

Аналитическое задание четырехмерной области разрешенных конфигураций руки андроидного робота при наличии запретной зоны в рабочем пространстве

Ф.Н. Притыкин, Д.И. Нефедов
pritykin@mail.ru | 3demon@bk.ru

Омский государственный технический университет, Омск, Россия

Приведены результаты исследований, связанных с разработкой модуля для автоматического обнаружения столкновений механизма руки андроидного робота, с запретной зоной при виртуальном моделировании движения. С этой целью для определения условия столкновений предложено использовать область разрешенных конфигураций. В работе предложен аналитический способ задания области разрешенных конфигураций в пространстве обобщенных координат при наличии заранее известной запретной зоны в рабочем пространстве. Пространство обобщенных координат при этом задано осями, по направлению которых откладывают углы, задающие угловые перемещения во вращательных кинематических парах. Приведены результаты расчетов совокупностей двумерных сечений задающих область разрешенных конфигураций. Данные сечения предложено задавать с помощью использования совокупностей треугольников. В работе представлены результаты численных расчетов, связанных с виртуальным моделированием движения механизма руки андроидного робота при наличии известной запретной зоны и использовании разработанного модуля. Полученные аналитические зависимости позволяют задавать область разрешенных конфигураций, являющейся базой знаний при интеллектуальном управлении движением механизма манипулятора в заранее известной внешней среде. Использование области разрешенных конфигураций при синтезе траектории в пространстве обобщенных координат позволяет проводить коррекцию движения руки андроидного робота с целью предвидения и исключения тупиковых ситуаций при синтезе движений по вектору скоростей.

Ключевые слова: пространство обобщенных координат, область разрешенных конфигураций, виртуальное моделирование движений, запретные зоны, база знаний, управление движением робота.

Analytical defining of the four-dimensional region of allowed configurations of the android robot arm in the presence of a restricted area in the working space

F.N. Pritykin, D.I. Nefedov
pritykin@mail.ru | 3demon@bk.ru

Omsk State Technical University, Omsk, Russia

The results of research related to the development of the module for automatic collision detection mechanism of android robot hand with a restricted area in the virtual simulation of the motion are presented. For this purpose, collision detection conditions proposed to use the allowed configurations. An analytical method for defining the region of allowed configurations in the space of generalized coordinates has been developed in the presence of a previously known forbidden zone in the working space. Generalized coordinates space with axes defined rectangular coordinate system, the direction of which the lay angles of the angular displacement in the rotational kinematic pairs. The results of calculations of the sets of sections defining the region of allowed configurations are presented. These sections are proposed to be specified using the sets of triangles. The paper presents the results of numerical calculations associated with a virtual simulation of the motion of android robot arm mechanism in the presence of a known restricted area and using the developed module. The obtained analytical dependencies allow us to define the region of allowed configurations, which is the knowledge base for the intelligent control of the movement of the manipulator mechanism in a previously known external environment. The use of the region of allowed configurations in the synthesis of the trajectory in the space of generalized coordinates makes it possible to correct the manipulator's movement with the aim of foreseeing and eliminating deadlocks in the synthesis of motions along the velocity vector.

Keywords: space of generalized coordinates, the region of allowed configurations, virtual motion modeling, forbidden zones, knowledge base, robot motion control.

1. Введение

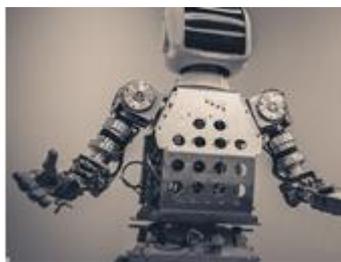
В настоящее время ведутся работы, связанные с созданием андроидных роботов. В большинстве случаев данные роботы управляются человеком оператором. Вместе с тем так же ведутся работы связанные с созданием андроидных роботов оснащенных интеллектуальными системами управления. Данные системы позволяют обеспечить целенаправленное поведение и планирование действий приводящих в конечном итоге к выполнению основной двигательной задачи без участия человека оператора. Автономный робот – это техническая система, способная автономно перемещать объекты манипулирования при наличии препятствий в рабочем пространстве [1, 4].

