Беркман Даниела

М01ММ-23

**Отчет по 3 работе «Калибровка манипулятора»**

Введение

Большое количество задач на производстве решается путем реализации кинематического (геометрического) управления промышленным манипулятором. Однако, с течением времени геометрические параметры изменяются, что приводит к уменьшению точности позиционирования.

Задача калибровки манипулятора заключается в оценке изменений его параметров и их последующего учета, например при решении обратной задачи или при планировании траектории движения.

Целью данной работы является получение навыков решения задачи калибровки манипуляторов с помощью методов выпуклой и/или нелинейной оптимизации.

Задача 1

*Построить математическую модель трехзвенного манипулятора в представлении Денавита-Хартенберга по приведенной графической схеме.*

Ключевым элементом при описании кинематики манипуляторов является матрица однородных преобразований Матрица T служит для описания переходов между различными системами координат. Причем

— матрица поворота, то есть: —вектор смещения систем координат.

В рассматриваемом случае для манипулятора с 3-мя степеням свободы (3 угла поворота шарнира ) и абсолютной системой координат (World Frame), находящейся в базе робота, преобразование прямой кинематики (отображение из Q-space в X-space):

где — преобразование из i-й в i−1-ю систему координат, — вектор углов поворота манипулятора, — вектор кинематических параметров системы, — угол поворота i-го шарнира, — кинематические параметры i-го звена.

Таким образом, первые 3 элемента 4-го столбца матрицы описывают положение схвата манипулятора в абсолютной системе координат, а матрица поворота R — ориентацию системы координат схвата в абсолютной системе координат.

Существует формализованный метод описания кинематических цепей — представление Денавита-Хартенберга, который позволяет использовать только 4 параметра для описания перехода , который в общем случае имеет 6 степеней свободы. А именно:

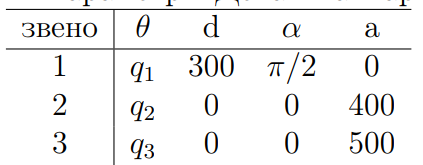
где означает поворот на угол γ вокруг оси K,

— смещение на расстояние p вдоль оси L,

набор параметров называются параметрами ДенавитаХартенберга (DH-параметры).

Соответственно, объектом исследования данной работы является манипулятор, который схематично изображен на рисунке, номинальные (т.е. “паспортные заводские”) DH параметры которого приведены в таблице.

Таблица 1: Параметры Денавита-Хартенберга



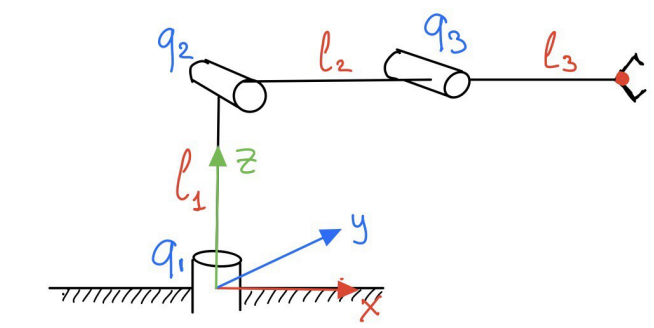


Рис. 1: Номинальные параметры

Результатом работы данного раздела является программа, которая описывает преобразование прямой кинематики для заданного манипулятора: то есть для заданного набора углов Q однозначно определяет положение d и ориентацию R схвата манипулятора.

function T = kinematics(DH, q)

*Инициализируем параметры* *Денавита-Хартенберга и eps (отклонение снятых значений q от )*

eps = DH(1:3);

d = DH(4:6);

alpha = DH(7:9);

a = DH(10:12);

RotZ = cell(1, 3);

RotX = cell(1, 3);

TranZ = cell(1, 3);

TranX = cell(1, 3);

Ti = cell(1, 3);

T = cell(1, 40);

for j = 1:40

*Вводим переменные углов поворота*

teta = [q(j,1)+eps(1), q(j,2)+eps(2), q(j,3)+eps(3)];

*Заполнение матриц поворота и смещения*

for i = 1:3

RotZ{i} = [[cos(teta(i)), -sin(teta(i)), 0,0];

[sin(teta(i)), cos(teta(i)), 0,0];

[ 0, 0, 1,0];

[ 0, 0, 0,1]];

RotX{i} = [[1, 0, 0, 0];

[0, cos(alpha(i)), -sin(alpha(i)),0];

[0, sin(alpha(i)), cos(alpha(i)), 0];

[0, 0, 0, 1]];

TranZ{i} = [[1,0,0,0];

[0,1,0,0];

[0,0,1,d(i)];

[0,0,0,1]];

TranX{i} = [[1,0,0,a(i)];

[0,1,0,0];

[0,0,1,0];

[0,0,0,1]];

