

Controlling Konzepte für pneumatische Muskeln

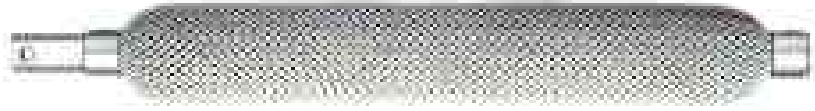
Ausarbeitung im Rahmen des Seminars Humanoide Roboter

von Sebastian Adelstein WS04/05

Inhaltsverzeichnis

Der McKibben Muskel.....	3
Einführung in die Regelungstheorie.....	3
Regelung von künstlichen Muskeln.....	7
Ausblick.....	12
Quellen.....	12

Der McKibben-Muskel

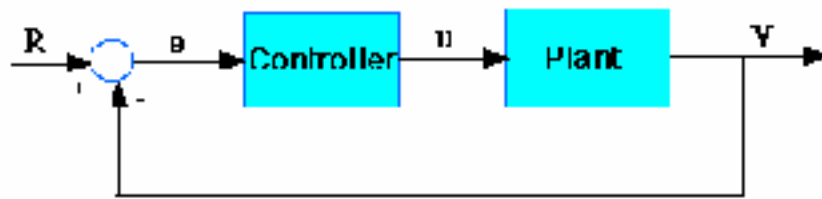


McKibben-Muskel in Form des Bridgestone Rubbertuator

Wir hatten bereits aus vorherigen Vorträgen gesehen, dass pneumatische Muskeln, insbesondere in Form des McKibben-Muskels, für die Robotik sehr wünschenswerte Eigenschaften haben. Sie wandeln eine Druckerhöhung (Druckluft in einen Gummischlauch) mithilfe einer äußeren elastischen Membran in eine Längenausdehnung um. Dadurch verfügt dieser Typ beispielsweise über ein sehr gutes Kraft/Gewicht-Verhältnis sowie die Fähigkeit sowohl sehr geringe als auch sehr starke Krafteinwirkungen auszuüben. Zusätzlich haben Gelenke, die mit den üblichen Elektromotoren ausgestattet sind, den Nachteil, sehr steif zu sein, während solche mit pneumatischen Muskeln über natürlichere Eigenschaften verfügen und sich z.B. wegdrücken lassen. In der Tat wurden solche Muskeln schon vor Jahrzehnten entwickelt (nämlich 1957 vom Namensgeber Dr. Joseph L. McKibben) haben sich aber aufgrund der ihnen zugrundeliegenden schwierigen Kontrolleigenschaften lange Zeit nicht durchsetzen können. Ursächlich dafür sind in erster Linie auftretende Reibungskräfte sowie die Notwendigkeit, einen Schwellendruck zu erreichen, bevor überhaupt eine Ausdehnung eintritt. Erst in jüngerer Vergangenheit haben einige Firmen (Bridgestone, Shadow-Company) das Konzept aufgegriffen und neu vermarktet, und infolge dessen wurden eine Menge Kontrollstrategien entwickelt, von welchen wir uns infolge einer durch klassische Regelungstheorie motivierten genaueren Auseinandersetzung ansehen werden. Zunächst folgt daher eine Einführung in allgemeine Regelungstheorie bevor wir dann die Implikationen für unsere spezifische Problematik beleuchten.

Einführung in die Regelungstheorie

Regelungstheorie ist eine ursprünglich aus dem Ingenieurwissenschaften stammende Disziplin, welche sich mit der automatisierten Regelung eines Systems zu einem Sollwert beschäftigt. Eigenschaften von besonderem Interesse sind hier Overshooting (unerwünschte Überregulierung) und oszillatorisches Annähern an den Sollwert (ebenfalls zu vermeiden).