Одной из наиболее распространенных аварийных ситуаций, возникающих при функционировании автономного робота, является его столкновение со средой [2, 5]. Для обеспечения успешного функционирования автономных андроидных роботов в сложноорганизованных средах необходимо совершенствовать способы анализа положения механизма руки в известной и неизвестной окружающей среде. Поэтому существует необходимость в разработке модуля автоматического обнаружения столкновений с запретными зонами. С геометрической точки зрения столкновению двух тел на виртуальном уровне соответствует наличие пересечения двух граней пространственных примитивов задающих в заданные моменты времени положения звеньев механизма и окружающей среды. Таким образом, для обнаружения пересечения манипулятора со средой необходимо перебрать все возможные комбинации граней примитивов

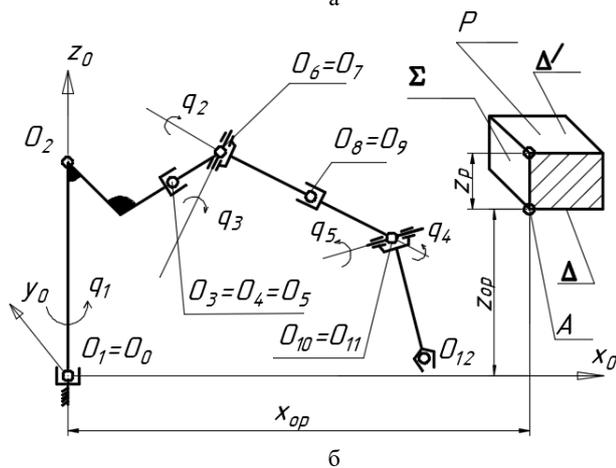
до тех пор, пока не будет обнаружено пересечение между ними. Если это условие при окончании процедуры обнаружения пересечений не будет выполнено, то столкновение отсутствует. Однако на практике использование указанного алгоритма вызывает некоторые сложности в связи со слишком большим количеством комбинаций граней. Для сокращения времени расчетов в работах [2, 3, 6] первоначально предлагается определять условие не пересечения траектории движения в пространстве обобщенных координат с границами области разрешенных конфигураций. В указанных работах предложен алгоритм построения движения механизма манипулятора, основанный на анализе положения точек пространства обобщенных координат, задающих разрешенные и запрещенные конфигурации. Все разрешенные конфигурации в пространстве обобщенных координат, могут быть заданы n - мерным геометрическим объектом. Где n – определяет число обобщенных координат. Предложенный алгоритм позволяет существенно повысить быстродействие процедуры обнаружения столкновений.

2. Постановка задач исследования

На рисунке 1аb изображены общий вид и кинематическая схема механизма руки андроидного робота AR-600 E и положение запретной зоны P . Высота базовой точки A запретной зоны для рассматриваемого примера в системе координат O_0 принята равной $z_{op} = 400$ мм, минимальное безопасное удаление основания манипулятора от препятствия принято равным $x_{op} = 450$ мм (рис. 1б).



а



б

Рис. 1. Андроидный робот AR-600 E: а – общий вид робота; б – кинематическая схема механизма руки

Высоту запретной зоны (стеллажа) определяет параметр $z_p = 100$ мм. Геометрические параметры механизм манипулятора, задают длины отрезков $O_1O_2 = 300$ мм, $O_2O_3 = 120$ мм, $O_3O_6 = 100$ мм, $O_6O_8 = 80$ мм, $O_8O_{10} =$

150 мм и $O_{10}O_{12}=250$ мм. На рисунке обобщенные координаты обозначены q_i . Точки $O_1 - O_{12}$ определяют начала систем координат, используемых при задании модели кинематической цепи механизма руки андроидного робота. Для того чтобы определить область разрешенных конфигураций (которую обозначим Λ), с учетом положения запретной зоны P , построим совокупность двумерных сечений указанной области в четырехмерном пространстве обобщенных координат. Отдельные положения звеньев механизма руки будем исследовать при $q_1 = 0$. Запретная зона P , заданная двумя горизонтальными и одной профильной плоскостями уровня Δ , Δ' и Σ (рис. 2), задает в пространстве обобщенных координат L_q некоторую область разрешенных конфигураций Λ . Исследуем сечения этой области, а так же определим аналитический метод нахождения принадлежности точек пространства обобщенных координат указанной области Λ . Способ вычисления точек сечений области разрешенных конфигураций Λ для создания базы знаний о прошлом опыте синтеза движений механизма манипулятора мобильного робота ранее был предложен в работах [2,3].

