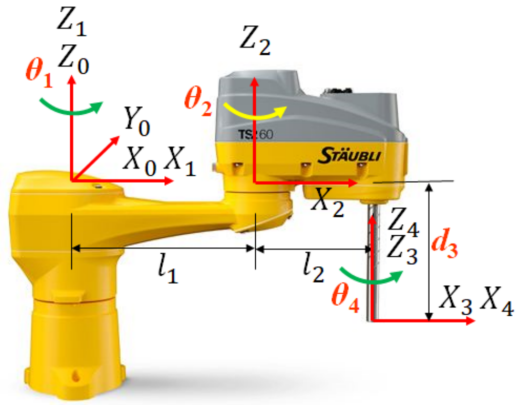
SCARA教学机器人(四个自由度)，机器人的末端装置即为连杆4的坐标系，根据给出的坐标系关系，建立个连杆坐标的D-H参数表，求解运动学正逆解方程。



本题解中为方便书写，用c1代表θ1

正解：

- 首先列出D-H表
- 注意d3的位移方向与z3方向相反，所以取负

	θ	α	l	d
01	c1	0	0	0
12	c2	0	l1	0
23	0	0	l2	0
34	c4	0	0	-d3

- 由matlab计算出正解
- A04如图

```
>> simplify(A01*A12*A23*A34)

ans =

[cos(c1 + c2 + c4), -sin(c1 + c2 + c4), 0, l2*cos(c1 + c2) + l1*cos(c1)]
[sin(c1 + c2 + c4),  cos(c1 + c2 + c4), 0, l2*sin(c1 + c2) + l1*sin(c1)]
[                0,                  0, 1,                          -d3]
[                0,                  0, 0,                            1]
```

因此正解为：

- $$P_x = l_2 * cos(c_1 + c_2) + l_1 * cos(c_1)$$
  $$P_y = l_2 * sin(c_1 + c_2) + l_1 * sin(c_1)$$
  $$P_z = -d_3$$

逆解

- 首先设出P：

```
>> P=simplify(Px^2+Py^2+Pz^2)
```

-

```
P =

d3^2 + l1^2 + 2*cos(c2)*l1*l2 + l2^2
```

直接从P解出c2：

$$c_2 = arctg(\frac{\sqrt{1-M^2}}{M})$$
$$M = \frac{P_x^2 + P_y^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1l_2}$$

- 为了解出c1和c4，我们从inv(A01)*A04=A14中发现了两个等式关系：
- inv（A01）和A14如图

```
>> simplify(inv(A01))

ans =
```

-

```
[ cos(c1), sin(c1), 0, 0]
[-sin(c1), cos(c1), 0, 0]
[       0,       0, 1, 0]
[       0,       0, 0, 1]
```

```
>> simplify(A12*A23*A34)

ans =

[cos(c2 + c4), -sin(c2 + c4), 0, l1 + l2*cos(c2)]
[sin(c2 + c4),  cos(c2 + c4), 0,       l2*sin(c2)]
[           0,             0, 1,              -d3]
[           0,             0, 0,                1]
```

$$1^{st}: -sin(c_1) * P_x + cos(c_1) * P_y = l_2 * sin(c_2)$$
$$2^{nd}: -sin(c_1) * N_x + cos(c_1) * N_y = l_2 * sin(c_2 + c_4)$$

解出c1和c4：

$$c_1 = arctg(\frac{\sqrt{1-N^2}}{N}) - \varphi$$
$$N = \frac{l_2 * sin(c_2)}{\sqrt{P_x^2 + P_y^2}} \varphi = arctg(\frac{P_x}{P_y})$$
$$c_4 = arctg(\frac{-sin(c_1) * N_x + cos(c_1) * N_y}{cos(c_1) * N_x + sin(c_1) * N_y}) - c_2$$

d3直接表示：

$$d_3 = -P_z$$