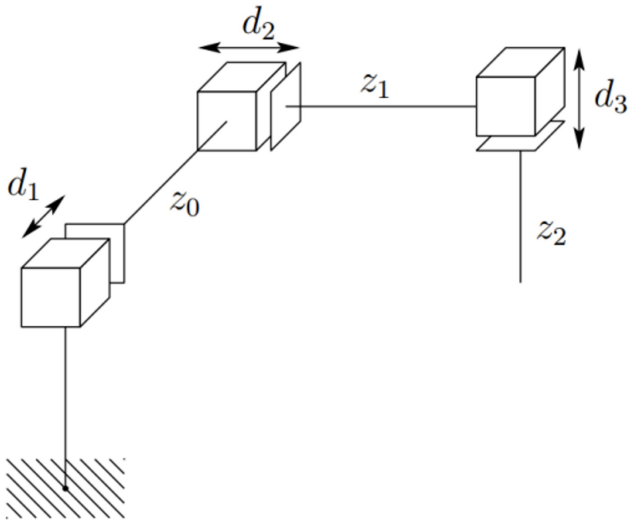
Eksamen 2022 - Fasit ish

onsdag 22. juni 2022 11:01

1.1 Manipulator classification

Hvilken type manipulator er vist i bildet under?

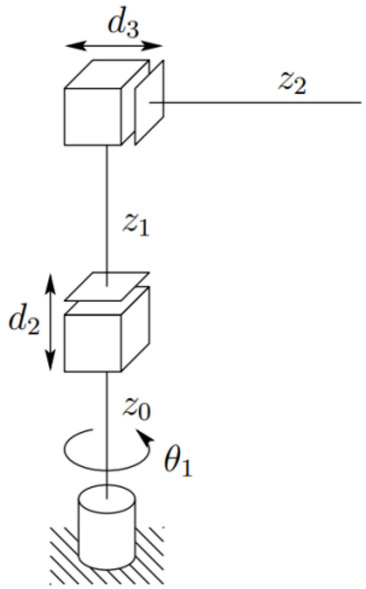


Velg ett alternativ:

- Sylindrisk manipulator
- Antropomorf manipulator
- Kartesisk manipulator ✔
- Artikulert manipulator

1.2 Manipulator classification

Hvilken type manipulator er vist i bildet under?

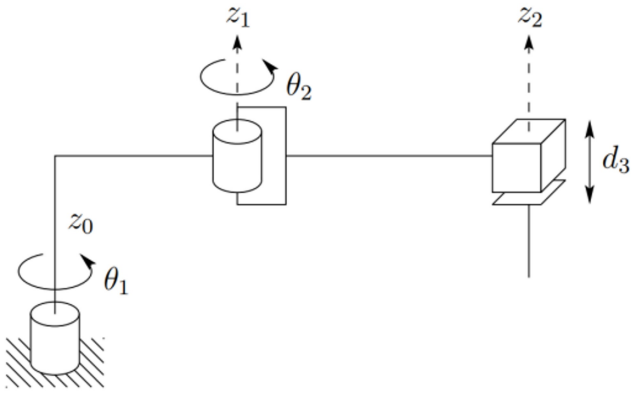


Velg ett alternativ:

- Sylindrisk manipulator ✔
- Sfærisk manipulator
- Polar manipulator
- SCARA manipulator

1.3 Manipulator classification

Hvilken type manipulator er vist i bildet under?

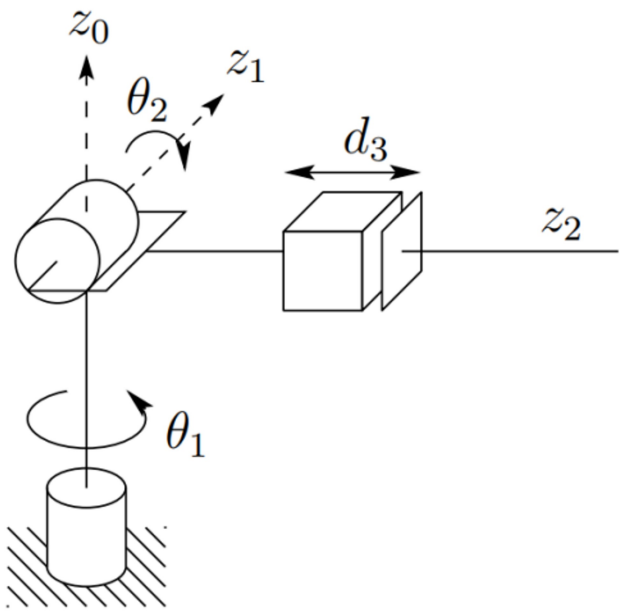


Velg ett alternativ:

- Antropomorf manipulator
- SCARA manipulator ✔
- Sfærisk håndledds manipulator
- Singularitets manipulator

1.4 Manipulator classification

Hvilken type manipulator er vist i bildet under?



