

Aufgabenstellung für eine Semesterarbeit mit dem Titel

“Entwicklung eines Kräftetools für Getriebe und Roboter mit STL-Bauteil-Geometrien“

Kassim Abdul-Sater, Franz Irlinger, Tim C. Lüth

Lehrstuhl für Mikrotechnik und Medizingerätetechnik
Fakultät für Maschinenwesen
Technische Universität München
Boltzmannstr. 15 • 85748 Garching bei München

Die Semesterarbeit ist am Lehrstuhl für Mikrotechnik und Medizingerätetechnik
– Fakultät Maschinenwesen –
Technische Universität München anzufertigen.

Semestrand: Robert Bonfacic

Betreuer (MiMed): Dipl.-Ing. Kassim Abdul-Sater

1. Problemstellung

Ein Forschungsgebiet des Lehrstuhls stellt die Generierung/Entwurf (Synthese) kinematischer Strukturen wie Roboter oder Gelenkgetriebe dar. Die Realisierung eines Getriebes oder Roboters erfolgt in der Regel mittels sogenannter Rapid Prototyping-Verfahren. Diese generativen Verfahren werden dazu genutzt, die einzelnen Bauteile herzustellen. Die Geometrie der Teile liegt dabei im sogenannten STL-Format vor, welches beispielsweise aus CAD-Modellen oder auch manuell erzeugt werden kann.

Neben der Kinematik spielen im Roboter- und Getriebeentwurf auch Kräfte eine zentrale Rolle. So müssen beispielsweise für den erfolgreichen Entwurf die Antriebskräfte bekannt sein, damit sie durch die Aktuatoren bereitgestellt werden können. Die Antriebskräfte ergeben sich dabei im Wesentlichen unmittelbar aus gegebenen oder überschlägig ermittelten Lastfällen und den Gewichtskräften der Bauteile.

Sind die wirkenden Kräfte beim Roboter- bzw. Getriebeentwurf nicht bekannt, so ist für einen Entwickler auch nicht bekannt, welche Motoren er verwenden muss um seine Kinematik funktionsfähig zu bauen. Der gravierendste Fall tritt dann auf, wenn ein Roboter oder Getriebe nicht einmal in der Lage ist sich mit seinen Aktuatoren selbst zu ‚tragen‘. Andererseits werden Kinematiken oftmals überdimensioniert, und fallen dann größer aus als tatsächlich notwendig.

2. Stand der Technik

Die Ermittlung der Kräfte bei Getrieben und Robotern erfolgt klassischer Weise nach Verfahren der technischen Mechanik ([1] und [2]). Infolge dessen, dass hierbei Gelenk-, Antriebs- oder Gestellkräfte und nicht etwa Kräfte im Innern der Struktur (Bauteilspannungen, etc.) von Interesse sind, basieren die Berechnungsverfahren auf der Starrkörperannahme und sind der Kinetik und Dynamik der Mehrkörper-Systeme (MKS) [3] zugeordnet.

Zur Analyse der Kräfte solcher MKS existieren derzeit viele verschiedene kommerzielle Softwareprogramme

wie beispielsweise Dymola oder SimPack, die oft auch Anbindung an CAD-Systeme haben. Dies bietet einem Entwickler die Möglichkeit die Kräfte-Auslegung eines Getriebes und Roboters unmittelbar mit in den Konstruktionsprozess zu integrieren, da die Konstruktion der einzelnen Bauteile in Form von CAD-Modellen erfolgt.

Für die am Lehrstuhl erarbeiteten Bauteile im STL-Format bietet sich allerdings die Möglichkeit einer externen Kräfteberechnung - jenseits eines CAD-Systems - mit dem Berechnungsprogramm MATLAB-Simulink an, da die Teile nicht notwendiger Weise im CAD-System entstehen. MATLAB bietet dazu die Simulink-Toolbox ‚SimMechanics‘ an, die verschiedene Funktionalitäten bietet. Zum einen ist hier die Visualisierung von Bewegungsvorgängen beliebiger STL-Bauteile möglich. Dies erfolgt durch Erstellung eines Simulink-Modells, in dem die Getriebe- bzw. Roboterglieder zusammen mit den verschiedenen kinematischen Gelenktypen hinterlegt sind.

