

Einführung in die Robotik

Jianwei Zhang
zhang@informatik.uni-hamburg.de

T | A
M | S
Universität Hamburg
Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften
Department Informatik
Technische Aspekte Multimodaler Systeme

30. Juni 2009

Gliederung

- Allgemeine Informationen
- Einführung
- Koordinaten eines Manipulators
- Kinematik-Gleichungen
- Kinematik-Gleichungen
- Inverse Kinematik von Manipulatoren
- Differentielle Bewegungen mit homogenen Transformationen
- Jacobi-Matrix eines Manipulators
- Aufgabenbeschreibung
- Robotergrammierung auf drei Ebenen
- Trajektoriegenerierung
- Trajektoriegenerierung
- Einführung in RCCL

Gliederung (cont.)

- Dynamik
- Roboterregelung
- Programmierung auf Aufgabenebene und Bahnplanung
- Programmierung auf Aufgabenebene und Bahnplanung
 - Transformation vom Arbeitsraum zum Konfigurationsraum
 - Berechnung der K-Hindernisse von Polygonen
 - Berechnung der K-Hindernisse für Stangenkette
 - Repräsentation des Konfigurationsraums durch Zerlegungsverfahren
- Programmierung auf Aufgabenebene und Bahnplanung
 - Potentialfeldmethode
 - Probabilistische Ansätze
 - Anwendungsgebiete

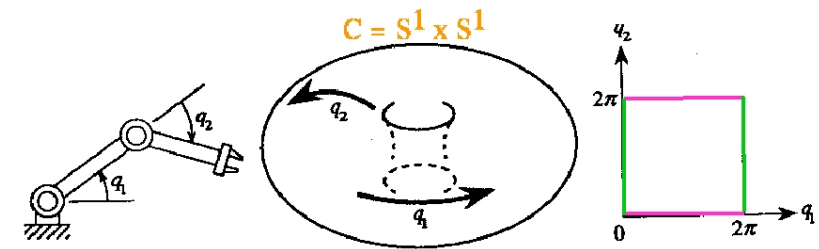
Gliederung (cont.)

- Erweiterungen des Basisproblems
 - Architekturen sensorbasierter intelligenter Systeme
 - Aus- und Rückblick

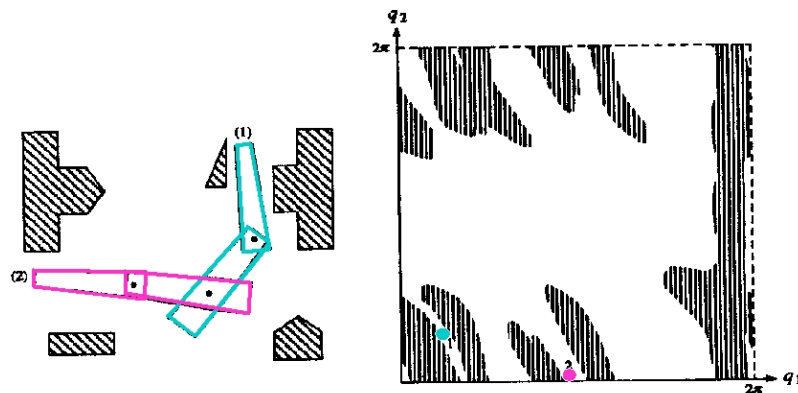
Grundlage zur Programmierung auf Aufgabenebene

- ▶ Ein Roboter mit physikalischen Größen → ein Punkt, die Hindernisse im Arbeitsraum → Konfigurationsraumhindernisse (*K-Hindernisse*), das Komplement der vereinigten *K-Hindernisse* → der kollisionsfreie Raum (*Freiraum*).
- ▶ Bahnplanung für einen Roboter → Suche einer Bahn für den Referenzpunkt des Artefaktes im Freiraum.