Velg ett alternativ:

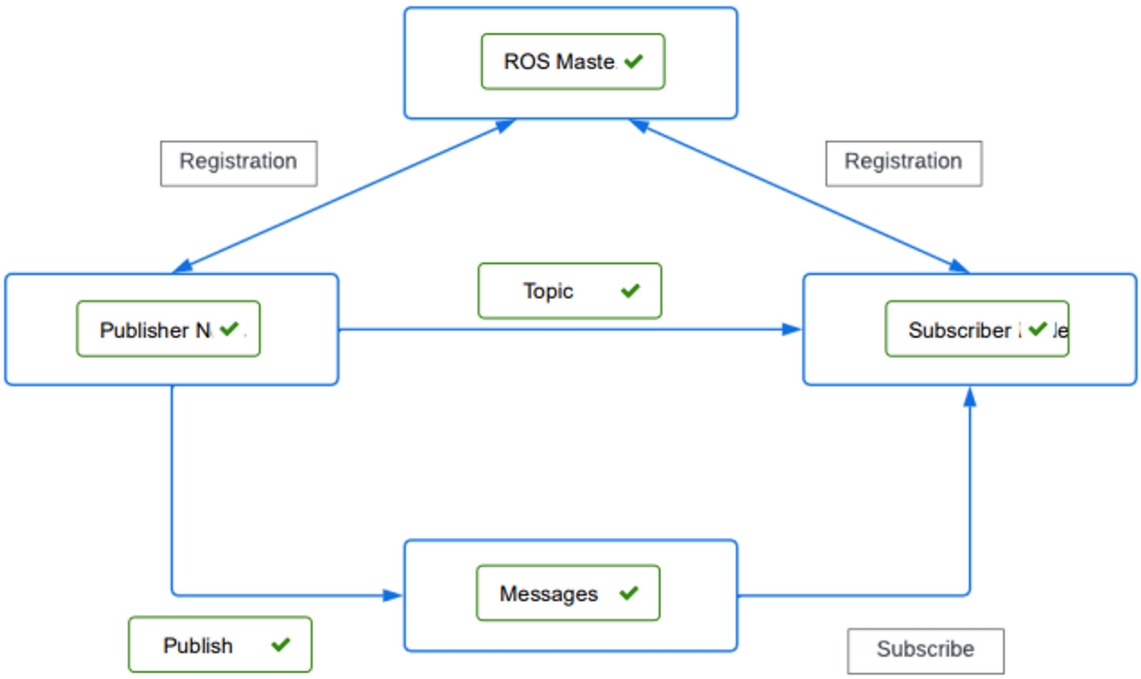
- Sfærisk manipulator ✔
- Kartesisk manipulator
- Artikulert manipulator
- Delta manipulator

2.1 ROS architecture

Plasser brikkene på rett plass i diagrammet over ROS arkitekturen. Du kan flytte på brikkene ved å trekke de til ønsket plass. **Hver riktig plassert brikke vil gi 1 poeng, samt 1 bonuspoeng for alle riktige. Feilplasserte brikker gir -1 poeng. Ubrukte brikker gir ingen poeng, og ingen straff.**

Hjelp

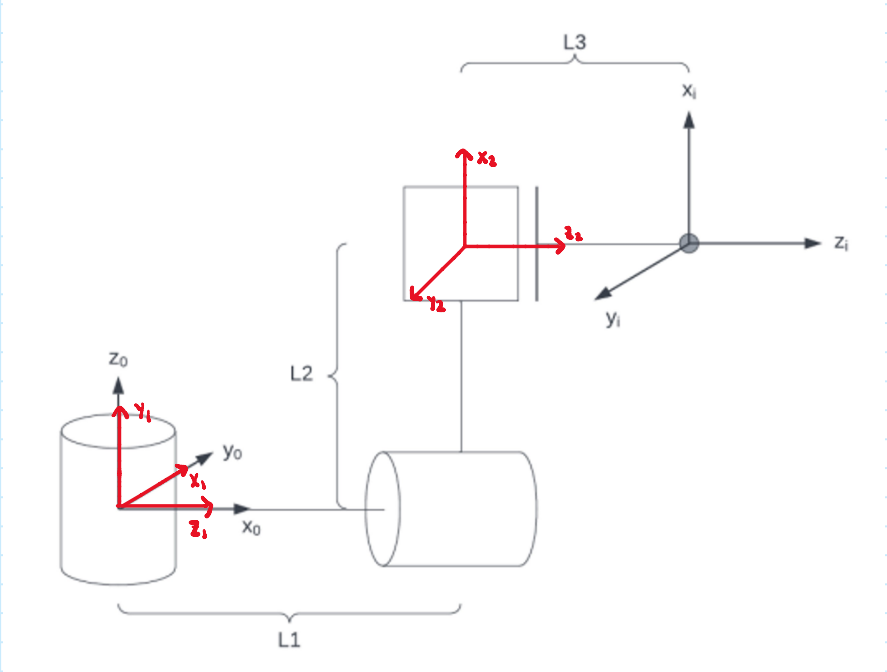
Subscriber Node	Topic	Publisher Node
Messages	Publish	ROS Master