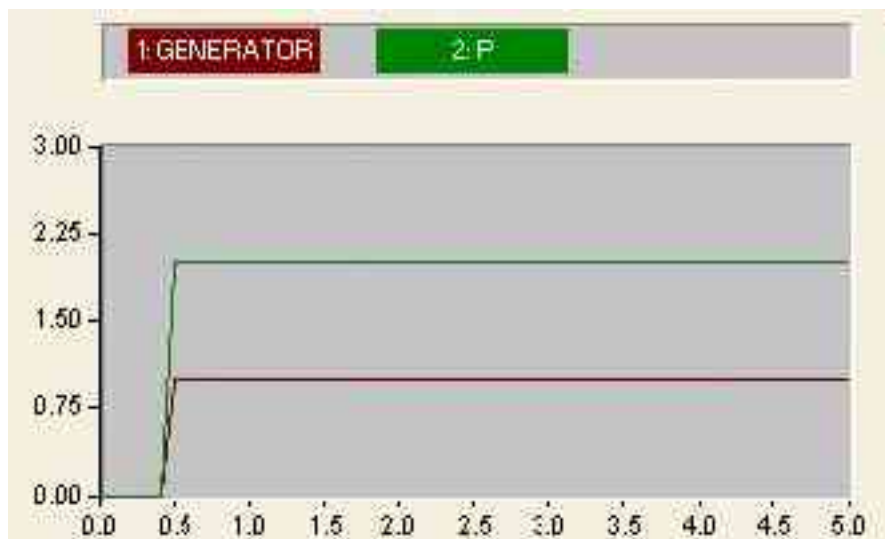


allgemeine Regelsituation

Im allgemeinen sieht die Regelsituation wie oben abgebildet aus. Wir haben eine zu regelnde Größe von der wir einen Sollwert R (z.B. Temperatur auf einer Herdplatte) haben. Dieser wird mit dem Ist-Wert verglichen und die Differenz e dient als Basis für der Regler, der nun ein Signal u auf das Regelsystem gibt (um z.B. die Herdplatte auf Stufe 0 zu stellen), welches nun seinerseits den Ist-Wert Y beeinflusst und als Feedback wieder in den Regler geleitet wird, der so lange regelt, bis es keine Differenz mehr zwischen Ist- und Soll-Wert gibt.

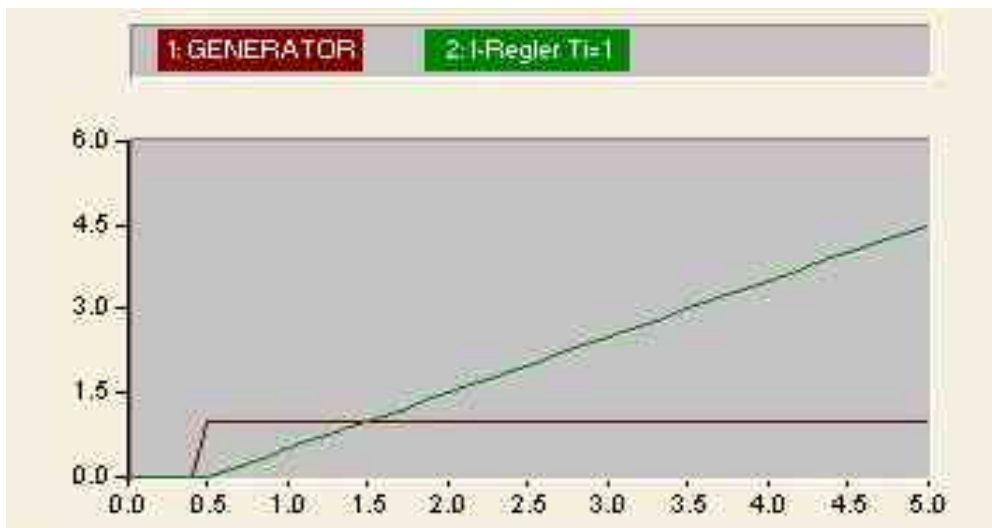
Es habes sich hier drei verschiedene Basisregler als sinnvoll erwiesen, welche in Kombination effektive Regelung erlauben:

I. P-Regler



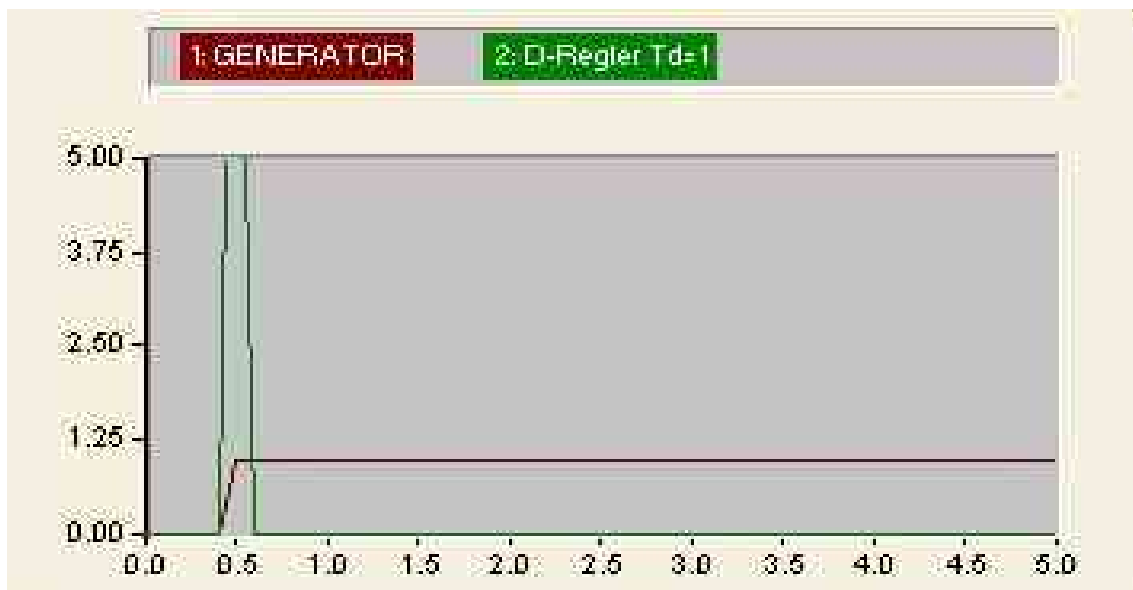
Der P-Regler (P für proportional) regelt linear, d.h. ist die Differenz zwischen Ist- und Sollwert doppelt so hoch, versucht er sozusagen „doppelt so stark“ nachzuregeln. Er reagiert daher direkt auf die Regelgröße, braucht aber lange um den Sollwert zu erreichen, da er bei kleinen Differenzen wenig regelt. Ein großer Vorteil dieses Reglers ist, dass er stabil ist, d.h. überhaupt gar kein oszillatorisches Verhalten zeigt.