Vom Arbeitsraum zum Konfigurationsraum: eine Illustration



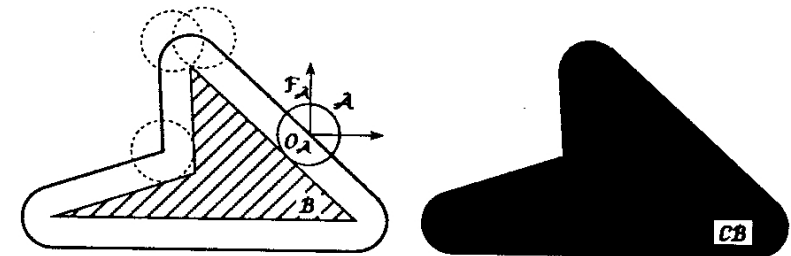
Vom Arbeitsraum zum Konfigurationsraum: ein Beispiel



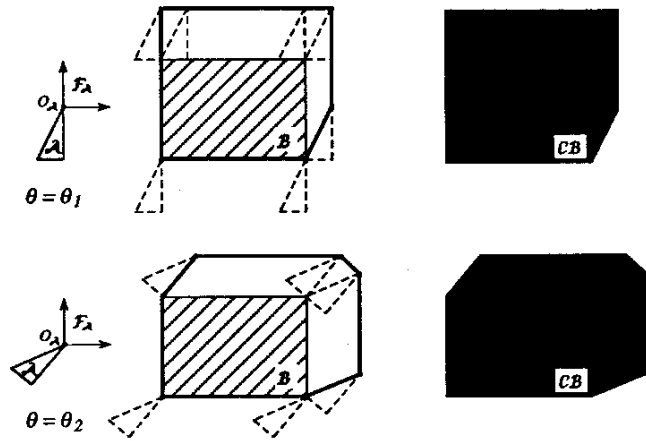
Die Topologie ändert sich nach der Transformation.

Berechnung eines K-Hindernisses für ein kreisförmiges Objekt

r-Vergrößerung eines Hindernisses:



Berechnung der K-Hindernisse von Polygonen



Berechnung eines K-Hindernisses mit Minkowski-Differenz

Ein K-Hindernis eines ortsfesten konvexen Hindernisses bzgl. eines (bewegten) konvexen Roboterteils läßt sich theoretisch einfach darstellen als **Minkowsky-Differenz** der beteiligten Objekten.

Wir können $CO_O(H)$, ein K-Hindernis eines ortsfesten konvexen Hindernispolyeders H bzgl. eines (bewegten konvexen Objektes O , exakt berechnen.

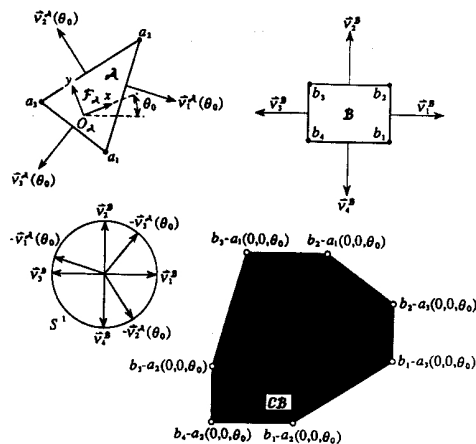
$CO_M(H)$, Ein K-Hindernis eines ortsfesten konvexen Hindernispolyeders H bzgl. eines sich translatorisch bewegenden konvexen Objektes O : **Minkowski-Differenz (Minkowski-Summe)** von H und O (H und $-O$):

$$CO_O(H) = H \ominus O = H \oplus (\ominus O)$$

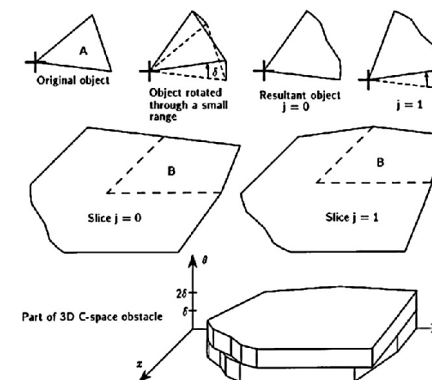
wobei

$$H \ominus O := \{h - o \mid h \in H \wedge o \in O\}$$

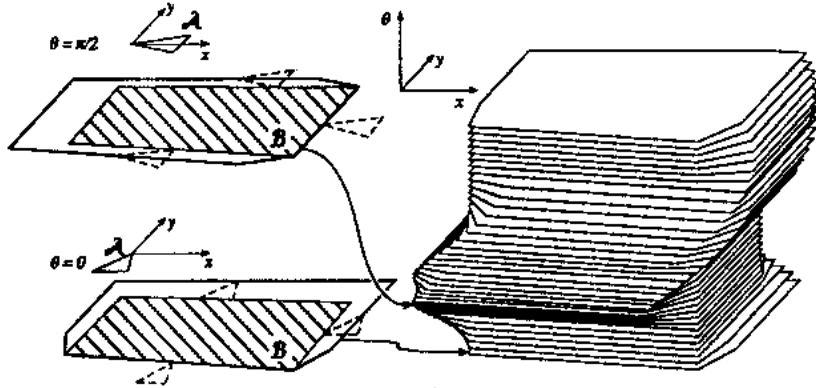
Berechnung eines K-Hindernisses mit Polygonen



