



Visual Servoing using Mutual Information

Christian Rupprecht

Robotics and Embedded Systems
Technische Universität München



Outline

- 1 Visual Servoing**
 - Was ist Visual Servoing?
 - Typische Lösungsansätze
- 2 Mutual Information**
 - Was ist Mutual Information?
 - Mutual Information von Bildern
 - Verbesserung
- 3 Visual Servoing mit Mutual Information**
 - Idee
 - Newton Verfahren
 - Algorithmus
 - Konvergenzbetrachtung
- 4 Demo / Video**

Was ist Visual Servoing?

Problemstellung

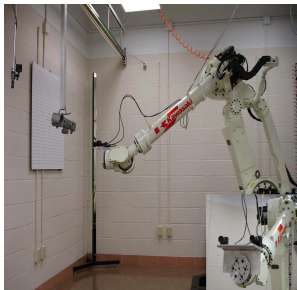


Abbildung: Roboterarm

<http://vigir.missouri.edu/images/VS.htm1.jpg>

- Roboter(arm) mit Kamera (6 DOF)
- Aufgabe: Bewegung zum Zielort
- Zielort ist nur durch Bild spezifiziert

Was ist Visual Servoing?

Beispiel

- bewege Kamera so, dass beide Bilder zur Deckung kommen
- dort kann das Objekt dann manipuliert werden



Abbildung: Aktuelles Bild



Abbildung: Zielbild



Typische Lösungsansätze

Image based Visual Servoing

- 1 Featurematching zwischen beiden Bildern (z.B. SIFT, SURF, etc.)
- 2 Berechnung der projektiven Transformation (z.B. RANSAC)
- 3 inverse Transformation beschreibt Kamerabewegung

Typische Lösungsansätze

Image based Visual Servoing

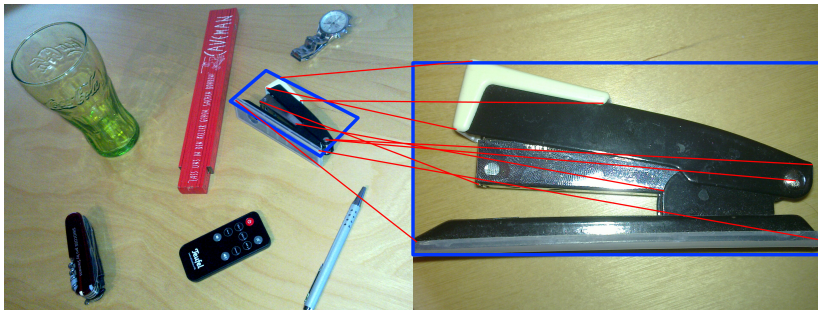


Abbildung: Matching zwischen den Bildern



Typische Lösungsansätze

Image based Visual Servoing

Vorteile

- unabhängig von der Szene
- kein Tracking notwendig

Nachteile

- Nachteile der Features übertragen sich (Genauigkeit, Robustheit)
- Featureextraktion/matching ist oft langsam
- Behandlung von Outliern



Typische Lösungsansätze

Position based Visual Servoing

- Rekonstruktion der 3D Kameraposition in beiden Bildern
- benutzt Modell des Objekts
- aus der Lage des Objekts kann die Position/Lage der Kamera berechnet werden
- Kameraposition wird zum Steuern benutzt
- Zielbild kann auch durch Zielkoordinaten ersetzt werden

Typische Lösungsansätze

Position based Visual Servoing



Abbildung: 3D Modell des Lochers



Typische Lösungsansätze

Position based Visual Servoing

Vorteile

- größerer Konvergenzbereich durch mehr Informationen
- kein Zielbild erforderlich: relative Position zum Objekt genügt

Nachteile

- benötigt Tracking des Objekts
- Abhängigkeit von der Szene
- Auffinden im ersten Bild oft schwer



Typische Lösungsansätze

Alternative Methoden

- hybride Ansätze
- ohne Features und Modelle: Sum of Squared Differences
- bessere Features, besseres Matching



Was ist Mutual Information?

Ursprung

- deutsch: Transinformation
- Ursprung: Informationstheorie, Stochastik
- Ziel: Messen der Abhängigkeit zweier Zufallsvariablen
- Idee: Claude Elwood Shannon (1963)



Was ist Mutual Information?

Beispiel

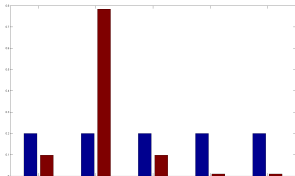


Abbildung: Histogramm

- Histogramm zweier Zufallsvariablen
- jedem Ereignis wird seine Wahrscheinlichkeit zugeordnet



Was ist Mutual Information?

Beispiel - geringe Entropie

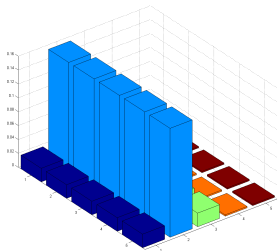


Abbildung: gemeinsames Histogramm

- Wissen über ein Ereignis verbessert nicht das Wissen über das andere Ereignis
- niedrige Entropie / keine Abhängigkeit der Zufallsvariablen



Was ist Mutual Information?

Beispiel - hohe Entropie

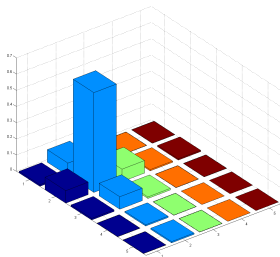


Abbildung: gemeinsames Histogramm

- Wissen über ein Ereignis verbessert das Wissen über das andere Ereignis
- hohe Entropie / hohe Abhängigkeit der Zufallsvariablen



Mutual Information von Bildern

Wie geht das?



Abbildung: Histogramm eines Bildes

- Intensitäten des Bildes als Ergebnisse eines Zufallsexperiments
- durch Normalisieren auf 1 kann Wahrscheinlichkeit abgeschätzt werden
- 256 Einträge



Mutual Information von Bildern

Gemeinsames Histogramm

- zähle, wie oft das Intensitätentupel (i, j) vorkommt
- durch Pixelanzahl teilen (Normieren)
- Einträge: 256×256



Mutual Information von Bildern

Beispiel

- 1D Beispiel von Mutual Information
- Start- und Zielbild sind identisch
- werden aneinander vorbei geschoben
- jeweils Mutual Information gemessen

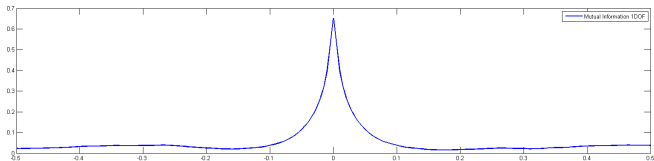


Abbildung: 1D Mutual Information



Mutual Information von Bildern

Verbesserung

- Problem: 256 Histogrammeinträge → sehr anfällig für Rauschen
- Idee: reduzieren auf 8 Einträge
- Intensitäten mit $8/256$ multiplizieren
- Runden wegen Informationsverlust schlecht
- Lösung: Intensität wird mehreren Einträgen zugeordnet
- Zuordnung über Normalverteilung



Mutual Information von Bildern

Verbesserung

- Normalverteilung aufwändig zu berechnen
- Approximation durch B-Spline
- Vorteil: schnelle Berechnung, leicht differenzierbar
- Mutual Information wird glatter, hat weniger lokale Maxima