II.I-Regler



Beim I-Regler (I für Integral) wird auch in betracht gezogen, wie stark die Regeldifferenz in der Vergangenheit war. So wird stärker nachgeregelt, wenn sich z.B. lange Zeit die Differenz nicht geändert hat. Er erlaubt zwar eine sehr präzise Sollwertanpassung, zeigt jedoch oszillatorisches Verhalten und braucht daher lange zur Anpassung an ein gegebenen Wert.

III.D-Regler

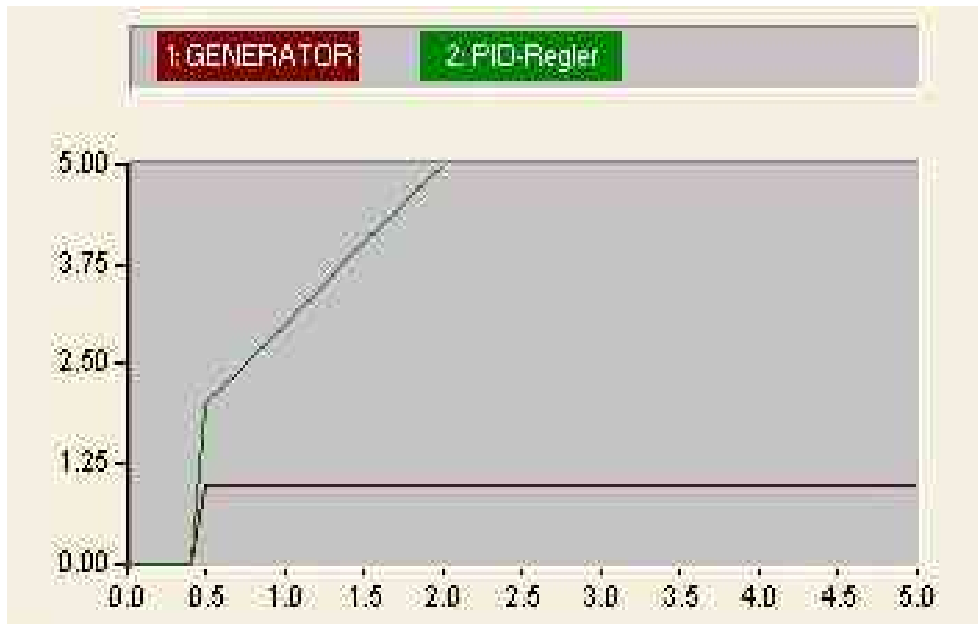


Der D-Regler (D für differenzial) liefert eine um so größere Stellgröße, je stärker sich das Signal geändert hat. Er kann so keine Regeldifferenz ausgleichen und ist nur in Kombination mit anderen Reglern sinnvoll.

Durch Kombination dieser Basisregler kann man gegebene Einzelmängel ausschalten, muss sich im Gegenzug aber mit dem Feintuning beschäftigen. Hat man zum Beispiel einen PID-Regler (zu den Vorteilen s.u.) so sieht die resultierende

