

4. Королев, А. А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов / А. А. Королев. – М. : Металлургия, 1985. – 375 с.
5. Илюкович, Б. М. Прокатка и калибровка : справ. : в 6 т / Б. М. Илюкович, Н. Е. Нехаев, С. Е. Меркурьев ; под. ред. Б. М. Илюковича. – Днепропетровск : ДніпроВАЛ, 2002. – Т. 1. Основы теории калибровки. Калибровка блюмов и заготовки, кругов и шестигранников, квадратной стали, проволоки и арматуры. – 506 с.

УДК 550.34.013.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕРВИСНОГО РОБОТА

Ю. А. Кондратенко, В. А. Пракопович

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель М. И. Михайлов

Представлено проведение математического анализа движения и решение уравнения кинематики сервисного робота. Уравнение кинематики дает возможность с помощью данных, получаемых от датчиков робота, предсказать его положение во время движения.

Ключевые слова: сервисный робот, уравнение кинематики, анализ, датчик, траектория.

SERVICE ROBOT SIMULATION

Yu. A. Kondratenko, V. A. Prakopovich

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

Science supervisor M. I. Mikhailov

The mathematical analysis of motion and the solution of the service robot kinematics equation are presented. The kinematics equation makes it possible, using the data received from the robot's sensors, to predict its position during movement.

Keywords: service robot, kinematics equation, analysis, sensor, trajectory.

Целью исследований является повышение мобильности сервисного робота. Разработана 3D-модель сервисного робота, которая представлена на рис. 1.

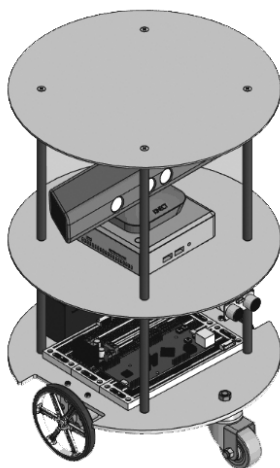


Рис. 1. 3D-модель робота

Мобильный робот имеет шесть степеней свободы. Три степени свободы: x , y и z – связаны с тремя координатными осями, позволяющими определить положение объекта в трехмерном пространстве. Остальные три степени свободы относятся к ориентации робота в пространстве. Это такие значения, как крен (боковой наклон, или раскачивание корпуса робота относительно оси движения), тангаж (наклон аппарата относительно горизонтальной поперечной оси, т. е. наклон вниз или подъем вверх передка робота) и рыскание (небольшие изменения направления движения аппарата вправо или влево относительно его курса). Робот с дифференциальным приводом перемещается в двухмерной плоскости (2D), и его положение в любой момент можно описать двумя глобальными координатами X и Y , лежащими в горизонтальной плоскости. При этом курс робота обозначается как θ (тета). Этих данных вполне достаточно, чтобы описать положение робота с дифференциальным приводом.

С помощью уравнений кинематики для робота с дифференциальным приводом определяется положение устройства. Представим, что начальное положение робота в момент времени t – X, Y, θ . Нам требуется определить, какое положение устройство займет (X', Y', θ') за промежуток времени $t + dt$. При этом следует учесть следующие параметры: $v-left$ – скорость левого и $v-right$ – скорость правого колеса.

Эта методика расчета положения используется для проводки робота по требуемой траектории.

Основное понятие, без которого не получится вывести уравнение кинематического привода, – это угловая скорость робота, обозначаемая буквой ω . При повороте ведущие колеса робота катятся по окружности, центр которой совпадает с мгновенным центром кривизны (ICC).

Если объединить уравнения для расчета скорости колеса v и его угловой скорости ω , получим уравнение линейной скорости.

Определимся что R – расстояние между ICC и центром оси, проходящей через колеса, а l – длина оси колеса. Преобразовав выражения угловой скорости и расстояния R , мы получим следующий результат:

$$R = l / 2(Vl + Vr) / (Vr - Vl); \quad (1)$$

$$\omega = (Vr - Vl) / l. \quad (2)$$

Предположим, что робот движется с угловой скоростью в течение δt секунд. В этом случае траектория движения и направление робота изменятся согласно

$$\theta' = \omega \delta t + \theta. \quad (3)$$

Центр вращения ICC определяется базовой тригонометрией.

На рис. 2 изображен поворот робота относительно ICC .

С учетом стартовой позиции (x, y) новое положение (x', y') может быть вычислено с помощью 2D-матрицы вращения. Учитывая движение робота с угловой скоростью ω в течение δt секунд относительно точки ICC , мы получим следующую позицию для времени $t + \delta t$:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\omega t \delta) & -\sin(\omega t \delta) \\ \sin(\omega t \delta) & \cos(\omega t \delta) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x - ICC_x \\ y - ICC_y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} ICC_x \\ ICC_y \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Учитывая ω , δt и R , новое положение робота (x' , y' и θ') можно вычислить с помощью предыдущих уравнений. Угловая скорость ω вычисляется с помощью уравнения, а вот точно измерить скорости Vr и Vl затруднительно.

