

Bewegungen in Einzel- und Mehrpunktkontakten

Thorsten W. SCHMIDT

AG Eingebettete Systeme und Robotik (RESY),
Fachbereich Informatik, Universität Kaiserslautern,
<http://resy.informatik.uni-kl.de/>

1. Einleitung
2. Bewegungen in Kontaktpunkten
3. Berechnung der Form des Objektes
4. Verschiedene Splinearten
5. Zusammenfassung & Ausblick



Einleitung

Motivation

- Manipulation starrer Objekte bekannt
- Echtzeitfähige Berechnung

Ziel

- Manipulation deformierbarer Objekte
- Analytische Berechnungen
- direktes und inverses Manipulationsproblem

Problem

- Physikalische Simulation der Objekte zu aufwendig
- Form der Objekte nicht hinreichend genau bekannt

Stand der Forschung

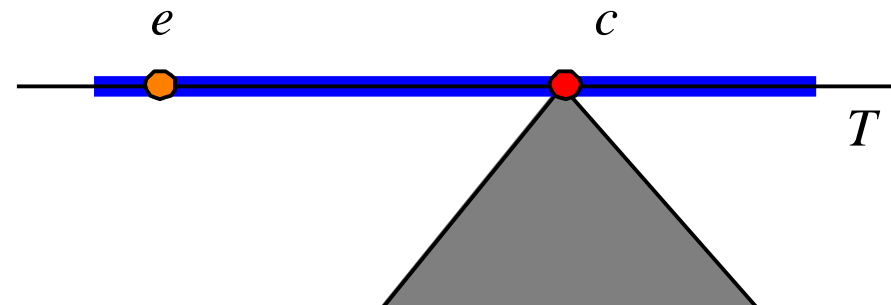
- Physikalische Simulation der Objektform
- Kameras zur Überwachung der gestellten Aufgabe
- Kräfte-Momente-Sensor zum feststellen von Kontaktzustandsänderungen
- Modelle aus der Computergrafik



Bewegungen in *einem* Kontaktpunkt (1)

Voraussetzungen

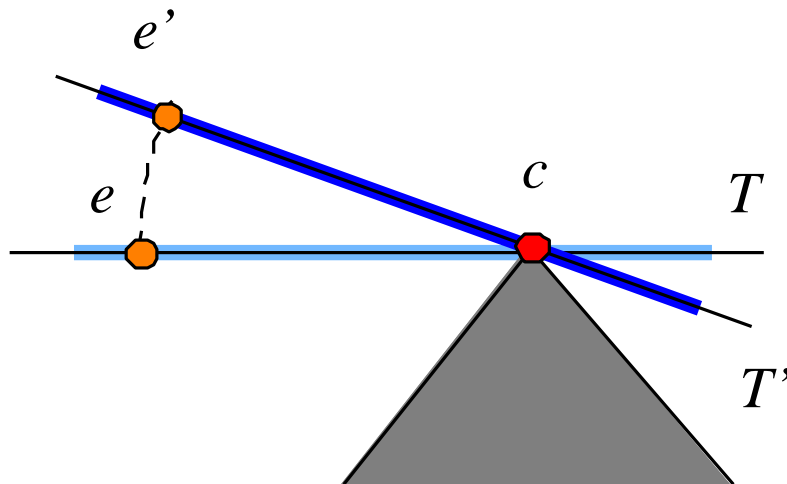
- Deformierbares lineares Objekt (DLO)
- Leichter Anpressdruck im Kontaktpunkt c
- Greifposition e gegeben
- Tangente T in c ist bekannt



Bewegungen in *einem* Kontaktpunkt (2)

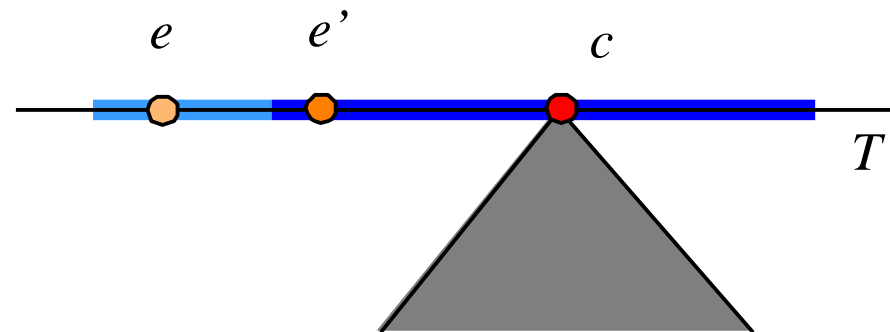
Bewegungen

- invers
 - * Rotation von e um c
 - * Translation von e in Richtung T



Eigenschaften

- + Quantitative Angabe der Rotation
- + Quantitative Angabe der Translation
- + Keine Deformation des DLO