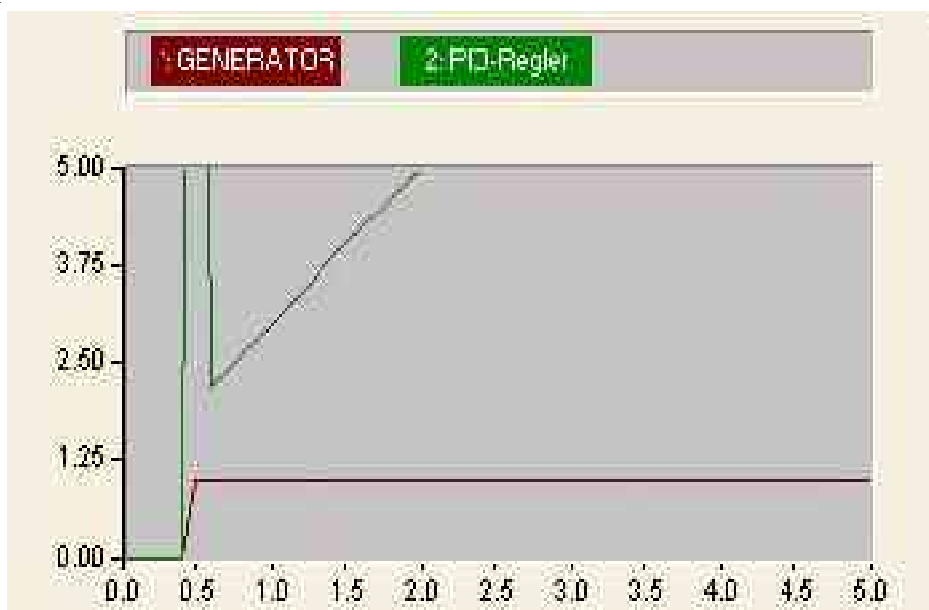
Funktion u folgendermaßen aus: $u = k_p * e + k_i * \int e dt + k_d * \frac{de}{dt}$, wobei u und e wie oben Stellgröße und Regeldifferenz sind, das Integral aus dem I-Regler kommt und die Ableitung aus dem D-Regler, und man sich nun um das richtige einstellen der k_p , k_i , k_d kümmern muss. Wichtige Kombinationen sind in unserer Betrachtung:

PI-Regler



Er kombiniert den P-Regler, mit dem man schnell (aber unpräzise) und den I-Regler, mit dem man präzise (aber langsam) regeln kann. Die Kombination erreicht ein schnelles, präzises Regeln mit einer oszillatorischen Phase.