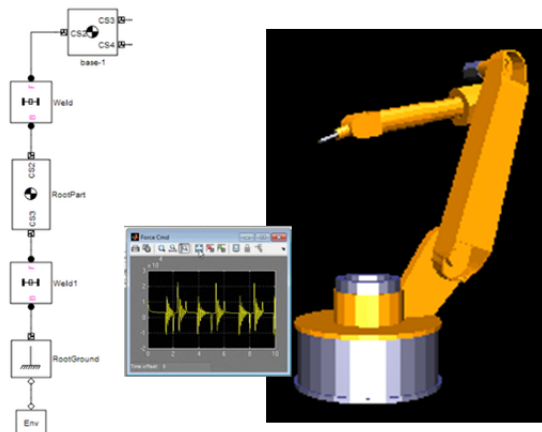


Abbildung 1: Beispiele zum Funktionsumfang von Simulink - Simmechanics

Wie in Abbildung 1 qualitativ dargestellt, liegen die verschiedenen Objekte in Form von miteinander verbundenen Funktionsblöcken vor. Ist eine Roboter- oder Getriebearchitektur in dieser Form implementiert, so kann nach Festlegung von Massen und Antriebscharakteristiken die Analyse und Simulation erfolgen. Dies kann die zuvor genannte Animation der Geometrie im STL-Format sein sowie auch die Analyse von Gelenkkraftverläufen (s. Abbildung 1) sein.

3. Kritik am Stand der Technik

Bislang erfolgt die Auslegung von Robotern und Getrieben am Lehrstuhl primär nach rein kinematischen Gesichtspunkten. So wird beispielsweise mittels mathematischer Beschreibungen einer Kinematik wie der Denavit-Hartenberg-Konvention die Inverse Kinematik eines Roboters bestimmt. Bei Vorgabe eines Bewegungsverlaufes liefert dies die zugehörigen, in den Gelenken eines Roboters einzustellenden Gelenkwinkel. Für Getriebe bieten sich sogenannte Schleifengleichungen an um die direkte Kinematik, d.h. die aus einer Antriebsbewegung resultierende gesamte Getriebebewegung zu ermitteln.

Die genannten Verfahren liefern in erster Linie das Bewegungsverhalten auf der sog. Lage-Ebene und nicht auf Geschwindigkeits- oder Beschleunigungsebene. Hinsichtlich der Kräfte in Getriebe oder Roboter liefern diese Ergebnisse bereits Erkenntnisse, welche jedoch noch umständlich gedeutet werden müssen. So liegt eine resultierende gesamte Getriebebewegung z.B. in Form von Winkelverläufen über die Zeit vor, aus deren Charakteristik in der Regel nur erfahrene Berechnungsingenieure auf wirkende Kräfte schließen können. Die Masse einer Roboter- oder Getriebearchitektur ist darüber hinaus gänzlich außer Acht gelassen.

4. Aufgabenstellung

Zur Verbesserung und Unterstützung des Auslegungsprozesses für Getriebe und Roboter soll die Problematik auftretender Kräfte unter der Annahme starrer Mehrkörper-Systeme (MKS) näher beleuchtet werden. Zum einen sollen notwendige Grundlagen der Kinetik/Dynamik recherchiert und erarbeitet werden und der Bezug, d.h. die Anwendbarkeit auf Getriebe und Roboter hergestellt werden. Zur Anwendung der Formalismen existieren eine Vielzahl von Getriebe- und Roboterarchitekturen (sog. Topologien), für welche die Gleichung der Dynamik jeweils eine bestimmte Form erhalten.

Den Kern der Arbeit soll die Implementierung der sogenannten inversen dynamischen Gleichungen verschiedener Topologien im Matlab-Simulink-Modul ‚Simmechanics‘ bilden. Die Idee ist es, eine erweiterbare Bibliothek aufzubauen, welche die Gleichungen verschiedener To-

pologien in Form der im Stand der Technik beschrieben Simulink-Block-Schaltbilder enthält. Dadurch soll einer Vielzahl an Benutzern die Möglichkeit gegeben werden, Ihre eigene konkrete ‚Kräfte-Problematik‘ zu lösen. Im Fokus stehen hierbei notwendige Antriebs- aber auch im Verlauf einer Bewegung wirkende Gelenkkräfte. Ziel ist es, dass ein Anwender sein in Form von STL-Bauteilen vorliegendes Getriebe/ seinen Roboter mit Hilfe der Bibliothek hinsichtlich wirkender Kräfte bewerten kann. Kräfte, die hierbei betrachtet werden sollen seien zunächst Gewichtskräfte und Lastfälle, welche gegeben sein können oder überschlägig ermittelt worden sein können.

Die nutzerfreundliche Bedienbarkeit der Bibliothek kann zum Beispiel durch eine einfach gestaltete graphische Bedienoberfläche (GUI) gewährleistet werden. In dieser kann eine Getriebe- oder Roboter-Topologie wählbar sein, für welche dann konkrete STL-Bauteile vom Nutzer zu hinterlegen sind. Die Definition von Antriebscharakteristiken, das Festlegen einer Materialdichte sowie die Definition eines Lastfalls erfolgt ebenfalls über die Oberfläche. Auf Basis solcher Eingabeparameter sollen berechnete Antriebskräfte und –momente wie auch Gelenkkräfte ermittelt werden und auch graphisch dargestellt werden.

