**Abstract zur Dissertation von MSc. Ha Xuan Nguyen**

Titel: Simulation, Validation and Optimization of Stick-Slip Drives for Nanorobotic Application

Tag der Disputation: 2. Oktober 2014

Piezoelektrische Stick-Slip-Antriebe sind als wichtige Komponenten für mikro- und nanorobotische Systeme bekannt. Das einfache Design und die hervorragenden Arbeitseigenschaften zählen zu den wesentlichen Vorteilen dieser Antriebe. Sie zeichnen sich durch Bewegungen mit theoretisch unendlich langem Verfahrweg bei gleichzeitig hoher Positionierauflösung im Bereich von wenigen Nanometern aus. Im Fokus aktueller Untersuchungen stehen die physikalische Modellierung und die Verbesserung des Leistungsverhaltens. Mehrere weit entwickelte Modelle beschreiben das Reibverhalten in den Führungselementen der Antriebe. Aufgrund der empirischen Ausrichtung dieser Modelle sind sie jedoch hinsichtlich ihrer theoretischen Grundlagen nicht gänzlich ausgereift. Die reale Kontaktmechanik der Reibpartner ist noch nicht ausreichend betrachtet worden.

In dieser Arbeit wird eine neue Methode zur Modellierung dynamischer Reibkraftwechsel im Kontaktbereich von Stick-Slip-Antrieben durch die Anwendung der sogenannten Methode der Dimensionsreduktion (MDR) vorgestellt. Auf Basis dieser Methode werden die Kontaktzonen der Führungselemente mit der bekannten tangentialen Kontaktmechanik unter Gleitbedingungen modelliert. Mit der MDR werden diese Kontakte zu ein-dimensionalen Äquivalenzkontakten vereinfacht. Die neue Methode hat zwei wesentliche Vorteile. Zum einen können alle wichtigen Parameter, die die mikroskopische Kontaktmechanik und damit die Reibung beschreiben, vollständig betrachtet werden. Zum anderen erlaubt das vereinfachte Äquivalenzmodel im Vergleich zu anderen numerischen Simulationsmethoden (z.B. der BEM), die Berechnungszeit hinsichtlich der dynamischen Änderung des Kontaktbereichs und der Reibbedingungen zu reduzieren. Aufgrund dieser Vereinfachung kann die mikroskopische Kontaktmechanik mit der Simulation makroskopischer Bewegung des Antriebs in einem hybrid-dynamischen Modell kombiniert werden.

Simulationen mit dem hybriden Modell der vorgestellten Methode werden durch experimentell gewonnene Daten validiert. Zu diesem Zweck wird ein Prüfstand mit einem linearen Stick-Slip-Antrieb verwendet. Zusätzlich zur Funktion als Positionierer wird der Antrieb zur Generierung definierter Kräfte eingesetzt. Alle wichtigen Parameter, die das Antriebsverhalten beeinflussen, wie zum Beispiel die mechanische Vorspannung, die Ansteueramplitude des Aktors und die Radien der Rubinkugeln, werden experimentell charakterisiert und mit den Ergebnissen der Simulation verglichen. Der Vergleich zeigt, dass die vorgestellte Methode ein physikalisches Modell mit hoher Qualität darstellt, bei dem die Simulationen mit den experimentellen Ergebnissen, auch im einfachsten Fall ohne Nutzung angepasster Parameter, eine gute Übereinstimmung aufweisen.

Des Weiteren wird eine neue Antriebsmethode vorgestellt, die die Mikrovibration und den Rückschritt reduziert und damit das Leistungsverhalten des Antriebs verbessert. Die Methode basiert auf einer weiteren Vereinfachung in der Modellierung des Antriebs, die durch Einbeziehung der MDR erreicht werden konnte. Das vereinfachte Modell wird genutzt, um die Bewegung des Antriebs in einer Stick-Slip-Periode zu analysieren. Aus dieser Analyse wird eine neue optimierte Antriebssignalform hergeleitet. Simulationen und experimentelle Ergebnisse mit der neuen optimierten Antriebssignalform zeigen, dass die Mikrovibration und der Rückschritt wirksam reduziert werden konnten. Die Betriebseigenschaften des Antriebs sind somit verbessert worden.

**Abstract for Dissertation of MSc. Ha Xuan Nguyen**

Title: Simulation, Validation and Optimization of Stick-Slip Drives for Nanorobotic Application

Defense day: October 2, 2014

Piezoelectric stick-slip drives are known as very important components for micro- and nanorobotic systems. The drives have advantages of very simple design and outstanding working properties. They offer motions with theoretically unlimited traveling range combined with high positioning resolution in the nanometer range. Physical modeling and performance improvement of the drives are the focus of current investigations. Several sophisticated models describing frictional behavior in the guiding elements of the drives have been reported. However, these models are not entirely satisfying since they use a set of empirical parameters. The real contact mechanics of frictional partners are not fully considered.

In this work, a new method for modeling dynamically changing contact areas and thus friction forces in stick-slip drives, by applying the so-called method of dimensionality reduction (MDR), is introduced. Based on this method, the contacts of the guiding elements are modeled via the tangential contact mechanics with slip. Using the MDR these contacts are simplified to equivalent one-dimensional contacts. The new method has two main advantages: On the one hand, all important parameters describing the microscopic contact mechanics and therefore the friction can be fully considered. On the other hand, compared to other numerical simulation methods (e.g. boundary element method), the equivalently simplified model permits reducing the computational time of the dynamically changing contact areas and the friction. Hence, the microscopic contact mechanics can be combined with the simulation of macroscopic movement of the drives runner in a hybrid dynamic simulation.

Simulations of the hybrid model with the introduced method are validated by comparing experimental data of a test stand of a linear stick-slip drive with simulated data. The investigated drive cannot only be used for the purpose of positioning, but also for the generation of well-defined forces. All important parameters that influence the behavior of the drive, including the preload, the actuation amplitude and the radius of frictional contacts, are experimentally characterized and compared with the simulation results. The comparison shows that the proposed method allows a high quality physical model. The simulations match well with the experimental results even in the simplest case without using one fitting parameter.

In addition, a new actuation method, allowing to reduce the micro-vibration and the back-step, and thus improving the performance of the drive, is proposed. The method is based on a more simplified model of the drive, obtained by applying the MDR. The simplified model is used to analyze the movement of the drive in one stick-slip period. From this, a new optimized waveform for the drive is derived. Simulations and experimental results with the new optimized waveform show that the micro-vibration and the back-step are efficiently reduced. The performance of the drive is therefore improved.