PID-Regler

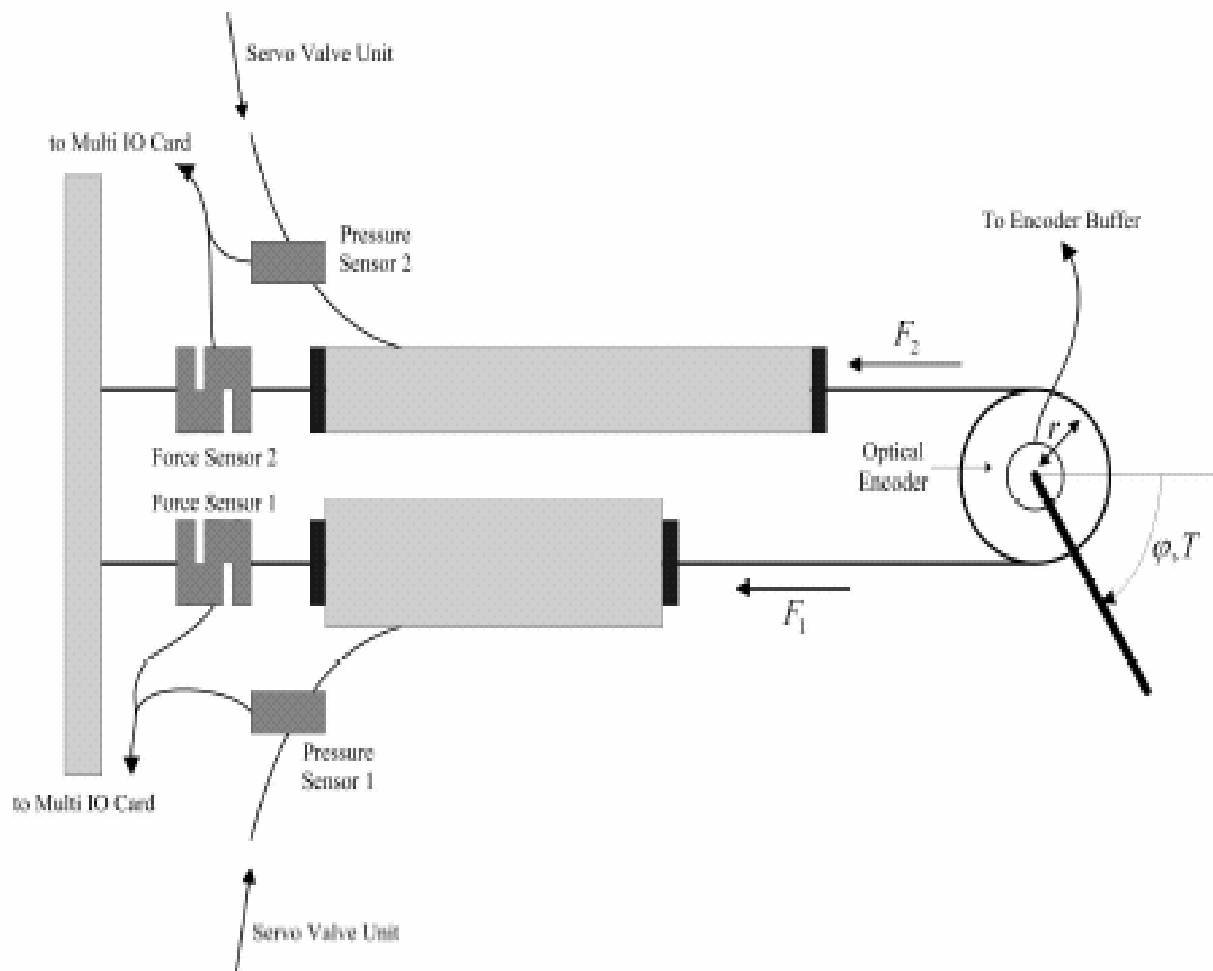


Er wird aufgrund seiner vielen Vorteile meist als Standardregler eingesetzt und vereinigt die Vorteile von P-,I- und D-Reglern. Er regelt schnell und präzise und fängt die Oszillation durch den D-Anteil ab.

Reglung von künstlichen Muskeln

In einem Kooperationsprojekt der TH Karlsruhe und der Vanderbilt

University wurde eine Entwicklungsumgebung geschaffen, um die Regelung eines McKibben Muskels zu testen. Hierzu wurden zwei Muskeln jeweils mit Kraft und Drucksensoren kontrolliert und miteinander so verbunden, das sie ein Drehgelenk bildeten (s.u.).





Zielsetzung war ein Regler zu entwerfen, der

1. auch bei schwankenden Parametereingaben robust funktioniert
2. geringes Overshooting (d.h. <10%)
3. und schnelle und exakte Trajektorienänderungen durchführen konnte.

Zum Testen dieser Bedingungen wurde dann geprüft, wie der Regler sich bei Eingabe einer Treppen- oder Sin-funktion verhält(3,2) und wie er auf zusätzliches Gewicht reagiert (1,2).

Zunächst wurde ein regulärer PID-Regler eingesetzt. Die diesem Regler zugrundeliegende Architektur sieht folgendermaßen aus:

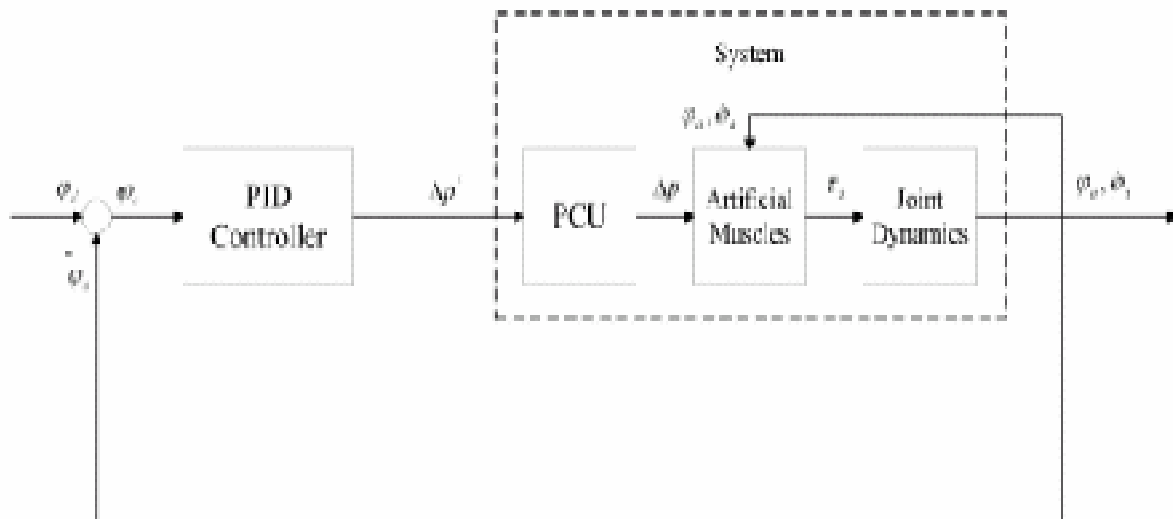


Fig. 11. Implementation of a regular PID controller

Als Regelgröße wird hier der Gelenkwinkel genommen (vgl. schematische Darstellung oben). Der Regler generiert aus der Regeldifferenz eine Druckdifferenz

welche durch die PCU (Pressure Control Unit, welche u.a. auch berücksichtigt, dass man erst einen Schwellendruck haben muss um effektiv den Druck im Muskel zu ändern) an den Muskeln eine Gelenkwinkeländerung herbeiführt welche durch die Sensoren erfasst als Feedback zurückgegeben wird. Nach viel Feintuning reagiert das System in den oben beschriebenen Testsituationen wie folgt:

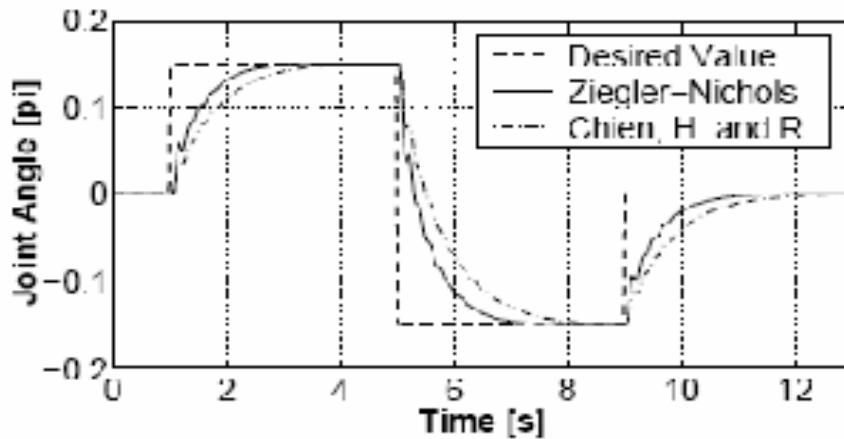


Fig. 12. Step response of the joint, using regular PID controller

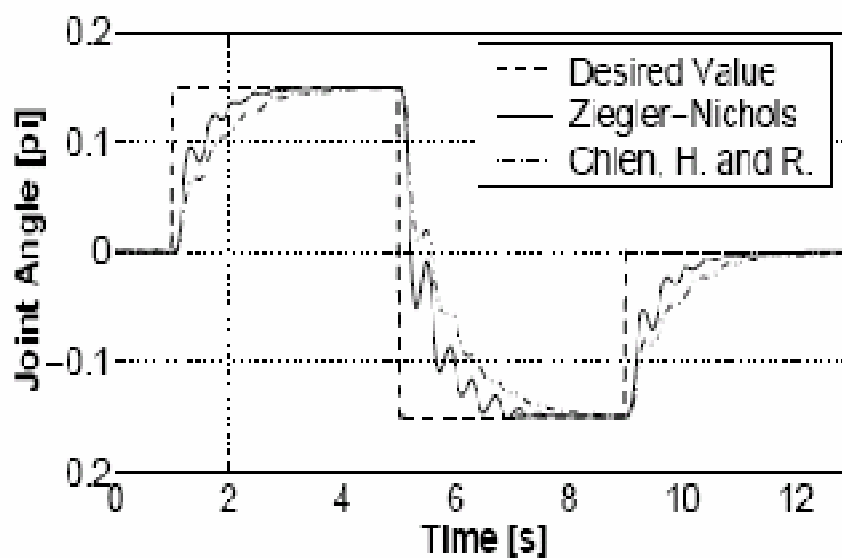
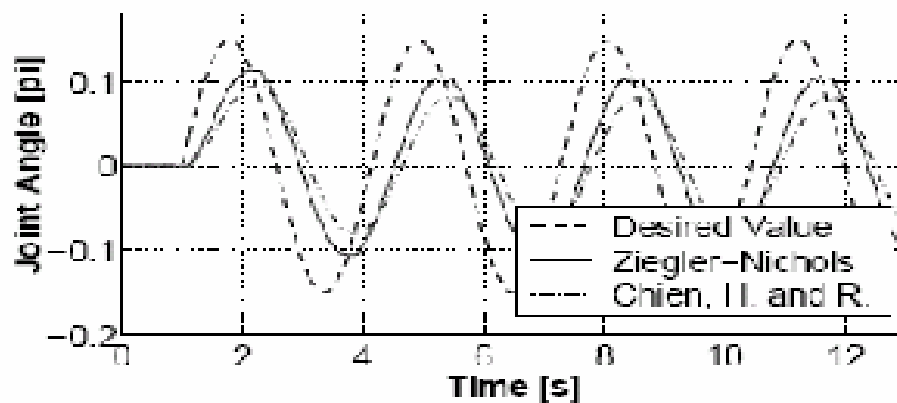


Fig. 14. Step response of PID controlled joint after changing mass of inertia

Ziegler-Nichols und Chien, Hrones und Reswick sind zwei verschiedenen Standardtuningmethoden für PID-Regler. Man sieht hier dass der Regler die Sin-Funktion zu langsam nachregelt und bei der Treppenfunktion sowohl mit als auch ohne zusätzlichem Gewicht bei Änderung starkes Overshooting produziert.

Als Alternative wurde nun ein PI-PI-Regler nach folgender Architektur vorgeschlagen:

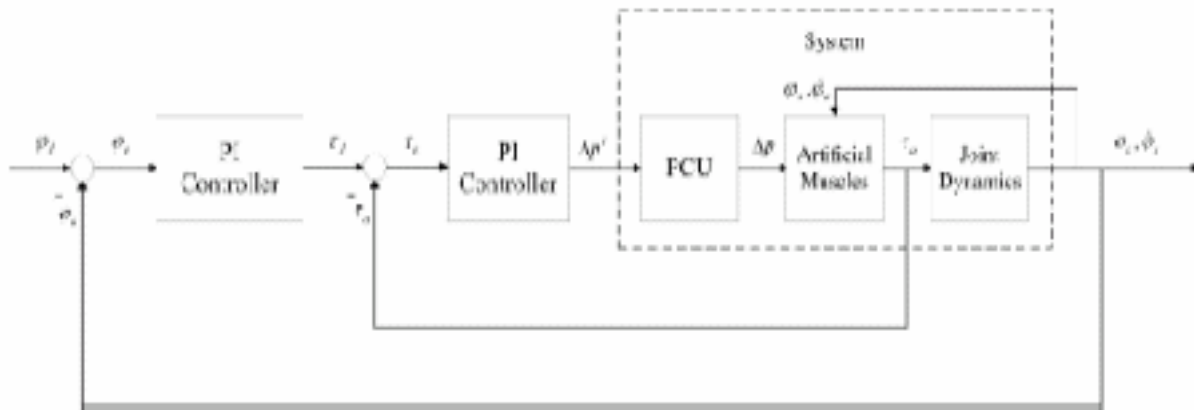


Fig. 15. PID controller with subsidiary torque control loop

Hier wird nicht nur der Drehwinkel nachgeregelt sondern auch das Drehmoment. Auf den Differentialanteil wurde hier verzichtet da der innere Regler im Vergleich zu dem äußeren mit einer Frequenz von 10 Hz ausgeführt wird und so den D-Regler überflüssig macht, da dieses System auch so schnell eine Regeländerung herbeiführt. Dieses System erlaubt zusätzlich zu PID-Regler auch noch einen sogenannten Torque-Control-Modus, in welchem nur die innere Schleife ausgeführt wird und die z.B. beim Händeschütteln nützlich ist. Aufgrund der Tatsache, dass man häufig aus finanziellen und Platz-Gründen auf Kraft- und Drehmomentsensoren verzichten will wurde das System durch folgende Architektur ersetzt:

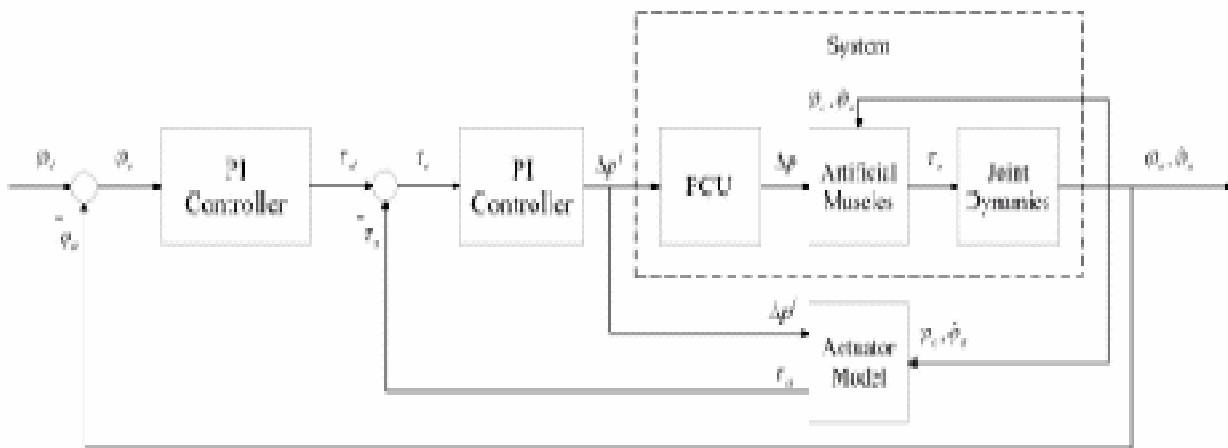
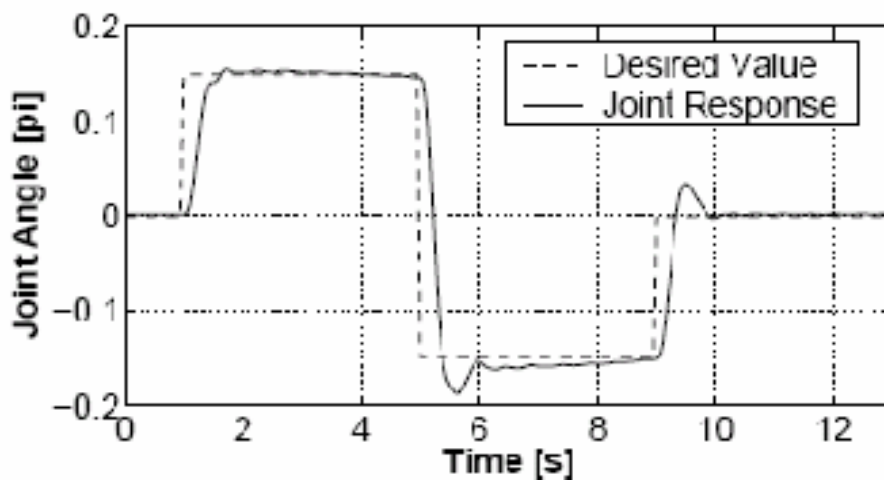
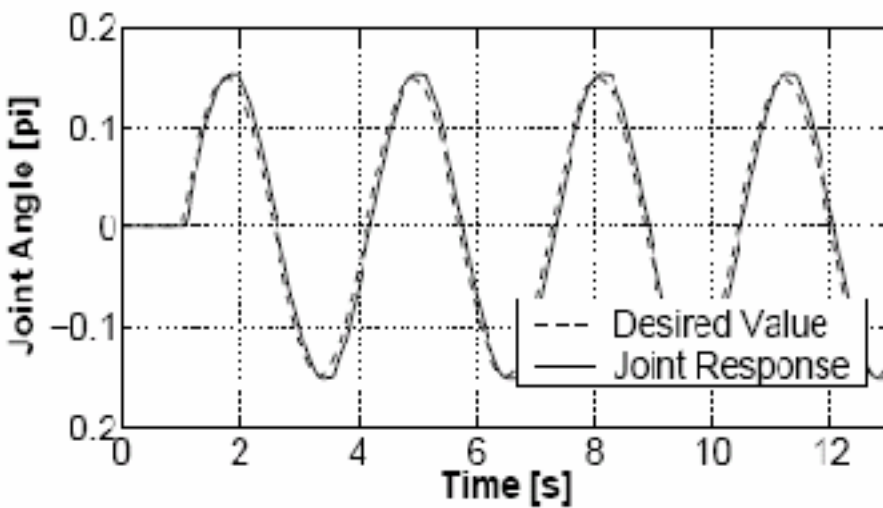
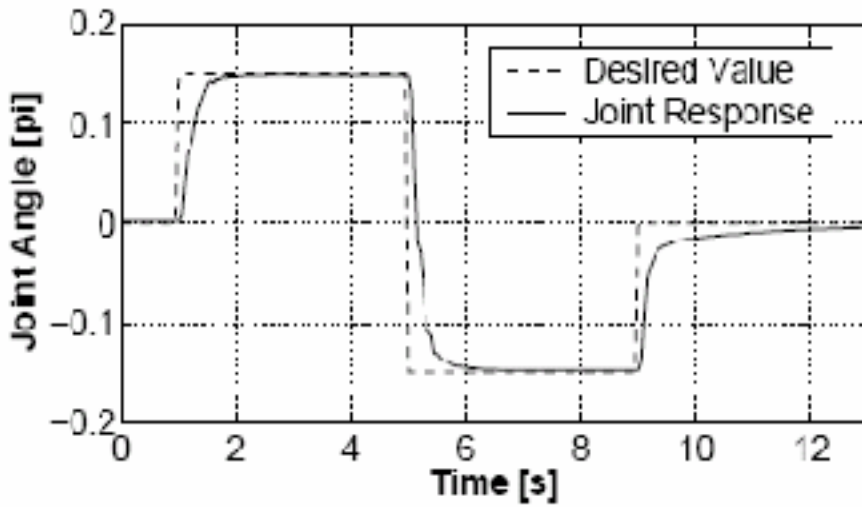


Fig. 16. Model-based controller

Hier wurde zusätzlich ein sog. Aktuator-Modell eingeführt (daher der Name des Reglers PI-MBPI: PI-Model based-PI), welches versucht, aufgrund des Drucks und Drehwinkels das Drehmoment zu schätzen. Die oben aufgeführten Tests sehen auf dieser Umgebung wie folgt aus.



Hier sieht man dass die Anpassungszeit deutlich kleiner ist bei der Treppenfunktion (wobei es mit dem erhöhten Gewicht ein kurzes overshooting gibt) und der vorgegebenen Sin-Funktion sehr gut gefolgt wird.

Ausblick

Da der Regler in den Test sehr gut abgeschnitten hat wird nun als nächstes versucht diesen an der Vanderbilt University an einen existierenden Roboter auszuprobieren. Hier soll die äußere PI-Schleife dann noch zusätzliche nichtlineare Effekte (Gravitation und Trägheitsmoment in einigen Gelenken) berücksichtigen und ein zusätzliches Modell für die Dynamik der Arme zu nutzen.

Quellen

Joachim Schröder, Kazuhiko Kawamura, Tilo Gockel, and Rüdiger Dillmann, "Improved control of a humanoid arm driven by pneumatic actuators"

www.wikipedia.org