2.2 ROS concepts

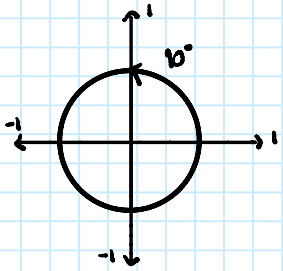
Roscore(Master): Gir navneregistrering og oppslag til noder, og er nødvendig for at noder kan finne hverandre, utveksle meldinger eller påkalle tjenester.
Node: Prosesser som utfører regning, "kjørbare", hvor hver node utfører en spesifikk prosesseringsdel, som vanligvis er en del av algortimen. En node kan publisere og abonnere til en Topic for å overføre data.
Topic: Er strømmer av data med publish/subscribe semantikk, og er unikt identifiserbare ved deres navn.
Message: Er simpelt en datastruktur som består av innskrevne felter, og sendes på definerte Topics. Språkagnostisk datarepresentasjon, altså C++ kan kommunisere med Python
Service: Forespørsel / svar gjøres via service, som er definert av et par av message-strukturer: en for å forespørselen, og en for svaret

3.1 Denavit Hartenberg



DH-parametere:

	d	θ	a	α
1	0	$90^\circ+\theta_1^*$	0	90°
2	L1	$90^\circ+\theta_2^*$	L2	0
3	$L3^*$	0	0	0



3.2 Forward kinematics

$$A = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i c\alpha_i & s\theta_i s\alpha_i & a_i c\theta_i \\ s\theta_i & c\theta_i c\alpha_i & -c\theta_i s\alpha_i & a_i s\theta_i \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$\Rightarrow$ $\sin(u+v) = \sin u \cos v + \sin v \cos u$
$\cos(u+v) = \cos u \cos v - \sin u \sin v$

$\sin(u-v) = \sin u \cos v - \sin v \cos u$
$\cos(u-v) = \cos u \cos v + \sin u \sin v$

$$A_1 = \begin{bmatrix} -s_1 & 0 & c_1 & 0 \\ c_1 & 0 & s_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} -s_2 & -c_2 & 0 & -L_2 s_2 \\ c_2 & -s_2 & 0 & L_2 c_2 \\ 0 & 0 & 1 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$A_1 \cdot A_2 = T_0^2$

				$-s_2$	$-c_2$	0	$-L_2 s_2$
				c_2	$-s_2$	0	$L_2 c_2$
				0	0	1	L_1
				0	0	0	1
$-s_1$	0	c_1	0	$s_1 s_2$	$s_1 c_2$	c_1	$s_1 s_2 L_2 + L_1 c_1$
c_1	0	s_1	0	$-c_1 s_2$	$-c_1 c_2$	s_1	$-c_1 s_2 L_2 + L_1 s_1$
0	1	0	0	c_2	$-s_2$	0	$L_2 c_2$
0	0	0	1	0	0	0	1

$T_0^2 \cdot A_3 = T_0^3$

				1	0	0	0
				0	1	0	0
				0	0	1	L_3
				0	0	0	1
$s_1 s_2$	$s_1 c_2$	c_1	$s_1 s_2 L_2 + L_1 c_1$	$s_1 s_2$	$s_1 c_2$	c_1	$c_1 L_3 + s_1 s_2 L_2 + L_1 c_1$
$-c_1 s_2$	$-c_1 c_2$	s_1	$-c_1 s_2 L_2 + L_1 s_1$	$-c_1 s_2$	$-c_1 c_2$	s_1	$s_1 L_3 - c_1 s_2 L_2 + L_1 s_1$
c_2	$-s_2$	0	$L_2 c_2$	c_2	$-s_2$	0	$L_2 c_2$
0	0	0	1	0	0	0	1

3.3. Inverse kinematics

$$x = c_1 L_3 + s_1 s_2 L_2 + L_1 c_1$$
$$y = s_1 L_3 - c_1 s_2 L_2 + L_1 s_1$$
$$z = L_2 c_2$$

θ_2: $z = L_2 c_2$

$$c_2 = \frac{z}{L_2} \qquad c^2 + s^2 = 1, \quad s^2 = 1 - c^2$$

$$\Rightarrow s_2 = \sqrt{1 - \left(\frac{z}{L_2}\right)^2}$$

$$\tan\theta_2 = \frac{s_2}{c_2} \Rightarrow \theta_2 = \operatorname{atan2}\left(\sqrt{1 - \left(\frac{z}{L_2}\right)^2}, \frac{z}{L_2}\right)$$

