# Lastenheft zum Laborprojekt C - Zwei-Gelenk-Roboter:

Zur Modellbildung und Simulation eines Zwei-Gelenk-Roboters wird der Roboter als Doppelpendel betrachtet.



𝜑

1



𝑔



𝑙

1



𝑙

2



𝑚

1



𝑚

2



𝜑

2



𝑢

1



𝑢

2

Hinweis:

* Aufgrund des hohen Rechenaufwands wird in diesem Laborprojekt keine Linearisierung oder Eigenwertberechnung vorgenommen.
* Verwenden Sie den Simulink-Solver ode23tb in der Standardkonfiguration und ändern den Parameter Relative Tolerance von auto auf 10−6. Dieser Solver ist für die steife, chaotische Dynamik des Systems geeignet. Andere Simulink-Solver lösen die Modellgleichungen nicht korrekt.

### Modellannahmen

* Die Roboterarme sind masselos.
* Die Massen konzentrieren sich in den Antriebsmotoren und am Greifer.
* Die Robotergelenke sind reibungslos.
* Der Roboter wird angetrieben durch zwei Elektromotoren jeweils in der Schulter und im Ellenbogen, die die Drehmomente 𝑢1 und 𝑢2 erzeugen.

### Dynamisches Modell

Die Bewegungsgleichungen sind gegeben als:

Leiten Sie diese Bewegungsgleichungen mit Hilfe der **Lagrange-Gleichungen 2. Art** her (siehe Vorlesung Modellbildung). Vgl. Abschnitt 5.3.8 in (Woernle, 2011) für eine Herleitung der Bewegungsgleichungen eines Doppelpendels ohne Antrieb. Bestimmen Sie die stationäre Gleichungen der Ruhelage für 𝑢̅1 und 𝑢̅2.

Hinweis zur Herleitung des Zustandsraummodells:

• Es ist eine analytische, symbolische Invertierung der Massenmatrix 𝑴(𝝋,𝝋̇ ) notwendig. **Systemvariablen im Zustandsraummodell** Das System hat folgende Eingangssignale:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Eingangssignal** | **Symbol** | **Simulink** | **Einheit** |
| Drehmoment durch Schulter-Antrieb | 𝑢1 | u1 | 𝑁𝑚 |
| Drehmoment durch Ellbogen-Antrieb | 𝑢2 | u2 | 𝑁𝑚 |

Verwenden Sie folgenden Zustandsvektor in der Zustandsraumdarstellung des Modells:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Zustandsvariable** | **Symbol** | **Simulink** | **Einheit** | **Anfangswert** |
| Winkel des Oberarms | 𝑥1 = 𝜑1 | x(1) | 𝑟𝑎𝑑 | 𝜋 |
| Winkel des Unterarms | 𝑥2 = 𝜑2 | x(2) | 𝑟𝑎𝑑 | 𝜋    2 |
| Winkelgeschwindigkeit des Oberarms | 𝑥3 = 𝜑̇1 | x(3) | 𝑟𝑎𝑑    𝑠 | 𝑟𝑎𝑑  0  𝑠 |
| Winkelgeschwindigkeit des Unterarms | 𝑥4 = 𝜑̇ 2 | x(4) | 𝑟𝑎𝑑    𝑠 | 𝑟𝑎𝑑  0  𝑠 |

Der Ausgangsvektor 𝒚 entspricht dem Zustandsvektor 𝒙.

### Aufgabe zur Vorabgabe

* Für eine erfolgreiche Modellierung in Simulink muss die Massenmatrix invertierbar sein. Zeigen Sie, dass die Massenmatrix unabhängig von den Zustandsgrößen oder der Parameter Festlegung invertierbar ist.
* Bestimmen Sie allgemein die stationären Gleichungen des Systems.
* Zur späteren Regelung und Bahnplanung des Roboterarms wird folgende stationäre Gleichung 𝜑̅1 = 𝑓𝑠(𝜑̅2) mit der Vorgabe 𝑢̅2 = 𝛽𝑢̅1 benötigt. Bestimmen Sie diese aus den stationären Gleichungen.

### Modellierung in Simulink

Folgende Parameter werden für das Modell benötigt:

%% Robot

P\_m1 = 10; % elbow motor mass [ kg ]

P\_m2 = 10; % robot load mass [ kg ]

P\_l1 = 0.8; % upper arm length [ m ];

P\_l2 = 0.7; % lower arm length [ m ];

P\_g = 9.81;% gravity [ m/s^2 ]

### Computervisualisierung (Animation)

Der Roboter soll während der laufenden Simulink-Simulation grafisch in einem MATLAB-Figure animiert werden. Die Animation soll folgende Objekte grafisch darstellen:

* Oberarm des Roboters
* Unterarm der Roboters

Verwenden Sie den Simulink-Block Real-Time-Pacer zur Simulation und Animation in Realzeit, siehe Kap. 2 Allgemeine Aufgabenstellung.