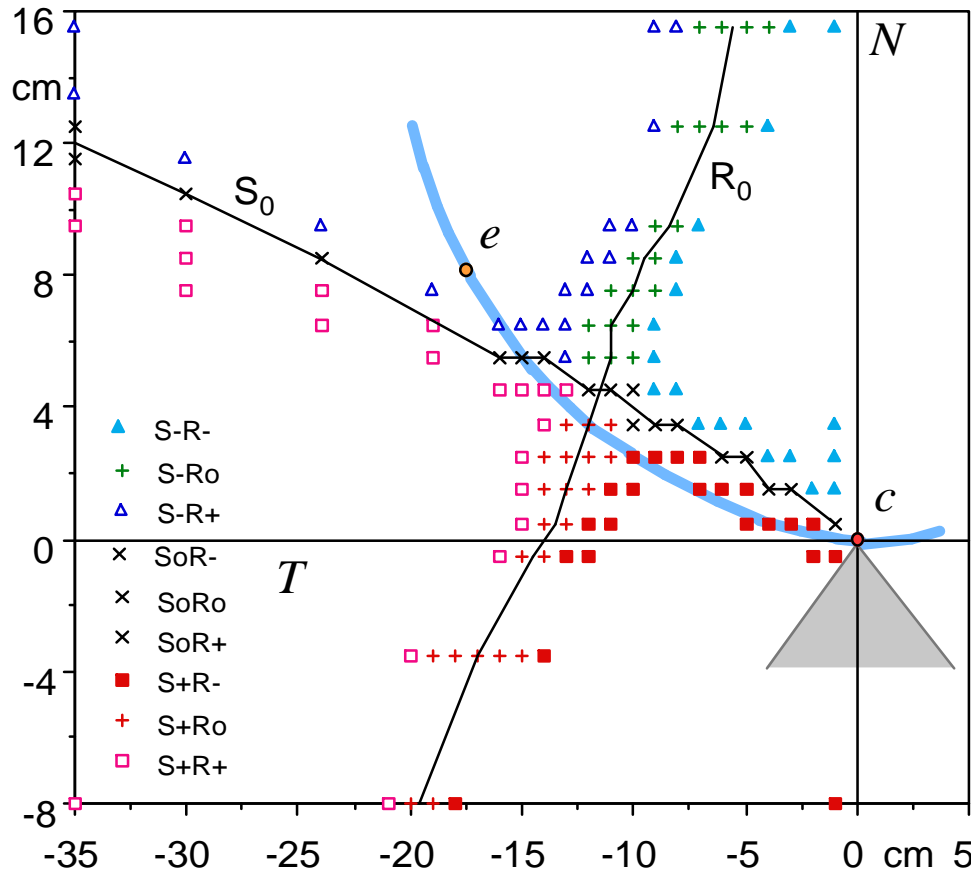
Bewegungen in *einem* Kontaktpunkt (3)

Bewegungen

- direkt
 - * Rotation von e im Uhrzeigersinn um festes Rotationszentrum (direktes Manipulationsproblem)
 - * Beobachten der Bewegungen in c
 - * Experimentelle Bestimmung von Rotationszentren

Eigenschaften

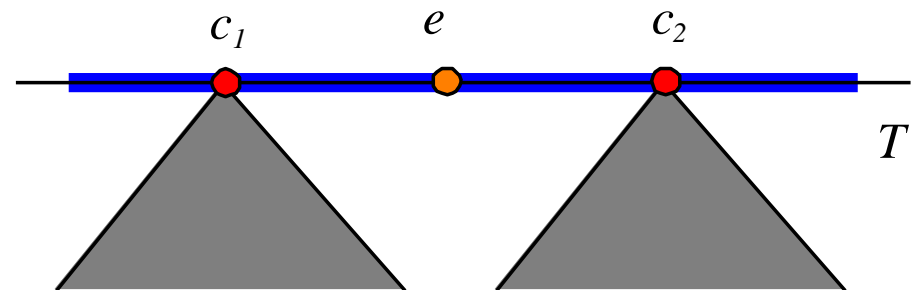
- + Berücksichtigung von gekrümmten Objekten
- ± Erstellen von Rotationsgebieten
- ± R_0 , S_0 und N Linie als Begrenzung
- qualitative Angabe der Bewegung