L_3:

$$x^2 = (c_1(L_1 + L_3) + s_1 s_2 L_2)^2$$
$$= c_1^2 (L_1 + L_3)^2 + 2 c_1 s_1 s_2 L_2 (L_1 + L_3) + s_1^2 s_2^2 L_2^2$$

$$y^2 = (s_1(L_1 + L_3) - c_1 s_2 L_2)^2$$
$$= s_1^2 (L_1 + L_3)^2 - 2 c_1 s_1 s_2 L_2 (L_1 + L_3) + c_1^2 s_2^2 L_2^2$$

$$x^2 + y^2 = (L_1 + L_3)^2 (s_1^2 + c_1^2) + s^2 L_2^2 (s_1^2 + c_1^2)$$
$$= (L_1 + L_3)^2 + s^2 L_2^2$$
$$= L_1^2 + 2 L_1 L_3 + L_3^2 + s^2 L_2^2$$

$$\Rightarrow L_3^2 + 2 L_1 L_3 + (s^2 L_2^2 + L_1^2 - x^2 - y^2) = 0$$

$$\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \rightarrow \frac{-2L_1 \pm \sqrt{4(s_1^2 L_2^2 - x^2 - y^2)}}{2}$$

θ_1 : $x = c_1(L_1 + L_3) + s_1 s_2 L_2$

$\Rightarrow$ $a\cos\theta + b\sin\theta = c \iff \theta = \text{atan2}\left(\frac{b}{a}\right) \pm \text{atan2}\left(\frac{\sqrt{a^2+b^2+c^2}}{c}\right)$

$\Rightarrow$ $\theta_1 = \text{atan2}\left(\frac{s_2 L_2}{L_1+L_3}\right) \pm \text{atan2}\left(\frac{\sqrt{(L_1+L_3)^2+(s_2L_2)^2+x^2}}{x}\right)$

3.4 Jacobian

$$J = \begin{bmatrix} z_0 \times (O_3 - O_0) & z_1 \times (O_3 - O_1) & z_2 \\ z_0 & z_1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$z_0 = \begin{bmatrix}0\\0\\1\end{bmatrix} \quad z_1 = \begin{bmatrix}c_1\\s_1\\0\end{bmatrix} \quad z_2 = \begin{bmatrix}a\\s\\0\end{bmatrix}$$

$$O_0 = \begin{bmatrix}0\\0\\0\end{bmatrix} \quad O_1 = \begin{bmatrix}0\\0\\0\end{bmatrix}$$

$$O_3 = \begin{bmatrix} c_1L_3 + s_1s_2L_2 + L_1c_1 \\ s_1L_3 - c_1s_2L_2 + L_1s_1 \\ L_2c_2 \end{bmatrix} \begin{matrix} a \\ b \\ c \end{matrix}$$

$$c_1(s_1L_3 - c_1s_2L_2 + L_1s_1) - s_1(c_1L_3 + s_1s_2L_2 + L_1c_1)$$
$$= s_1c_1L_3 - c_1^2s_2L_2 + L_1s_1c_1 - s_1c_1L_3 - s_1^2s_2L_2 - L_1c_1s_1$$
$$= -c_1^2s_2L_2 - s_1^2s_2L_2 = -s_2L_2$$

$$\Rightarrow \quad z_0 \times (O_3 - O_0) = \begin{matrix}0&0&1\\a&b&c\end{matrix} \quad \begin{matrix}0&0&1\\a&b&c\end{matrix} = \begin{bmatrix}-b\\a\\0\end{bmatrix}$$

$$z_1 \times (O_3 - O_1) = \begin{matrix}c_1&s_1&0\\a&b&c\end{matrix} \quad \begin{matrix}c_1&s_1&0\\a&b&c\end{matrix} = \begin{bmatrix}s_1c\\-c_1c\\c_1b - s_1a\end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix}s_1c_2L_2\\-c_1c_2L_2\\-s_2L_2\end{bmatrix}$$

$$J = \begin{bmatrix} -s_1L_3 + c_1s_2L_2 - L_1s_1 & s_1c_2L_2 & c_1 \\ c_2L_3 + s_1s_2L_2 + L_1c_1 & -c_1c_2L_2 & s_1 \\ 0 & -s_2L_2 & 0 \\ 0 & c_1 & 0 \\ 0 & s_1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

