

LAB 3: Task Space Motion Control

José Yecid Moreno Villamizar : 11195127

1. Decentralized control (Lecture G0)

1.1 , 1.2 - Generate sinusoidal and step reference

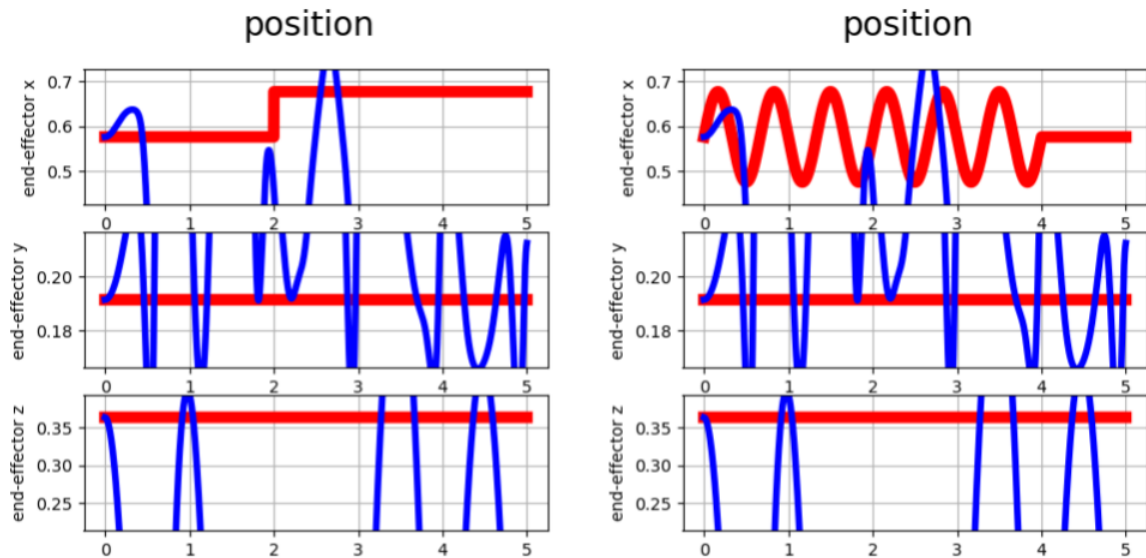
Para a geração das referências foi usado o mesmo conceito em [LAB 2, Section 1.1 and Section 1.2](#), usando a posição atual como origem e deslocando de acordo ao tipo de sinal, o deslocamento para a posição \mathbf{p}^d , velocidade $\dot{\mathbf{p}}^d$ e aceleração $\ddot{\mathbf{p}}^d$ são definidos da seguinte forma:

$$\mathbf{p}^d = \mathbf{p}_0 + \mathbf{A} \cdot \sin(\omega \cdot t + \phi)$$

$$\dot{\mathbf{p}}^d = \frac{d}{dt} (\mathbf{p}_0 + \mathbf{A} \cdot \sin(\omega \cdot t + \phi)) = \mathbf{A} \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t + \phi)$$

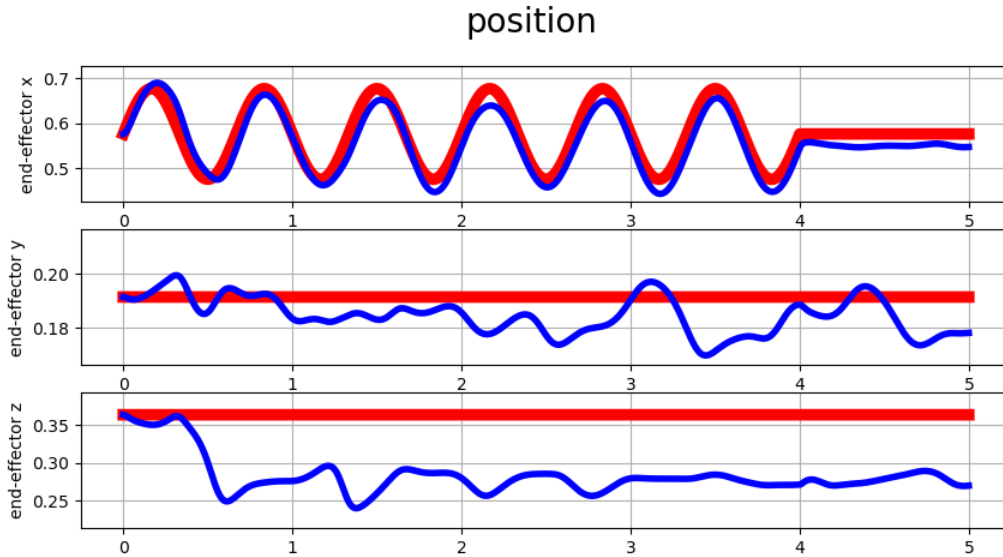
$$\ddot{\mathbf{p}}^d = \frac{d}{dt} (\mathbf{A} \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t + \phi)) = -\mathbf{A} \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t + \phi)$$

