

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАЧИ ПОПОЛНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О
ЗАПРЕЩЁННЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ МАНИПУЛЯТОРА ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ С
ПРЕПЯТСТВИЕМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ***

О.Н. Рябов

(Сибирский федеральный университет, Институт цветных металлов и золота.
г.Красноярск, Россия), olegr1976@mail.ru

П.К. Лопатин, А.С. Шилов, А.И. Пахирка, Д.А. Онищенко

(Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика
М.Ф.Решетнёва. г.Красноярск, Россия), pavel-lopatin@yandex.ru

При управлении манипулятором в неизвестной среде актуальной является задача о получении информации о запрещённых конфигурациях при столкновении с препятствием. При этом желательно получать как можно больше информации о запрещённых конфигурациях за как можно меньшее количество действий. Произвольная среда очень сложна для получения информации о запрещённых конфигурациях. Вместе с тем, когда известна область применения манипулятора, можно ограничить класс объектов, которые могут находиться в рабочей зоне. Например, анализ литературы по сервисной робототехнике показывает, что такие объекты как цилиндры, шары и кубоиды являются наиболее часто встречающимися в данной области применения манипуляционных роботов [1].

Рассмотрим случай, когда препятствием является вертикально расположенный цилиндр.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Манипулятор перемещается в среде с препятствием в виде цилиндра стоящего на горизонтальной поверхности (столе – оси X и Y), при этом ось цилиндра перпендикулярна столу (ось Z), на столе установлен также и сам n -звенный манипулятор. Звенья манипулятора, объединённые в кинематические пары 5-го класса, будем считать отрезками прямых линий. Предполагаем, что манипулятор оснащён тактильной сенсорной системой сообщаемой координаты точки столкновения с препятствием. Необходимо определить размеры цилиндра (высота H , радиус R).

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

* Данная работа поддержана РФФИ, грант №05-08-01199-а

При столкновении манипулятора с вертикально стоящим цилиндром возможно следующее расположение запрещенных точек:

I – по крайней мере две соседних запрещённых точки имеют попарно одинаковые значения координат X и Y и разные координаты Z . Это означает, что запрещённые точки лежат на образующей цилиндра. Требуется определить высоту цилиндра, точку перехода образующей в основание, радиус цилиндра.

II – по крайней мере две соседних запрещённых точки имеют одинаковые координаты Z . Это означает, что запрещённые точки лежат в плоскости, параллельной плоскости верхнего основания цилиндра. Требуется проверить, касается ли манипулятор верхнего основания цилиндра, определить точку перехода основания в образующую (высота цилиндра тем самым определяется автоматически) и радиус цилиндра.

III – имеется информация об изолированных запрещённых точках. Такие точки могут лежать как на образующей цилиндра, так и на его основании. Требуется определить, лежит ли запрещённая точка на основании или на образующей, определить высоту цилиндра, точку перехода образующей в основание и радиус цилиндра.

Пусть сенсорная система выдала сообщение о том, какой случай мы имеем.

I – В данном случае можно провести гипотетическую вертикальную линию ℓ вдоль образующей. Требуется определить высоту цилиндра. Для этого предлагается перемещать точку манипулятора, в которой произошло касание вверх вдоль линии ℓ , либо до достижения верхнего основания цилиндра, либо до исчерпания конструктивных возможностей манипулятора. Признаком достижения верхнего основания цилиндра является сигнал о том, что следующая точка образующей ℓ является разрешённой. В случае исчерпания конструктивных возможностей манипулятора предлагается использовать другую точку манипулятора. Определяем радиус цилиндра (смотри ниже).

II – Проверяем, действительно ли манипулятор касается верхнего основания цилиндра. Для этого выполняем действия по алгоритму для случая I. Далее ищем точку перехода из основания в образующую. Для этого перемещаем по верхнему основанию цилиндра точку манипулятора, в которой произошло касание, увеличивая на шаг Δ координаты X и Y . В силу конечного радиуса цилиндра точка перехода основания в образующую будет найдена. В случае исчерпания конструктивных возможностей манипулятора предлагается использовать другую точку манипулятора. По нахождении точки перехода верхнего основания в образующую автоматически получаем высоту цилиндра. Определяем радиус цилиндра (смотри ниже).

III – перемещаем одну из точек манипулятора, в которой произошло касание, вертикально вверх на один шаг Δ . Если точка, в которую мы попали – разрешённая, значит, точка манипулятора, в которой было касание соприкасалась с верхним основанием. Возвращаемся в эту точку касания и получаем случай II. Если точка, в которую мы попали – запрещённая, значит, мы двигаемся по образующей цилиндра, то есть, имеем случай I.