Bewegungen in zwei Kontaktpunkten (1)

Voraussetzungen

- Deformierbares lineares Objekt (DLO)
- Leichter Anpressdruck in Kontaktpunkten c_1, c_2
- Tangenten T_1, T_2 in sind bekannt
- Greifposition e liegt zwischen c_1, c_2



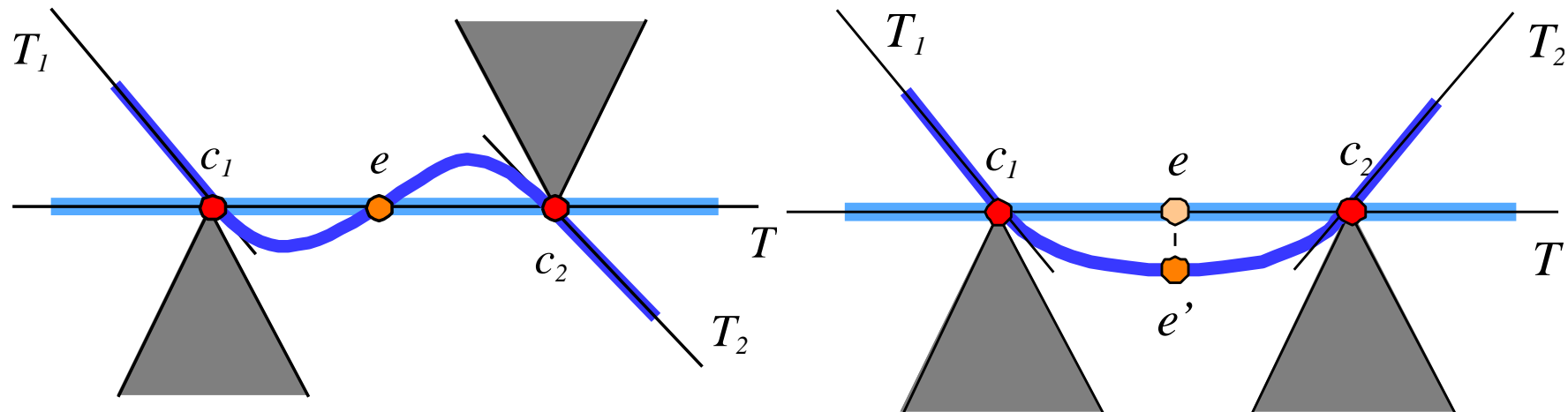
Bewegungen in zwei Kontaktpunkten (2)

Bewegungen

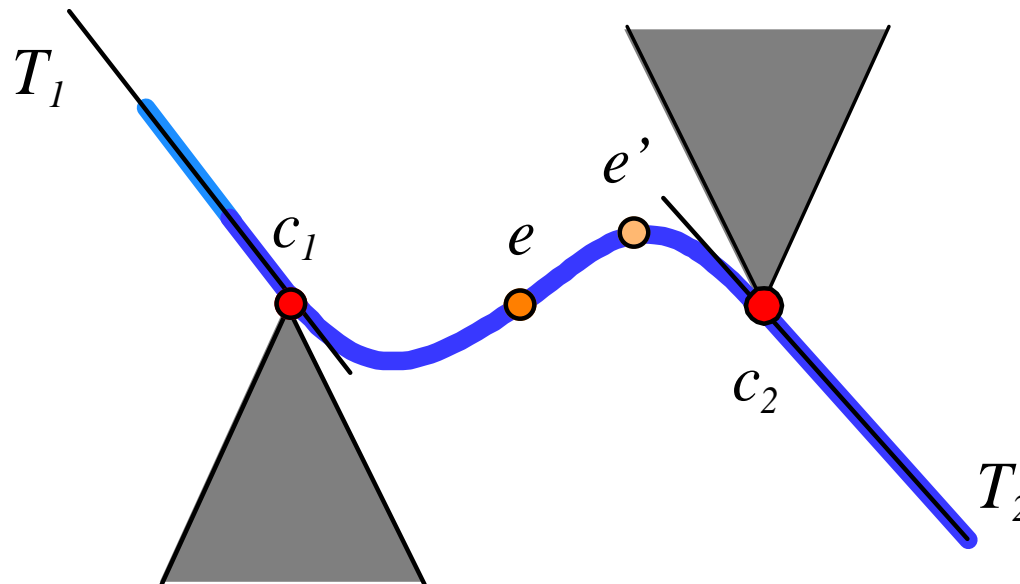
- Rotation von e um Greifpunkt e
- Translation von e senkrecht zum DLO

