

# UNIVERSITETET I OSLO

## Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

**Eksamen i:** INF3480 – Introduksjon til robotikk

**Eksamensdag:** 30. mai 2011

**Tid for eksamen:** 09.00 (4 timer)

**Oppgavesettet er på 4 side(r)**

**Vedlegg: ingen**

**Tillatte hjelpemidler:**

- Spong, Hutchinson og Vidyasagar: Robot Modeling and Control, 2005.
- Matematisk Formelsamling (alle utgaver) av Karl Rottman
- Godkjent kalkulator

*Kontroller at oppgavesettet er komplett  
før du begynner å besvare spørsmålene.*

Oppgave 1	20 %
Oppgave 2	50 %
Oppgave 3	30 %

## Oppgave 1 (20 %)

a) (5 %) Hvilken av disse robotene har det største arbeidsrommet (volum). Beskriv kort hvorfor.

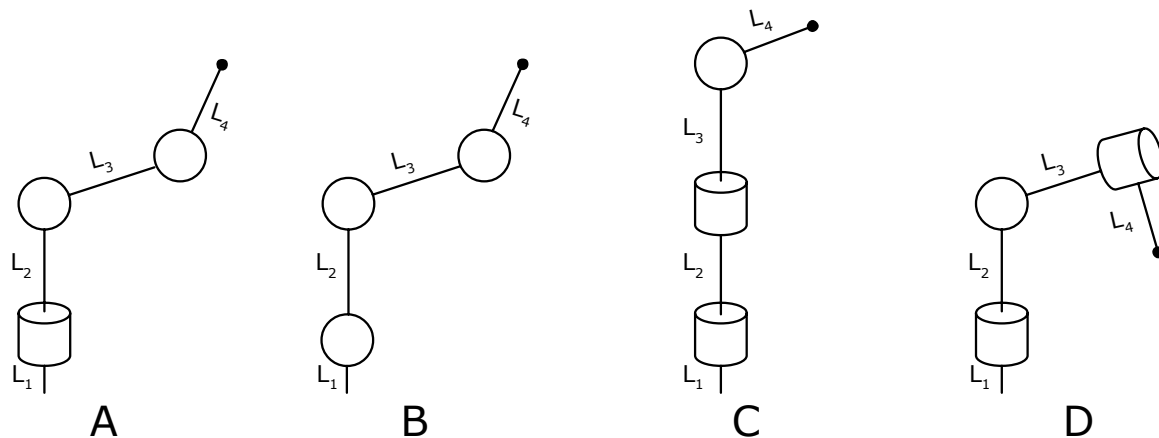


Figure 1: Hvilken av robotene har det største arbeidsrommet?

- b) (5 %) Forklar forskjellen mellom Proprioceptive og Exteroceptive sensorer. Nevn noen eksempler på hver av typene og hva informasjonen kan benyttes til.
- c) (5 %) Nevn et eksempel på et problem i robotikk som kan løses med maskinlæring. Forklar kort hvordan maskinlæring kan implementeres for å løse dette problemet.
- d) (5 %) Hva vil det si at et system er kritisk dempet? Tegn et eksempel på en typisk respons for et kritisk dempet system.

## Oppgave 2 (50 %)

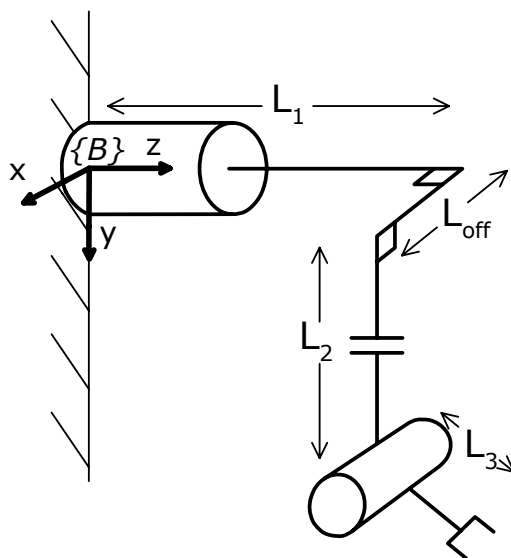


Figure 2: Roboten til oppgave 2 er festet til en vegg. Et rotasjonsledd innerst ved veggten roterer om en akse vinkelrett på veggten, en offset med lengde  $L_{\text{off}}$  forbinder  $L_1$  og  $L_2$  i 90 graders vinkler som vist i figuren. Langs  $L_2$  finner du et translasjonsledd, og  $L_2$  er forbundet med  $L_3$  med et rotasjonsledd. Rotasjonsaksen til ledd 3 er vinkelrett på rotasjonsaksen til ledd 1. Verktøyet sitter i enden av  $L_3$ .

- (10 %) Bruk DH-konvensjonen og tegn opp koordinatsystemene for roboten fra Figur 2. Sett også opp en tabell som viser DH-parameterne.
- (5 %) Utled foroverkinematikken til roboten for verktøykoordinatsystemet  $\{t\}$  (ytterst på roboten) i forhold til basekoordinatsystemet  $\{B\}$ .
- (10 %) Utled inverskinematikken til roboten,  $q = \text{invkin}(p^B)$ , hvor  $q$  er leddvariablene og  $p^B$  er ønsket punkt i forhold til basekoordinatsystemet.
- (5 %) Vi ønsker å la roboten plukke opp en gjenstand i et punkt  $p^T$  (angitt i et oppgavekoordinatsystem  $\{T\}$ ). Sett opp det eller de symbolske uttrykkene som skal til for å gjøre dette (ikke regn ut).