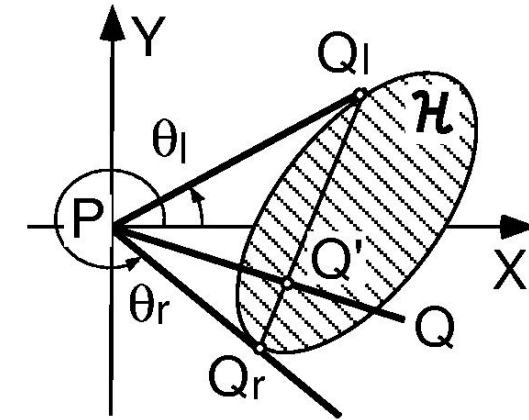
K-Hindernisse für ein Objekt mit 2D translatorischen und 1D rotatorischen Bewegungen - I



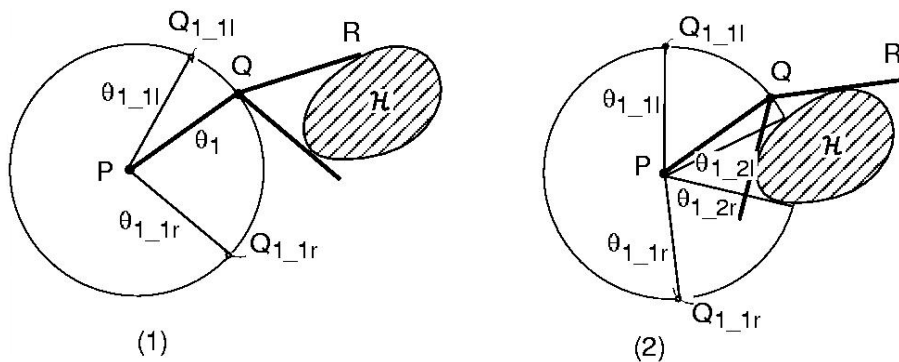
K-Hindernisse für ein Objekt mit 2D translatorischen und 1D rotatorischen Bewegungen - II



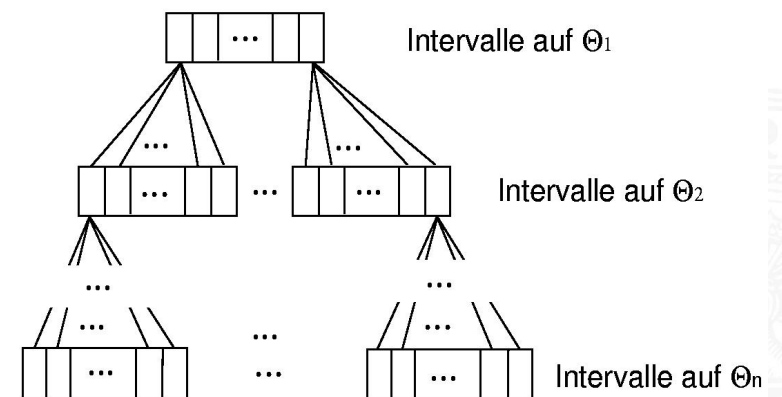
Berechnung der K-Hindernisse für eine Stange



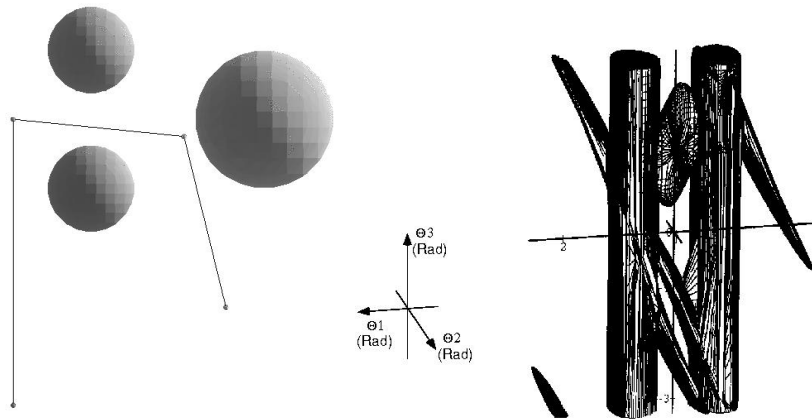
Berechnung der K-Hindernisse für eine 2D Stangenkette