Eigenschaften

- + Quantitative Angabe der Rotationen in c_1, c_2
- + Quantitative Angabe der Translation in c_1, c_2
- Keine quantitative Ausführung bei gegenseitiger Beeinflussung
- ± Deformiert das DLO



Bewegungen in zwei Kontaktpunkten (3)



Bewegungen

- Translation von e parallel zum DLO (kleine Bewegung)
- e entlang des DLOs verschieben (große Bewegung)

Eigenschaften

- + Form bleibt erhalten, wenn Translation klein
- Kontakt kann verloren gehen (bei DLO mit Wendepunkt und e' nahe an Hoch-/Tiefpunkt)

Berechnung des Effektpunktes bei zwei Kontaktpunkten

Gegeben

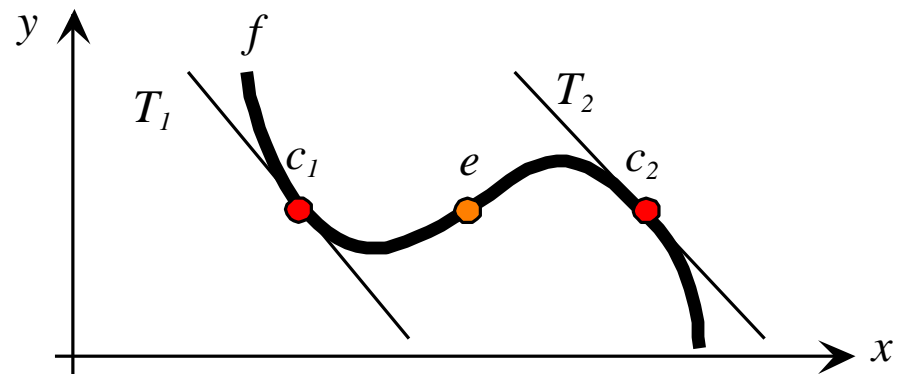
- Lage der Kontaktpunkte c_1, c_2
- Neue Tangenten T_1 bzw. T_2 des DLOs in c_1 bzw. c_2
- Aktuelle Position e des Greifpunktes

Ergebnis

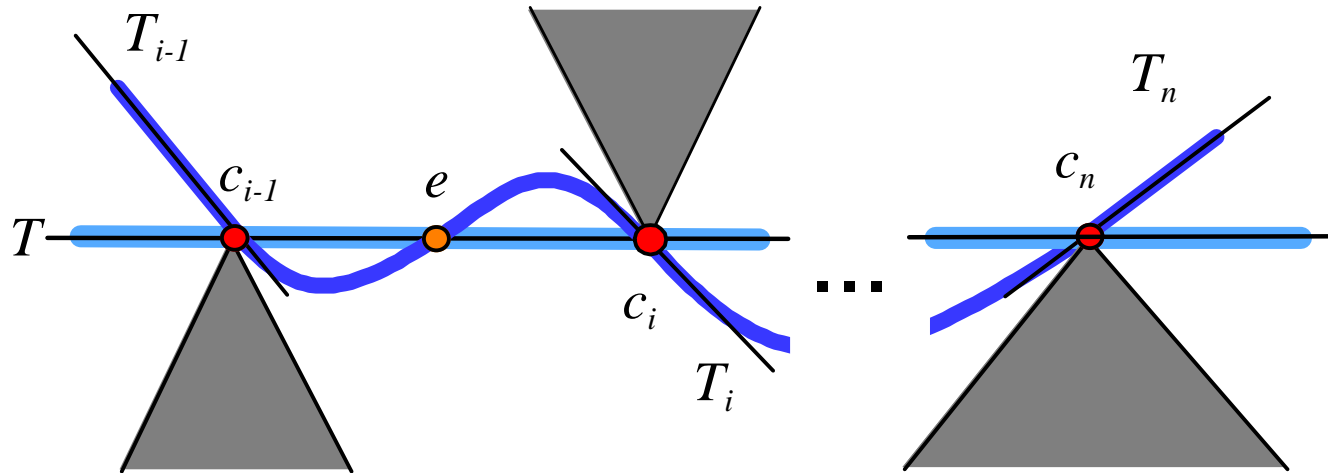
- Roboterposition x_0 auf dem Spline
- Neue Position $e' = f(x_0)$ des Greifpunktes
- Neuer Rotationswinkel $f'(x_0)$ des Greifpunktes

