобщённых координат и их производных по известным внешним силам и моментам, развиваемым приводами.

Схематичная иллюстрация постановки прямой и обратной задач динамики приведена на рис. 1.

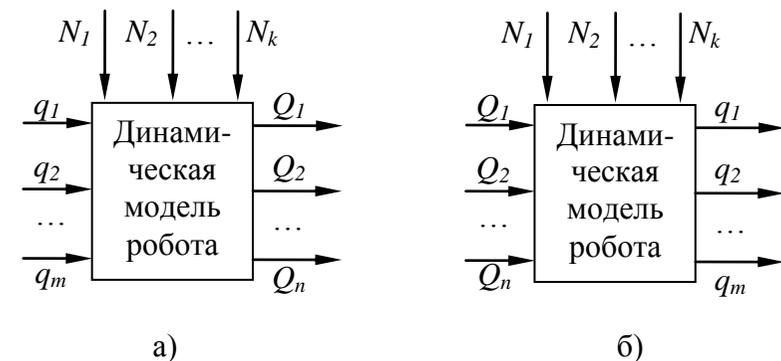


Рис. 1. Схематичное изображение постановки прямой (а) и обратной (б) задач динамики

3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

3.1. Для заданного преподавателем варианта расчёта динамической модели, приведенной в таблице 1, составить уравнения для нахождения переменных моментов инерции и моментов взаимовлияния.

3.2. Произвести оценку максимальных значений моментов инерции и моментов взаимовлияния с учетом заданного диапазона изменения обобщённых координат.

3.3. Составить структуру динамической модели робота исходя из условий решения обратной задачи кинематики (см. рис. 1, а).

3.4. Произвести предварительную оценку максимальных значений обобщённых координат и их производных по уравнениям динамики.

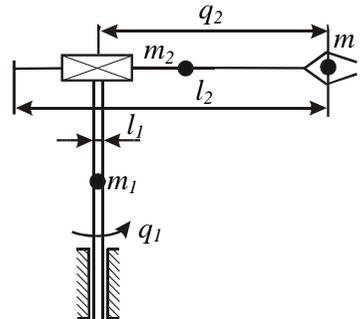
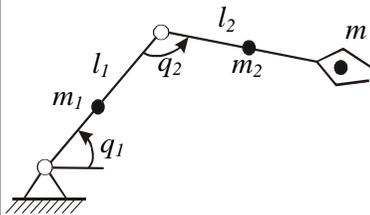
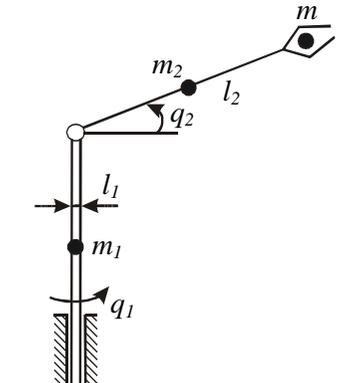
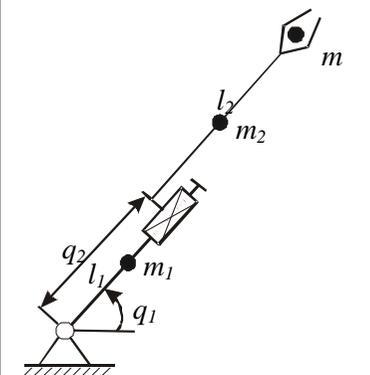
4. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

4.1. Исследовать динамическую модель робота при заданных законах обобщённых координат. Получить графики изменения суммарных моментов инерции и моментов взаимовлияния.

4.2. Определить максимальные и минимальные значения исследуемых параметров модели.

Таблица 1

Варианты расчетных схем манипуляторов

№	Расчетная схема манипулятора	№	Расчетная схема манипулятора
1		2	
3		4	

7

4.3. Исследовать динамическую модель робота при реализации заданных программой моментов и сил электропривода. Произвести оценку диапазонов изменения обобщённых координат и их производных.

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

5.1. К п. 3.1. При составлении уравнений использовать результаты расчетов индивидуального задания.

