

Oskar von Stryk
Hans Josef Pesch
Roland Bulirsch

Zeit ist Geld? Nicht für Roboter!

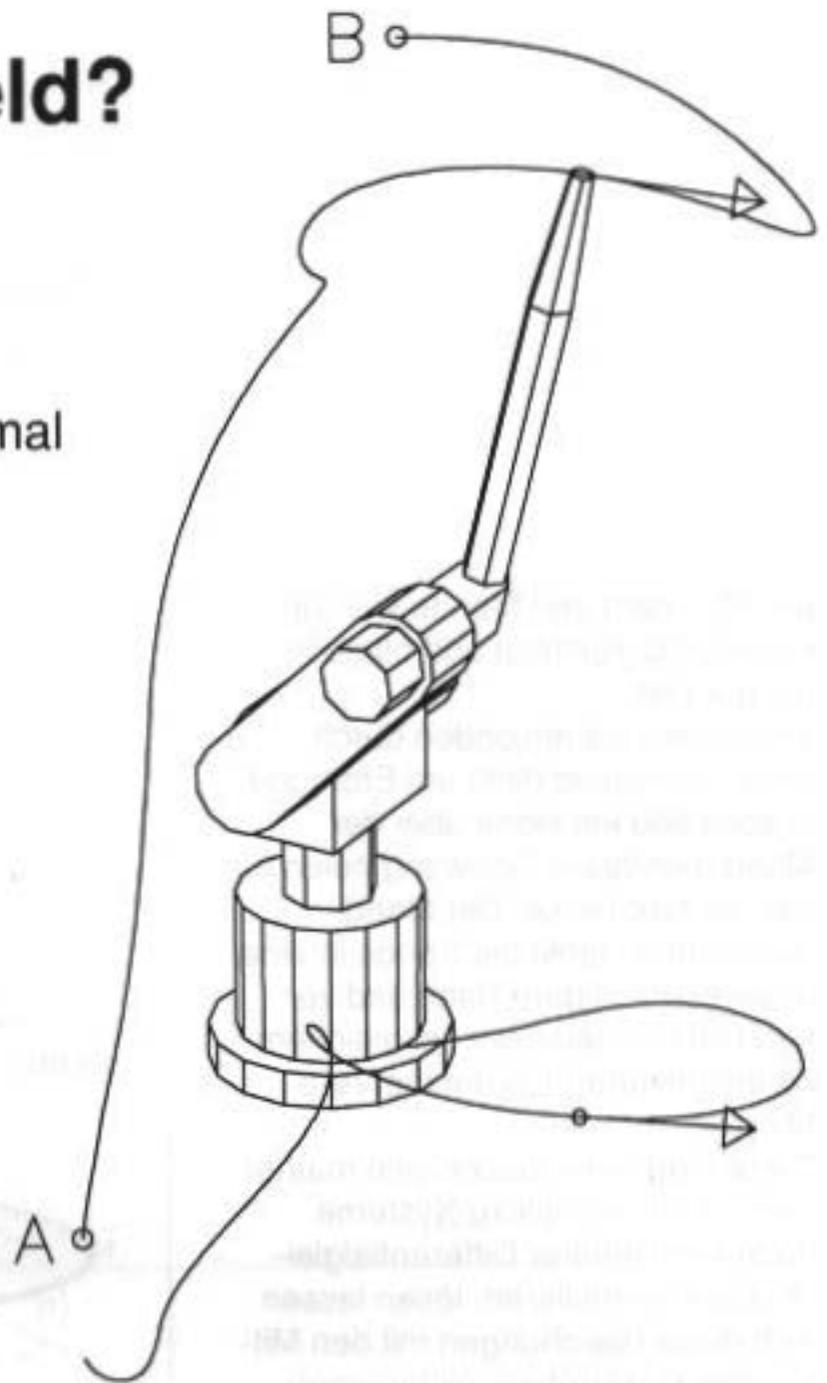
Roboterarme optimal
bewegen

Während die Idee eines künstlichen Menschen schon sehr alt ist, werden moderne Industrieroboter heute unter weit weniger hohen Ambitionen, dafür jedoch um so wirkungsvoller in der industriellen Produktion eingesetzt.

