

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ РЕАЛИЗАЦИЙ АЛГОРИТМОВ КИНЕМАТИКИ МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ МОДЕЛЕЙ ПОКРАСКИ ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛ

Шабном Мустари¹, А.А. Внуков²

²Кафедра кибернетики и мехатроники
Российский университет дружбы народов (РУДН)
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

¹Кафедра кибернетики
НИУ ВШЭ
*Б. Трехсвятительский пер., д. 3/12, стр. 8,
Москва, Россия, 109028*

В статье рассматриваются математические модели задач кинематики прямой, обратной, позиционирования захвата робота. Программные реализации этих задач позволили провести исследования сходимости и точности решений обратной задачи в зависимости от начальных значений, диапазона значений углов на каждой итерации и получить графики зависимостей точности от итераций и уменьшения углов. Для уточнения решения обратной задачи кинематики применяется результат решения задачи позиционирования для большего соответствия реального положения захвата тому, что задано матрицей преобразования захвата T_6 . Полученные результаты применяются для нанесения краски на поверхность тел.

Ключевые слова: промышленный робот, прямая задача кинематики, обратная задача кинематики, позиционирование захвата, моделирование, точность.

Позиция захвата манипулятора описывается в декартовых координатах и во внутренних обобщенных относительно положения всех соседних звеньев.

Введение локальных координат и использование их в матричном преобразовании координат определяется вращательными соединениями манипулятора, создающими проблемы решения нелинейных уравнений обратной задачи кинематики из-за тригонометрических функций углов.

Локальные системы координат вводятся, чтобы поворот звена можно было выразить через поворот локальной системы координат относительно базовой инерциальной системы координат стойки при помощи углов Эйлера, являющихся средством описания ориентации вращающегося твердого тела относительно абсолютной системы координат, так как управление манипулятором фактически заключается в задании датчикам приводов обобщенных координат. Для получения положения, ориентации и направления подхода к цели последнего звена надо вычислять набор углов между звеньями, приводящих к цели позиционирования захвата робота.

Параметры (a_i, α_i) характеризуют конструкцию звена соответственно как длину и угол скручивания i -го звена. Для вращательных степеней свободы пара-

метры (s_i, a_i, α_i) имеют постоянные значения для звеньев, угол θ_i является переменной величиной при вращении i -го звена относительно $i - 1$ -го. Для линейных степеней свободы параметр s_i является переменной величиной при выдвигании i -го звена относительно $i - 1$ -го.

Решения прямой и обратной задач кинематики манипулятора. Пусть известны геометрические параметры манипулятора (s_i, a_i, α_i) с шестью вращательными парами. Применяем матричный метод.

Прямая задача кинематики: получить позицию конечного звена T_6 , зная конфигурацию ($\theta_i, s_i, a_i, \alpha_i$), углы θ_i между звеньями, измеряемые датчиками.

Знаем ($\theta_i, s_i, a_i, \alpha_i$), обобщенные координаты: $\theta = [\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6]^T$. Требуется определить положение захвата в пространстве, т.е. матрицу T_6 с координатами начала координат системы координат захвата и направляющих векторов трех ее осей, совпадающих по направлению с векторами \mathbf{a} — подхода к цели, \mathbf{o} — ориентации последнего звена и $\mathbf{n} = (\mathbf{a} \cdot \mathbf{o})$ — прямого произведения векторов \mathbf{a} и \mathbf{o} . Углы Эйлера связаны с этой системой координат, описывают ориентации захвата относительно абсолютной системы координат.