5.2. К п. 4.1. При исследовании динамической модели использовать результаты моделирования, полученные в лабораторной работе № 2. Варианты расчётных динамических схем сохраняются в соответствии с заданием к лабораторной работе № 2. Они приведены в таблице 1.

5.3. К п. 4.2 и 4.4. Результаты исследований свести в таблицу.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

- Отчет должен содержать:
- теоретические пояснения и вывод уравнений динамики манипулятора;
 - схему компьютерной модели манипулятора;
 - таблицу параметров модели;
 - графики исследуемых функций.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 7.1. Привести примеры использования решения прямой задачи динамики.
- 7.2. Как используется при проектировании робота моделирование обратной задачи динамики?
- 7.3. Сформулируйте прямую и обратную задачи динамики.
- 7.4. Как по уравнениям динамики произвести оценку диапазона изменения выходных координат?
- 7.5. Когда возникают моменты взаимодействия между координатами робота? От чего они зависят?

8

7.6. Рассказать о методах моделирования уравнений динамики.

7.7. Каким образом можно в модели учесть влияние моментов трения в шарнирах?

7.8. Чем определяется порядок дифференциального уравнения, описывающего динамику манипулятора.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ КОМПОНОВКИ РТК

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является получение практических навыков по решению задачи структурного проектирования РТК с использованием ЭВМ.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Создание робототехнических комплексов идет по двум направлениям – это создание РТК для новых производств и роботизация действующих производств. Первое направление, а именно создание РТК для вновь строящихся и реконструируемых цехов, основано, прежде всего, на применении перспективной технологии. При автоматизации действующего производства необходимо учитывать ограничения, обусловленные технологическим процессом и используемым оборудованием, не приспособленным для применения промышленных роботов. Кроме того, возникают и такие трудности, как необходимость размещения ПР в условиях ограниченных площадей действующего производства, обеспечение необходимых транспортных операций, рационального использования возможностей применяемых ПР.

Разработка оптимального по структуре и параметрам РТК для определенного технологического процесса представляет собой сложную многокритериальную задачу.

Математическое описание РТК значительно облегчается, если отдельные взаимосвязанные конструктивные элементы РТК представить в виде функциональных модулей.

Первая группа модулей – это роботы-манипуляторы, которые выбираются исходя из зоны обслуживания, роботизируемого технологического процесса, требуемой грузоподъемности, количества обслуживаемого технологического оборудования и т.д.

Вторая группа модулей – это модули крепления ПР. Их выполняют в виде специально спроектированных кронштейнов с элементами крепления к технологическому оборудованию или этажерок с элементами крепления ПР и регулирования их установки по трем координатам.

Третья группа – это модули загрузочных устройств (ЗУ) в качестве которых используются координатные столы, шибберные ЗУ, кассетные механические ЗУ с подачей ориентированных заготовок, вибробункера со сменными лотками и ориентаторами. Для некоторых технологических процессов в качестве ЗУ используется транспортный конвейер, с установленной на нем тарой с деталями (заготовками).

Четвертую группу составляют модули технологического оборудования, а именно штамповочный пресс, токарно-винтовой станок, сборочный стол и т.д.

Пятую группу составляют разгрузочные устройства или накопители готовых узлов (деталей), в качестве которых обычно используется тара или специальные контейнеры (поллеты). Последние часто используются в сборочно-монтажных операциях и устанавливаются на сборочном столе. После сборки узлы в этом специальном контейнере передаются на последующие операции.

При решении задачи компоновки РТК указанные модули описываются своими геометрическими характеристиками.

Рассмотрим РТК сборочного производства, в состав которого помимо ПР входят сборочный стол и конвейер, на кото-

ром находится тара с исходными деталями. Обычно координаты конвейера и сборочного стола заданы и определяются размещением связанного с ними другого технологического оборудования. Поэтому задача проектирования компоновки РТК сводится к задаче геометрического размещения ПР таким образом, чтобы координаты части конвейера, где размещается тара с исходными деталями, и сборочного стола находились в области досягаемости ПР. Если задача не имеет решения, то изменяют координаты сборочного стола и повторяют решение задачи. Важнейшую роль при этом играет задача построения и математическое описание используемого ПР.