Die Validierung, ob berechnete Kräfte insbesondere in Gelenken oder an Antrieben erfolgt anhand von Experimenten. Denkbar ist hierbei zum Beispiel das Testen eines am Lehrstuhl bestehenden Getriebes oder Roboters, welches/welches mittels Rapid Prototyping hergestellt wurde und durch Servomotoren angesteuert werden kann.

5. Erwartete Vorteile und Funktionen der Lösung

Durch die Ergebnisse der Semesterarbeit ist eine Unterstützung des Auslegungsprozesses für Getriebe und Roboter am Lehrstuhl zu erwarten. Neben den erarbeiteten und zusammengetragenen Grundlagen soll auch durch die graphische Aufbereitung berechneter Kräfte ein umfassenderes Verständnis der inversen Dynamik und der Kräfte-Problematik im Auslegungsprozess beim Anwender der Berechnungsbibliotheken geschaffen werden.

Der Ansatz einer Bibliothek für unterschiedlichste Getriebe- und Robotertopologien bietet die Möglichkeit eines modularen Berechnungsprogramms, welches stetig erweitert werden kann.

6. Realisierung und Ergebnisse

Erwartung:

Für die Bearbeitung der genannten Aufgabe wird folgendes erwartet:

- Ausführliche Dokumentation der einzelnen Schritte
- Strukturiertes Vorgehen, d.h. zuerst eine Problembe-
schreibung erstellen und dann Lösungsansätze ver-
gleichen
- Beschreibung der Lösungsstruktur, d.h. Beschrei-
bung des Konzepts einer Berechnungs-Bibliothek
- Beschreibung der Lösungsprozesse die zur Realisie-
rung des Konzepts ablaufen
- Experimente zur Bestätigung der gefundenen Lö-
sung

Vorgehen:

1. Problembeschreibung
2. Recherche des Stands der Technik im Bereich der
der Kinetik und Dynamik starrer Mehrkörper-
Systeme (MKS) mit Fokus auf die inverse Dynamik
3. Erarbeiten einer mathematischen Beschreibung von
Roboter- und Getriebetopologien
4. Einarbeiten in Grundlagen in Matlab und Simulink-
Simmechanics
5. Erarbeiten eines Konzepts einer Berechnungsbiblio-
thek
6. Implementierung des Konzepts der Berechnungsbib-
liothek zur inversen Dynamik
7. Erarbeiten von Experimente zur Validierung von
Berechnungsergebnissen
8. Durchführen der Experimente zur Validierung von
Berechnungsergebnissen

9. Anfertigung der schriftlichen Ausarbeitung.

Ergebnisse:

- Mathematische Beschreibung von Roboter- und
Getriebetopologien
- Erstellte Software/Bibliothek
- Dokumentierte Versuche
- Anfertigung der Semesterarbeit

7. Ausblick auf weitere Arbeiten

Durch die erfolgreiche Bearbeitung vorliegender Semes-
terarbeit wird der Grundstein für eine beliebig erweiter-
bare Berechnungsbibliothek zur inversen Dynamik einer
Vielzahl von Getriebe- und Robotertopologien gelegt.
Nach Beendigung der vorliegenden Arbeit wird insbe-
sondere der Nutzen solcher Bibliotheken für den Lehr-
stuhl bewertet.

8. Referenzen

- [1] Ulbrich H. (2006), "Technische Mechanik 3 - Kine-
matik/Kinetik", Skriptum zur Vorlesung
- [2] Ulbrich H., "Vorlesungsunterlagen zum Grundlagen-
fach Mechanik – Technische Dynamik", Skriptum
zur Vorlesung
- [3] Förg M., Ulbrich H. (2009), "Mehrkörpersimulation",
Skriptum zur Vorlesung
- [4] Corves B., Kerle H., Pittschellis R. (2010), 'Einfüh-
rung in die Getriebelehre' 3. Ausgabe; Teubner Ver-
lag, ISBN 978-3-8351-0070-1
- [5] Dresig H., Holzweißig F. (2009), 'Maschinendyna-
mik' 9. Auflage, Springer Berlin Heidelberg, ISBN
978-3-540-87693
- [6] McCarthy M., Song Soh G. (2010), 'Geometric de-
sign of linkages' 2nd edition; Springer Interdiscipli-
nary Applied Mathematics, New York, ISBN 978-1-
4419-7891-2

Unterschriften:

Prof. Lüth:

Kassim Abdul-Sater (Betreuer):

Semestrand/-in:
