

ANTRIEBSKONZEPT, REGELUNG UND INTERNET-ANBINDUNG EINES KUGEL-AUF-KUGEL- BALANCERS

Einleitung. Dieser Beitrag bietet neue Loesungsansaeetze fuer zwei industrielle Anwendungsfelder, naemlich ein Antriebskonzept fuer zukuenftige mobile (Service-) Roboter sowie ein Konzept fuer die Fernbeobachtung, Fernwartung, Ferndiagnose und Fernsteuerung solcher Systeme ueber das Internet. Wir stellen eine Antriebsanwendung vor, in der beide Aspekte integriert worden sind. Es handelt sich um ein experimentelles System, das eine Kugel auf einer anderen Kugel balanciert, indem die untere Kugel in geeigneter Weise in 2 Dimensionen bewegt wird. Zur Loesung dieser Aufgabe sind mehrere Teilsysteme erforderlich. Ein Antriebssystem muss in der Lage sein, die untere Kugel dynamisch so zu bewegen, dass am Zenit der Kugel ein beliebig ausrichtbarer 2-dimensionaler tangentialer Bewegungsvektor entsteht. Die Ist-Position der oberen Kugel ist mit beruehrungslosen Sensoren in 2 Richtungen zu erfassen und Regelkreisen zuzufuehren. Die Regelstrecken, bestehend aus Servoantrieben, Bewegungsuebertragungselementen, unterer und oberer Kugel, muessen modelliert werden. Geeignete Regler sind zu entwerfen, zu implementieren und zu parametrieren. Zur Ueberwachung, Ferndiagnose und Fernsteuerung mit modernsten Mitteln ist das System an das Internet angebunden. Auf die industriellen Anwendungsaspekte wird am Ende des Beitrags noch einmal gesondert eingegangen.

Antriebskonzept. Um eine Kugel 2-dimensional anzutreiben, so dass am Zenit beliebige tangentielle Bewegungsvektoren erreicht werden, sind unterschiedliche Antriebskonzepte denkbar, wie zum Beispiel das kardanische Prinzip. Als Ergebnis unserer Untersuchungen wurde ein Antriebskonzept entwickelt, das nach dem Prinzip einer invertierten Computermaus arbeitet und sich als vorteilhaft darstellt (Bild1). Die anzutreibende Kugel wird (im vorliegenden Anwendungsfall) stationaer mittels zweier Kugelrollenlager punktfoermig gelagert. Am Aequator der Kugel sind im Winkel von 90 Grad, d.h. in der x-z-Ebene bzw. in der y-z-Ebene liegend, zwei Reibantriebsrollen mit angekoppelten hochdynamischen Servoantrieben angeordnet. Durch Ueberlagerung der hierdurch entstehenden Teilbewegungen lassen sich am Zenit beliebige tangentielle Bewegungsvektoren erzeugen. Durch Verzicht auf die stationaere Lagerung bekommt man zusaetzlich die Moeglichkeit, frei fahrende Kugel-Antriebssysteme zu realisieren.

Regelungstechnische Gesichtspunkte. Die Aufgabe der Regelung besteht darin, die obere Kugel auf der unteren auszubalancieren und den Auslenkwinkel der Kugel moeglichst bei 0° zu halten. Ueber 2 in der x-y-Ebene angebrachte Distanz-Sensoren kann die Position der oberen Kugel erfasst werden. Die Sensordaten werden in einem