3. Аналитический способ задания сечений области разрешенных конфигураций

Функционирование механизма манипулятора происходит в пределах ограниченной области Ω (четырёхмерного пространства обобщенных координат L_q при $q_1 = 0$). Область Ω , в общем случае заданная гиперпараллелепипедом, имеет такой вид, что для любого значения вектора $q (q_2, \dots, q_5)$ выполняются неравенства:

$$q_i^{min} \leq q_i \leq q_i^{max}, \quad (1)$$

где q_i^{min}, q_i^{max} – нижние и верхние предельные значения обобщенных координат. Для рассматриваемого примера при $q_1 = 0$ значения параметра i удовлетворяют условиям $2 \geq i \geq 5$. Значения q_i^{min} и q_i^{max} соответственно равны $q_i^{min} (0^\circ, -25^\circ, -120^\circ, -120^\circ)$ и $q_i^{max} (120^\circ, 120^\circ, 120^\circ, 120^\circ)$.

На рисунке 2 представлено множество разрешенных конфигураций, построенных с шагом $\Delta q_i = 20^\circ$ при наличии запретной зон P . На рисунке запретная зона изображена на горизонтальной и фронтальной проекциях в виде четырехугольников P_1 и P_2 . Условимся четырехмерную область разрешенных конфигураций Λ задавать совокупностью двумерных сечений. В связи со сложной и различной формой двумерных сечений области Λ андроидного робота предложенная в работах [2,3] методика аналитического задания сечений не может быть применена. При шаге сетки $\Delta q_i = 20^\circ$ в проведенных исследованиях изучена форма восьмидесяти четырех сечений. В таблице представлены некоторые из указанных сечений области разрешенных конфигураций Λ . Для задания точек сечений разработан обобщенный метод задания их совокупностями треугольников l_1 и l_2 , и т.п., которые будут задавать двумерные области Ω_1 и Ω_2 и т.д. (рис. 3). При этом области Ω_1 и Ω_2 и т.д. получают на основе использования операций объединения теории множеств. На рисунке 3 представлено сечение области разрешенных конфигураций Λ соответственно при значении обобщенных координат $q_2 = 40^\circ, q_3 = -100^\circ$, при этом $x_{op} = 450$ мм., $z_{op} = 400$ мм и $z_p = 100$ мм. На рисунке 3 изображены треугольники, используемые для задания сечения области Λ .

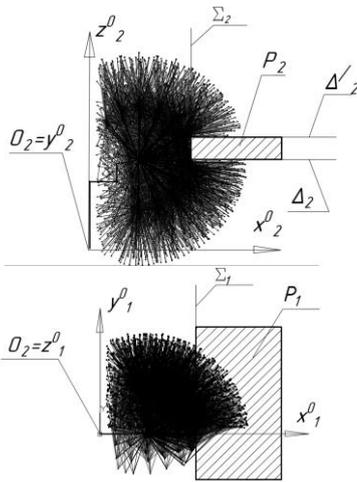


Рис. 2. Множество конфигураций, построенных при наличии запретной зоны P , заданной в виде прямоугольного параллелепипеда $z_{op} = 400$ мм, $x_{op} = 450$ мм, $z_{op} = 400$ мм;

Таблица
Некоторые сечения области Λ при различных значениях параметров q_2 и q_3

	$q_3 = -100^\circ$	$q_3 = 20^\circ$	$q_3 = 100^\circ$
$q_2 = -20^\circ$			
$q_2 = 20^\circ$			
$q_2 = 60^\circ$			

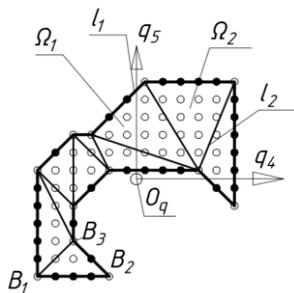


Рис. 3. Разделение сечения области разрешенных конфигураций Λ на треугольники при $q_2 = -20^\circ$ и $q_3 = -100^\circ$

Для разделения сечения на треугольники (триангуляция [7]) необходимо выполнить три основных этапа:

- 1) Определить контур сечения (на рис. 3 данный контур изображен утолщенной линией):
 - точкой, определяющей контур сечения, является любая точка, у которой отсутствует любая из 4 соседних точек (непосредственно сверху, снизу, слева или справа);
 - точка, у которой отсутствуют все 4 соседние точки, считается не принадлежащей сечению;

