

*Махонин А.А.,
Студент магистратуры
2-й курс факультета nano- и биомедицинских технологий
ФГБОУ ВО "СГУ имени Н.Г. Чернышевского"
Российская Федерация, г. Саратов*

УПРОЩЁННОЕ РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ РУКИ

***Аннотация:** Решение обратной задачи кинематики является одним из шагов к эффективному управлению роботом. Упрощение решения данной задачи позволит исследователю сосредоточиться на других, не менее важных, аспектах управления роботом. В статье представлен метод упрощённого решения обратной задачи кинематики роботизированной руки. Упрощение достигается в результате использования геометрического подхода.*

***Ключевые слова:** Искусственный интеллект, обратная задача кинематики, робототехника, геометрический подход.*

***Abstract:** Solving a robot's inverse kinematics is one of the steps in effective manipulation of its joints. Simplification of solving this problem allows the researcher to focus on other important aspects of making the robot move. This article presents a method for simplified calculation of inverse kinematics of a robotic arm. The simplification is achieved by means of a geometric approach.*

***Key words:** Artificial intelligence, inverse kinematics, robotics, geometric approach.*

Введение

Обратная задача кинематики состоит в следующем: необходимо вычислить значения обобщённых углов звеньев манипулятора по известным координатам и углам поворота схвата роботизированного манипулятора в заданной системе координат. Иначе говоря, входными данными для прямой задачи кинематики являются значения координат и углов поворота схвата относительно наперёд заданной начальной точки, а выходными — углы поворота сочленений манипулятора. Обычно начальная точка совпадает с точкой крепления манипулятора к опоре. Решение обратной задачи кинематики является одним из важнейших шагов на пути к управлению таким манипулятором.

В данной работе описан метод, позволяющий упростить и ускорить решение обратной задачи кинематики. Метод заключается в применении геометрии треугольника для упрощённого нахождения координат запястья и однозначного определения угла между плечом и предплечьем (см. описание роботизированной руки ниже).

Описание рассматриваемой роботизированной руки

Роботизированная рука, для которой применяется описываемый метод, имеет семь степеней свободы: движение плечевого сустава вперёд и в сторону; сгиб и вращение локтя; движение кисти вперёд и в сторону; вращение кисти. Данные углы обозначены соответственно: α , β , γ , δ , ε , ζ , η ; углы поворота схвата относительно осей координат обозначены как χ , ψ , ω . Для длин сочленений приняты следующие наименования: длина плеча обозначена как a , длина предплечья b , длина кисти (расстояние от запястья до центра ладони) c ; расстояние от точки крепления (плечевого сустава) до запястья обозначается d . Плечевой сустав (точка вращения) обозначается A , локтевой сустав — B , запястье — C , центр ладони — D .

Математический аппарат

Математический аппарат, применённый при составлении рассматриваемой программы, сравнительно прост: используются геометрия треугольников, тригонометрические преобразования и векторная алгебра.

Описание метода

Метод заключается в решении треугольника ABC, образованного плечевым и локтевым суставами и запястьем, с длинами сторон a, b и d — плечо, предплечье и расстояние от плеча до запястья (воображаемый отрезок) соответственно.

Для решения треугольника ABC необходимо вычислить расстояние от плечевого сустава до запястья, для чего требуется найти координаты данных однозначно определяемых (для заданных положения и ориентации схвата) точек треугольника ABC. Координаты плечевого сустава известны и считаются равными (0; 0; 0) — принимается, что плечевой сустав помещён в начало координат. Координаты запястья определяются единственным образом, описанным ниже.

Поскольку по условию задачи даны координаты схвата ($x_0; y_0; z_0$) и задана его ориентация (углы поворота χ, ψ, ω) относительно осей координат, можно однозначно найти координаты запястья: в самом деле, схват (ладонь) в данном случае представима в виде вектора с началом в точке ($x_0; y_0; z_0$) и ориентированного относительно осей координат под углами χ, ψ, ω . Очевидно, что конец вектора определяется единственным образом. Если предполагается составление компьютерной программы для автоматизированного решения описываемой задачи, то представляется целесообразным пользоваться следующими формулами:

$$C_x = D_x - c \cdot \cos \chi;$$

$$C_y = D_y - c \cdot \cos \psi;$$

$$C_z = D_z - c \cdot \cos \omega,$$

где $C_{x,y,z}$ — координаты запястья x, y, z; $D_{x,y,z}$ — координаты схвата x, y, z; c — длина схвата; χ, ψ, ω — углы поворота схвата относительно осей координат.

Определив координаты запястья и зная координаты плечевого сустава, можно вычислить расстояние d от плеча до запястья по следующей формуле:

$$d = \sqrt{C_x^2 + C_y^2 + C_z^2},$$

где $C_{x,y,z}$ — координаты запястья x, y, z .

Поскольку длины плеча и предплечья даны по условию, теперь можно найти любой из углов треугольника по известной тригонометрической формуле. Углы, образованные воображаемым отрезком AC (плечо—запястье) и плечом и предплечьем соответственно, не представляют интереса при использовании описываемого метода. Угол γ между плечом и предплечьем можно найти, подставив в известную тригонометрическую формулу соответствующие значения:

$$\gamma = \arccos \frac{a^2 + b^2 - d^2}{2 \cdot a \cdot b},$$

где a, b, d — длины плеча и предплечья и отрезок плечо—запястье соответственно.

Очевидно, что каждому конкретному набору координат A, B, C соответствует единственный набор значений a, b, d ; то есть, каждому конкретному набору углов поворота схвата соответствует единственный угол γ сгиба локтя. (Подразумевается, что длины сочленений известны заранее и неизменны.)

Таким образом, в результате решения несложных уравнений найдены координаты запястья $C(x; y; z)$, длина d отрезка плечо—запястье и угол γ сгиба локтя. Приведённые формулы сравнительно легко интегрировать в программу для ЭВМ, что позволит значительно сократить временные затраты на решение и проверку обратной задачи кинематики роботизированной руки.

Заключение

С помощью описанного метода достигается значительное упрощение расчётов, необходимых для решения обратной задачи кинематики, и снижается вероятность получить неверный результат из-за человеческой ошибки. Кроме того, упрощается проверка решения прямой задачи кинематики: исследователю

необходимо лишь подставить восстановленные значения углов ориентации схвата в приведённые формулы, а затем сравнить восстановленные координаты запястья и угол сгиба локтя с заданными по условию.

Формулы, использованные в данной работе, нетрудно интегрировать в программу для ЭВМ, написанную с использованием практически любого популярного языка программирования (например, С или Python). Составив такую программу, можно существенно сократить время, необходимое для решения и проверки обратной задачи кинематики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фу К. Робототехника: Пер. с англ. / Фу К., Гонсалес Р., Ли К. -- М.: Мир, 1989. -- 624 с., ил. ISBN 5-03-000805-5.
2. Юревич Е.И. Основы робототехники. -- 2-е изд., перераб. и доп. -- СПб.: БХВ-Петербург, 2005. -- 416 с.: ил. ISBN 5-94157-473-8.
3. Шахинпур М. Курс робототехники: пер. с англ. -- М.: Мир, 1990. -- 527 с., ил. ISBN 5-03-001375-X.
4. Механика промышленных роботов: Учеб. пособие для втузов: В 3 кн. /Под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. Кн. 1: Кинематика и динамика/Е.И. Воробьев, С.А. Попов, Г.И. Шевелева. —М.: Высш. шк. , 1988 г. — 304 с.: ил. ISBN 5-06-001201-8.