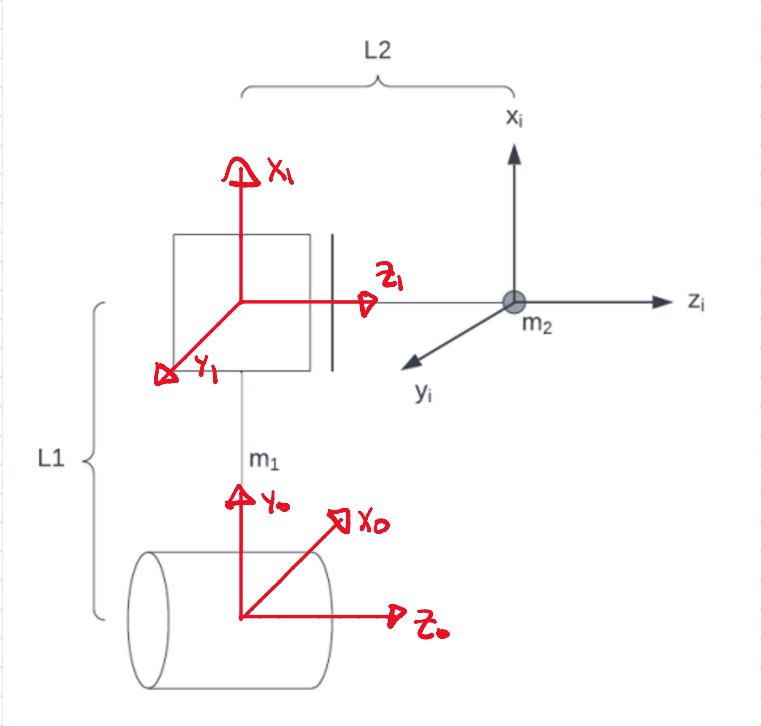
3.5 Singularities

En singularitet er en viss konfigurasjon hvor bevegelsen til endeeffektoren er begrenset, som medfører at roboten "mister" en eller flere frihetsgrader

For å regne ut robotens singularitet må vi se på når determinanten til Jv tilsvarer 0, altså: det(Jv) = 0

Singulariteter kan fortelle oss hvilke bevegelsesretninger eller ledd-konfigurasjoner som er uoppnåelige for manipulatoren, og et eksempel fra roboten vår som vi kan se er dersom theta2 = 180 grader. Da kan roboten ende opp i en singularitet dersom basisleddet blir plassert på bakken og rotasjonen av det andre leddet vil føre til at det prismatiske leddet treffer bakken ved rotasjon

4.1. Lagrangian

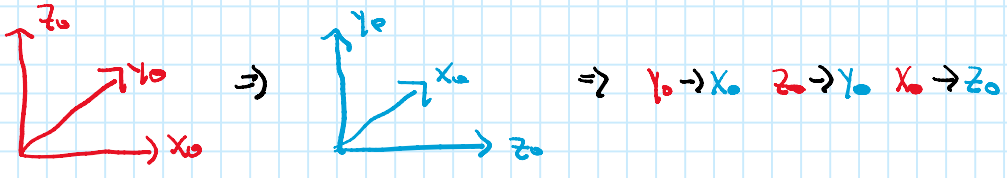


$$I = \begin{bmatrix} I_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz} \end{bmatrix}$$

$$\mathcal{J} = \begin{bmatrix} -s_1 L_3 + c_1 s_2 L_2 - L_1 s_1 & s_1 c_2 L_2 & c_1 \\ c_1 L_3 + s_1 s_2 L_2 + L_1 c_1 & -c_1 c_2 L_2 & s_1 \\ 0 & -s_2 L_2 & 0 \\ 0 & c_1 & 0 \\ 0 & s_1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$\theta_1 = 0$

$$\mathcal{J}' = \begin{bmatrix} s_1 c_2 L_2 & c_1 \\ -c_1 c_2 L_2 & s_1 \\ -s_2 L_2 & 0 \\ c_1 & 0 \\ s_1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -c_2 L_2 & 0 \\ -s_2 L_2 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} x \\ y \\ z \\ x \\ y \\ z \end{matrix}$$



$$\mathcal{J}' = \begin{bmatrix} -c_2 L_2 & 0 \\ -s_2 L_2 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} x \\ y \\ z \\ x \\ y \\ z \end{matrix}$$

Lagrangian : $L = K - P$

$$\Rightarrow \quad K = \frac{1}{2} m v^T v + \frac{1}{2} \omega^T I \omega$$

$$P = mgh$$

K1

$$J_{v_1} = \begin{bmatrix} -c_2 L_2 & 0 \\ -s_2 L_2 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad J_{\omega_1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\dot{q} = \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \end{bmatrix}$$

$$v_1 = J_{v_1}(q)\dot{q} = \begin{bmatrix} -c_2 L_2 & 0 \\ -s_2 L_2 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -c_2 L_2 \dot{q}_1 \\ -s_2 L_2 \dot{q}_1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\omega_1 = J_{\omega_1}(q)\dot{q} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{q}_1 \end{bmatrix}$$

$$\mathcal{I} = R_1 I R_1^T = \begin{bmatrix} -s_1 & -c_1 & 0 \\ c_1 & -s_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -s_1 & c_1 & 0 \\ -c_1 & -s_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} s_1 I_{xx} + c_1^2 I_{yy} & -c_1 s_1 I_{xx} + c_1 s_1 I_{yy} & 0 \\ -c_1 s_1 I_{xx} + c_1 s_1 I_{yy} & c_1^2 I_{xx} + s_1^2 I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz} \end{bmatrix}$$

$$K_1 = \frac{1}{2} m_1 \begin{bmatrix} -c_2 L_2 \dot{q}_1 & -s_2 L_2 \dot{q}_1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -c_2 L_2 \dot{q}_1 \\ s_2 L_2 \dot{q}_1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$+ \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dot{q}_1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_1^2 I_{xx} + c_1^2 I_{yy} & -c_1 s_1 I_{xx} + c_1 s_1 I_{yy} & 0 \\ -c_1 s_1 I_{xx} + c_1 s_1 I_{yy} & c_1^2 I_{xx} + s_1^2 I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{q}_1 \end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{2} m_1 \left(c_2^2 L_2^2 \dot{q}_1^2 + s_2^2 L_2^2 \dot{q}_1^2 \right) + \frac{1}{2} \dot{q}_1^2 I_{zz}$$