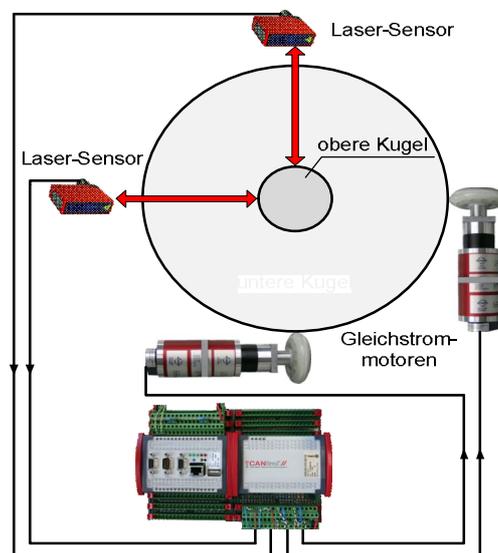
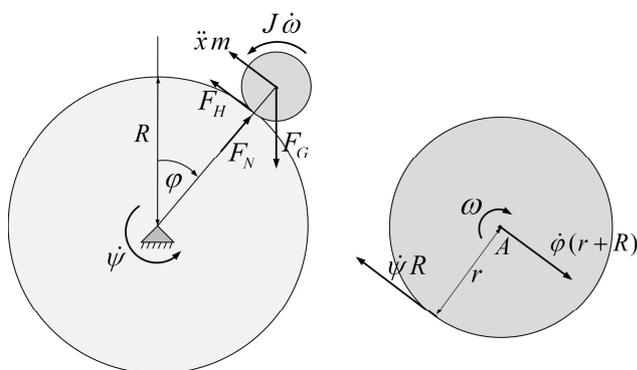


Bild 1: Antriebskonzept nach dem Prinzip der invertierten Computermaus



$$m g \sin \varphi - \left(m(R+r) + J \frac{R+r}{r^2} \right) \ddot{\varphi} - J \frac{R}{r^2} \ddot{\psi} = 0$$

Bild 2: Physik des Systems „Kugel auf Kugel“

Programmable Logic Controller ausgewertet und ueber Regelalgorithmen Stellgroessen fuer die Motoren berechnet. Um die Regelungsparameter auslegen zu koennen, wurde ein mathematisches Modell des Balancers entworfen und in MATLAB/Simulink® simuliert. Dazu wurde das 3D-Modell in zwei 2D-Modelle aufgeteilt. Die Uebertragungsfunktion der Antriebseinheit wurde mit Hilfe einer Systemidentifikation nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate ermittelt. Die Differentialgleichung, welche das Verhalten der zwei aufeinander liegenden Kugeln beschreibt, kann mit Hilfe des Prinzips von D'Alembert aufgestellt werden. Dazu muss das System entsprechend Bild 2 freigemacht werden. Durch Aufstellen der Kraefte- und Momentengleichgewichte erhaelt man eine nichtlineare Differentialgleichung 2. Ordnung. Anhand dieser Gleichung kann ein Modell erstellt und die Regelung entworfen werden.

Der Regelungsentwurf fuehrt zu dem Ergebnis, dass das System mit Hilfe von zwei PI-Reglern stabilisiert werden kann. Kurzfristige Stoergroessen sind bis zu einem Auslenkwinkel von $\varphi = \pm 6^\circ$ moeglich. Ein Regelkreis ist in Bild 3 dargestellt, das Balancer-System besteht aus zwei dieser Regelkreise.

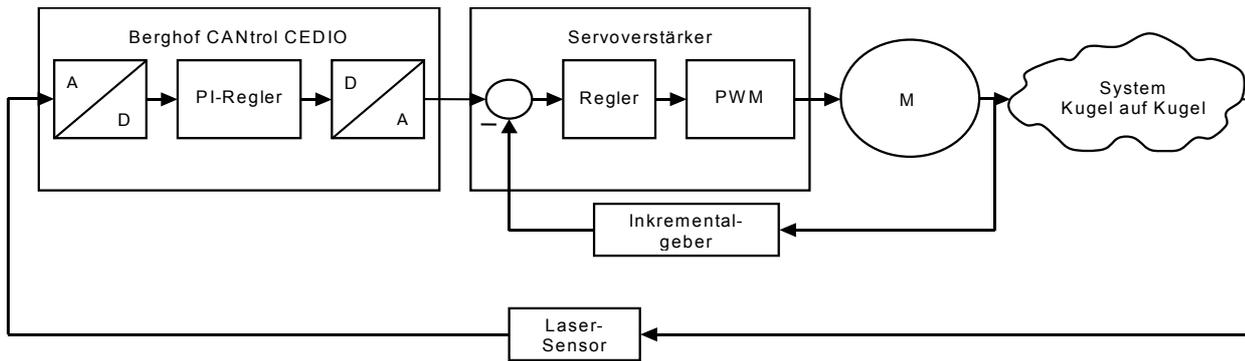


Bild3: Regelkreis einer Balancer-Koordinate

Fernbeobachtung und Fernbeeinflussung des Systems ueber das Internet. Fuer die Realisierung des Fernzugriffs ueber das Internet ist ein Embedded Web-Server im Controller integriert, ueber den Zugriff auf die Systemparameter besteht. Als Betriebssystem ist Linux RT im Einsatz. Die Taskverwaltung erlaubt die Ausfuehrung der Regelsoftware (Zykluszeit 5 ms) als auch des Web-Servers auf demselben Prozessor.