Gesucht

- Spline 3. Grades
 $f(x) = \mathbf{a} \cdot x^3 + \mathbf{b} \cdot x^2 + \mathbf{g}x + \mathbf{d}$
- Spline erfüllt gegebene Bedingungen



Berechnung der Form des DLOs in n Kontaktpunkten



Gegeben

- Lage der Kontaktpunkte c_i
- Neue Tangenten T_k bzw. T_m des DLOs in c_k bzw. c_m

Lösung

- Aneinanderhängen von Splinestücken
- Aufstellen einer Systemmatrix für alle Splinestücke
- Lösen der Matrix

Ergebnis

- Alle Tangenten T_i sind bekannt
- Form des DLOs in allen Punkten gegeben
- Neue Lage von e

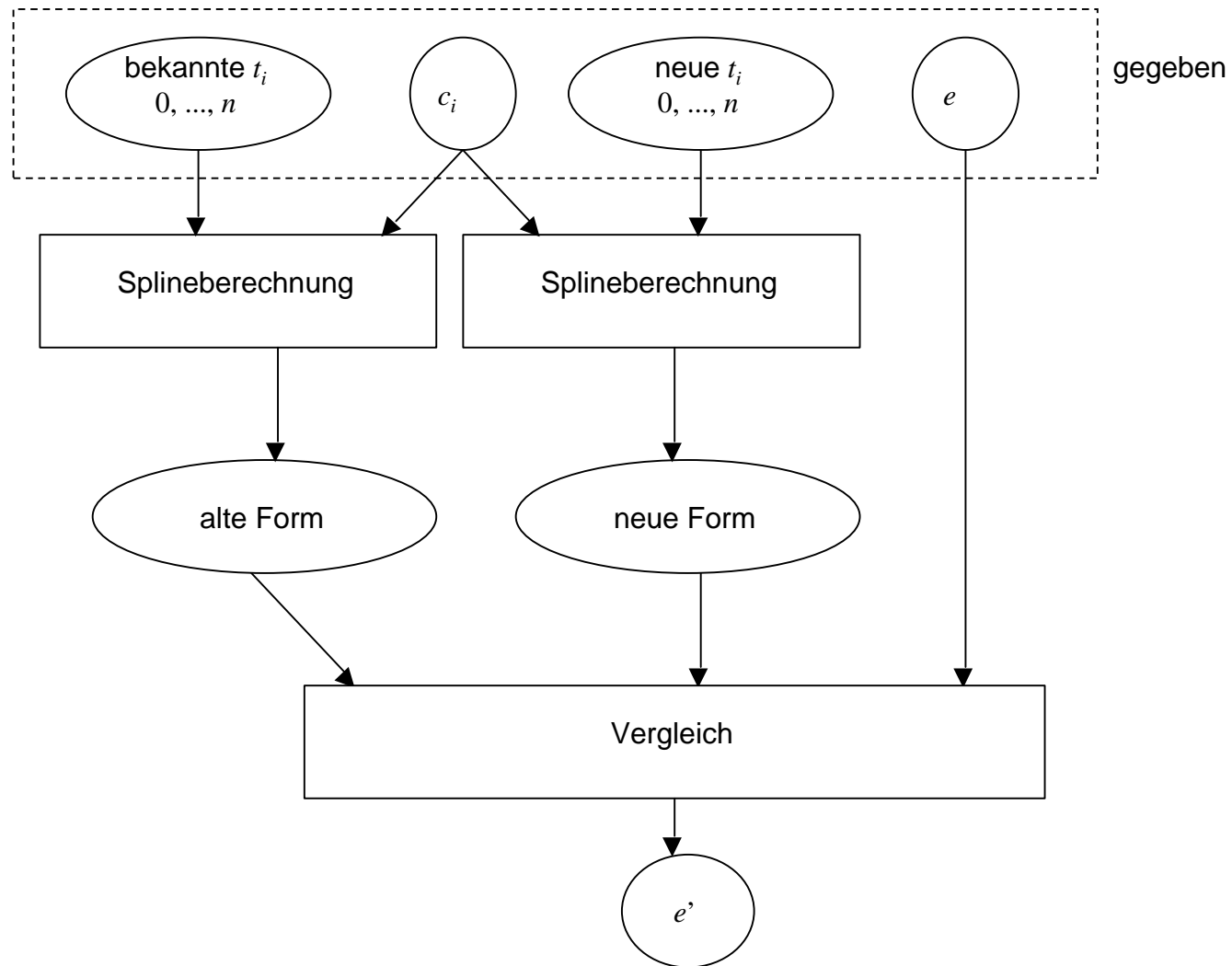
Splines

Lösen der Systemmatrix

- i -tes Splinestück
 - * $\mathbf{S}_i(x) = \mathbf{a}_i x^3 + \mathbf{b}_i x^2 + \mathbf{g}_i x + \mathbf{d}_i$
- $nm \times nm$ – Matrix
 - * n : Anzahl der Kontaktpunkte
 - * Normale Splines
 - $m = 12$
 - * Splines unter Spannung
 - $m = 3$
- Effizientes Lösen wegen Bandstruktur
- $O(n^2)$

$$\begin{pmatrix}
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\
 3 & 2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\
 6 & 2 & 0 & 0 & 0 & -2 & 0 & 0 \\
 & & & & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 & & & & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\
 & & & & 3 & 2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\
 & & & & 6 & 2 & 0 & 0 & 0 & -2 & 0 & 0 \\
 & & & & & & & & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 & & & & & & & & 1 & 1 & 1 & 1 \\
 & & & & & & & & & & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 & & & & & & & & & & & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0
 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{a}_1 \\ \mathbf{b}_1 \\ \mathbf{g}_1 \\ \mathbf{d}_1 \\ \mathbf{a}_2 \\ \mathbf{b}_2 \\ \mathbf{g}_2 \\ \mathbf{d}_2 \\ \mathbf{a}_3 \\ \mathbf{b}_3 \\ \mathbf{g}_3 \\ \mathbf{d}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ c_2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ c_3 \\ c_4 \\ T_3 \\ T_4 \end{pmatrix}$$