При решении задач геометрической компоновки используются кинематические модели промышленных роботов. Решение прямой задачи кинематики позволяет определить зону обслуживания манипуляторов, решение обратной задачи – достижимость контрольных точек с данным вариантом кинематической схемы. Рассмотрим два варианта манипуляторов промышленных роботов. Кинематические схемы манипуляторов изображены на рис. 1.

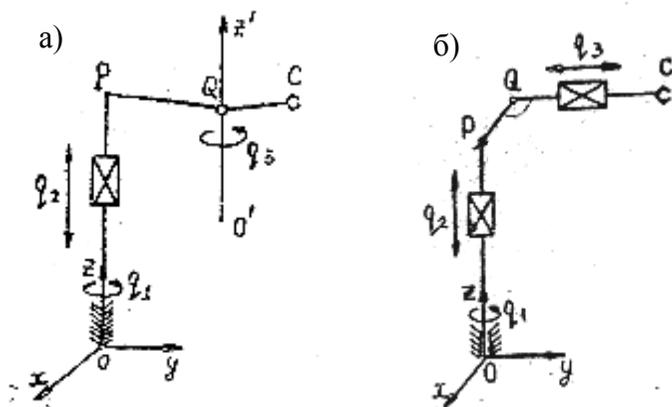


Рис. 1

Кинематические схемы этих роботов имеют особенность: изменение координаты, соответствующей вертикальному перемещению, не зависит от других координат. Тем самым, трехмерная задача проектирования РТК сводится к размещению модулей РТК на плоскости. При этом сокращается объем вычислений при проектировании РТК. Делается также допущение, что схват является материальной точкой. При выполнении задачи проектирования важнейшей задачей является задача построения области досягаемости ПР. Для промышленного робота, изображенного на рис. 1а, областью досягаемости является множество точек, для которых система уравнений кинематики

$$\begin{cases} x_c = -l_1 \cos q_1 - l_2 \cos(q_1 + q_3), \\ y_c = l_1 \sin q_1 + l_2 \sin(q_1 + q_2), \\ z_c = q_2 \end{cases} \quad (1)$$

разрешима относительно обобщенных координат q_1, q_2, q_3 , удовлетворяющих ограничениям:

$$-90^\circ \leq q_1 \leq 110^\circ;$$

$$0 \leq q_2 \leq 0.8 \text{ м};$$

$$-160^\circ \leq q_3 \leq 0.$$

Для промышленного робота, изображенного на рис. 1б, областью досягаемости является множество точек, для которых система уравнений кинематики

$$\begin{cases} x_c = -a \cos q_1 + q_3 \sin q_1, \\ y_c = a \sin q_1 + q_3 \cos q_1, \\ z_c = q_2. \end{cases} \quad (2)$$

Конструктивные ограничения на обобщенные координаты q_1, q_2, q_3 имеют вид

$$0 \leq q_1 \leq 160^\circ;$$

$$0 \leq q_2 \leq 0.8 \text{ м};$$

$$0 \leq q_3 \leq 0.8 \text{ м}.$$

Кроме роботов в состав РТК входит сборочный стол и конвейер с тарой. Для решения задачи геометрического проектирования компоновки РТК необходимо ввести неподвижную (абсолютную) систему координат $OXYZ$ (рис. 2), с помощью которой задаются координаты стола транспортера, подвижную (относительную) систему координат $Oxyz$, жестко связанную с ПР и определяющую его местоположение и ориентацию по отношению к неподвижной системе координат $OXYZ$.

