

PROJECTE D'INTEGRACIÓ



Disseny i construcció d'un robot Delta

Cinemàtica

- Requisits de disseny
- Equacions cinemàtiques
- Parell motor
- Dimensionament de la plataforma
- Trajectòries
- Document final

Cinemàtica - Requisits de disseny

Donat l'enunciat, cal decidir la zona de treball del robot delta. Com l'alçada ve fixada pel suport, es decideix una zona de treball de:

- Rang de les X: $\pm 0.175\text{m}$
- Rang de les Y: $\pm 0.175\text{m}$
- Rang de les Z: -0.25m

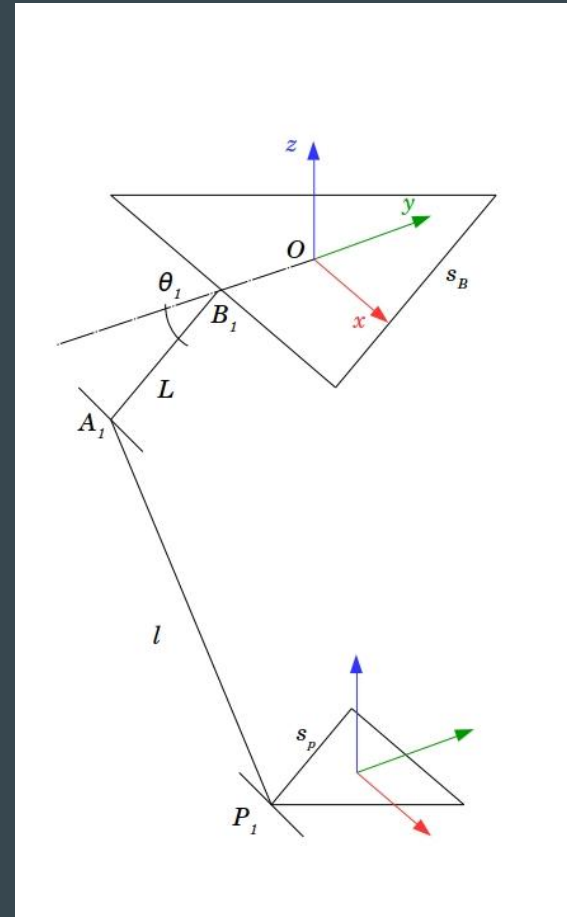
Cinemàtica - Equacions cinemàtiques*

Es parteix del següent model simplificat i es busquen les equacions de manera que tot quedi en funció dels angles dels motors i la posició de l'end-effector.

Els punts sobre els que es calculen les equacions són les joints:

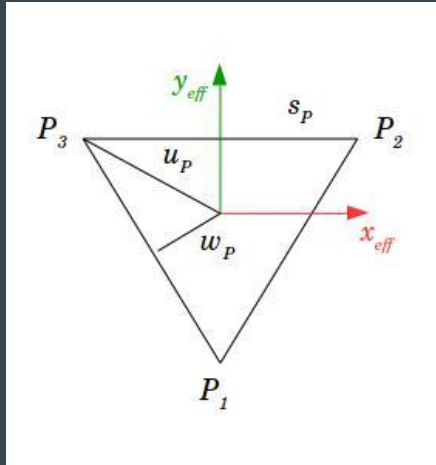
B_i , A_i i P_i

*Les equacions cinemàtiques es treuen de l'article: The Delta Parallel Robot: Kinematics Solutions. R.L. Williams



Cinemàtica - Equacions cinemàtiques

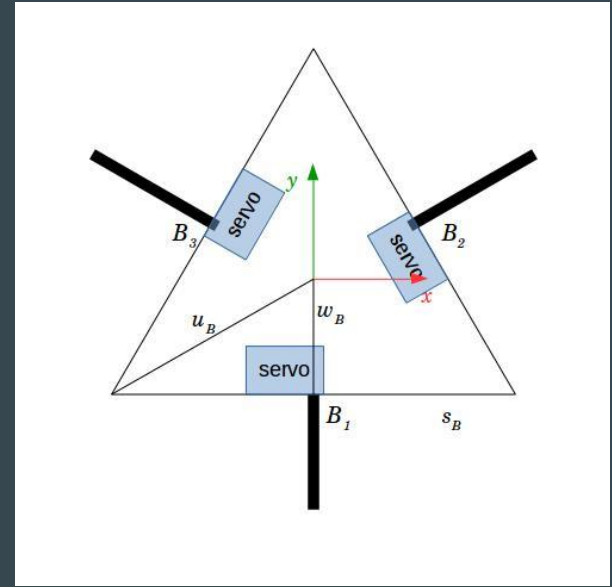
Per calcular els punts B_i i P_i es té en compte la geometria constructiva de les bases. Els punts queden de la següent forma, tenint en compte la referència de la figura:



$$(P1) \quad [x, y - u_P, z]$$

$$(P2) \quad \left[\frac{s_P}{2} + x, w_P + y, z \right]$$

$$(P3) \quad \left[x - \frac{s_P}{2}, w_P + y, z \right]$$



$$(B1) \quad [0, -w_B, 0]$$

$$(B2) \quad \left[\frac{\sqrt{3} w_B}{2}, \frac{w_B}{2}, 0 \right]$$

$$(B3) \quad \left[-\frac{\sqrt{3} w_B}{2}, \frac{w_B}{2}, 0 \right]$$

Cinemàtica - Equacions cinemàtiques

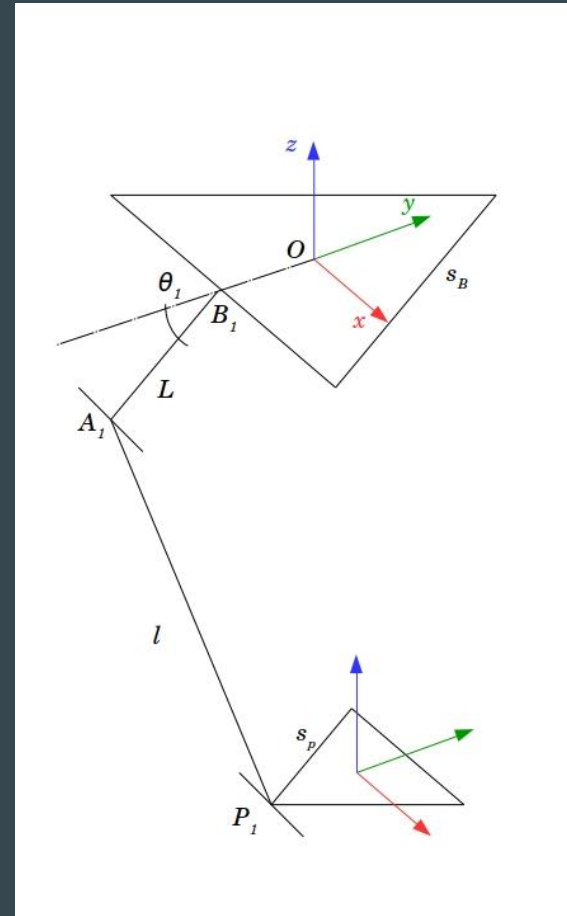
Per últim el punt A es calcula com una suma de vectors:

$OB+BA$

$$(A1) \quad [0, -w_B - \cos(\theta_1) L, -\sin(\theta_1) L]$$

$$(A2) \quad \left[\frac{\sqrt{3} w_B}{2} + \frac{\sqrt{3} \cos(\theta_2) L}{2}, \frac{w_B}{2} + \frac{\cos(\theta_2) L}{2}, -\sin(\theta_2) L \right]$$

$$(A3) \quad \left[-\frac{\sqrt{3} w_B}{2} - \frac{\sqrt{3} \cos(\theta_3) L}{2}, \frac{w_B}{2} + \frac{\cos(\theta_3) L}{2}, -\sin(\theta_3) L \right]$$

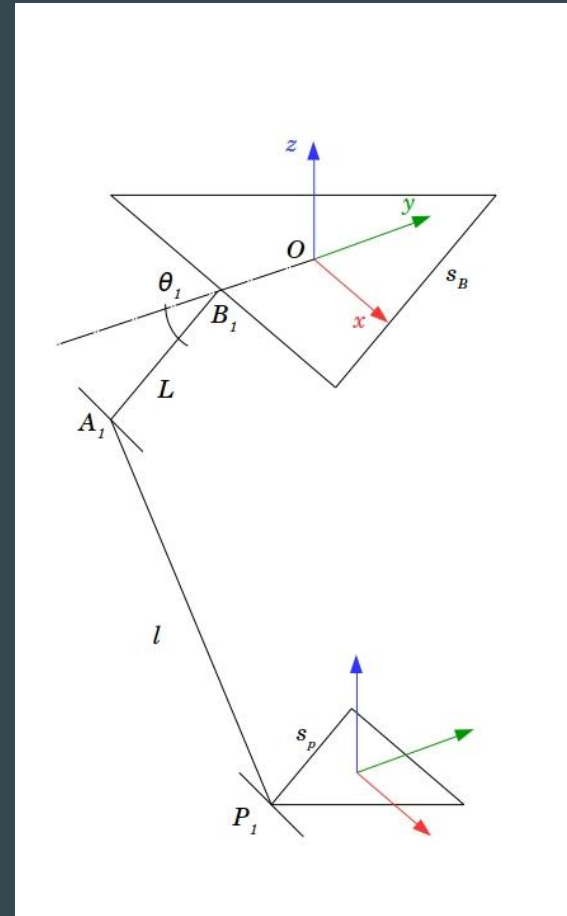


Cinemàtica - Equacions cinemàtiques

Finalment les equacions vindran donades imposant que el mòdul del vector $||\mathbf{OP} - (\mathbf{OB} + \mathbf{BA})|| = l$

Fent això s'arriba a que:

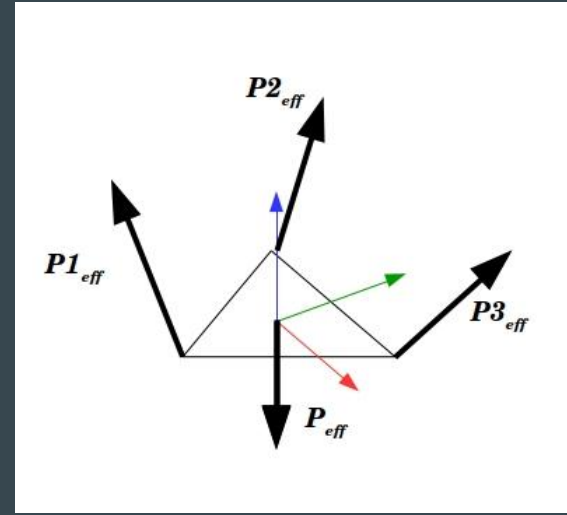
$$\begin{aligned} L^2 + 2 \sin(\theta_1) z L + 2 \cos(\theta_1) (a+y) L + z^2 + y^2 + 2 a y + x^2 + a^2 &= l^2 \\ L^2 + 2 \sin(\theta_2) z L - \cos(\theta_2) (\sqrt{3} b + c + \sqrt{3} x + y) L + z^2 + y^2 + 2 c y + x^2 + 2 b x + c^2 + b^2 &= l^2 \\ L^2 + 2 \sin(\theta_3) z L - \cos(\theta_3) (\sqrt{3} b + c - \sqrt{3} x + y) L + z^2 + y^2 + 2 c y + x^2 - 2 b x + c^2 + b^2 &= l^2 \end{aligned}$$



Cinemàtica - Parell motor

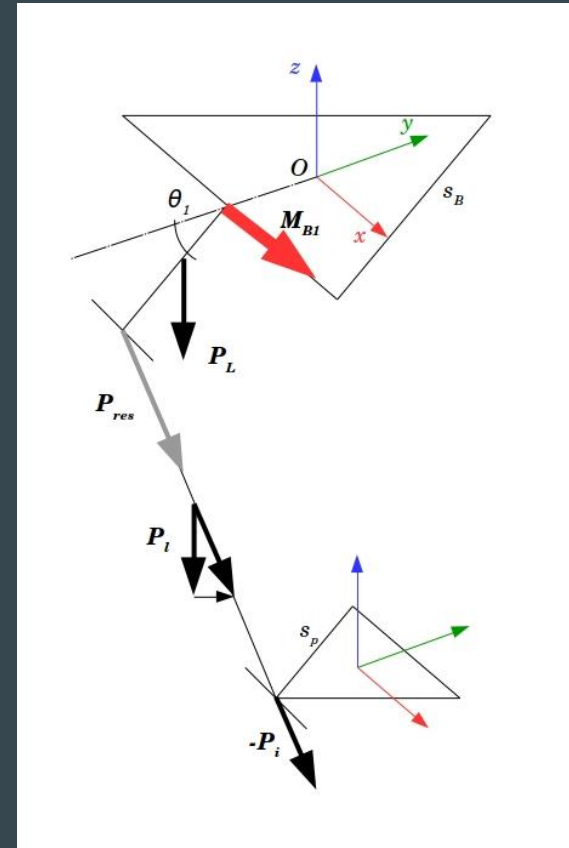
L'objectiu és trobar l'expressió del parell que ha de fer cada motor en cada configuració. Per fer-ho es parteix de la base on hi va l'end-effector.

Llavors es crea un sistema d'equacions per l'eix $\{X,Y,Z\}$ de manera que la suma de les components de cada vector \mathbf{P}_i sigui zero. Per fer-ho és necessari resoldre primer les equacions del sistema per saber com està posicionat \mathbf{l} en l'espai.



Cinemàtica - Parell motor

Coneguts els vectors \mathbf{P}_i , es projecta el pes de la barra per sumar-lo a aquest vector i tot es trasllada a la joint del braç L (\mathbf{P}_{res}). A partir d'aquí s'aplica la fórmula del moment respecte d'un punt, essent l'interessant aquell alineat amb l'eix del motor.



Cinemàtica - Dimensionament de la plataforma

Es segueixen els passos següents:

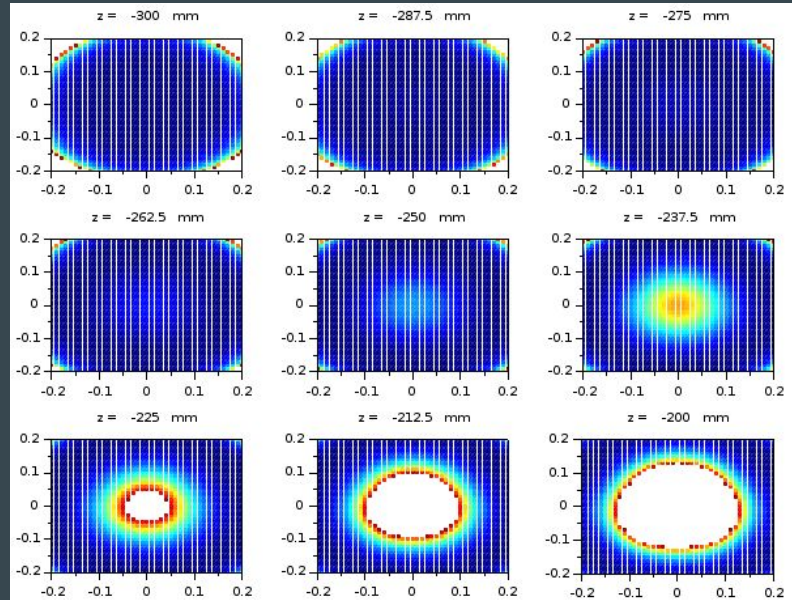
- 1) Sondeig global:
 - a) Es proposa un rang de treball en cada eix
 - b) Es proposen uns rangs de mides de la base, links i l'end effector
 - c) Es defineix el pes per unitat de distància de cada part (depèn del material)
 - d) Es defineix el parell màxim que pot fer cada actuator
 - e) Es defineix un mínim de l'espai cobert per la solució
- 2) Es fa córrer la simulació
- 3) Es destrien els candidats segons: Parell màxim/Volum cobert/Jacobiana*

*Segons: “*Kinetostatic Performance Analysis of a Reconfigurable Delta-type Parallel Robot*”. R.E. Sánchez, J.J. González, E. Castillo, A.L. Balmaceda

Cinemàtica - Dimensionament de la plataforma

Es segueixen els passos següents:

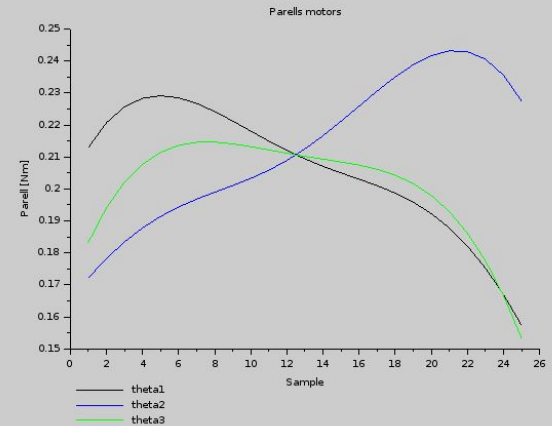
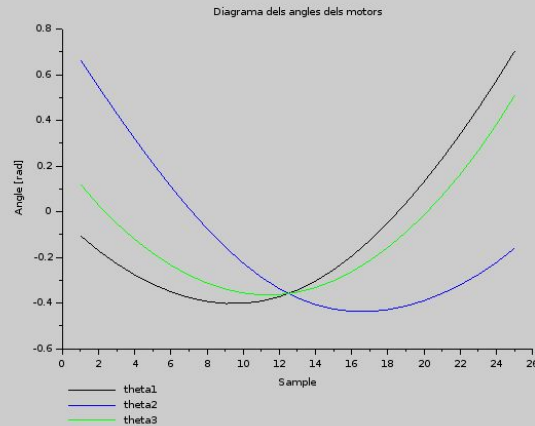
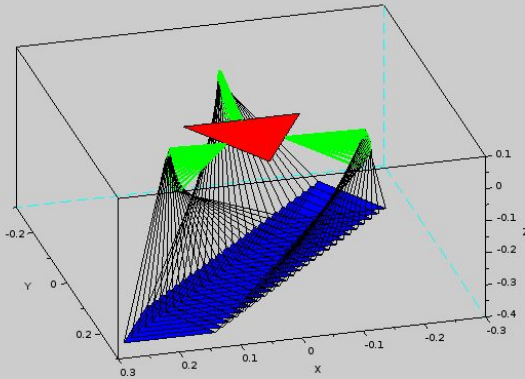
4) Es fa un anàlisi exhaustiu de la solució triada, com per exemple la seva zona de treball:



Cinemàtica - Dimensionament de la plataforma

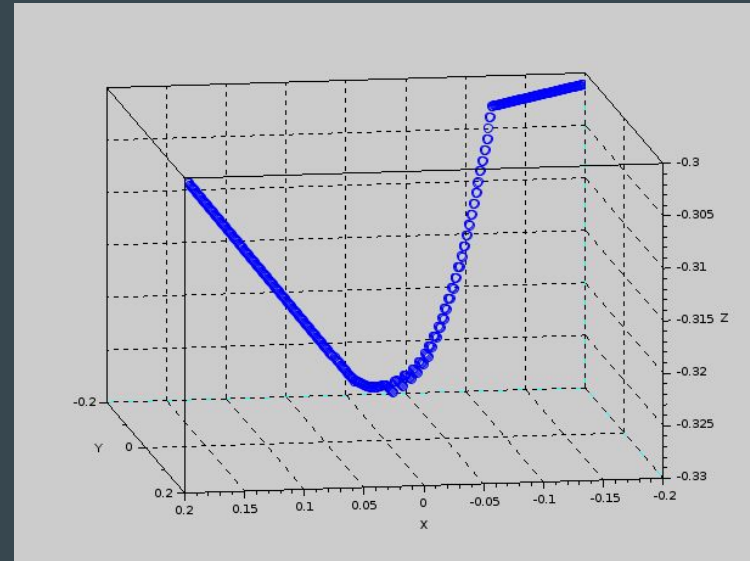
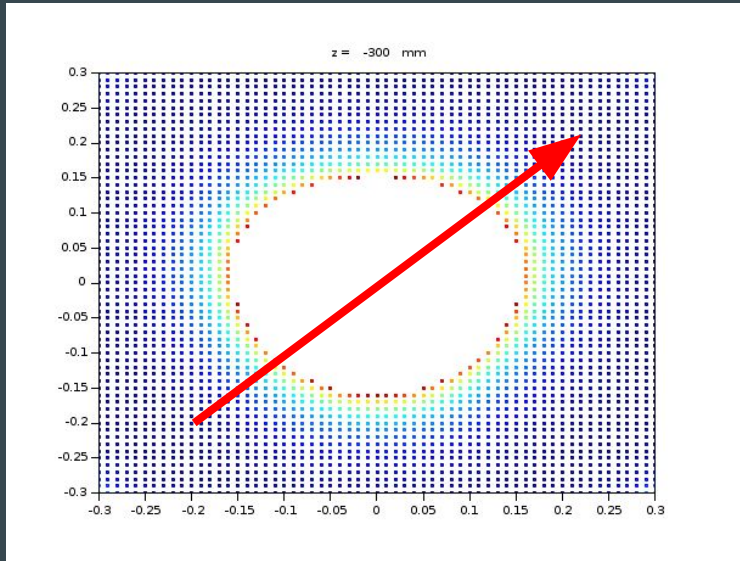
Es segueixen els passos següents:

5) Es verifiquen diferents trajectòries amb l'anàlisi d'angles i parells



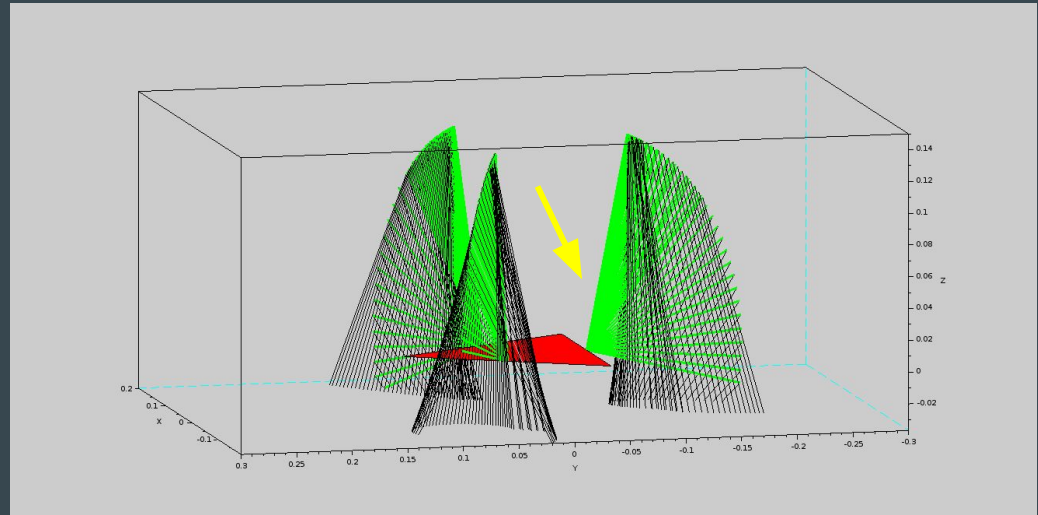
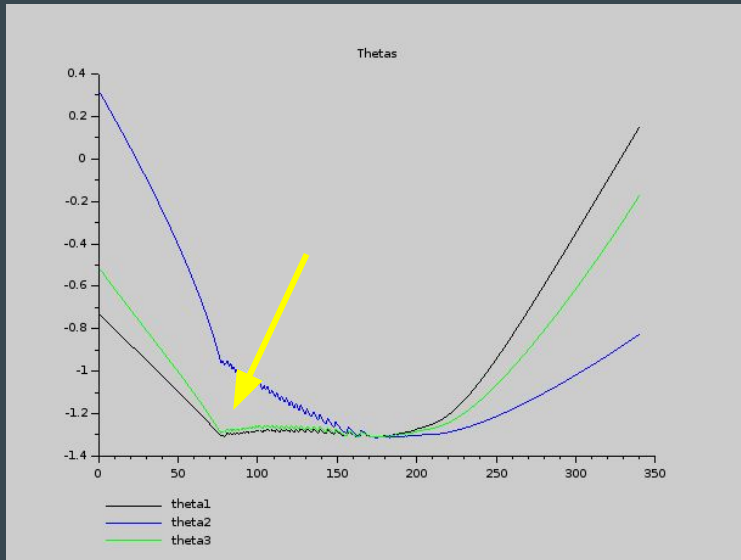
Cinemàtica - Trajectòries

Donat que el robot delta ha de funcionar a una alçada donada, una de les condicions és que el robot pugui treballar en tota l'àrea. Fora d'aquesta zona, s'ha fet un intent de càlcul de trajectòries, evitant les configuracions singulars. Per exemple:



Cinemàtica - Trajectòries

Donat que el robot delta ha de funcionar a una alçada donada, una de les condicions és que el robot pugui treballar en tota l'àrea. Fora d'aquesta zona, s'ha fet un intent de càlcul de trajectòries, evitant les configuracions singulars. Per exemple:



Cinemàtica - Document final

Quan tot està validat es genera un document per fer la part mecànica

Proposta 1: “Optimització de material (parell)”

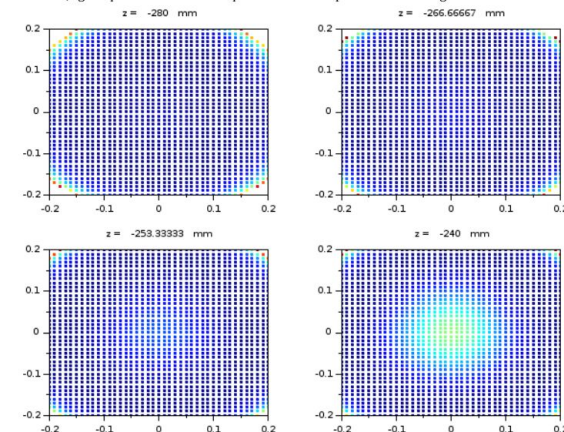
Proposta 2: “Optimització de l'espai”

Proposta 3: “L'aposta segura”

Proposta 2: «Optimització de l'espai»

XMB = [-0.375, 0.375]				YMB = [-0.375, 0.375]				ZMB = [-0.28, -0.23]			
sB [m]	sP [m]	L [m]	l [m]	Max Torque [Nm]	Mean Torque [Nm]	Finis	Optim en ...	Percentatge espai [%]			
0.2	0.08	0.095	0.315	9.2475797624	6.1876565756	22.0846947084	Esqueu robot	100			

Aquesta solució arrisca una mica més en quant al parell màxim. La barra L és més gran que l'anterior, igual que la barra l. Amb aquesta solució l'espai cobert és el següent:



Fins i tot permet arribar una mica més enllà de l'enunciat inicial. La Z ideal està entre -250 i -240mm. A més, un avantatge que té és que és bastant tolerant en diferents rangs de l'eix Z. En les regions del voltant de la zona de treball, cal anar amb compte perquè els motors es poden saturar.

Software - Subscriure posició

Implementar la funció del scilab a C++

Pàrametres funció inversekinemàtics (x,y, z(cte), array angles)

Forçar uns valors de posició (x,y) per comprobar que els angles obtinguts coincideixen amb els càlculs previs (Scilab)

```
^Cgabriel@gabriel-OMEN-by-HP-Laptop:~$ rostopic pub /delta_img_processor/center_ray_direction geometr
msgs/Vector3 "{x: 0.1, y : 0, z: -0.35}"
publishing and latching message. Press ctrl-C to terminate

^Cgabriel@gabriel-OMEN-by-HP-Laptop:~$ rostopic pub /delta_img_processor/center_ray_direction geometr
msgs/Vector3 "{x: 0.2, y : 0, z: -0.35}"
publishing and latching message. Press ctrl-C to terminate
```


Software - Publicar Àngles

Comprovació dels resultats. Publicar node que conté el tópic amb els angles.

```
^Cgabriell@gabriell-OMEN-by-HP-Laptop:~$ rosrundelta_robot_driversdelta_angles_streamer_node
[ INFO] [1516885811.032244117]: =====
[ INFO] [1516885811.032399192]: Setting new trajectory x: 0.100000 y: 0.000000
[ INFO] [1516885811.033258224]: Trajectory angles Theta1: 48.345197 Theta2: 40.503528 Theta3: 58.7329
46
```

```
^Cgabriell@gabriell-OMEN-by-HP-Laptop:~$ rosrundelta_robot_driversdelta_angles_streamer_node
[ INFO] [1516886348.070491655]: =====
[ INFO] [1516886348.070656423]: Setting new trajectory x: 0.200000 y: 0.000000
[ INFO] [1516886348.071500976]: Trajectory angles Theta1: 48.345197 Theta2: 40.503528 Theta3: 58.7329
46
[ INFO] [1516886348.071571837]: =====
[ INFO] [1516886357.570274142]: =====
[ INFO] [1516886357.570372045]: Setting new trajectory x: 0.200000 y: 0.000000
[ INFO] [1516886357.570484634]: Trajectory angles Theta1: 67.985406 Theta2: 50.786833 Theta3: 90.0669
63
[ INFO] [1516886357.570537698]: =====

```

Software - Trajectoria

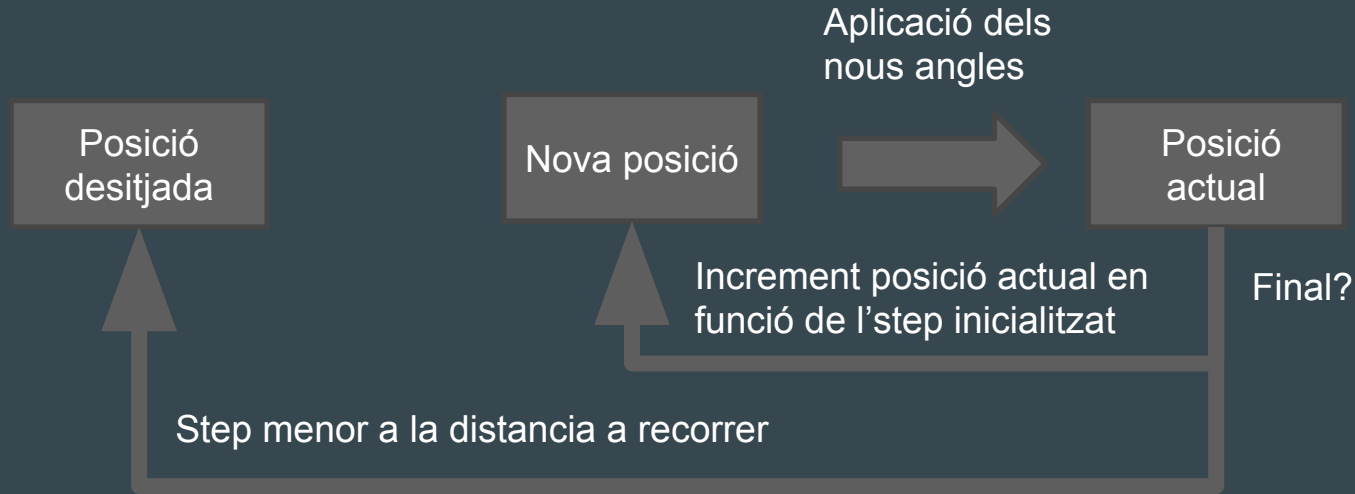
A partir del vector unitari es controlarà la trajectoria.

S'aplicarà un increment (definit al codi) amb el qual controlarem el moviment del robot.

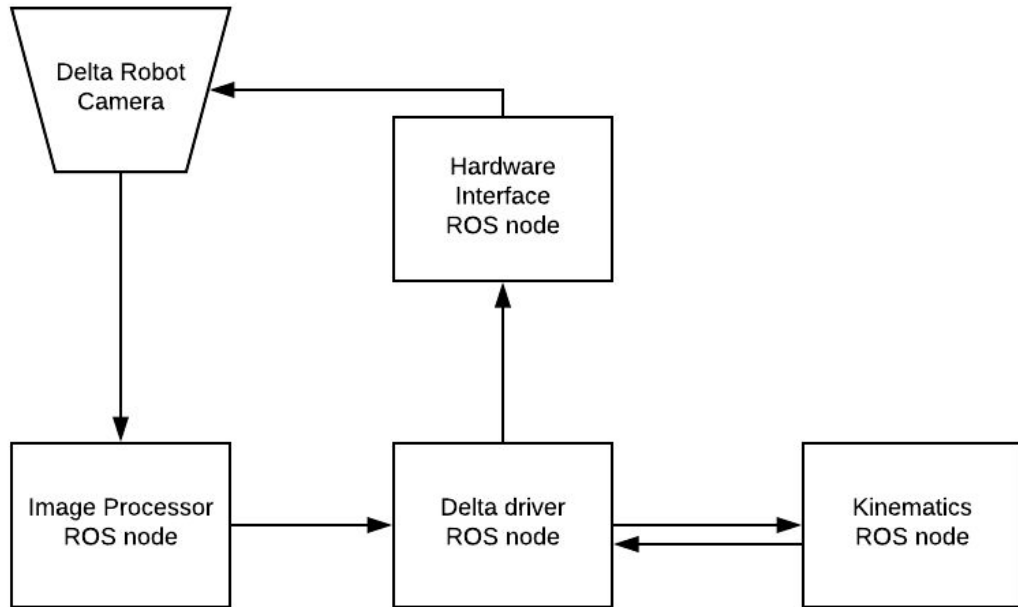
Exemple: Step size 0.1

```
if (fabs(cv::norm(directionVector,cv::NORM_L2)) < MAX_STEP_SIZE)
{
    uDirectionVector = cv::Mat_<double>::zeros(2, 1);
    currentPosition = goalPosition;
}
else
{
    uDirectionVector = directionVector/cv::norm(directionVector,cv::NORM_L2); //Calcula el vector unitari
    currentPosition = currentPosition + uDirectionVector*MAX_STEP_SIZE;
    //Multiplica el vector unitari per un valor petit i el suma a la posició actual
}
```

Software - Trajectoria



Software - Arquitectura

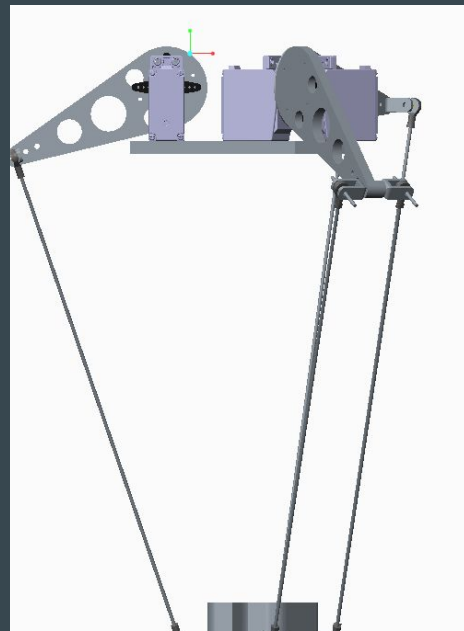
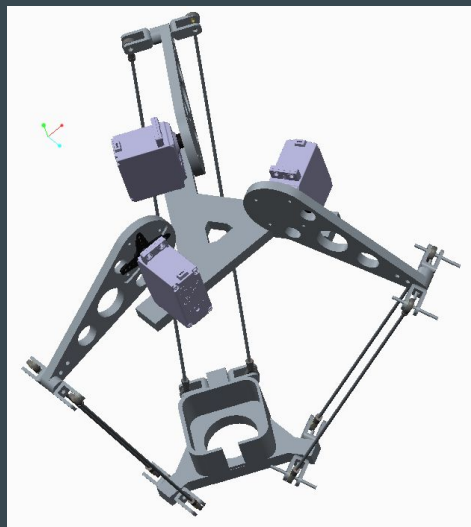


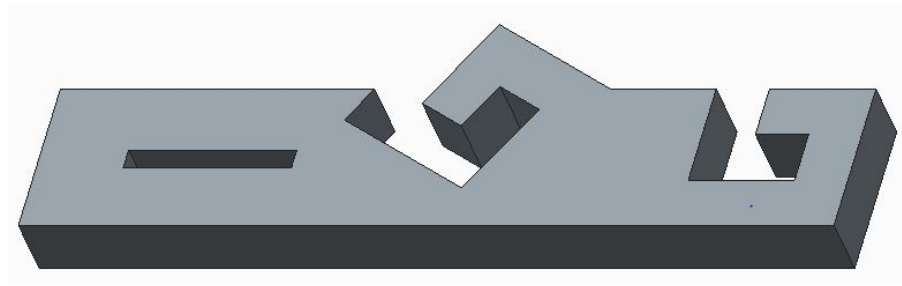
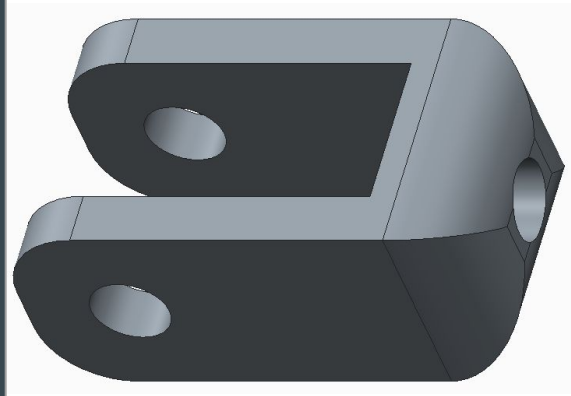
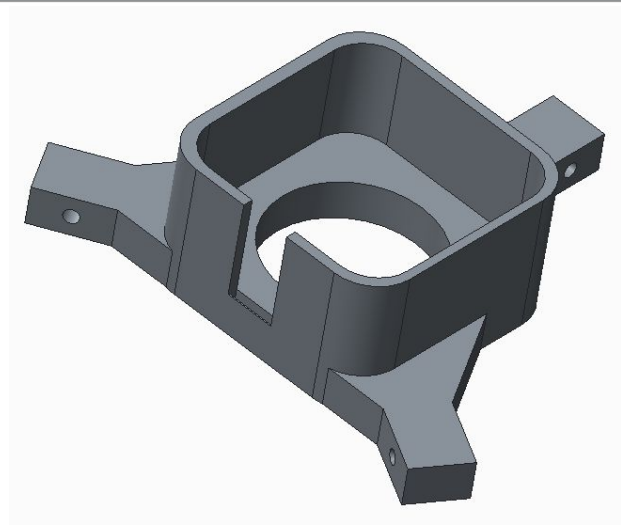
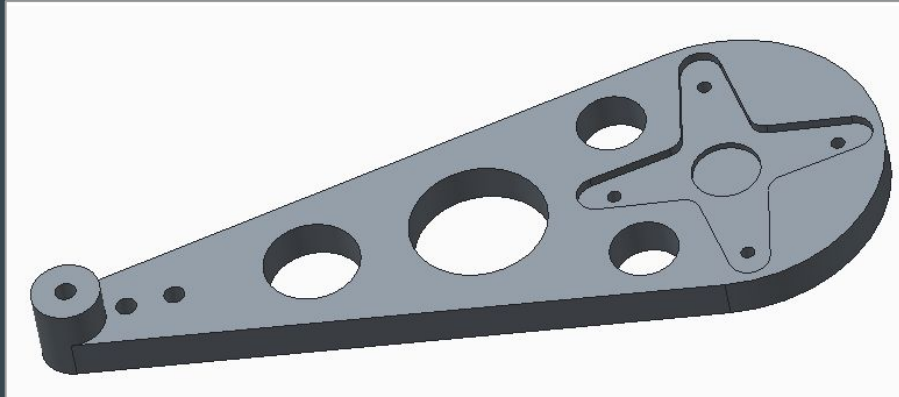
Mecànica

Disseny optimitzat per aconseguir el màxim espai de treball.

Reducció del pes per no penalitzar el rendiment dels servomotors.

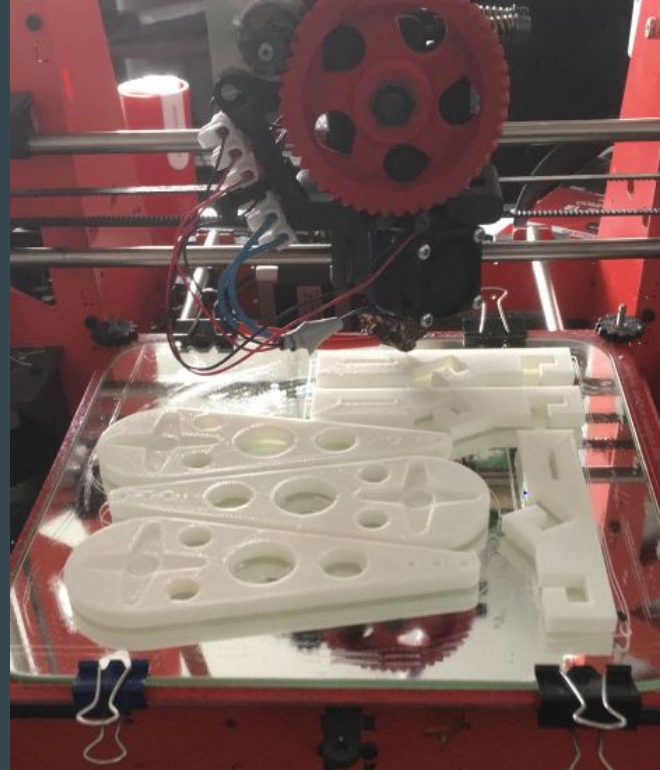
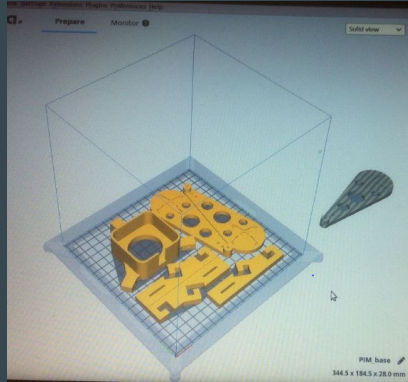
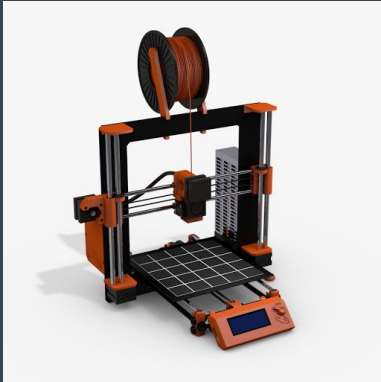
Softwares utilitzats: PTC creo per al disseny i Ultimaker Cura per a la impressió.





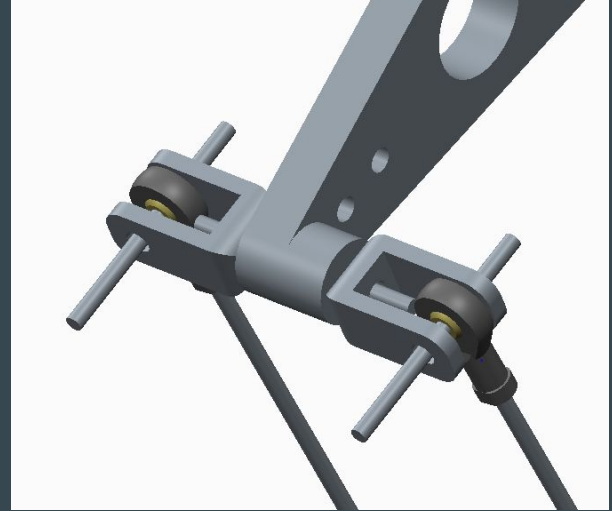
Rapid manufacturing

Degut a la complexitat de les peces i al no ser comercials es va optar per imprimir les peces en 3D. La impressora utilitzada és el model Prusa I3MK2.



Milllores PROTO 1

Optimització grau de llibertat ofert per les ròtules:



Moltes gràcies per la vostra atenció!

Autors:

David Vives Colom

Gabriel Felez Palacios

Sebastian Serra Landete

Sergi Fabregó Serrat

Xavier Ortiz-Quintana Escardivol

Josep Maria Fernández Mola

https://github.com/serrauvic/ros_delta_robot