$$= \frac{1}{2} m_1 \left(L_2^2 \dot{q}_1^2 \right) + \frac{1}{2} \dot{q}_1^2 I_{zz}$$

$$= \frac{1}{2} \dot{q}_1^2 \left(L_2^2 m_1 + I_{zz} \right)$$

K2

$$J_{v_2} = \begin{bmatrix} -c_2 L_2 & 0 \\ -s_2 L_2 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad J_{\omega_2} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\dot{q} = \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \end{bmatrix}$$

$$v_2 = J_{v_2}(q)\dot{q} = \begin{bmatrix} -c_2 L_2 & 0 \\ -s_2 L_2 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -c_2 L_2 \dot{q}_1 \\ -s_2 L_2 \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \end{bmatrix}$$

$$\omega_2 = J_{\omega_2}(q)\dot{q} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{q}_1 \end{bmatrix}$$

$$\mathcal{I} = R_2 I R_2^T = 0 \quad \text{(ingen rotasjon)}$$

$$K_2 = \frac{1}{2} m_2 \begin{bmatrix} -c_2 L_2 \dot{q}_1 & -s_2 L_2 \dot{q}_1 & \dot{q}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_2 L_2 \dot{q}_1 \\ s_2 L_2 \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{2} m_2 \left(c_2^2 L_2^2 \dot{q}_1^2 + s_2^2 L_2^2 \dot{q}_1^2 + \dot{q}_2^2 \right)$$

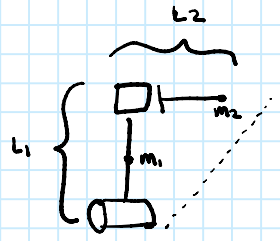
$$= \frac{1}{2} m_2 \left(L_2^2 \dot{q}_1^2 + \dot{q}_2^2 \right)$$

P

$P = mgh$

$P_1 = m_1 g h_1 \qquad h_1 = \frac{1}{2} L_1 c_1$

$P_2 = m_2 g h_2 \qquad h_2 = L_1 c_1$



L

$L = K - P$

$$= \frac{1}{2} \dot{q}_1^2 \left(L_2^2 m_1 + I_{zz} \right) + \frac{1}{2} m_2 \left(L_2^2 \dot{q}_1^2 + \dot{q}_2^2 \right) - \left(\frac{m_1 g L_1 c_1}{2} + m_2 g L_1 c_1 \right)$$

$$= \frac{1}{2} \dot{q}_1^2 L_2^2 m_1 + \frac{1}{2} \dot{q}_1^2 I_{zz} + \frac{1}{2} m_2 L_2^2 \dot{q}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{q}_2^2 - \frac{g L_1 c_1 (m_1 + 2m_2)}{2}$$

$$= \frac{1}{2} \dot{q}_1^2 \left(L_2^2 m_1 + I_{zz} + m_2 L_2^2 \right) + \frac{1}{2} m_2 \dot{q}_2^2 - \frac{g L_1 c_1 (m_1 + 2m_2)}{2}$$

4.2. Dynamic equations

$$D(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + g(q) = \tau$$

$$\tau_i = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i}$$

$$\Rightarrow \tau_1 = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_1} - \frac{\partial L}{\partial q_1}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_1} = \frac{\partial \left(\frac{1}{2} \dot{q}_1^2 L_2^2 m_1 + \frac{1}{2} \dot{q}_1^2 I_{zz} + \frac{1}{2} m_2 L_2^2 \dot{q}_1^2 \right)}{\partial \dot{q}_1}$$

$$= \dot{q}_1 L_2^2 m_1 + \dot{q}_1 I_{zz} + \dot{q}_1 m_2 L_2^2$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_1} = \frac{d}{dt} \left(\dot{q}_1 L_2^2 m_1 + \dot{q}_1 I_{zz} + \dot{q}_1 m_2 L_2^2 \right)$$

$$= \ddot{q}_1 L_2^2 m_1 + \ddot{q}_1 I_{zz} + \ddot{q}_1 m_2 L_2^2$$

$$\frac{\partial L}{\partial q_1} = \frac{\partial \left(\frac{-g L_1 c_1 (m_1 + 2m_2)}{2} \right)}{\partial q_1} = \frac{g L_1 s_1 (m_1 + 2m_2)}{2}$$

$$\tau_1 = \ddot{q}_1 L_2^2 m_1 + \ddot{q}_1 I_{zz} + \ddot{q}_1 m_2 L_2^2 - \frac{g L_1 s_1 (m_1 + 2m_2)}{2}$$

$$\Rightarrow \tau_2 = \frac{d}{dt}\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_2} - \frac{\partial L}{\partial q_2}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_2} = \frac{\partial\left(\frac{1}{2} m_2 \dot{q}_2^2\right)}{\partial \dot{q}_2} = m_2 \dot{q}_2$$