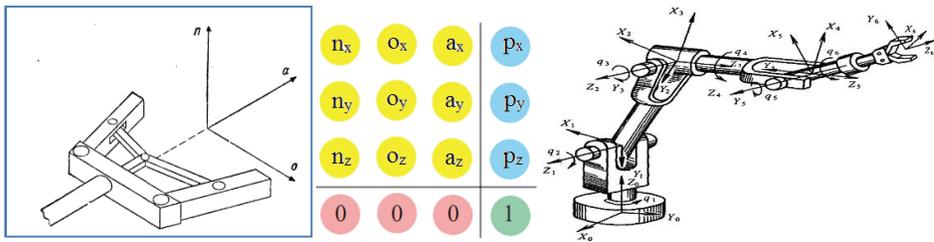


Рис. 1. Система координат захвата робота

Алгоритм решения прямой задачи состоит в последовательном преобразовании положения захвата в пространстве в глобальную систему координат: $T_6 = A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6$, вид матриц показан на рис. 2.

$$A_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \cos \alpha_i & \sin \theta_i \sin \alpha_i & \alpha_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \cos \alpha_i & -\cos \theta_i \sin \alpha_i & \alpha_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & S_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$T_6 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad T_6 = \begin{bmatrix} \dots & a_1 & a_2 & a_3 \\ \dots & \dots & a_4 & a_5 \\ \dots & \dots & \dots & a_6 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}.$$

Рис. 2. Вид матриц преобразования координат A_i и захвата T_6

Шести элементов матрицы T_6 достаточно (см. рис. 2) для описания положения и ориентации захвата в пространстве: p_x, p_y, p_z — координаты центра захвата; o_x, a_x, a_y — углы Эйлера. Они обозначены $a_1 = o_x, a_2 = a_x, a_3 = p_x, a_4 = a_y, a_5 = p_y, a_6 = p_z$.

Обратная задача кинематики: по заданному или рассчитанному положению захвата в матрице T_6 надо получить значения углов θ_i между звеньями для перемещения захвата в требуемое положение в пространстве.

Знаем конфигурацию робота $(\theta_i, s_i, a_i, \alpha_i)$, положение захвата T_6 . Требуется найти обобщенные координаты: $\theta = [\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6]^T$.

Численный метод решения обратной задачи кинематики основан на методе Ньютона, который эффективен при решении нелинейных задач. Итерационный алгоритм решения обратной задачи получают, применяя метод Ньютона, рассматривая как итерационный метод, использующий специальную линеаризацию задачи и сводящий решение исходного нелинейного уравнения к решению последовательности линейных.

Решение обратной задачи кинематики переходит в задачу решения системы нелинейных уравнений с шестью неизвестными $a_i = f_i(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6)$, записанную в матричной форме: $f(\theta) = a$, где $a_i(o_x, a_x, p_x, a_y, p_y, p_z)$, являются известными элементами в матрице преобразования захвата T_6 . Таких элементов в матрице T_6 у робота с 6 степенями свободы может быть от 6 выше диагонали до всех 12 элементов (см. рис. 2).

При использовании метода Ньютона необходимо найти набор из шести обобщенных координат $\theta = [\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6]^T$.

Зависимость матрицы T_6 от обобщенных координат можно выразить отрезком степенного ряда Тейлора, ограниченного линейными членами, с центром разложения в точке $\theta_i^{(k)}$:

$$T_6 = T_6^{(k-1)} + \sum_{i=1}^6 \frac{dT_6^{(k-1)}}{d\theta_i} (\theta_i^{(k)} - \theta_i^{(k-1)}).$$

В нулевом приближении обобщенные координаты имеют произвольные начальные значения $\theta_1^{(0)}, \theta_2^{(0)}, \dots, \theta_6^{(0)}$.

При заданных 6 элементах матрицы T_6 соответствующие им равенства образуют систему линейных уравнений для 6 обобщенных координат:

$$\begin{aligned} (t_6)_{12} &= (t_6)_{12}^{(k-1)} + \sum_{j=1}^6 \left(\frac{dT_6}{d\theta_j} \right)_{12}^{(k-1)} (\theta_j^{(k)} - \theta_j^{(k-1)}) \\ (t_6)_{13} &= (t_6)_{13}^{(k-1)} + \sum_{j=1}^6 \left(\frac{dT_6}{d\theta_j} \right)_{13}^{(k-1)} (\theta_j^{(k)} - \theta_j^{(k-1)}) \\ (t_6)_{14} &= (t_6)_{14}^{(k-1)} + \sum_{j=1}^6 \left(\frac{dT_6}{d\theta_j} \right)_{14}^{(k-1)} (\theta_j^{(k)} - \theta_j^{(k-1)}) \\ (t_6)_{23} &= (t_6)_{23}^{(k-1)} + \sum_{j=1}^6 \left(\frac{dT_6}{d\theta_j} \right)_{23}^{(k-1)} (\theta_j^{(k)} - \theta_j^{(k-1)}) \end{aligned}$$

$$(t_6)_{24} = (t_6)_{24}^{(k-1)} + \sum_{j=1}^6 \left(\frac{dT_6}{d\theta_i} \right)_{24}^{(k-1)} (\theta_i^{(k)} - \theta_i^{(k-1)})$$

$$(t_6)_{34} = (t_6)_{34}^{(k-1)} + \sum_{j=1}^6 \left(\frac{dT_6}{d\theta_i} \right)_{34}^{(k-1)} (\theta_i^{(k)} - \theta_i^{(k-1)}).$$

Из системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) определяются уточненные значения $\theta_i^{(k)}$ по известным приближенным значениям $\theta_i^{(k-1)}$. На следующем шаге метода последовательных приближений уточненные значения $\theta_i^{(k)}$ обозначаются $\theta_i^{(k-1)}$, подставляются для вычисления в матрицы $T_6^{(k-1)}$ и $dT_6^{(k-1)} / d\theta_i$. Процедура нахождения $\theta_i^{(k)}$ из СЛАУ повторяется.

Чем ближе $\theta_i^{(k-1)}$ к $\theta_i^{(k)}$, тем ближе $T_6^{(k-1)}$ к T_6 и меньше разность $\theta_i^{(k)} - \theta_i^{(k-1)}$. При разности меньше заданной малой величины ε уточнения прекращают.

Для формализации метода применяют Якобиан $J(\theta_n) = df_i/d\theta_j$ — первую производную, взятую от функции $f(\theta)$, отражающую малое линейное изменение положения захвата в пространстве при малом изменении всех обобщенных координат θ_n .

Общий вид Якобиана для случая всех известных элементов в матрице T_6 :

$$J(\theta_n) = df_i / d\theta_j = \begin{bmatrix} df_1 / \theta_1 & \dots & df_1 / d\theta_6 \\ \dots & \dots & \dots \\ df_{12} / d\theta_1 & \dots & df_{12} / d\theta_6 \end{bmatrix}.$$

Изменение положения захвата при изменении i -той обобщенной координаты на $\Delta\theta_i$ приблизительно вычисляется:

$$dT_6/d\theta_i \Delta\theta_i, \text{ где } dT_6/d\theta_i \text{ — } i\text{-й столбец Якобиана.}$$

Приближенное изменение положения захвата в пространстве при изменении всех обобщенных координат:

$$\Delta x \approx J \Delta\theta,$$

где $\Delta\theta = [\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3, \Delta\theta_4, \Delta\theta_5, \Delta\theta_6]^T$.

Вычислим столбец Якобиана:

$$dT_6/d\theta_i = A_1 \dots dA_i/d\theta_i \dots A_6,$$

где $i = 1..6$.

Для вращательной оси сустава i матрицы преобразования A_i получаем:

$$\frac{\partial A_i}{\partial \theta_i} = \frac{\partial}{\partial \theta_i} \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\cos \alpha_i \cdot \sin \theta_i & \sin \alpha_i \cdot \sin \theta_i & a_i \cdot \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \alpha_i \cdot \cos \theta_i & -\sin \alpha_i \cdot \cos \theta_i & a_i \cdot \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} -\sin \theta_i & -\cos \alpha_i \cdot \cos \theta_i & \sin \alpha_i \cdot \cos \theta_i & -a_i \cdot \sin \theta_i \\ \cos \theta_i & -\cos \alpha_i \cdot \sin \theta_i & \sin \alpha_i \cdot \sin \theta_i & a_i \cdot \cos \theta_i \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Теперь вычислим обратную матрицу Якобиана и получим решение:

$$\Delta \theta \approx J^{-1} \Delta x.$$

Якобиан в робототехнике применяется при расчете кинематики манипулятора — траектории движения, и при расчете динамики — сил, вызвавших движение, используется при вычислении скоростей и ускорений.

Учитывая, что столбец Якобиана представляет $dT_6/d\theta_i$, метод Ньютона в матричном виде записывают так:

$$T_6 = T_6^{(k-1)} + J \left(\Theta^{(k)} - \Theta^{(k-1)} \right),$$

где $\Theta = [\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3, \Delta\theta_4, \Delta\theta_5, \Delta\theta_6]^T$; $\Theta^{(k)} = \Theta^{(k-1)} + J^{-1}(T_6 - T_6^{(k-1)})$.

Существует два способа вычисления обратной задачи методом Ньютона: 1) решение системы линейных уравнений, когда столбцы Якобиана на каждой итерации участвуют в формировании системы линейных уравнений, и 2) вычисление обратной матрицы Якоби, когда Якобиан вычисляется целиком, чтобы потом вычислить обратную ему матрицу.

Процесс решения системы линейных уравнений в данном случае как раз и заключается в отыскании обратного Якобиана.

$$\Delta x \approx J \Delta \theta,$$

где $\Delta \theta = [\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3, \Delta\theta_4, \Delta\theta_5, \Delta\theta_6]^T$; $\Delta \theta \approx J^{-1} \Delta x$.

Позиционирование захвата: вычисление приращений углов $\Delta\theta_i$ между звеньями, которыми необходимо скорректировать на расстояние ΔP решение обратной задачи кинематики (по сути, тоже обратная задача).

Конечная цель позиционирования — еще большее соответствие реального положения захвата тому, что задано в заранее вычисленной траектории.

По ΔP надо найти приращения углов: $\Delta \theta = [[\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3, \Delta\theta_4, \Delta\theta_5, \Delta\theta_6]^T$.

В алгоритме решения задачи позиционирования вычисляется фактически достигнутое положение захвата в пространстве (координаты цели) методом решения прямой задачи кинематики, т.е. матрица T_6 . Эти значения используются для вычисления столбца свободных членов $dP_{ox}, dP_{oy}, dP_{oz}$.

Позиционирование — итерационный алгоритм решения СЛАУ вида

$$\begin{bmatrix} dP_{ox} \\ dP_{oy} \\ dP_{oz} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{14}^{61} & U_{14}^{62} & U_{14}^{63} & U_{14}^{64} & U_{14}^{65} & U_{14}^{66} \\ U_{24}^{61} & U_{24}^{62} & U_{24}^{63} & U_{24}^{64} & U_{24}^{65} & U_{24}^{66} \\ U_{34}^{61} & U_{34}^{62} & U_{34}^{63} & U_{34}^{64} & U_{34}^{65} & U_{34}^{66} \\ U_{13}^{61} & U_{13}^{62} & U_{13}^{63} & U_{13}^{64} & U_{13}^{65} & U_{13}^{66} \\ U_{23}^{61} & U_{23}^{62} & U_{23}^{63} & U_{23}^{64} & U_{23}^{65} & U_{23}^{66} \\ U_{22}^{61} & U_{22}^{62} & U_{22}^{63} & U_{22}^{64} & U_{22}^{65} & U_{22}^{66} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta\theta_1 \\ \Delta\theta_2 \\ \Delta\theta_3 \\ \Delta\theta_4 \\ \Delta\theta_5 \\ \Delta\theta_6 \end{bmatrix}.$$

Из этих 6 уравнений могут быть получены приращения обобщенных координат робота $\Delta\theta$ при позиционировании захвата робота-манипулятора.

Матрица U_6 в уравнении позиционирования захвата и есть Якобиан. Вместо решения системы линейных уравнений вычисляется обратный Якобиан. Алгоритм позиционирования отличается от решения обратной задачи кинематики небольшой разницей между начальным и точным значением, а поиск ведется не самих углов, а их приращений.

Задача позиционирования по аналогии с обратной задачей кинематики может быть записана и решена с точки зрения Якобиана:

$$\Delta x \approx J \Delta \theta,$$

где $\Delta\theta = [\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3, \Delta\theta_4, \Delta\theta_5, \Delta\theta_6]^T$; $\Delta\theta \approx J^{-1}\Delta x$.

Позиционирование является численным методом простой итерации, как и решение обратной задачи кинематики $T_6^{(k-1)}$ к T_6 .

Углы Эйлера. Пусть имеются две системы координат с общим началом в неподвижной точке O : неподвижная в пространстве («латинская») начальная система координат x, y, z и жестко связанная с телом и движущаяся вместе с ним («греческая») конечная система координат ξ, η, ζ . Для определения положения в пространстве тела с неподвижной точкой, имеющего три степени свободы, надо задать три обобщенные координаты.

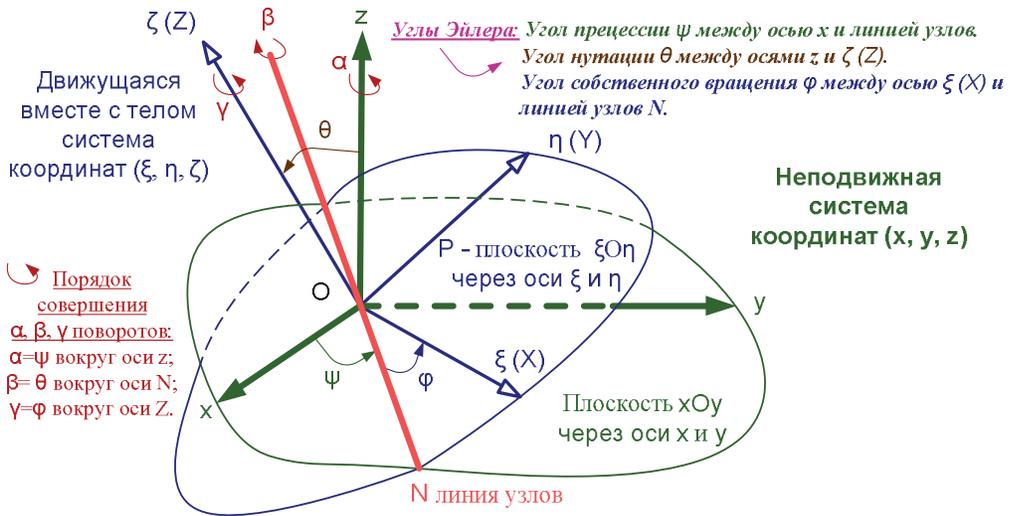


Рис. 2. Углы Эйлера

Через оси ξ и η проводим плоскость $P(\xi O \eta)$ до пересечения с плоскостью $x O y$. Линия N пересечения плоскостей P и $x O y$ называется линией узлов, а угол ψ между осью x и линией узлов N — углом прецессии.

Угол ψ полностью определяет положение линии узлов N в пространстве. Поворот плоскости P относительно линии узлов N происходит без изменения

угла ψ . Система координат с осями ξ, η, ζ вращается без изменения угла ψ относительно оси ζ (ось Z). Угол собственного вращения φ в плоскости P между линией узлов и осью ξ фиксирует положение в плоскости P осей ξ и η греческой подвижной системы координат. Когда углы ψ, φ фиксированы, у тела остается лишь одна степень свободы: не меняя углы ψ, φ , можно повернуть тело вокруг линии узлов. Чтобы фиксировать поворот тела вокруг линии узлов N , введем угол нутации θ между осью z и осью ζ (ось Z). Задание трех углов ψ, φ, θ полностью определяет положение греческой подвижной системы относительно латинской неподвижной системы координат и полностью определяет положение тела. Эйлеровы углы ψ, φ, θ можно независимо менять без изменения двух других углов и выбрать обобщенными координатами тела с неподвижной точкой O .