Координаты рабочей зоны транспортера и стола в системе координат $OXYZ$ имеют вид

$$a_i = (X_{ai}, Y_{ai}, Z_{ai}), i = 1, \dots, 8;$$

$$b_i = (X_{bi}, Y_{bi}, Z_{bi}), i = 1, \dots, 8.$$

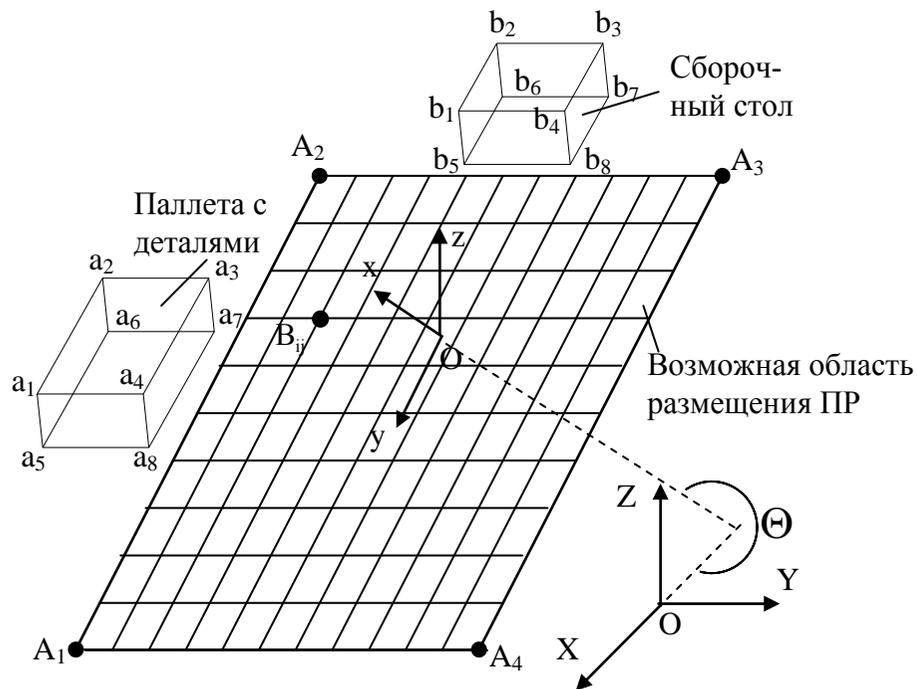


Рис. 2
13

Система координат $Oxyz$, характеризующая местоположение и ориентацию ПР, связана с абсолютной системой координат $OXYZ$ следующим образом:

1. $Oz \parallel oZ$,
2. плоскость xOy совпадает с плоскостью XOY ,
3. координаты точки O в системе координат XOY определяются (X_0, Y_0) ,
4. угол между осью OX и Ox равен Θ (угол отсчитывается в положительном направлении).

Точка с координатами (X_i, Y_i, Z_i) в системе $OXYZ$ будет иметь в системе $Oxyz$ следующие координаты:

$$\begin{cases} x_i = (x_i - x_0) \cos \Theta + (X_i - X_0) \sin \Theta, \\ y_i = (x_i - x_0) \sin \Theta + (Y_i - Y_0) \cos \Theta, \\ z_i = Z_i. \end{cases} \quad (3)$$

С помощью формул (3) при заданных (X_0, Y_0) и Θ , можно легко проверить принадлежность любой точки области достижимости промышленных роботов методом упорядоченного перебора.

Пусть координаты вершин рабочей зоны стола и вершин рабочей зоны транспортера известны. Предположим, что ориентация промышленного робота (угол Θ) – заданы, а местоположение ПР не определено и может находиться в любой точке прямоугольника D с координатами вершин $A_i = (X_i, Y_i, \Theta)$, $i = 1, 2, 3, 4$ (рис. 2).

Требуется построить множество точек принадлежащих прямоугольнику D , обладающих свойствами: размещенный в этих точках ПР имеет область достижимости Ω , которая схватывает множество рабочих зон стола и транспортера. Методика компоновки РТК состоит в следующем: разобьем прямоугольник $A_1A_2A_3A_4$ на систему квадратов $\{B_{ij}\}$, площадь которых одинакова; выберем координаты центра тяжести квадрата, раз-

местим в этих точках систему координат $Oxuz$, фиксируем угол Θ ; определяем, охватывает ли область достижимости ПР множество точек в рабочих зон и транспортера. Определим все точки (последовательно их перебирая) для которых область достижимости ПР охватывает рабочие зоны стола и транспортера.

3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

3.1. Ознакомиться с методом проектирования компоновки РТК при первоначально заданном размещении сборочного стола, паллеты на транспортере и кинематической схемы промышленного робота.

3.2. Получить у преподавателя на вводном занятии исходные данные:

- кинематическая схема ПР;
- длины звеньев;
- ограничения на изменение обобщенных координат;
- координаты сборочного стола;
- координаты паллеты;
- координаты зоны размещения ПР;
- длину стороны элементарного квадрата, на которые разбивается зона размещения ПР;
- угол первоначальной ориентации ПР.

3.3. Ознакомиться с программой расчета области достижимости ПР в составе РТК, обратив особое внимание на диалоговый режим работы программы.

4. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

4.1. Составить кинематические и динамические модели робота и элементов технологического оборудования.

4.2. Учесть при составлении моделей только размеры конфигурации.

4.3. Выбрать базовую систему координат, связанную с основанием манипулятора.

4.4. Задать координаты точек позиционирования в базовой системе координат.

4.5. Используя компьютерную программу, рассчитать точки достижимости для манипулятора.

4.6. Выбрать модель манипулятора, обеспечивающую позиционирование с наименьшей кинематической ошибкой.

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

5.1. К п. 4.1. При выполнении пункта 4.1 необходимо учитывать, что исследуемых вариантов манипуляционных устройств должно быть не менее трех.

5.2. К п. 4.3. При выборе размеров элементарных квадратов, на которые разбивается зона обслуживания манипулятора, учитывать требуемые ошибки позиционирования.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- эскиз исследуемых РТК в определенном масштабе, на котором наносятся полученные данные об ориентации промышленного робота и рекомендуемые области размещения ПР;
- алгоритм расчета области достижимости промышленного робота;
- выводы с оценкой полученных результатов.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

7.1. Что такое структурное функциональное проектирование?

7.2. Что такое размеры конфигурации?

7.3. Как перевести координаты точки из подвижной в базовую систему координат?

7.4. В какой модели манипуляционного устройства кинематическая ошибка максимальна?

7.5. От чего зависит ошибка позиционирования в многозвенном манипуляторе?

7.6. Как учитываются в программе требования по обеспечению заданной ошибки позиционирования?

7.7. Какую задачу кинематики необходимо решить для определения обобщенных координат?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корендясев, А.И. Теоретические основы робототехники : В 2 кн.: монография. Кн.1 / А. И. Корендясев, Б. Л. Саламандра, Л. И. Тывес ; под ред. С. М. Каплунова. - М. : Наука, 2006. - 383 с. - ISBN 5-02-033952-0; 5-02-034439-7 : 315-00.

2. Корендясев, А.И. Теоретические основы робототехники : В 2 кн.: монография. Кн. 2 / А. И. Корендясев, Б. Л. Саламандра, Л. И. Тывес. - М. : Наука, 2006. - 376 с. - ISBN 5-02-033952-0; 5-02-034445-1 : 315-00.

3. Бурдаков С.Ф. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов: учебное пособие для студентов вузов, М: Высшая школа, 1986.

4. Проектирование автоматизированных участков и цехов: учебное пособие / Под ред. Ю.М. Соломенцева, М: Высшая школа, 2003.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Лабораторная работа № 4. Моделирование прямой и обратной задач кинематики	1
2. Лабораторная работа № 5. Моделирование прямой и обратной задач динамики на ЭВМ	5
3. Лабораторная работа № 6. Проектирование геометрической компоновки РТК	9

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ № 4-6
по дисциплине "Проектирование роботов и РТС"
для студентов специальности 220402
"Роботы и робототехнические системы"
очной формы обучения

Составитель Трубецкой Виктор Александрович

В авторской редакции

Компьютерный набор В.А. Трубецкого

Подписано к изданию 15.06.2010.

Уч.-изд. л. 1,0. "С"

ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет»

394026 Воронеж, Московский просп., 14