Realistische Modelle immer komplexer

Ein wichtiger Aspekt beim industriellen Einsatz ist die optimale Bewegung der Roboterarme. Der Verlauf der Bewegung hängt unter anderem von den Motorspannungen in den einzelnen Gelenken ab, die über einen gewissen Zeitraum angelegt werden. Die mathematische Beschreibung solcher dynamischer Systeme geschieht durch sehr komplexe Formeln, nichtlineare Differentialgleichungen. Diese Formeln können nur mit Hilfe von Computern und speziellen Verfahren der Mechanik aufgestellt werden. Die resultierenden Beziehungen sind in einer Computersprache geschrieben und füllen ausgedruckt Tausende von Schreibmaschinenseiten. Trotz der riesigen Formelmengen können die Verläufe der Motorspan-

nungen mit neuen numerischen Verfahren so effizient berechnet werden, daß die Zeit für die Bewegung zwischen zwei vorgegebenen Punkten minimal wird. Außerdem können zusätzliche, für die Praxis besonders wichtige Beschränkungen an die optimale Bahn berücksichtigt werden: Da dürfen die Kräfte in den Gelenken gewisse Maximalwerte nicht überschreiten oder es gibt Hindernisse im Raum, die mit dem Arm umfahren werden müssen.



Zeitminimale Bahn: 1.251 sek

Abb.: Die schnellste Bewegung eines Roboterarmes zwischen zwei vorgegebenen Punkten A und B ist selten entlang einer Geraden. Diese Bewegung kann mit Hilfe der Mathematik, der Theorie der optimalen Steuerung, gefunden werden. Aber Zeit allein ist eben nicht Geld: Die nur wenig langsamere „energieminimale“ Bewegung übt erheblich weniger Belastungen auf die Gelenke aus, verringert deutlich den Verschleiß des Roboters und ist in der Praxis robuster.

Ebenso lang wie die Formeln sind die Zahlenkolonnen, die man als Lösungen der Algorithmen für die optimale Bewegung erhält. Mit Hilfe dieser Daten kann man jedoch ein Modell des Roboters auf dem Computer bewegen, und die Bedeutung der optimalen Lösung für die Praxis wird erst jetzt offensichtlich.

