Universität Stuttgart

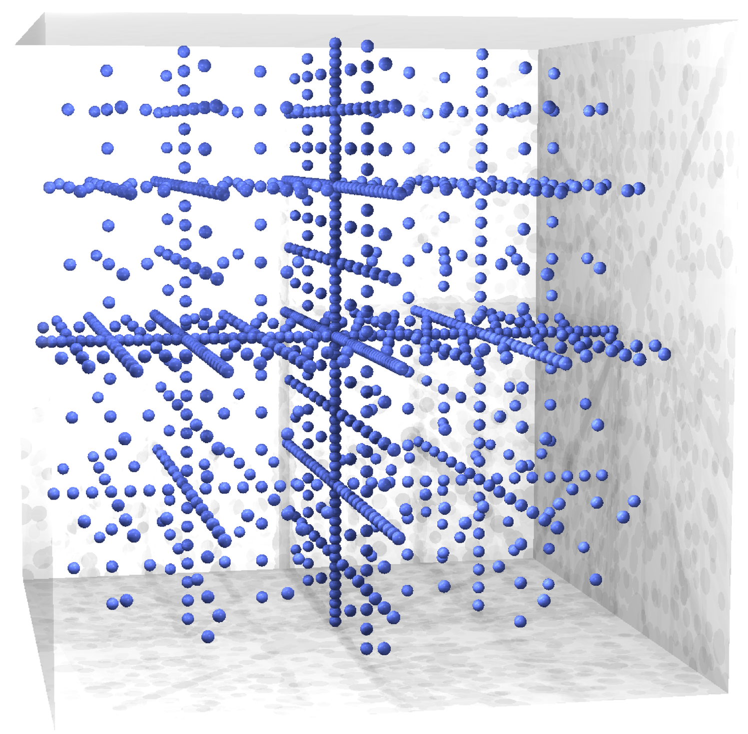
Peg-in-Hole mit flexiblen Objekten

Nils Boike
Eugen Mozikov
Moritz Staub
Matthias Tompert

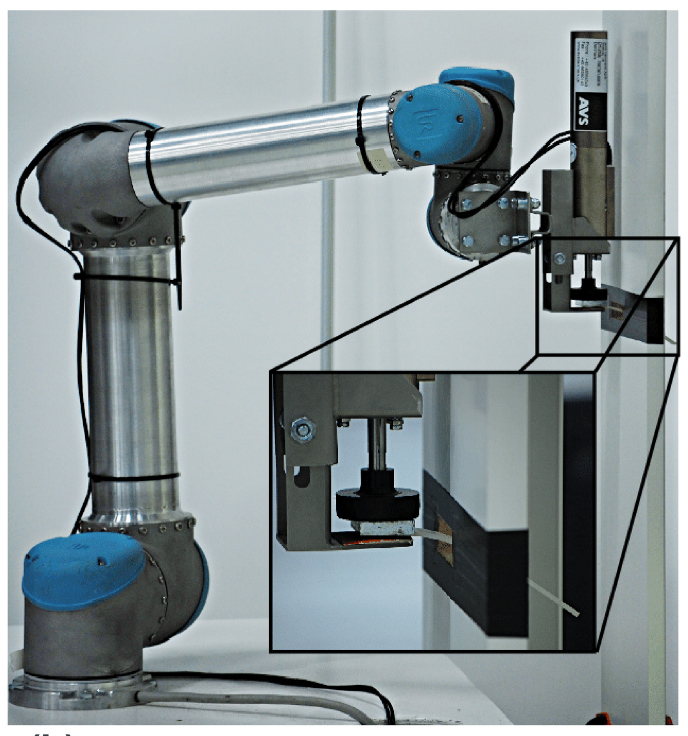
Institut für Parallele und Verteilte Systeme
Pfaffenwaldring 38, D-70569 Stuttgart, Germany
institut@ipvs.uni-stuttgart.de

Projektbeschreibung

Aufbauend auf dem Werk von Bodenhagen et al.[1] haben wir eine Lernmethode für Peg-In-Hole-Aktionen mit flexiblen Objekten näher betrachtet. Dabei wird das Problem untersucht, wie ein Roboterarm effizient und in Echtzeit einen Bewegungspfad seines Greifers anhand der Deformationsdaten eines bisher unbekannten flexiblen Objektes bestimmen kann, um diesen durch eine definierte Öffnung kollisionsfrei hindurchzuführen.