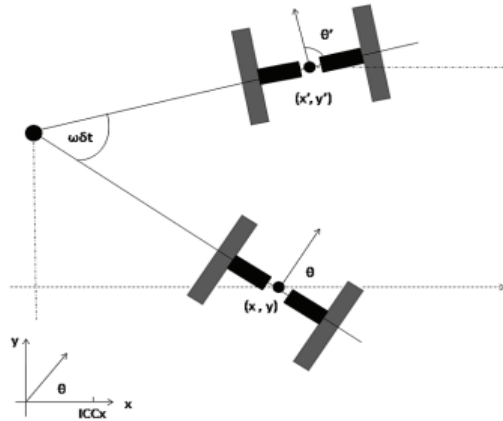


Рис. 2. Поворот робота относительно ICC

Вместо непосредственного вычисления скорости колеса можно измерить его реальную скорость. Измерение реальной скорости производится с помощью энкодера, преобразующего подконтрольную величину, которая определяет угол поворота колеса вокруг своей оси фиксирует импульсы. Угол поворота колеса определяется количеством зафиксированных импульсов. В качестве рабочей величины применяется количество импульсов на один полный оборот колеса. Значениями одометрии робота являются данные от колесных энкодеров. Энкодеры установлены на осях колеса и передают двоичные сигналы для каждого шага вращения колеса (каждый шаг (*step*) равен 0,1 мм). Сигналы от энкодеров, полученные за временной промежуток от t до $t + \delta t$, подаются на счетчик импульсов, в результате чего можно вычислить пройденное расстояние $v\delta t$:

$$n \text{ step} = v\delta t, \tag{5}$$

где n – количество импульсов, зафиксированных энкодером за заданное время.

Из этого можно вычислить v :

$$v = n \text{ step} / \delta t. \tag{6}$$

Итак, робот перемещается с позиции (x, y, θ) в позицию (x', y', θ') . При этом от датчиков левого и правого колес в течение времени δt , соответственно, поступит количество n импульсов от каждого из колес. В этом случае новое положение робота определяется по уравнению для вычисления положения робота с помощью данных, полученных от датчиков правого и левого колес:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\omega t \delta) & -\sin(\omega t \delta) & 0 \\ \sin(\omega t \delta) & \cos(\omega t \delta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x - ICC_x \\ y - ICC_y \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} ICC_x \\ ICC_y \\ \omega t \delta \end{pmatrix}, \tag{7}$$

где $R = l / 2(nl + nr) / (nr - nl); \tag{8}$

$$\omega \delta t = (nr - nl) \text{step} / l; \quad (9)$$

$$ICC = [x - R \sin \theta, y + R \cos \theta]. \quad (10)$$

Полученное кинематическое уравнение в основном зависит от конструкции и размеров деталей ходовой части робота. Изменение конструкции может привести к корректировке уравнений.

Л и т е р а т у р а

1. Джозеф, Л. Изучение робототехники с использованием Python / Л. Джозеф ; пер. с англ. А. В. Корягина. – М. : ДМК Пресс, 2019. – 250 с.

УДК 621.793.74

ПЛАЗМЕННОЕ НАПЫЛЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

А. Р. Каготько

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Е. Н. Демиденко

Произведен сравнительный анализ покрытий, напыленных плазменным методом. Проведено исследование покрытий на возможность использования их как фрикционного покрытия на деталях тормозных/фиксирующих механизмов. Были рассмотрены два покрытия – оксидная керамика электрокорунд белый 25А и покрытие на основе никелевого самофлюсующегося сплава ПГ-ХН80СР4, – упрочненных диоксидом титана. Изучены физико-механические свойства покрытия и его структура. Произведен элементный анализ.

Ключевые слова: плазменное напыление, композиционные покрытия, самофлюсующиеся порошки, оксидная керамика, оксид алюминия, оксид титана.

PLASMA SPRAYING OF CERAMIC COATINGS

A. R. Kagotko

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

Science supervisor E. N. Demidenko

This article provides a comparative analysis of coatings sprayed using plasma methods. A study of coatings was carried out to determine the possibility of using them as a friction coating on parts of brake/locking mechanisms. Two coatings were considered: oxide ceramics electrocorundum white 25A and a coating based on nickel self-fluxing alloy PG-XH80CP4 strengthened with titanium dioxide. The physical and mechanical properties of the coating and its structure were studied, and an elemental analysis was performed.

Keywords: plasma spraying, composite coatings, self-fluxing powders, oxide ceramics, aluminum oxide, titanium oxide.

Сплавы на основе никеля представляют особый интерес. Среди сплавов на основе никеля особое место занимают самофлюсующиеся сплавы. Проводился также ряд исследований, которые показали перспективность использования данного материала с содержанием тугоплавких оксидов в качестве упрочняющей фазы, в частности диоксид титана TiO₂. В данном случае диоксид титана вводится в состав само-