Углы Эйлера ψ, φ, θ определяют три α, β, γ поворота системы с целью привести любое положение системы к текущему положению. Повороты α, β, γ некоммутативны, и конечное положение системы зависит от порядка совершения поворотов. Для углов Эйлера сначала производится поворот на угол $\alpha = \psi$ вокруг оси z (неподвижной в пространстве («латинской») начальной системы координат), потом поворот на угол $\beta = \theta$ вокруг оси N линии узлов, и последним поворот на угол $\gamma = \varphi$ вокруг оси Z (движущейся вместе с телом («греческой») конечной системы координат).

Углы Эйлера не единственно возможный выбор обобщенных координат.

Программа моделирования кинематики робота-манипулятора. Математическое и программное обеспечение позволяет решать все кинематические задачи манипулятора с заданной точностью, изменять конфигурацию манипулятора, проводить исследования по сходимости и точности решений, количеству итераций, моделировать отвод захвата от целевой точки, определять координаты основных, дополнительных и вспомогательных точек траектории движения захвата, задавать для них ориентацию и подход захвата к цели. Программа предназначена для формирования траектории и создания программ на языке AS.

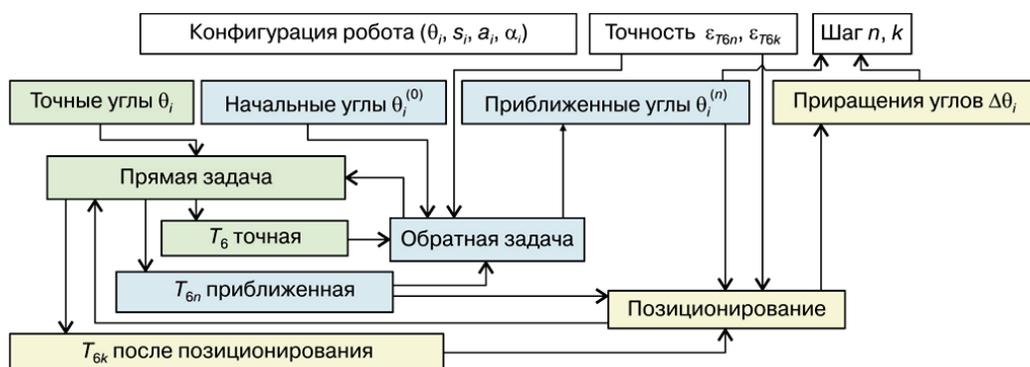


Рис. 3. Математическое обеспечение траекторного движения захвата

Программа предназначена для решения прямой и обратной задач кинематики, а также позиционирования захвата робота с шестью вращательными степенями

свободы. Основная цель — реализация позиционирования захвата, которая в своей работе использует решения прямой и обратной задач. Программа может быть использована для моделирования движения робота-манипулятора по определенной траектории. Программа состоит из трех частей: решение прямой задачи, решение обратной задачи и позиционирование захвата робота. В качестве технологии реализации пользовательского интерфейса выбрана библиотека ASP.NET, позволяющая создавать приложения с веб интерфейсом, а также библиотека Iridium, поддерживающая математические вычисления.

Как и решение обратной задачи, решение задачи позиционирования математически можно рассматривать с точки зрения либо решения СЛАУ, либо вычисления обратной матрицы, что в данном случае одно и то же.

При уменьшении точности вычисления обратной задачи кинематики захват робота достигает позиции, расположенной дальше от целевой, поэтому при той же точности позиционирование осуществляется за большее число шагов. Поэтому важно точнее решить обратную задачу один раз, чтобы в дальнейшем решать только задачу позиционирования, так как оно осуществляется за меньшее число шагов.

