## Regelungstechnische Methoden in der Robotik

## Prüfungsaufgaben

## 30. Juli 2009

**Aufgabe 1** Das Gelenk mit antagonistischen Antrieben aus Abb. 1 wird von zwei positionsgeregelten linearen Motoren mit den Positionen  $\theta_1$  und  $\theta_2$  angetrieben. Die Antriebsstränge haben die Steifigkeiten  $k_1$  und  $k_2$ . Der Winkel des Abtriebs ist  $q = -x_1/r = x_2/r$ , wobei r der Gelenkradius ist.

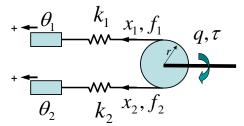


Abb. 1 Robotergelenk mit antagonistischen Antrieben

- a)Bestimmen Sie die Jakobimatrix P definiert durch  $\dot{x} = P\dot{q}, x = (x_1, x_2)^T$ . Welche Beziehung besteht zwischen dem Kraftvektor  $f = (f_1, f_2)^T$  und dem Gelenkmoment  $\tau$ ?
- b) Welche Dimension haben die Taskkoordinaten, bzw. die Gelenkkoordinaten? Leiten Sie die Steifigkeit in Task-Koordinaten her, unter der Annahme, dass die Motorposition konstant gehalten wird ( $\theta_1 = \theta_2 = 0$ ).
- c) Welche Bedingung muss ein Kraftvektor f erfüllen, damit er im Nullraum von  $P^T$  liegt? Welche physikalische Bedeutung hat er?

Aufgabe 2 a) Warum ist ein PD-Regler im allgemeinen robuster als ein PD+ Regler? Warum ist die erwartete Reglergüte für den PD Regler geringer? b) Leiten Sie die Ableitung der Lyapunov-Funktion für den PD+ Regler her.

 $\bf Aufgabe~3$ Um die Parameter des Reibungsmodells für ein Robotergelenk zu identifizieren, werden der Strom I, die Motorgeschwindigkeit  $\dot q$  und das Lastmoment  $\tau$ aufgezeichnet. Das angenommene Modell ist

$$I = k_m(\tau_C \operatorname{sig}(\dot{q}) + d\dot{q} + \tau).$$

Dabei sind die unbekannten Modellparameter der Koeffizient der Coulomb-Reibung  $\tau_C$ , die viskose Dämpfung d und die Drehmomentkonstante des Motors  $k_m$ .

- a) Schreiben Sie die Regressorgleichung zur Identifikation der Parameter auf. Was ist ein geeigneter Parametervektor?
- b) Wie viele Messungen sind mindestens notwendig, um alle Parameter zu identifizieren? Wie müssen diese gewählt werden?

 $\bf Aufgabe~4~a)$  Welcher der beiden folgenden Griffe ist manipulierbar? Welcher ist kraftschlüssig?

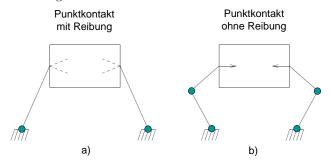


Abb. 2 2D Griffe

b) Die Mindestzahl an Finger (Punktkontakt mit Reibung wird angenommen), die notwendig ist, um ein beliebiges Objekt in der Ebene kraftschlüssig zu greifen ist 3. Um diese Untergrenze nachzuweisen, konstruieren Sie ein 2D Objekt, welches nicht mit zwei Fingern bei einem Reibkoeffizient  $\mu < \tan(30^\circ)$  gegriffen werden kann. Weisen Sie explizit nach, dass das Objekt nicht gegriffen werden kann. (Bemerkung: die betrachtete Kontaktart ist nur an den Kanten von Objekten, nicht aber an den Ecken wohl definiert und zugelassen.)