Onde $\omega = 2 \cdot \pi \cdot \text{freq}$, as linhas vermelhas da figura embaixo representam o resultado final da trajetória gerada para a posição desejada no extremo do braço.



1.4 - Cartesian Space PD control

Após aplicar um controlador PD convencional no f-atuador, observamos que o seguimento de trajetória é relativamente aceitável, mas não é o máximo que se pode melhorar, além da posição no eixo z , que tem um deslocamento negativo devido a a força que a gravidade faz sobre o elo final.



1.5 - Cartesian Space PD control - postural task

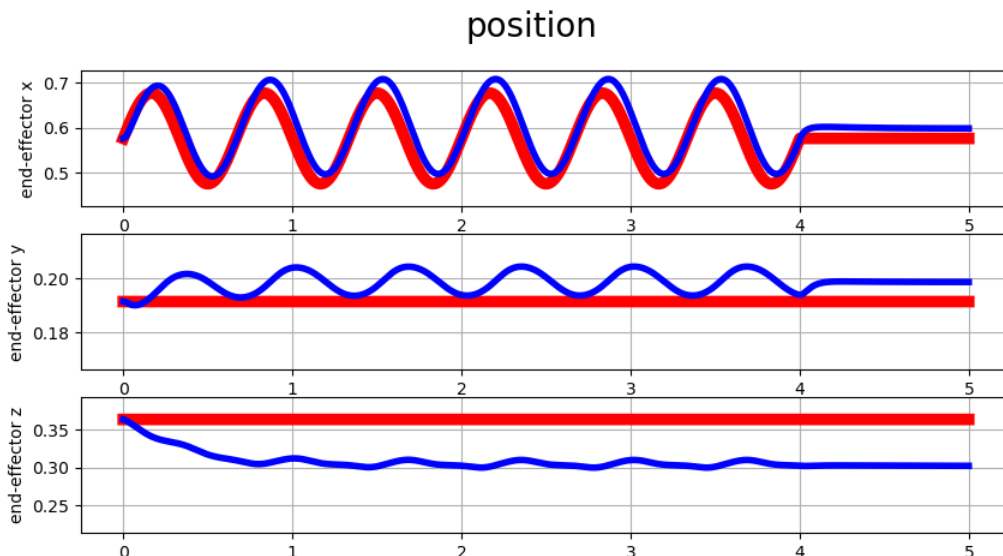
A tarefa de postura simplesmente faz uma tentativa e evitar que os atuadores fiquem com movimentos aleatórios, isto é solucionado colocando molas virtuais em cada um dos atuadores, da seguinte forma:

$$\tau_0 = \mathbf{K}_q(q_0 - q) - \mathbf{D}_q \dot{q}$$

$$\mathbf{N} = \mathbf{I}_{6 \times 6} - \mathbf{J}^T \mathbf{J}^{\dagger}$$

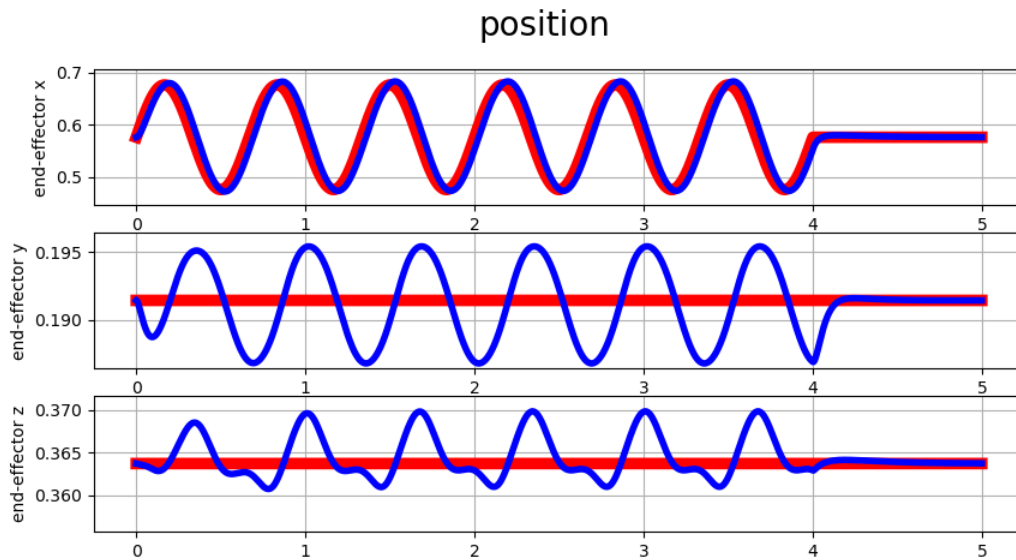
$$\tau = \tau_{PD} + \mathbf{N} \cdot \tau_0$$

Onde \mathbf{K}_q e \mathbf{D}_q são as constantes de rigidez e amortecimento das juntas, dando como resultado um comportamento mais suave, pois a mola virtual não deixa que o robô perca a postura inicial q_0 , o termo \mathbf{N} é a projeção do \mathbf{J} no espaço nulo.



1.6 - Cartesian Space PD control + Gravity Compensation

Como já sabemos em aulas anteriores o compensador de gravidade simplesmente soma a força exercida pela gravidade em cada junta, tirando o deslocamento constante na posição atual com a desejada.

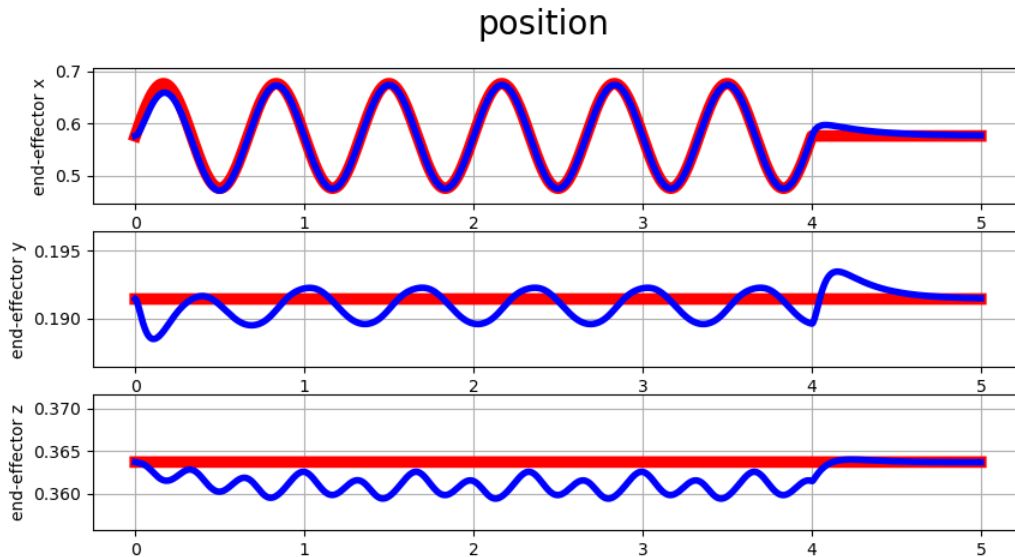


1.7 - Cartesian PD control + Gravity Compensation + Feed-Forward term

Para aplicar os termos de feed-forward num controle convencional, precisamos da matriz \mathbf{M} , mas como estamos no espaço nulo precisamos projetar esta matriz, usando o termo $\mathbf{\Lambda}$ que é calculado da seguinte forma:

$$\mathbf{\Lambda} = (\mathbf{J} \times \mathbf{M} \times \mathbf{J}^T)^{-1}$$

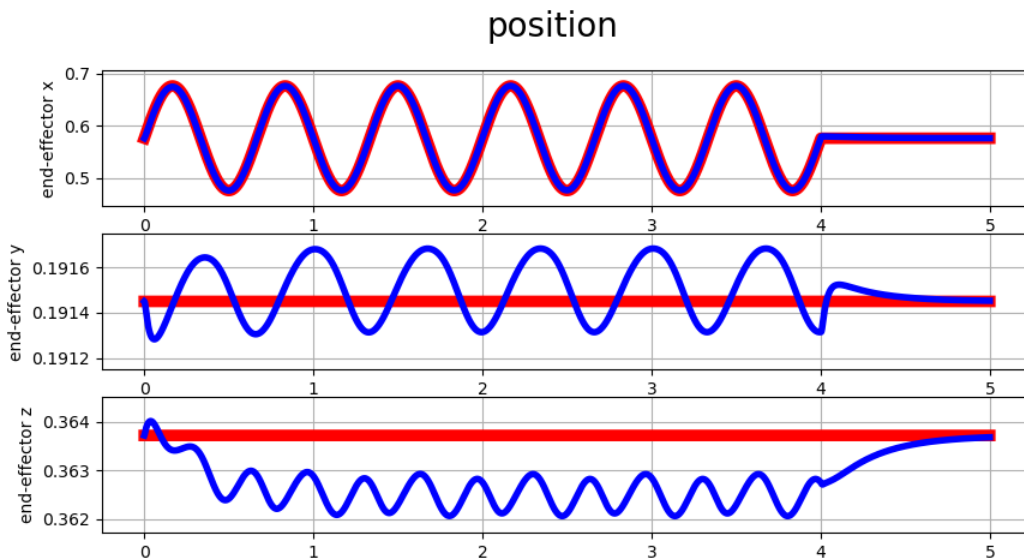
O resultado é uma antecipação ao movimento do robô para compensar usando o modelo, e deixando que o controlador PD faça um ajuste mais fino.



2 Centralized task space control (Lecture H0)

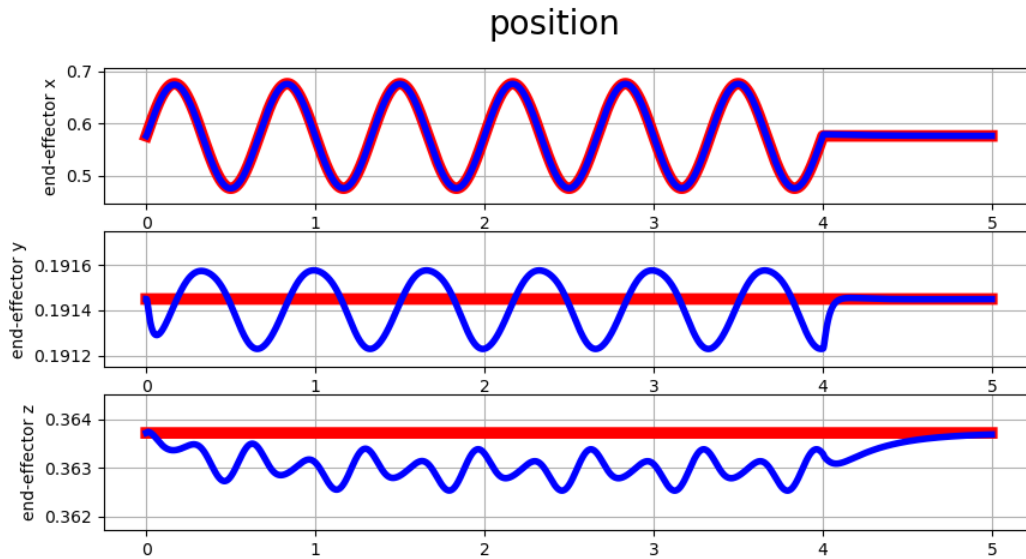
2.1 - Cartesian space inverse dynamics

Aplicando a dinâmica inversa no espaço nulo obtemos melhores resultados, pois logramos um desacople das juntas do braço, compensando as forças propagas no sistema, é notável que as posições **y** e **z** apresentam deslocamentos, mas sua magnitude é quase depreciável



2.2 - Cartesian space inverse dynamics - simplified

É a mesma abordagem anterior, a única diferença é o custo computacional, pois evita o cálculo de $\dot{\mathbf{J}}$ e \mathbf{J}^T



2.3 - External Force:

Quando uma força externa é aplicada no eixo z este é deslocado ao sentido da força, este comportamento é devido à mola virtual implementada no espaço de tarefas, quando a constante de esta mola é maior, o robô tenta fazer mais força oposta para compensar o deslocamento, na figura de embaixo, a constante da esquerda é maior do que a direita.