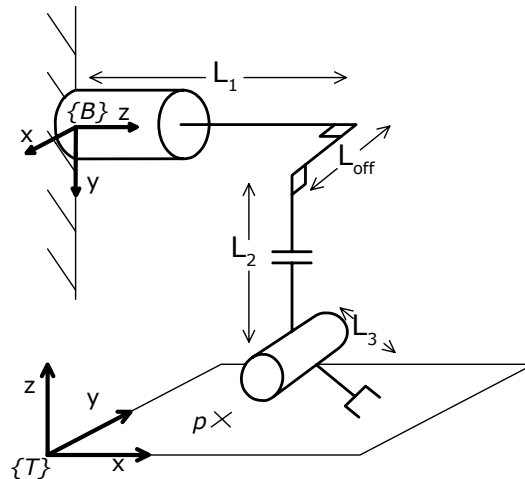


Figure 3: Robotens plassering i forhold til koordinatsystemet  $\{T\}$

I de påfølgende oppgavene reduserer vi robotens ledd 3 til en masse  $m$  med massesentrum i sentrum av ledd 3 (se Figur 4).

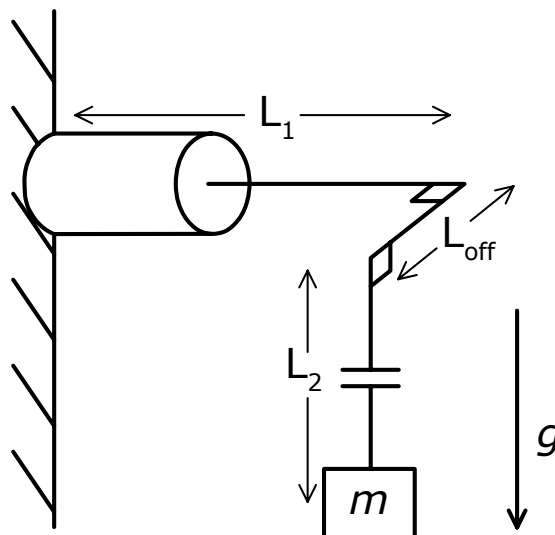


Figure 4: Robotens ledd 3 er redusert til en masse  $m$ . Tyngdekraften  $g$  virker nedover som vist i figuren.

e) (10 %) Utled Jacobian for roboten i Figur 4

f) (10 %) Utled de dynamiske likningene for roboten ved hjelp av Euler-Lagrange. Husk at farten til robotgriperen er gitt ved

$$\mathbf{v} = \mathbf{J}_v(\mathbf{q})\dot{\mathbf{q}} \quad (1)$$

og at Euler-Lagrange likningen er

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{q}_k} - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_k} = \tau_k \quad k = 1, \dots, n \quad (2)$$

### Oppgave 3 (30 %)

I denne oppgaven skal vi se på et masse-fjær-demper system som er tegnet i figur 5. Systemet har følgende differensiallikning

$$\ddot{x} + \frac{d}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = u + \frac{g}{m} \quad (3)$$

hvor  $m$  er massen til objektet,  $k$  er fjærkonstanten,  $d$  er dempningskonstanten,  $g$  er gravitasjonen og  $u$  er pådraget (en kraft vi kan sette på objektet).

a) (5 %) Transformer systemet (3) til Laplace-omenet og lag et blokkdiagram over systemet

b) (5 %) Finn  $X(s)$ , hvor  $X(s)$  er den Laplace-transformerte av  $x(t)$

c) (5 %) Sett opp likningen for en PD-regulator som en funksjon av  $X(s)$  og  $X_d(s)$  i Laplace-omenet, hvor  $X_d(s)$  er ønsket posisjon. Tegn opp blokkdiagrammet for regulatoren.

d) (10 %) Hva er posisjonsavviket når tiden går mot uendelig ( $t \rightarrow \infty$ ), ønsket posisjon er konstant  $C$  ( $X_d(s) = C\frac{1}{s}$ ) og gravitasjonen er konstant ( $g = G\frac{1}{s}$ )? Hvilke fysiske faktorer påvirker avviket (bruk uttrykket du utledet til å forklare dette)? Bruk sluttverditeoremet

$$\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s f(s) \quad (4)$$

e) (5 %) For hvilke  $K_p$  og  $K_d$  er systemet kritisk dempet?

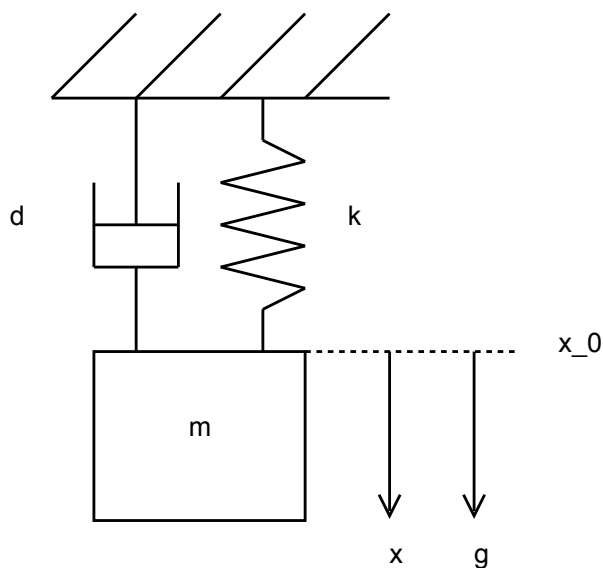


Figure 5: mass spring damper