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_2} = \frac{d}{dt}(m_2 \dot{q}_2) = m_2 \ddot{q}_2$$

$$\frac{\partial L}{\partial q_2} = 0$$

$$\tau_2 = m_2 \ddot{q}_2$$

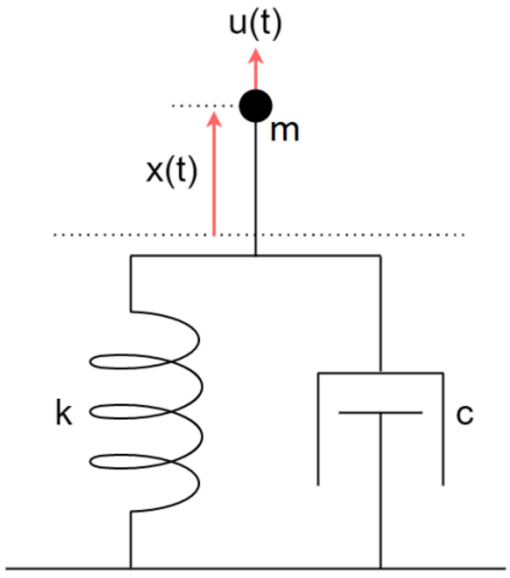
$$\Rightarrow \tau = \ddot{q}_1 L_2^2 m_1 + \ddot{q}_1 I_{zz} + \ddot{q}_1 m_2 L_2^2 - \frac{g L_1 s_1 (m_1 + 2m_2)}{2} + m_2 \ddot{q}_2$$

$$= \ddot{q}_1 (L_2^2 m_1 + I_{zz} + m_2 L_2^2) + m_2 \ddot{q}_2 - \frac{g L_1 s_1 (m_1 + 2m_2)}{2}$$

$$\Rightarrow D(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + g(q) = \tau$$

$$\begin{bmatrix} L_2^2 m_1 + I_{zz} + m_2 L_2^2 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -g L_1 s_1 (m_1 + 2m_2)/2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

5.1. Mass-spring-damper system

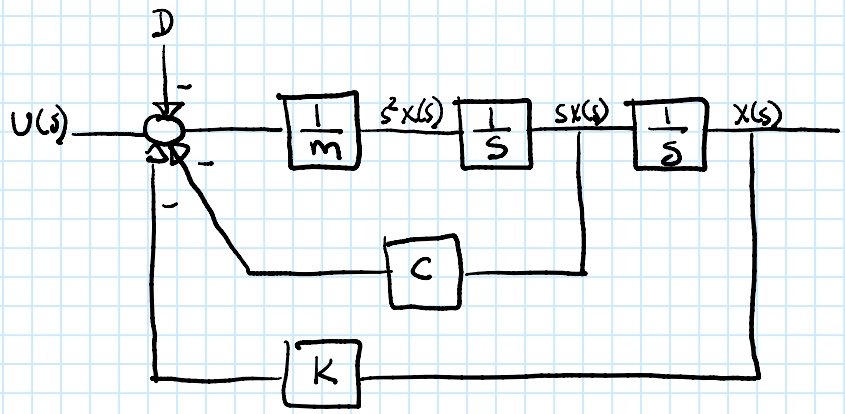


Figuren over viser et dempet masse-fjær-system, der m er objektets masse, k er fjærkonstanten, c er dempings koeffisienten, D er eksterne krefter klassifisert som støy, x(t) er massens forlytning ved tid t, and u(t) er kontrollkraften ved tid t.
Systemet kan beskrives ved følgende andre-ordens differensiallikning:

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) + D = u(t)$$

$$u(t) = m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) + D$$

$$u(s) = ms^2 X(s) + csX(s) + kX(s) + D$$



5.2. PI-controller

$$U(s) = ms^2X(s) + csX(s) + kX(s) + D$$

$$U(s) = kp(X_d(s) - X(s)) + \frac{1}{s}ki\,(X_d(s) - X(s))$$

$$ms^2X(s) + csX(s) + kX(s) + D = kpX_d(s) - kpX(s) + \frac{1}{s}kiX_d(s) - \frac{1}{s}kiX(s)$$

$$ms^2X(s) + csX(s) + kX(s) + kpX(s) + \frac{1}{s}kiX(s) = kpX_d(s) + \frac{1}{s}kiX_d(s) - D$$

$$X(s)\left(ms^2 + cs + k + kp + \frac{ki}{s}\right) = kpX_d(s) + \frac{1}{s}kiX_d(s) - D$$

$$X(s) = \frac{kpX_d(s) + \frac{1}{s}kiX_d(s) - D}{ms^2 + cs + k + kp + ki/s}$$

5.3. Steady state error

$$X_d(s) = \frac{w}{s} \qquad D = \frac{d}{s} \qquad \lim_{x\to\infty} f(t) = \lim_{s\to 0} s\cdot X(s)$$