Определяем радиус цилиндра. Для этого, задаём окружность очень малого радиуса r с центром в точке перехода из основания в образующую (точка 1 на рис. 1), при этом окружность лежит в плоскости верхнего основания. Выделяем на окружности N точек-кандидатов на проверку принадлежности к цилиндру, задаёмся направлением обхода от кандидата к кандидату по окружности (по часовой или против часовой стрелке). Перемещаем точку касания манипулятора в произвольную точку-кандидат. Определяем, принадлежит ли данная точка-кандидат цилиндру. Если нет, перемещаем точку касания манипулятора в соседнюю точку-кандидат в соответствии с заданным направлением обхода. Наконец, приходим в ту точку-кандидат, которая принадлежит цилиндру. Запоминаем её координаты (точка 2 на рис. 1). Далее перемещаем точку касания манипулятора в точки-кандидаты в направлении противоположном заданному. Наконец, приходим в ту точку-кандидат, которая принадлежит цилиндру. Запоминаем её координаты (точка 3 на рис. 1).

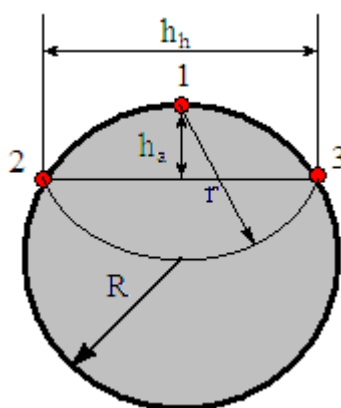


Рисунок 1 – Точки столкновения манипулятора с цилиндром

Значение хорды сегмента поверхности цилиндра h_h вычисляем по формуле:

$$h_h = \sqrt{|X_2 - X_3|^2 + |Y_2 - Y_3|^2}, \quad (1)$$

Значение стрелы сегмента поверхности цилиндра h_a вычисляем по формуле:

$$h_a = \sqrt{\left(|X_2 - X_1|^2 + |Y_2 - Y_1|^2\right) - \left(\frac{|X_2 - X_3|^2 + |Y_2 - Y_3|^2}{4}\right)}, \quad (2)$$

Далее по формуле (3) вычисляем радиус цилиндра R . Согласно [2, с. 169], если известны координаты трёх точек на поверхности цилиндра (лежащих в плоскости перпендикулярной образующей ℓ), то его радиус может быть определён по формуле:

$$R = \frac{4h_a^2 + h_h^2}{8h_a}, \quad (3)$$

где h_a - стрела сегмента поверхности цилиндра; h_h - хорда сегмента поверхности цилиндра (рис. 1).

Определив размеры цилиндра (высота H , радиус R), получаем возможность вычислить запрещённые конфигурации манипулятора.

На основе приведённого алгоритма разработано программное обеспечение.

ГЛАВНАЯ ФОРМА ПРОГРАММЫ

На рис. 3 приведена главная форма программы.

В поле рисунка показаны трёхмерные модели стола, цилиндра и манипулятора.

Пользователь задает:

Параметры цилиндра – Radius (Радиус), Height (Высота), X_0 и Y_0 (координаты центра нижнего основания);

Точку столкновения с препятствием $X \ Y \ Z$, а также длины звеньев L_1 и L_2 (при включённом флажке-переключателе, в поле рисунка отображается текущее положение манипулятора);

Параметры манипулятора заполняются на основе алгоритма Денавита-Хартенберга.

В поле «Информация о цилиндре» отображаются результаты работы по этапам и координаты схвата X, Y, Z .

ХОД ЭКСПЕРИМЕНТА

Рассмотрим работу программы на примере трёхзвенного манипулятора (рис. 2).

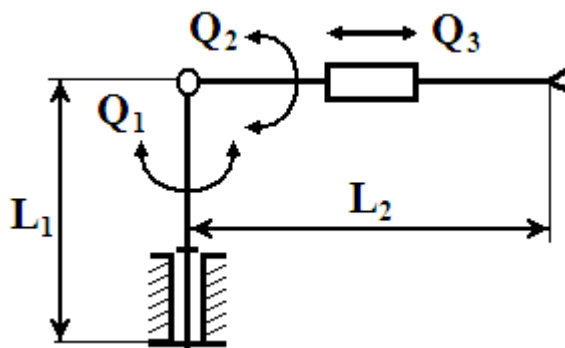


Рисунок 2 - Манипулятор

В данном манипуляторе 1 и 2 звенья – вращательные, 3 звено – поступательное, L_1, L_2 - длины звеньев, Q_1, Q_2, Q_3 – обобщенные координаты (переменные).

1. Задаём Параметры цилиндра.

Параметры цилиндра			
Radius	Height	Xo	Yo
50	70	80	0

2. Пусть координаты точки столкновения с препятствием $X Y Z$, а также длины звеньев $L1$ и $L2$. Это позволяет найти обобщенные координаты манипулятора – решить обратную задачу кинематики.

<input checked="" type="checkbox"/>	X	Y	Z	L1	L2
	30	0	30	70	50

3. Заполняем таблицу «Параметры манипулятора» по алгоритму Денавита-Хартенберга.

добавление/удаление звеньев Shift+Down/Up				
i	Ga	S	A	Al
	45	100	0	90
	90	0	0	90
	0	50	0	0

По заданным обобщенным координатам находим координаты концов звеньев в нулевой системе координат, чтобы изобразить манипулятор в пространстве.

4. Запускаем выполнение программы (нажимаем кнопку Run).

На Этапе 1 – определение положения, проверяем принадлежит ли точка столкновения образующей или верхнему основанию цилиндра.