(a) Visualisierung eines dünn besetzten Gitters.



(b) Roboterarm in einer Peg-in-Hole-Aktion.

Dazu modellieren wir Objekte verschiedener Länge, Breite, Dicke und Dichte, welche wir zur Deformationsberechnung als Kragträger-Balken (engl: cantilever beam) betrachten. Die Bewegung eines Robotergreifers wird dabei als eine rationale Bézier-Kurve modelliert, das flexible Objekt wird durch seine Deformationseigenschaften spezifiziert. Es wird eine Peg-In-Hole-Aktion mit diesem Objekt und einer möglichen Bewegungsbahn des Robotergreifers simuliert. Erfolgreich verlaufene Simulationen werden in einer Datenbank gesammelt, um später auf dieses gewonnene Wissen zurückgreifen zu können - so lässt sich dieses Wissen auf ähnliche Objekte übertragen. Eine Peg-in-Hole-Aktion wird als erfolgreich angesehen, falls während der Durchführung das flexible Objekt die Ränder der Öffnung nicht berührt.

	Länge[mm]	Breite [mm]	Dicke [mm]	Dichte [g/cm^3]
Objekt 1	40	15	2	1.15
Objekt 2	60	15	2	1.15
Objekt 3	80	15	2	1.15

Table 1: Untersuchte Objekte.

Dazu verfolgen wir ein zwei-Phasen-Ansatz: Zunächst eine offline Lernphase, in welcher mögliche Peg-In-Hole-Aktionen simuliert und die erfolgreich verlaufenen gespeichert werden. Während Phase 2 wird online zu gegebenem Peg-in-Hole-Problem eine Lösung gesucht, indem bekannte Lösungen mit dem aktuellen Problem verglichen werden. Wir speichern die Objektdurchbiegung, sowie die Kontrollpunkte der Bézier-Kurve kollisionsfreier Experimente. Anstelle eines naiven Ansatzes zur Auswahl eines Kontrollpunkts verwenden wir B-Spline-basierte Dünngitter zur Optimierung. Dazu greifen wir auf die General Sparse Grid Toolbox SG++ [2] zurück.

Spaltgröße [mm]:	6.00	5.00	4.00	3.00
Max. Abstand [mm]:	1.89	1.39	0.89	0.39
Mitt. Abstand [mm]:	1.06	0.81	0.42	0.02
Simulierte CPs	8000	8000	8000	8000
Davon Erfolge	652	496	411	138
Davon Koll.	7348	7504	7589	7862
Auswertung der Erfolgreichen Simulationen:				
Optimierung				
berech. Abst. [mm]:	1.61	1.08	0.59	0.36
best simulated Clearance in%	85%	78%	66%	91%

Table 2: Simulationsdaten zu Objekt 1:

Bernoulli-Euler-Balkentheorie

Bei der Modellierung der Deformation des Objektes wird größtenteils auf Erkenntnisse von Bodenhagen et al.[1] aufgebaut: So wird für die Berechnung der Durchbiegung das Objekt als Kragträger betrachtet; für die Verformung unter Last wird die Bernoulli-Euler-Balkentheorie herangezogen:

$$\frac{d^2}{dx^2}\left(EI\frac{d^2w}{dx^2}\right) = q$$

Im konkreten Fall eines gleichmäßig belasteten Kragträgers gilt statische Bestimmtheit, d.h. die Gleichlast lässt sich durch

$$(EI(x) \cdot w''(x))'' = q(x)$$

bestimmen, was eine gewöhnliche Differentialgleichung vierten Grades darstellt. Dabei werden folgende Größen für die Berechnung der Durchbiegung benötigt:

- das *Elastizitätsmoment E*
- das *Flächenträgheitsmoment I*, welches die Verformung bzw. Biegung eines Objektes beschreibt
- die *Gleichstreckenlast q*, welche gleichmäßig auf die gesamte Objektfläche wirkt. In unserem Fall ist es primär die Erdanziehungskraft und diese wird für die gesamte Länge, sowie alle Rotationen des Objektes als konstant angenommen
- *L* als die Länge des Objektes
- *x* beschreibt einen Punkt auf dem Objekt

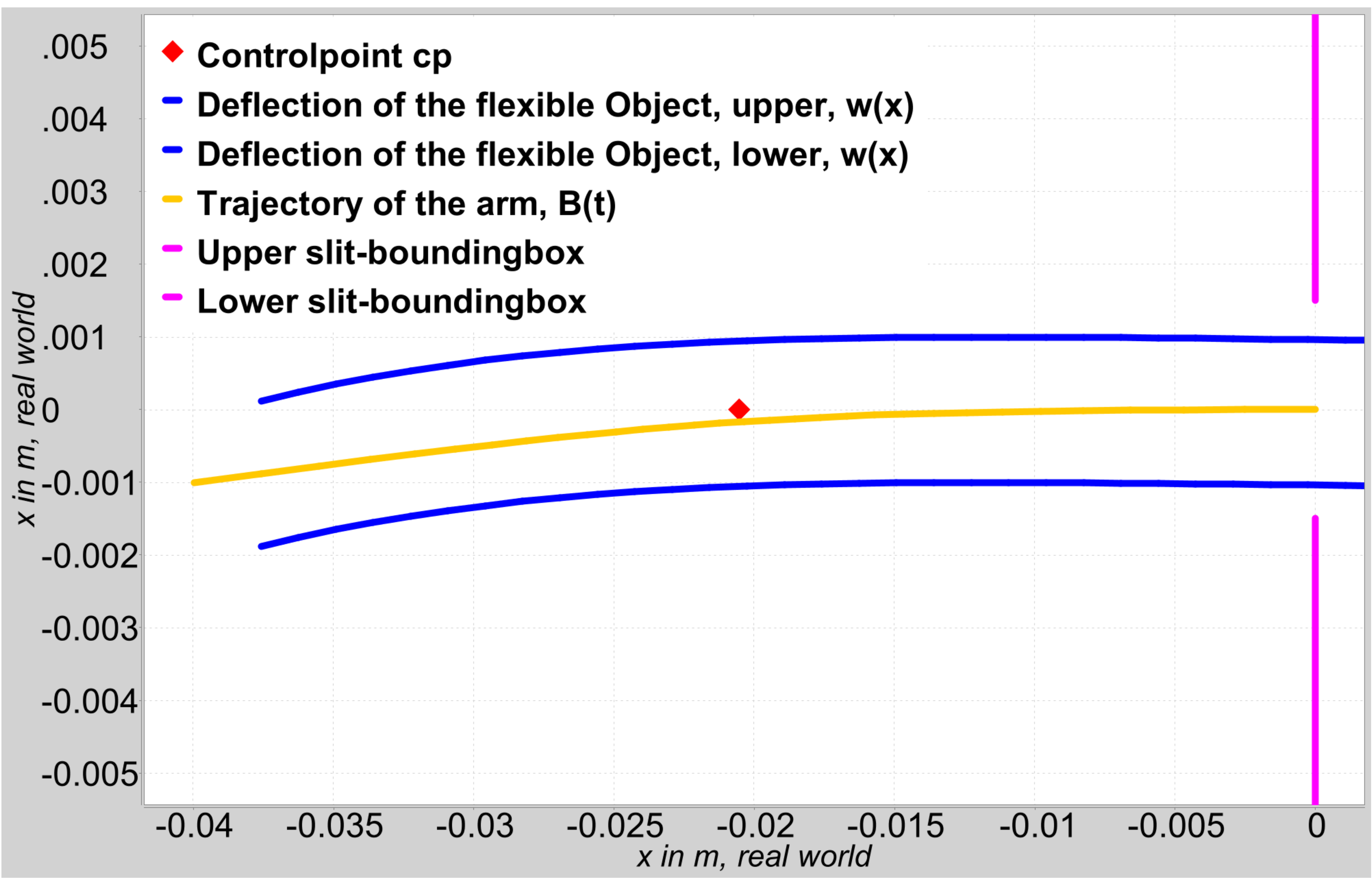


Figure 2: Visualisierung eines Simulationsdurchlaufes einer Peg-in-Hole-Aktion.

References

[1] Leon Bodenhagen, Andreas Rune Fugl, Morten Willatzen, Henrik Gordon Petersen, and Norbert Krüger. Learning peg-in-hole actions with flexible objects. In *ICAART (1)*, pages 624–631. Citeseer, 2012.

[2] Dirk Pflüger. *Spatially Adaptive Sparse Grids for High-Dimensional Problems.* Verlag Dr. Hut, München, August 2010.