

Regelung elastischer mechanischer Systeme am Beispiel eines flexiblen inversen Pendels

Die Stabilisierung und Beeinflussung des dynamischen Verhaltens von Systemen ist Ziel der Entwicklung regelungstechnischer Methoden. Die Stabilisierung des **starr**en Pendels (praktisch: das Balancieren eines aufrecht stehenden starren Stabes) ist ein seit Jahren gelöstes, anschauliches Beispiel für die Anwendung regelungstechnischer Methoden.

Das hier erstmals gezeigte Beispiel der Regelung eines **flexiblen inversen** Pendels unterscheidet sich hiervon erheblich und stellt ganz neue Herausforderungen an die Regelungstechnik (vgl. Abbildung 1). Insbesondere die sehr elastische Blechstruktur sowie die Verwendung von nur einer Dehnungsmessung aus dem elastischen mechanischen System erschwert die Stabilisierung sehr. Der Versuchsaufbau wurde in der Professur in Form einer Masterarbeit /1/ realisiert.



Abbildung 1: Flexibles inverses Pendel

Die methodische Lösung

Die Bewegungen des gesamten Systems lassen sich mit Hilfe mathematischer Gleichungen abbilden. Ausgehend von der Tatsache, dass die Gleichungen das Systemverhalten nur annähernd beschreiben, wird angenommen, dass zusätzlich eine fiktive Kraft auf die Spitze des Pendels wirkt, welches den Unterschied im Verhalten zwischen dem wirklichen System und angenommenen Modell bewirkt.

Mit Hilfe eines sogenannten Proportional-Integralbeobachters /2/ werden aus den Messungen (Weg des Wagens, Winkel des Bleches, Dehnungsmessung an einem Punkt des Bleches) alle weiteren Größen einschließlich die des Weges der Balkenspitze mit Hilfe eines Rechenprogramms online geschätzt. Zusätzlich wird eine fiktive Kraft geschätzt, die den Balken aus der Mittellage drängt. Mit Hilfe einer Regelung wird dann durch die Struktur des Bleches hindurch diese fiktive Kraft kompensiert.

Moderne Methoden der Regelungstechnik werden im vorliegenden Beispiel in zweierlei Hinsicht benutzt:

- a) Schätzung von nichtmessbaren (fiktiven) Effekten durch die elastische Balkenstruktur hindurch
- b) Kompensation der geschätzten Effekte durch die elastische Struktur hindurch sowie Regelung des Gesamtsystems

Was ist neu?

Das gezeigte einfache Beispiel demonstriert die Möglichkeiten moderner Methoden der Regelungstechnik, hier insbesondere die Robustheit des in /2/ entwickelten Proportional-Integralbeobachters. Diese Technik ermöglicht die gleichzeitige Schätzung von inneren Größen des Systems als auch von unbekanntem von außen auf ein System einwirkenden Größen. Hierbei kann auch das System nur ungenau bekannt sein. Mit Hilfe einer klassischen Störgrößenkompensation lassen sich dann diese nichtmessbaren unbekanntem, aber geschätzten Effekte kompensieren.

Neu ist:

- a) die experimentelle Realisierung des Beispiels
- b) die experimentelle Realisierung der robusten beobachtergestützten Regelung nichtmessbarer Größen bei unbekanntem Eingängen und nicht genau bekanntem Modell /2/

Wozu lässt sich diese Technik praktisch verwenden?

Elastische mechanische Systeme sind maschinenbauliche Systeme, in denen der Einfluss von elastischen, das heißt nachgiebigen Bauteilen und Komponenten zum Beispiel hinsichtlich der Funktion nicht vernachlässigt werden kann. Dies kann sowohl konstruktive Gründe (z. B. bei Weltraumstrukturen) haben, als auch auf neue, äußere Produkthanforderungen (z. B. durch Steigerung der Energieeffizienz durch Reduktion der zu beschleunigenden Massen) zurückzuführen sein. Als Beispiele derartiger Systeme seien elastische Roboter, Antennenauslegerarme für Weltraumanwendungen, das gesamte Umfeld des Rad-Schiene Kontaktes samt Gleis und Bettung oder aber auch Turbomaschinen erwähnt.

In der Professur wurde und wird diese Technik u. a. für folgende Anwendungszwecke angewandt:

- Schadendiagnose an Turbomaschinen (Risserkennung)
- Regelung elastischer Roboter („Space Shuttle“-Auslegerarm)
- Kontaktkraftschätzung an elastischen Strukturen
- Schätzung der Kontaktkräfte im Rad-Schiene Kontakt bei Hochleistungstriebfahrzeugen
- Antriebsregelung für Hochleistungstriebfahrzeuge

Die beobachtergestützte Regelung lässt sich in vielen Bereichen der Mechatronik und des Maschinenbaus verwenden.

Literatur:

- /1/ Kanth, Daniel: Experimentelle Validierung beobachtergestützter Methoden zur modellbasierten Diagnose und Regelung von mechanischen Systemen. Masterarbeit, Universität Duisburg-Essen, Abt. Maschinenbau, in Arbeit.
- /2/ Söffker, Dirk: Zur Modellbildung und Regelung längenvariabler, elastischer Roboterarme. Dissertation, Bergische Universität Wuppertal, 1995.