

Projektgruppe *RoSi-3D*

1. **Thema:** Entwicklung und praktische Realisierung von Bahnplanungsalgorithmen für industrieroBOTergestützte Bearbeitungsprozesse für 3D-Freiformflächen.

2. **Zeitraum:** WS 2007/2008 und SS 2008

3. **Umfang:** jeweils 8 SWS

4. **Veranstalter:**

Dipl.-Inf. Frank Weichert, Informatik VII, Otto-Hahn-Str. 16, Raum 121, Tel.: 6122

Dipl.-Inf. Carsten Scheele, IRF-IR, Otto-Hahn-Str. 8, Raum 211, Tel.: 5613

Dipl.-Inf. Adrian Schyja, IRF-IR, Otto-Hahn-Str. 8, Raum 204, Tel.: 5617

5. **Aufgabe:**

Im Kontext fortschreitender Automatisierung werden zunehmend Roboter in industriellen Anwendungsbereichen eingesetzt. Verbreitete Anwendungsbereiche sind das Lackieren von Automobilkarosserien und die Bearbeitung von Werkstücken in unterschiedlichen Fertigungsprozessen [1]. Ein wesentlicher Aspekt innerhalb einer effizienten Bearbeitung durch Roboter stellt die möglichst automatische Ermittlung von optimierten Fertigungsbahnen dar. Dieses Prinzip der Bahnplanung betrachtet neben der eigentlichen Bewegungsplanung der Roboterarme sowohl die Geometrie des zu fertigenden Werkstücks als auch Nebenbedingungen, die sich aus dem Bearbeitungsprozess ergeben. Exemplarisch seien hier physikalische Eigenschaften der Roboter (z.B. Maschinenkinematik, Geschwindigkeitsvorgaben) angeführt.

Ausgehend von dieser allgemeinen Fragestellung wird in der industriellen Verarbeitung stets nach neuen oder verbesserten Werkstoffeigenschaften geforscht, welche zum Teil auch neuartige Herstellungsverfahren erforderlich machen. Einer dieser innovativen Ansätze ist die Integration des thermischen Spritzens und der automatisierten Oberflächenverdichtung zu einem Gesamtprozess mittels zweier Roboter (s. Abb. 1).

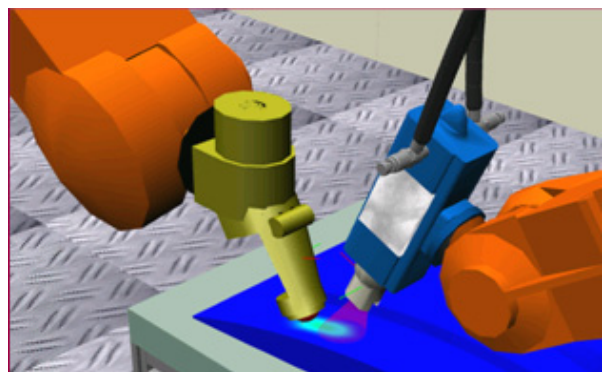
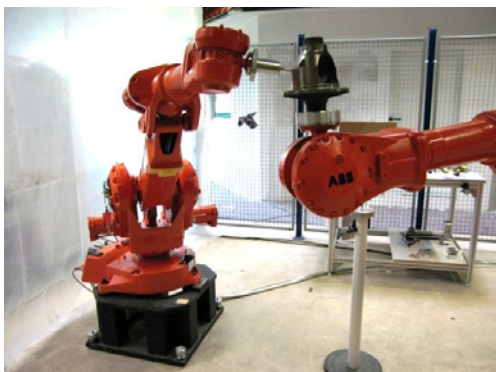


Abbildung 1: Kooperierende Industrieroboter, real (links) und simuliert (rechts)

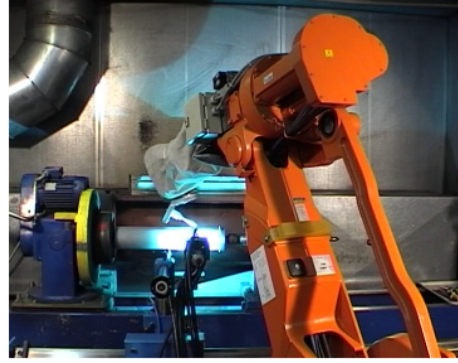
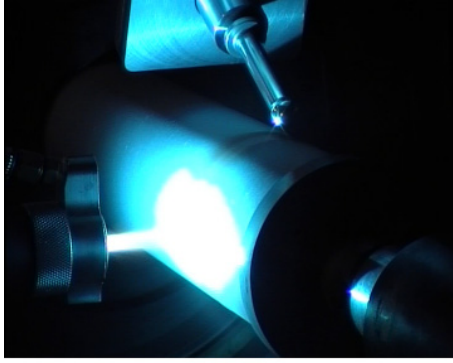


Abbildung 2: Thermisches Spritzen und Verdichten

Das Zusammenführen der beiden Prozesse ermöglicht ein neuartiges Herstellungsverfahren, bei dem Oberflächenbeschichtungen unmittelbar nach dem Auftragen verdichtet werden können, sodass sie verbesserte Eigenschaften aufweisen, z.B. höhere Härte und damit bessere Verschleißigenschaften (s. Abb. 2).

In Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Graphische Systeme (Informatik VII) und dem Institut für Roboterforschung (IRF) wird im Rahmen eines DFG-Sonderforschungsbereiches dieses Problem der kooperierenden und synchronisierten Ansteuerung von zwei Robotern an einem Werkzeug näher untersucht. Speziell die enge zeitliche und räumliche Kopplung der Prozesse und damit auch der prozessrealisierenden Roboter ergibt bisher nur unzureichend behandelte Fragestellungen im Bereich der Bewegungsplanung von Robotern mit räumlichen und zeitlichen Restriktionen. Dieses ist aber ein essenzieller Aspekt zur Gewährleistung hoher Prozessqualität. An dieser Stelle setzt die Aufgabe der Projektgruppe an. Innerhalb dieser soll ein Software-System zur Planung von Bahnen kooperierender Industrieroboter entwickelt und realisiert werden.

Aus praktischen und sicherheitstechnischen Überlegungen soll im Rahmen der Projektgruppe ein vereinfachter gekoppelter Bearbeitungsprozess umgesetzt werden, welcher aus dem oben genannten Ansatz abgeleitet ist: Auf einem Werkstück soll mit Hilfe des einen Roboters Farbe aufgesprüht werden. Der zweite Roboter soll die unmittelbar anschließende Trocknung mit Hilfe eines Heißluftgerätes oder Wärmestrahlers durchführen. Innerhalb einer Simulationsplattform sollen die Bahnen ermittelt und im Vorfeld einer Roboteransteuerung dreidimensional visualisiert werden. Diese Herangehensweise gewährleistet einen direkten Einblick in die Steuerung, eine frühzeitige Detektion von kritischen Situationen (z.B. Kollisionen der Roboter) und neue Erkenntnisse zur effizienten Umsetzung von gekoppelten Bahnplanungen zur Roboteransteuerung. Die primäre Problemstellung in diesem Szenarium ist somit Planung einer kollisionsfreien Bewegung der Roboterarme.

Der Prozess der Entwicklung von der Bereitstellung einer geometrischen Beschreibung des Werkstücks bis zur dreidimensionalen Simulationsplattform für Bahnplanungen lässt sich in folgende Phasen aufteilen:

- (a) **Datenimport:** Realisierung eines Importmoduls für unterschiedliche dreidimensionale Datenformate, wobei in Abhängigkeit des Datenmaterials die Netze überarbeitet werden müssen (Retriangulierung, Glättung) [2].
- (b) **Pfadgenerierung:** Dabei ist die Generierung von überdeckungsfreien Bahnen für den betrachteten Auftragsprozess von besonderem Interesse. Neben verschiedenen Bahnstrategien für unterschiedliche Oberflächenarten der Werkstücke sind auch Krümmungen und Unstetigkeiten der Flächen mit zu berücksichtigen. Ein Lösungsansatz könnte in der Adaptierung des TSP (Traveling Salesman Problem) für Bahnplanung bestehen [3].
- (c) **Kollisionserkennung:** Gegenstand dieses Teilaspekts sind Strategien zur Kollisionsdetektion und Vermeidung, die sowohl die Orientierung der beiden kooperierenden Roboter zueinander und die Lage des Werkstücks zum Roboter berücksichtigen (Hüllvolumina, effiziente Schnitttests von Dreiecksnetzen [4, 5], diskret vs. kontinuierliche Tests [6, 7] bzw. [8]).
- (d) **Kooperation und Nebenläufigkeit der Roboter:** Für die Planung von kooperierenden Bewegungen sollen unterschiedliche Ansätze untersucht werden:
 - Master-Slave-Ansatz: Die Bahnplanung für den Slave-Roboter wird aus der Bahn des Master-Roboters abgeleitet, wobei sich die Bewegungsmuster des Slave durchaus grundlegend von denen des Masters unterscheiden können.
 - Heuristischer Ansatz: Basierend auf der Kollisionserkennung lässt sich eine randomisierte Suche über die Konfigurationsräume der Roboter durchführen, die zu einer Bahn mit den gewünschten Eigenschaften führt [9, 10].
- (e) **Visualisierung der simulierten Bahnen:** Integrierte Darstellung der beiden Roboterbewegungen auf Grundlage der generierten Bahnen.

Aufgrund der Tatsache, dass am Institut für Roboterforschung (sechssachsig) Industrieroboter zur Verfügung stehen, können die entwickelten Algorithmen aktiv getestet werden. Zudem wird durch eine zur Verfügung stehende Simulations-Software des Roboterherstellers eine realistische Simulation der Roboterbewegungen ermöglicht. Diese kann der Projektgruppe auch als Grundlage zur Programmierung und Visualisierung dienen. Zudem können die resultierenden Ergebnisse in einem bereits existierenden Simulationssystem für multikooperierende Roboter geprüft und an dem einleitend erwähnten realen Beispielszenarium des Besprühens mit Farbe demonstriert werden [11]. Dass für diese Projektgruppe zum ersten Mal an der Universität Dortmund eine neuartige Steuerung zur Verfügung steht, die es erlaubt zwei oder mehr Roboter im Hinblick auf kooperierende oder synchronisierte Bewegungen anzusprechen, verdeutlicht die Forschungsrelevanz in diesem Sektor.

Bei der objektorientierten Umsetzung dieser Anforderungen in ein Softwaresystem sollen die Entwurfsphasen des Software-Engineering beachtet werden [12]. Dieses geht mit der angestrebten modularen Umsetzung einher, welche eine Skalierbarkeit des Systems für erweiterte Fragestellungen erlaubt und eine Portierung auf andere Robotersysteme erlaubt.

6. Teilnahmevoraussetzungen:

- Eine der Vorlesungen „Mensch-Maschine-Interaktion“ (Graphische Systeme) oder „Eingebettete Systeme“. **[V]**
- Eine der Spezialvorlesungen "Digitale Bildverarbeitung", "Digitale Bilderzeugung", "Geometrisches Modellieren" oder "Datenvisualisierung". **[W]**
- Kenntnisse in objektorientierter Programmierung und einer Programmiersprache, z.B. Java oder C++. **[V]**
- Kenntnisse von einer MS Windows-Version oder Linux. **[W]**

Legende: [V] Voraussetzung, [W] wünschenswert

7. Minimalziel:

- Dokumentierter Systementwurf
- Dokumentierte Implementierung eines Prototypen zur Bahnplanung
- Demonstration der Grundfunktionalität an einer Roboterzelle

8. Literatur:

- [1] Rokossa, D: *Prozeßorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern*, Dissertation, Institut für Roboterforschung, Universität Dortmund, Shaker-Verlag, 1999
- [2] Glassner, A. S.: *Principles of Digital Image Synthesis*, Morgan Kaufman, San Fran., 1995
- [3] Baraglia, R., Hidalgo, J.I.; Perego, R.: *A hybrid heuristic for the traveling salesman problem*, IEEE Trans. on Evolutionary Computation, , Vol.5 (6), 613-622, 2001
- [4] Moeller, T.: *A fast triangle-triangle intersection test*, J. Graph. Tools 2, Nr.2, 25-30, 1997
- [5] Devilliers, O.: *Fast and robust triangle-triangle overlap tests using orientation predicates*. J. of Graph. Tools 8, Nr.1, 25-42, 2003
- [6] Cohen, L., Manocha, P.: *I-COLLIDE: An interactive and exact collision detection system for large-scale environments*
- [7] Lin, M., Gottschalk, S.: *Collision detection between geometric models - a survey*, In Proc. of IMA Conference on Mathematics of Surfaces, 1998
- [8] Redon, S., Kheddar, A., Coquillart S.: *Fast continuous collision detection between rigid bodies*, In: ACM SIGGRAPH Course Notes, 2004
- [9] Latombe, C-J.: *Robot Motion Planning*. Kluwer Academic Publishers, Norwell, USA 1991
- [10] Qin, C., Henrich, D.: *Path planning for industrial robot arms - a parallel randomized Approach*, Proc. Int. Sym. on Intelligent Robotic Systems, 65-72, 1996.
- [11] ABB robotics, <http://www.abb.de/product>
- [12] Balzert H.: *Lehrbuch der Software-Technik*, Spektrum Akademischer Verlag, 1999