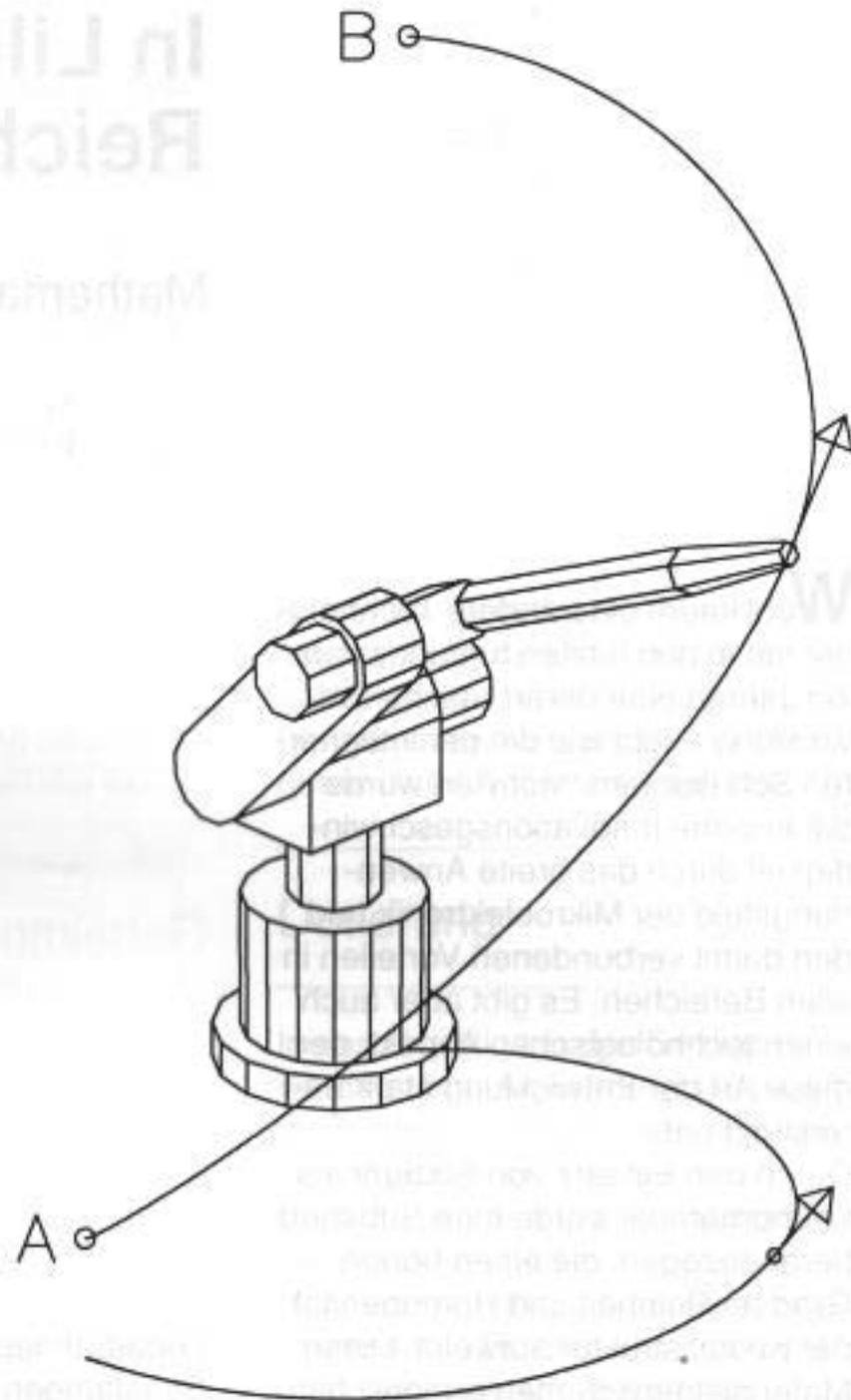
Besser Energie als Zeit sparen!

Betrachtet man nur die „Zeitoptimalität“ so gibt es zwei gravierende Nachteile. Die zeitoptimalen Bahnen belasten die Gelenke außerordentlich hoch, und die beim realen Roboter auftretenden kleinen Abweichungen von den Soll-Werten führen zu Instabilitäten in der zeitoptimalen Bewegung, weil keine Reserven für deren Ausgleich mehr da sind. Ist jedoch die schnellstmögliche Zeit für eine Bewegung bekannt, so kann man eine nur 10 – 20 prozentig langsamere Zeit als Schranke zur Berechnung einer „energieminimalen“ Bewegung verwenden.

Mit den neuen numerischen Verfahren ist es nun auch denkbar, die

Energieminimale Bahn: 1.400 sek

Auslegung von Armen und Motoren eines Roboters mit Hilfe einer Vorabsimulation und -optimierung des Bewegungsverhaltens am Computer noch vor dem Bau des ersten Prototypen zu überprüfen und einen besseren Entwurf vorzulegen. Ist die bisher beschriebene Bahnplanung außerhalb der Produktion (off-line) durchzuführen, so gewinnt die Optimierung während des Produktionsablaufes (on-line) zunehmend an Bedeutung. Optimierung und Simulation von immer komple-



xeren dynamischen Systemen in Echtzeit stellen völlig neue Anforderungen an die Struktur von Algorithmen und Rechanlagen, wenn die Verfahrzeit im Bereich von 1 bis 2 Sekunden liegt. Das ist ein aktuelles Forschungsgebiet im technisch-wissenschaftlichen Hochleistungsrechnen, das sich in der Lehre widerspiegelt. Die vielen zu lösenden Teilprobleme führen die Studierenden im Rahmen von Semester- und Diplomarbeiten an aktuelle Forschungsgebiete heran.