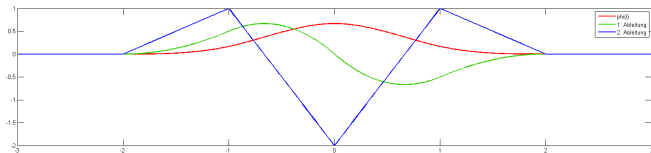


Abbildung: B-Spline der Normalverteilung (rot) und deren 1. und 2. Ableitung



Visual Servoing mit Mutual Information

Idee

- Mutual Information hängt vom aktuellen Bild ab
- aktuelles Bild hängt von den Kameraparametern ab
- finde Parameter, die MI maximieren
- Maximum liegt an der Nullstelle der 1. Ableitung

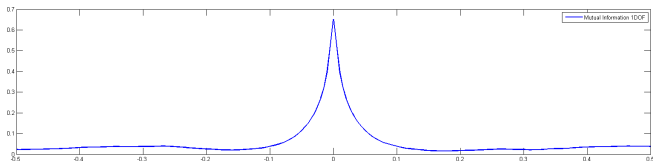


Abbildung: 1D Mutual Information



Visual Servoing mit Mutual Information

Idee

- Suche Nullstelle der 1. Ableitung
- Newton Verfahren
- nutzt Tangente an der Funktion zur Approximation der Nullstelle

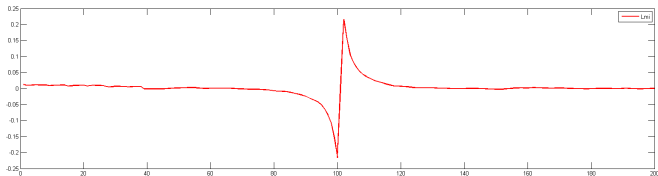


Abbildung: 1. Ableitung von 1D Mutual Information

Newton Verfahren

Eindimensional

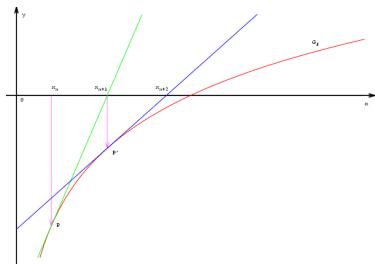


Abbildung: 1D Newton

Quelle: Wikipedia, Newton-Verfahren

- Startpunkt x_n
- Tangente durch diesen Punkt
- Nullstelle der Tangente als nächster Wert x_{n+1}
- usw.



Newton Verfahren

Mehrdimensional

- im Mehrdimensionalen ähnlich
- Tangente wird durch Jacobi-Matrix ersetzt

$$x_{n+1} := x_n - f(x_n)$$

- $J(x_n)$ ist die Jacobi-Matrix von f - enthält alle partiellen Ableitungen
- in jedem Schritt wird ein Update für das aktuelle x_n berechnet



Visual Servoing mit Mutual Information

Algorithmus

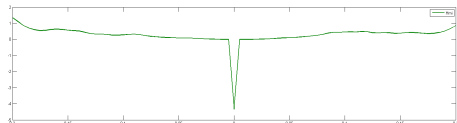
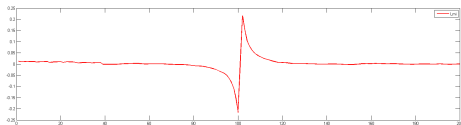
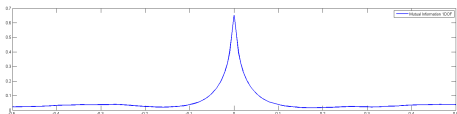
- hier ist die Funktion deren Nullstelle gesucht wird die 1. Ableitung einer Funktion
- Jacobi-Matrix J wird zur Hesse-Matrix H - enthält die partiellen 2. Ableitungen
- Funktion f wird zur 1. Ableitung L der MI Funktion

$$v := -\lambda H^{-1}L$$

- $\lambda \in]0, 1]$ reguliert Konvergenzgeschwindigkeit
- v ist das Update der Kameraparameter, also eine Art Geschwindigkeit



Konvergenzbetrachtung





Demo

nicht