- 2) Определить вершины сечения (отбросить промежуточные точки контура, лежащие на сторонах сечения. На рис. 3 данные вершины обозначены черной заливкой):

- определить последовательность точек контура (у каждой точки контура в радиусе 30 градусов будут находиться еще две, и эти три точки считаются лежащими последовательно на контуре);
 - для каждой точки контура определить, лежит ли она на прямой, определяемой двумя соседними точками;
 - на данном этапе если непосредственно соседняя точка уже удалена, соседней считается следующая по контуру;
- 3) Провести собственно триангуляцию «ушным методом» [7]:

- взять три соседние вершины на контуре;
- определить, является ли треугольник, определяемый этими вершинами, «ухом» (треугольник является «ухом» многоугольника, если две его стороны являются сторонами многоугольника, а третья полностью лежит внутри него и не пересекает другие стороны многоугольника);
- если треугольник является «ухом», отрезать его от многоугольника. Три вершины добавить в базу знаний как часть исходного многоугольника. Свободную вершину (лежащую напротив ребра многоугольника) удалить из контура, определив новый многоугольник;
- повторять предыдущие шаги, пока в новом многоугольнике не останется три вершины, добавить их в базу знаний как последнюю часть многоугольника (линии сечения на рис. 3 обозначены тонкими линиями).

Области треугольников Ω_i задают полуплоскостями, определяемыми неравенствами:

$$\sum_{l=3}^4 d_{l1} q_l \geq b_1, \dots, \sum_{l=2}^4 d_{lm} q_l \geq b_m \quad (2)$$

где m – число прямых ограничивающих треугольник области Λ (для рассматриваемого примера $3 \geq m \geq 1$), $l = 2$ – параметр определяет размерность пространства сечений области разрешенных конфигураций при $q_1 = 0, q_2 = \text{const}$ и $q_3 = \text{const}$; $d_{11}, d_{12}, \dots, d_{lm}, b_1, b_2, \dots, b_m$ – коэффициенты уравнений прямых, проходящих через вершины B_i треугольников l_i .

4. Результаты виртуального моделирования движения руки андроидного робота

Совокупность сечений области разрешенных конфигураций и их аналитическое задание в виде множества треугольников определяется заранее на основе известного положения запретных зон (например, стеллажей) и механизма руки. Область Λ при этом задает базу знаний и модель окружающей рабочей обстановки. На основе использования области Λ появляется возможность создания алгоритма с целью прогноза развития событий при выполнении рукой робота двигательных задач. Алгоритм расчета траектории движения механизма в пространстве обобщенных координат с использованием построения движений по вектору скоростей и области Λ представлен в работах [2, 5]. Прогноз возникновения различных ситуаций при движении манипулятора в данных работах решается благодаря использованию масштаба отображения вектора приращений обобщенных координат, а так же анализу положения траектории по отношению к области Λ . На рисунке 4а представлены результаты моделирования движения руки андроидного робота с возникновением тупиковой ситуации. При этом центр

захвата смещается по отрезку прямой, которая соединяет начальную и конечную точки. Указанные точки на рис. 4а обозначены B_H и B_U .

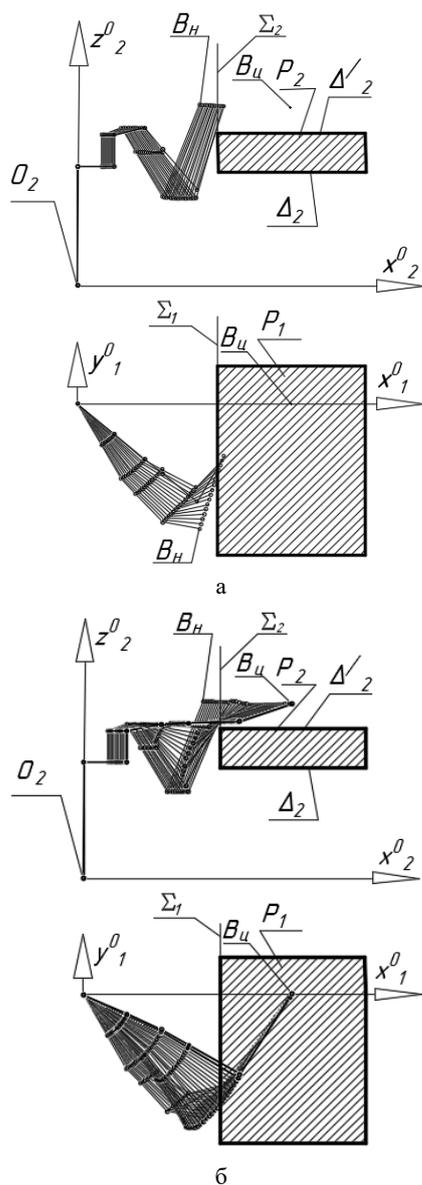


Рис. 4. Моделирование движения руки андроидного робота: а – моделирование с возникновением тупиковой ситуации, б – моделирование с использованием вектора приращений обобщенных координат и области Λ

На рис. 4б на основе использования области Λ и значения масштаба вектора приращений обобщенных координат смоделировано движение на всем участке заданной траектории.

5. Заключение

Результаты построения сечений области разрешенных конфигураций андроидного робота показали, что форма наружных контуров сечений может значительно отличаться друг от друга. Так же сечения могут состоять из двух и более отдельных контуров. Для определения точек, принадлежащих сечениям области разрешенных конфигураций, наиболее рационально задавать указанные сечения множествами треугольников.

Аналитическое задание области разрешенных конфигураций руки андроидного робота, позволяет создать модуль автоматического обнаружения столкновений со средой на виртуальном уровне. Для приобретения и правильного представления знаний о возможных положениях руки с учетом заранее заданной запретной зоны использована область разрешенных конфигураций. Данная область позволяет представлять знания о множестве положений руки в такой форме, которая понятна интеллектуальной системе. При этом формализация знаний на основе использования области Λ позволяет создание модели внешней среды с описанием множества ситуаций.

Результаты исследований могут быть использованы при разработке интеллектуальных систем управления автономно функционирующих роботов, в частности при создании баз знаний о прошлом опыте синтеза движений.

6. Литература

- [1] Лохин, В. М. Повышение адаптивных свойств автономных роботов на базе интеллектуальных технологий / В. М. Лохин, С. В. Манько, М. П. Романов. // Экстремальная робототехника. – 2015. – № 1 (1). – С. 59–67.
- [2] Притыкин, Ф. Н. Геометрический анализ текущих ситуаций, характеризующих положение манипулятора и окружающей среды на основе использования области разрешенных конфигураций [Электронный ресурс] / Ф. Н. Притыкин, В. Г. Хомченко, Д. И. Нефедов // Программные системы и вычислительные методы. – 2017. – № 2. – Режим доступа: http://e-notabene.ru/ppsvm/article_22685.html
- [3] Притыкин, Ф. Н. Исследование поверхностей, задающих границы области разрешенных конфигураций механизма мобильного манипулятора при наличии запретных зон / Ф. Н. Притыкин, Д. И. Нефедов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2016. – № 6, – т. 17. – С. 404–413.
- [4] Юсупов, Р. М. Интеллектуализация процессов управления и навигации робототехнических систем / Р. М. Юсупов, А. В. Тимофеев // Экстремальная робототехника. – 2014. – Т. 1, № 1. – С. 16–21.
- [5] Whitney, D. E. The Mathematics of Coordinated Control of Prosthetic Arms and Manipulators / D. E. Whitney // J. Dyn. Sys., Meas., Control. – 2010. – № 94 (4). – P. 303–309.
- [6] Pritykin F.N. Computation of manipulator mechanism path in joint coordinate space with working range forbidden regions / F.N.Pritykin, D.I. Nefedov // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics), 2016, 15-17 Nov. 2016, DOI: 10.1109/Dynamics.2016.7819065
- [7] Eberly, D. Triangulation by Ear Clipping. / David Eberly // Geometric Tools, Redmond WA 98052

Об авторах

Притыкин Федор Николаевич, д.т.н., профессор кафедры «Инженерная геометрия и САПР» Омского Государственного Технического Университета. Его e-mail pritykin@mail.ru.

Нефедов Дмитрий Игоревич, аспирант кафедры «Инженерная геометрия и САПР» Омского Государственного Технического Университета. Его e-mail 3demon@bk.ru.