$$\Rightarrow \lim_{s\to 0} s\left(\frac{kpX_d(s) + \frac{1}{s}kiX_d(s) - D}{ms^2 + cs + k + kp + ki/s}\right) = \lim_{s\to 0} \frac{skpX_d(s) + kiX_d(s) - Ds}{ms^2 + cs + k + kp + \frac{ki}{s}}$$

$$\lim_{s\to 0} \frac{skp\cdot\frac{w}{s} + ki\frac{w}{s} - d\cdot s}{ms^2 + cs + k + kp + \frac{ki}{s}}$$

$$\lim_{s\to 0} \frac{kpw + ki\frac{w}{s} - d}{ms^3 + cs^2 + ks + kps + ki}$$

$$\lim_{s\to 0} \frac{kpws + kiw - ds}{ms^3 + cs^2 + ks + kps + ki} = \frac{kiw}{ki} = w$$

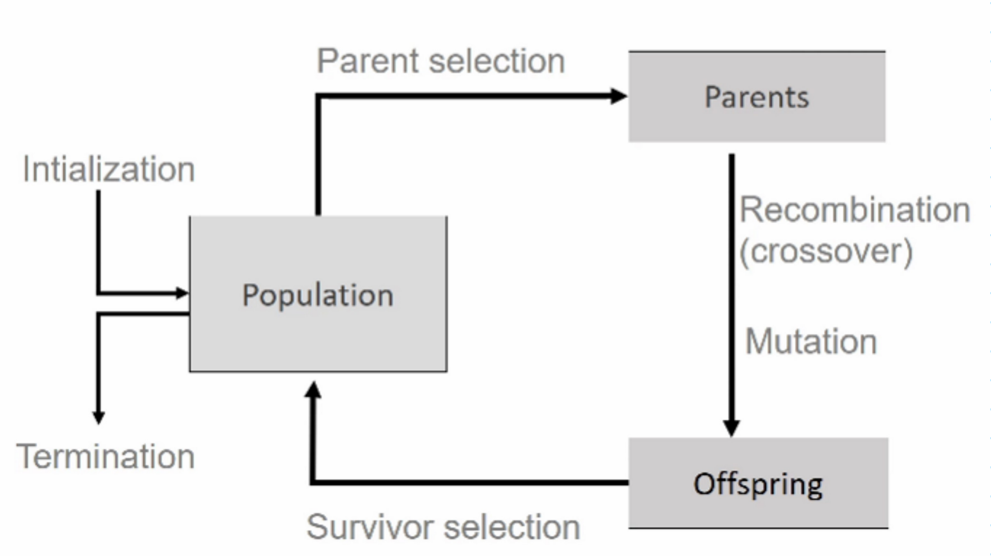
sse: $X_d(s) - X$

$$\lim_{s\to 0} sX_d(s) - sX(s) = s\cdot\frac{w}{s} - w = \underline{0}$$

Har altså en SSE = 0;

Dersom vi fjerner integralleddet vil dette føre til at vi får en SSE != 0 i systemet, ettersom integralleddet bidrar å eliminere det

6.1 Evolutionary algorithm



En EA fungerer slik at den starter med en tilfeldig valgt individer (som blir vår populasjon), og tester dem. Disse testes basert på ulike kriterier som velges, og ut ifra test vil vi velge hvilke individer som blir foreldre. Her har gode/passende individer størst sjanse for å reprodusere seg (ettersom vi ønsker å forbedre populasjonen). Videre gjøres noe mutasjon/variasjon på populasjonen; her kan man velge de beste foreldrene og mutere og slå sammen, eller la de være slik de er, men egenskapene arves på en eller annen måte videre til barnene. Tilslutt velger vi hvilke av barna som skal overleve, og bli med i neste generasjon av individer. Dette fortsetter helt til ønsket termineringspunkt

Evolusjonære mekanismer (sentrale begreper):

- Utvalg/seleksjon
  - Gode/passende individer har større sjanse for å reprodusere seg
- Arv
  - Egenskaper fra foreldre overføres til avkom
- Variasjon
  - Endringer i genet justerer oppførselen til avkommet, noen ganger for det bedre

6.2 Reality gap

Reality gap (virkelighetsgapet) handler om hvordan løsninger som fungerer bra i simulasjon, ikke nødvendigvis fungerer like bra i virkeligheten; altså gapet/vanskelighetsgraden av å overføre simulert opplevelse til den virkelige verden

Måter å håndtere det:

1. Øk simuleringstrohet
   a. Manuelt: gjør mer presise målinger, øk løser nøyaktighet
   b. Automatisk: mål avvik i simulering-virkelighet, autotune simulator for mindre avvik
2. Ikke tillat løsninger som bruker dårlig simulert oppførsel
   a. Manuelt: for eksempel oppmuntre langsomme, statiske bevegelser, legg til støy
   b. Automatisk: unngå løsningstyper som oppføres dårlig
3. Nettbasert læring etter utplassering på ekte robot
   a. Kan bruke mer evolusjon, forsterkende læring eller annen metode