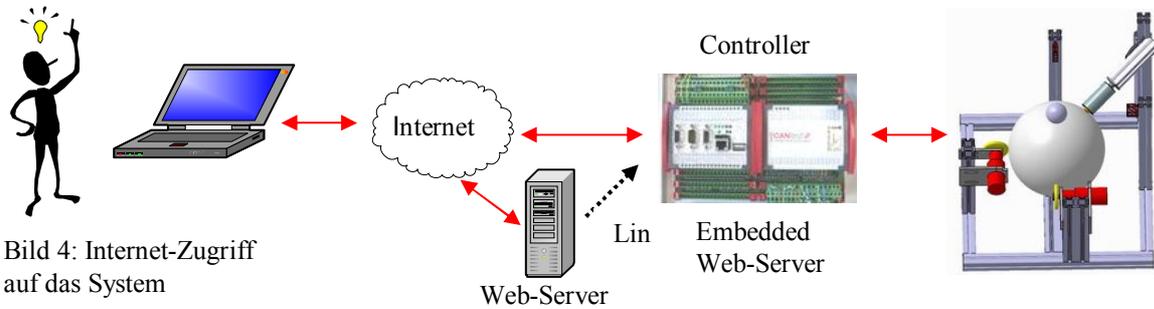


Bild 4: Internet-Zugriff auf das System

In Bild 4 ist das Funktionsprinzip des Zugriffs ueber das Internet dargestellt. Dieses bietet jedem Internet-User die Moeglichkeit, weltweit auf das System zuzugreifen. Ueber die Internetadresse <http://vvl.reutlingen-university.de> kann die Webapplikation geoeffnet werden (Menuepunkt „Demonstrationen“). Ueber die Bedienoberflaeche der Webvisualisierung kann man den Regelkreisen Stoergroessen vorgeben. Dadurch wird das System in Rotation versetzt, ohne dabei die Stabilitaet des Systems zu gefaehrden. Die obere Kugel rotiert mit, faellt jedoch nicht herunter. Zudem ist es auf einer weiteren Darstellungsebene moeglich, die Regelparameter geringfuegig zu veraendern, wodurch die hohe Regelgute aufgezeigt werden kann. Um einen bestmoeglichen Einblick in das System zu bekommen, kann die Applikation zusaetzlich ueber eine Web-Kamera beobachtet werden.

Industrieller Anwendungsbezug. Das realisierte experimentelle Balancer-System enthaelt eine Reihe von Teilsystemen, die ein hohes industrielles Anwendungspotenzial versprechen. Bei mobilen Robotern jeglicher Art (Serviceroboter und andere) besteht grundsaeztlich der Wunsch, dass aus jeder Lage eine beliebige Bewegung in 2 kartesischen Koordinaten ausgefuehrt werden kann. Durch ein einziges Kugelantriebssystem nach dem entwickelten Prinzip laesst sich dies bereits realisieren. Selbst das Einstellen der Orientierung, einschliesslich des Drehens auf der Stelle ist mit Hilfe eines zweiten Antriebssystems moeglich. Die Techniken des Fernwirkens und Fernwartens ueber das Internet haben ein riesiges Anwendungspotential. Anlagen koennen aus der Ferne beobachtet und ueberwacht werden. Im Fehlerfall ist oft bereits eine Diagnose der Fehlerursache aus der Ferne moeglich und die Reaktionszeit bei der Fehlerbehebung wird entsprechend reduziert. In manchen Faellen (z.B. bei Programmier- oder Softwarefehlern) ist sogar eine Fehlerbehebung direkt ueber das Internet denkbar. In jedem Fall kann der Kunde wesentlich besser und schneller unterstuetzt werden und es werden in erheblichem Umfang Kosten gespart.