*Описываем кинематические цепи представлением Денавита-Хартенберга, заполняем матрицу*

Ti{i} = RotZ{i}\*TranZ{i}\*RotX{i}\*TranX{i};

End

*Посчитаем преобразование прямой кинематики для манипулятора с 3-мя степеням свободы для j-й матрицы из 40*

T{j} = Ti{1}\*Ti{2}\*Ti{3};

end

end

Задача 2

*Добиться повышения точности позиционирования (калибровки) манипулятора путем постановки и последующего решения соответствующей задачи оптимизации на основе предоставленных данных (.zip архив).*

*Провести сравнение точности откалиброванных, номинальных и фактических (указанных в предоставленном файле) параметров геометрии манипулятора.*

*Описать ход работы.*

Как было сказано ранее, в процессе эксплуатации вектор параметров каким-то образом искажается (по многим возможным причинам) — становится Соответственно, задача калибровки манипулятора — оценить — то есть найти такое, которое бы лучше всего описывало преобразование прямой кинематики .

Были сделаны измерения с помощью внешнего измерительного оборудования (файл calib.zip), которые включают в себя набор конфигураций манипулятора (набор углов) и соответствующую конкретной конфигурации матрицы T (которая включает в себя матрицу поворота и вектор смещения, все в абсолютной системе координат).

А кроме того, известно из некоторых физических соображений, что длины звеньев не "исказились" более чем на 10 мм, а ошибка в DH углах составила не более 0.01 рад. Сравнение точности номинальных, откалиброванных (оптимизируемых) и фактических параметров проводить на модели прямой кинематики.

*Целевая функция будет задаваться как , где положение схвата манипулятора в абсолютной системе координат, значения из снятых данных*

function h = fun(T\_fact,X,q)

T = kinematics(X,q);

h = 0;

for i = 1:40

h = h + (norm(T\_fact(1:3,4,i) - T{i}(1:3,4)));

end

end

clear

data = load('calib.mat');

*40 наборов конфигураций*

q = data.calib.Q;

*40 наборов конфигураций матрицы T*

T\_fact = data.calib.T;

*eps – массив отклонений углов, где*

eps = [0, 0, 0 ];

*“Паспортные” параметры Денавита-Хартенберга из таблицы 1*

d = [300, 0, 0 ];

alpha = [pi/2, 0, 0 ];

a = [ 0, 400, 500];

*Набор начальных отклонений углов (eps) и “паспортных” параметров* *Денавита-Хартенберга является начальным приближением*

X0 = [0, 0, 0, ...

300, 0, 0, ...

pi/2, 0, 0, ...

0, 400, 500];

*Набор ограничений снизу на отклонение угла соответственно*

lb = [-0.01, -0.01, -0.01, ...

d(1)-10, -10, -10, ...

alpha(1)-0.01, -0.01, -0.01, ...

-10, a(2)-10, a(3)-10];

*Набор ограничений сверху на отклонение угла соответственно*

ub = [0.01, 0.01, 0.01,...

d(1)+10, 10, 10,...

alpha(1)+0.01, 0.01, 0.01,...

10, a(2)+10, a(3)+10];

*Применение fmincon для решения нелинейной задачи оптимизации*

options = optimoptions('fmincon', 'Display', 'iter');

[DH\_calibr, fval] = fmincon(@(X0) fun(T\_fact, X0, q), X0, [],[],[],[],lb,ub,[],options);

Результаты

eps\_calib = DH\_calibr(1:3)

*0.009999696256836 0.000992628622105 0.000007365780452*

d\_calib = DH\_calibr(4:6)

*307.9999965146665 -2.5085391629033 -2.4914329623891*

alpha\_calib = DH\_calibr(7:9)

*1.575796282832634 0.002000088058622 0.000000000000000*

a\_calib = DH\_calibr(10:12)

*5.9999963447062 404.9999987856175 491.9999957774597*

*, где положение схвата манипулятора в абсолютной системе координат, подсчитанное с помощью «паспортных» параметров, значения из снятых данных*

disp('h до калибровки:');

disp(fun(T\_fact,X0,q));

*605.0923951433010*

*, где положение схвата манипулятора в абсолютной системе координат, подсчитанное с помощью откалиброванных параметров, значения из снятых данных*

disp('h после калибровки:');

disp(fun(T\_fact,DH\_calibr,q));

*0.004083402939126*

Проведем анализ калибровки значений параметров Денавита-Хартенберга:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| звено | До калибровки | | | | После калибровки | | | |
|  | d |  | a |  | d |  | a |
| 1 |  | 300 |  | 0 |  | 307.999997 | 1.5758 | 5.999996 |
| 2 |  | 0 | 0 | 400 |  | -2.5085 | 0.002 | 404.9999988 |
| 3 |  | 0 | 0 | 500 |  | -2.4914 | 0 | 491.999996 |