Решения задач кинематики должны быть понятными и эффективными. В этой связи необходим некоторый компромисс между техническими характеристиками манипуляторов, теоретическими возможностями описания и реализации программного управления, так как геометрические и аналитические методики решения основных задач определяют конструкцию большинства современных манипуляторов. Поэтому в программный продукт введена возможность для изменения конфигурации манипулятора.

В научно-исследовательской работе с учетом реальных возможностей модели Kawasaki FS03N построена траектория движения манипулятора, которую он должен воспроизводить при покраске объектов. Также разработан набор алгоритмов и их программная реализация, позволяющая моделировать конкретный шести-звенный манипулятор с шестью вращательными степенями свободы. С помощью этих алгоритмов, во-первых, по конкретным координатам точек траектории может быть сгенерирован набор позиций, который должен быть вставлен в программу управления на специализированном языке программирования роботов Kawasaki AS, а во-вторых, их можно использовать в самой системе управления роботом с целью позиционирования. Все эти средства позволяют организовать процесс покраски объектов на установке при помощи робота-манипулятора с высоким качеством и требуемой точностью.

Web-приложение зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 14.09.2011, № 2011617167.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Шахинур М.* Курс робототехники / Под редакцией С.Л. Зинкевича. — М.: Мир, 1990. [*Shakhinur M.* Kurs robototekhniki / Pod redakciei C.L. Zinkevicha. — М.: Mir, 1990.]
- [2] *Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В.* Вычислительные методы для инженеров: Учеб. пособие. — М.: Высшая школа, 1994. [*Amosov A.A., Dubinskii I.U.A., Kopchenova N.V.* Vychislitelnye metody dlia inzhenerov: Ucheb. posobie. — М.: Vyssh. shk., 1994.]

- [3] AS язык программирования. Руководство по программированию. Kawasaki Heavy Industries, Ltd, 2002. [AS iazyk programmirovaniia. Rukovodstvo po programmirovaniuu. Kawasaki Heavy Industries, Ltd, 2002.]
- [4] Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника / Под ред. В.Г. Градецкого. — М.: Мир, 1989. [Fu K., Gonsales R., Li K. Robototekhnika / Pod red. V.G. Gradetckogo. — М.: Mir, 1989.]
- [5] Bill Baxter. Презентация «Fast Numerical Methods for Inverse Kinematics». University of North Carolina at Chapel Hill, 2000. [Bill Baxter. Prezentatciia «Fast Numerical Methods for Inverse Kinematics». University of North Carolina at Chapel Hill, 2000.]
- [6] Пол Р. Моделирование, планирование траекторий и управление движением робота-манипулятора. — М., 1976. [Pol R. Modelirovanie, planirovanie traektorii i upravlenie dvizheniem robota-manipuliatora. — М., 1976.]

MATHEMATICAL SOFTWARE IMPLEMENTATIONS OF ALGORITHMS OF KINEMATICS MANIPULATOR MODELS FOR PAINTING OF THE SURFACE BODIES

Shabnom Mustary¹, A.A. Vnukov²

²Department of Cybernetics and Mechatronics
Russian University of Friendship of the People (RUFPP)
Miklukho-Maclay str., 6, Moscow, Russia, 117198

¹Department of Cybernetics
B. Trekhsvyatitsky lane, 3/12, p. 8, Moscow, Russia, 109028

The article discusses the mathematical model of the forward task of kinematics, inverse, positioning capture of the robot is considered. Software implementation of these tasks allowed conducting the study of convergence and accuracy solution of inverse problem selecting the initial values and ranging of angles on each iteration and getting graphs of dependencies accuracy of iterations and reducing the angle. For more accurate solution of inverse problems of kinematics is applied a solution of the task of positioning to better reflect the real situation capture what is specified by the transformation matrix capture T6. Results are used to paint on the surface of the bodies.

Key words: industrial robot, forward task of kinematics, inverse task of kinematics, capture positioning, modeling, accuracy.