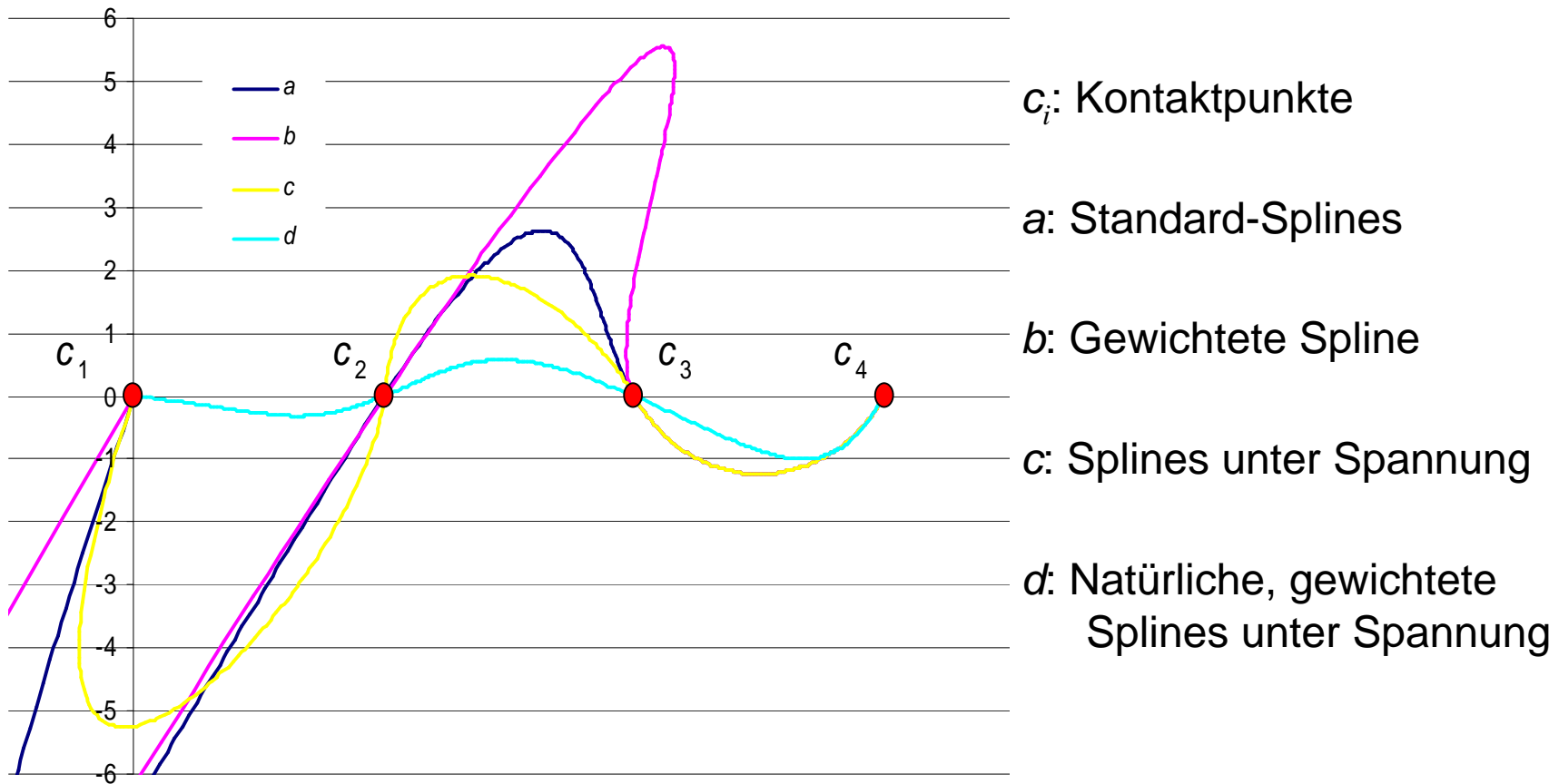
Berechnung des neuen Effektpunktes



Vergleich von Splinearten (1)

	Standard-Splines	Gewichtete Splines	Splines unter Spannung	Natürliche, gewichtete Splines unter Spannung
Anzahl der Tangenten	2	2	2	$m = 0, \dots, n$
Lage der Tangenten	beliebig	nah am Effektpunkt	nah am Effektpunkt	beliebig
Anzahl der Parameter	$n+2$	$2n+1$	$2n$	$3n-3+m$
Lage des Effektpunktes	wird nicht beachtet	bestimmt die Dämpfung	bestimmt die Dämpfung	bestimmt die Dämpfung
Optimale Anzahl der Kontaktpunkte*	2	2, ..., 4	2, ..., $12^{\#}$	2, ..., $26^{\#}$
Entartung	ja	ja	nicht immer	sehr selten
Dämpfung	keine	bedingte	ja	ja
Materialparameter	nein	nein	ja	ja
Komplexität	$3312 \cdot (n-1)^2$	$3312 \cdot (n-1)^2$	$72 \cdot n^2$	$45 \cdot (n+2)^2$

Vergleich von Splinearten (2)



Zusammenfassung

Bewegungen in Kontaktpunkten

- Bewegungen in *einem* Kontaktpunkt
 - * Rotation um c
 - * Translation in Richtung T
- Bewegungen zwischen *zwei* Kontaktpunkten
 - * Rotation um e
 - * Translation in Richtung T
 - * Translation senkrecht zu T
 - * Verschieben von e entlang des DLOs

Berechnungen der Form des DLOs

- Effiziente Berechnung der Form
- Echtzeitplanung möglich
- Verschiedene Splines mit verschiedener Genauigkeit
- Analytisch berechnete Bewegungsabläufe

Ausblick

- Gibt es effizientere Funktionen als Splines mit einer besseren physikalischen Approximation?
- Wie können Vorgekrümmte Objekte genauer approximiert werden?
- Können Sensoren die Resultate der Algorithmen verbessern?