Baumstruktur zur Zerlegung des Konfigurationsraums



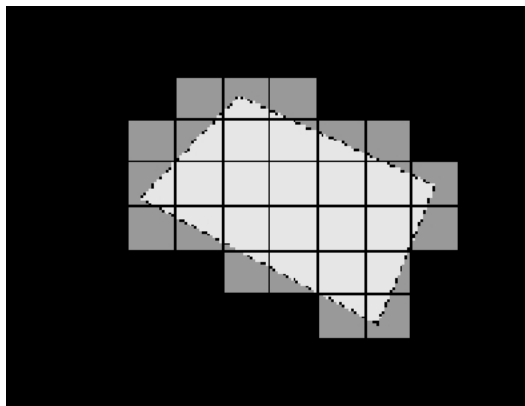
Konfigurationsraum für eine 3D Stangenkette



Repräsentation des Konfigurationsraums durch Zerlegungsverfahren

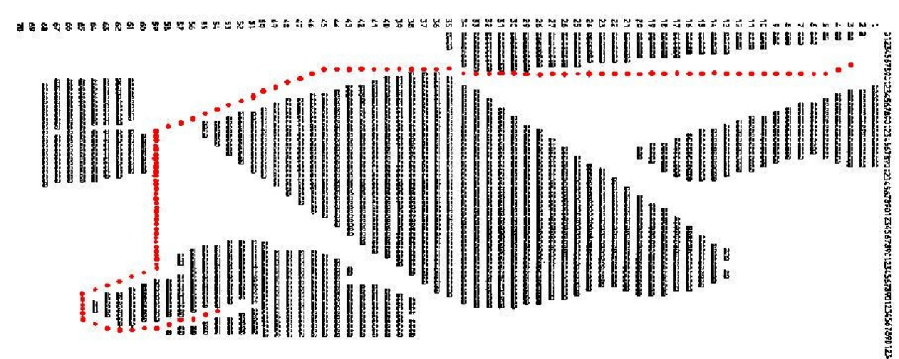
- ▶ Geometrische Zerlegung über
 - ▶ gleichmäßige Kuben
 - ▶ eine hierarchische Baumstruktur (Viererbaum, Achterbaum, usw.)
 - ▶ Scheiben und Scanlinien
 - ▶ "Luftblasen" flexibler Größe
- ▶ Topologische Zerlegung
 - ▶ mit überlappenden verallgemeinerten Kegeln
 - ▶ mit kritischen Punkten der K-Hindernisse

Kubenzерlegung des Konfigurationsraums

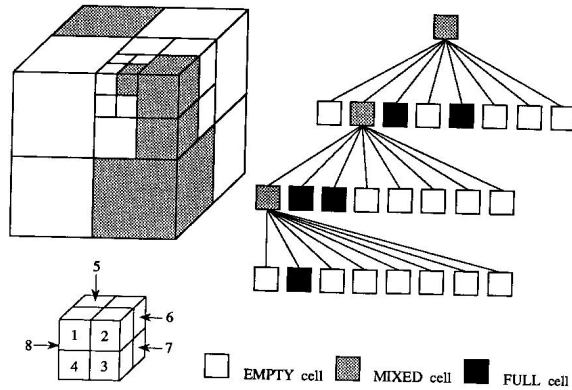


Das erzeugt ein Bitmap für einen Konfigurationsraum

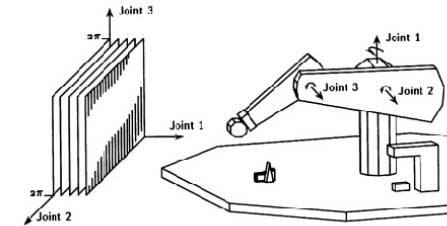
Zerlegung eines Konfigurationsraums mit Quadraten



Achterbaum-Zerlegung des Konfigurationsraums

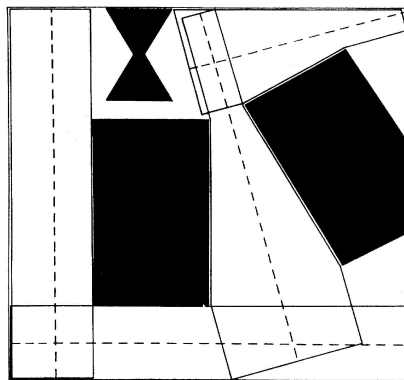


Achterbaum-Zerlegung des Konfigurationsraums



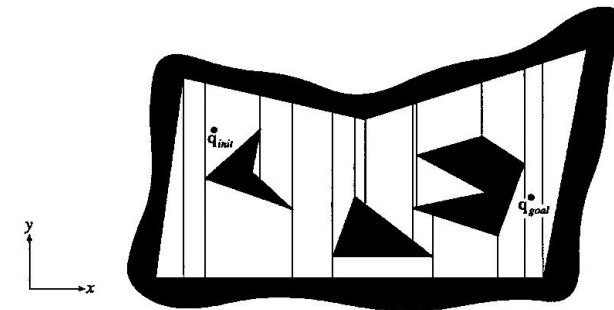
Komplexität: $r^{d-1}f(m)$ zur Abbildung der K-Hindernisse, wobei r : die Anzahl der Diskretisierungsschritte in jedem Freiheitsgrad, d : Freiheitsgrad des Roboterarms, $f(m)$: die Rechenzeit einer Scheibe – eine Funktion der Kantenanzahl aller Hindernisse – ist.

Repräsentation des Freiraums mit verallgemeinerten Kegeln



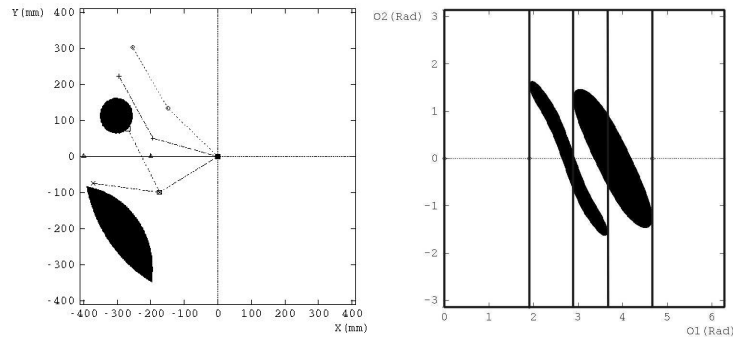
Exakte Zerlegung eines Konfigurationsraums

das ist ein Beispiel der trapezoiden Zerlegung

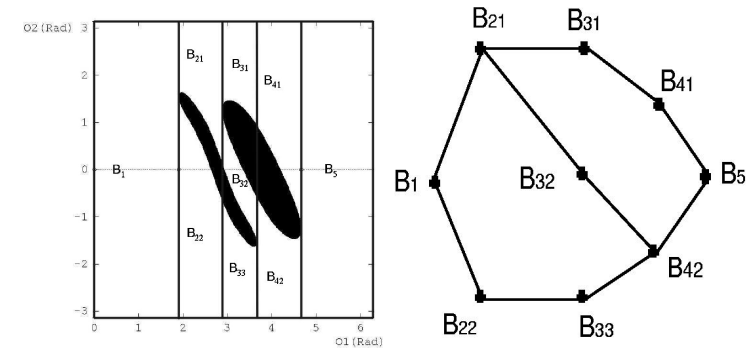


Beispiel einer exakten Zerlegung mit kritischen Punkten

das ist ein Beispiel der zylindrischen Zerlegung

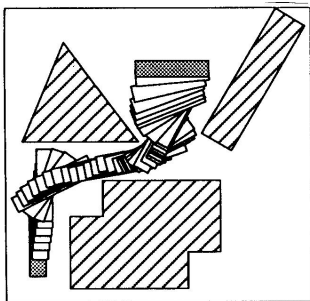


Beispiel einer exakten Zerlegung und eines Verbindungsgraphen



Planungsergebnisse

“Piano-Mover”:



Manipulatoren:
3D Konfigurationsraum (auf einem seriellen Rechner)
Bis zu 6D Konfigurationsraum (auf massiv-parallelen Rechnern)

Lozano-Perez 92 HANDEY

Zusammenfassung: Zerlegungs-basierte Bahnplanung

Vorteile:

- ▶ Vollständigkeit bei einer ausreichenden Auflösung
- ▶ globale Übersicht

Nachteile:

- ▶ großer Speicherbedarf
- ▶ relativ schwer zu implementieren
- ▶ praktisch implementierbar nur für wenige Freiheitsgrade

⇒ Bahnplanung ohne explizite Repräsentation der Freiraumgeometrie?