На Этапе 2 – поиск высоты цилиндра, определяем высоту цилиндра.

На Этапе 3 – определение точки перехода образующей в основание, ищем точку пересечения (перехода) основания с образующей.

На этапе 4 – определение радиуса цилиндра, задаём радиус окружности поиска и шаг поиска (угол в градусах). Ищутся точки столкновения $P2, P3$, определяются вспомогательные величины – длина хорды и длина стрелы. Вычисляется радиус цилиндра (рис. 3).

ВЫВОДЫ И ЗАДАЧИ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Разработано программное обеспечение, позволяющее вычислить высоту и радиус вертикально расположенного цилиндра при столкновении с ним n -звенного манипулятора.

Программная реализация метода определения радиуса цилиндра показала, что метод пригоден к использованию, но для достижения высокого качества результата необходимо использовать шаг очень малого размера при выборе точек на окружности поиска. При проведении виртуальных экспериментов было установлено, что при радиусе окружности

10мм достаточно точный результат получается при смещении 0,1...0,5 градусов соседних точек.

Разработанное программное обеспечение может использоваться при управлении манипулятором в неизвестных средах.

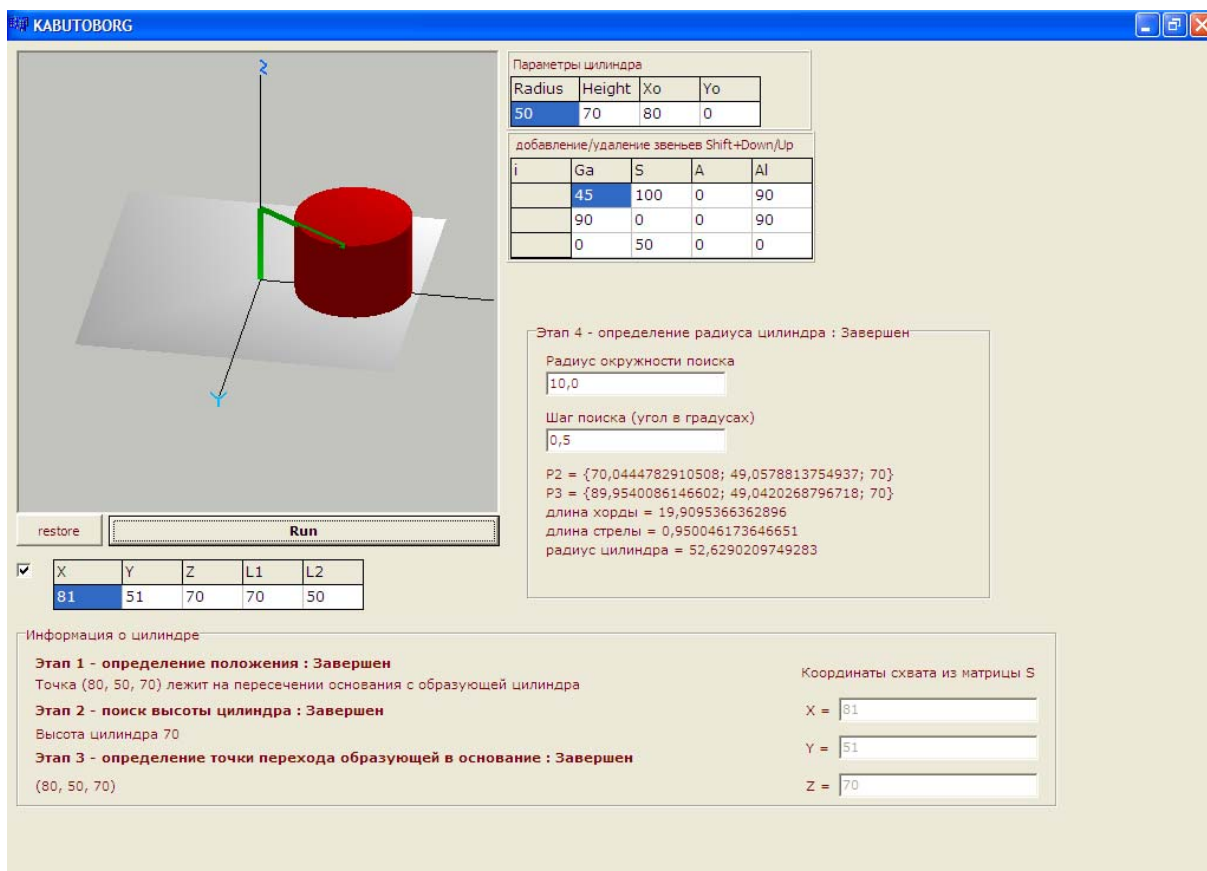


Рисунок 3 – Окно результатов эксперимента

1. C.Martens, N.Ruchel, O.Lang, O.Ivlev, A.Graeser, “A FRIEND for Assisting Handicapped People,” IEEE Robotics and Automation Magazine, March, 2001. pp.57-65.

2. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по высшей математике: для инженеров и учащихся втузов. Государственное издательство физико-математической литературы. Москва, 1962. – 608 с.