



Kameragesteuerter Knickarmroboter zur Lokalisierung von Gegenständen

Carsten Fries

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

22. Juni 2010

Gliederung

Problemstellung

Lösungsansätze

Modellbasierte Posebestimmung

Visual Servoing

Kombinierter Ansatz

Zusammenfassung und Ausblick



Problemstellung

Lösungsansätze

Modellbasierte Posebestimmung

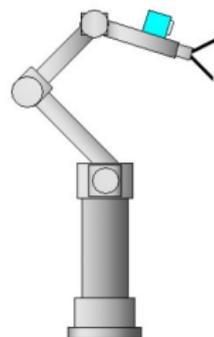
Visual Servoing

Kombinierter Ansatz

Zusammenfassung und Ausblick

Ziele des Katana-Greifarmes

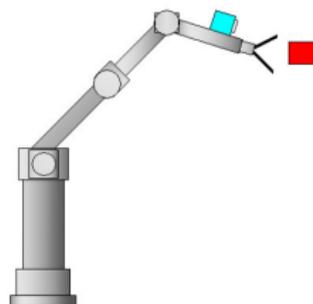
- ▶ Der Katana-Greifarm soll Gegenstände:
 - ▶ Identifizieren
 - ▶ Lokalisieren
 - ▶ Anfahren
 - ▶ Greifen
 - ▶ Manipulieren



Bildquelle: (Benjamin Wagner, 2009)

Ziele des Katana-Greifarmes

- ▶ Der Katana-Greifarm soll Gegenstände:
 - ▶ Identifizieren
 - ▶ Lokalisieren
 - ▶ Anfahren
 - ▶ Greifen
 - ▶ Manipulieren



Bildquelle: (Benjamin Wagner, 2009)

Vorbedingungen

- ▶ Knickarmroboter
 - ▶ Ortsgebunden
 - ▶ Bildgesteuert
- ▶ Am Endeffektor montierte Kamera
 - ▶ Weitwinkelobjektiv
- ▶ Merkmalsbasierte Lokalisierung



Bildquelle: (Neuronics AG, 2009)



Problemstellung

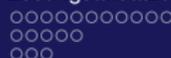
Lösungsansätze

Modellbasierte Posebestimmung

Visual Servoing

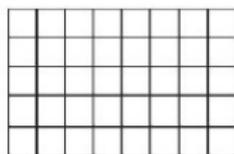
Kombinierter Ansatz

Zusammenfassung und Ausblick

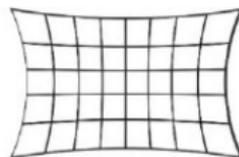


Kamerakalibrierung

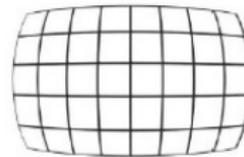
- ▶ Weitwinkelobjektiv \Rightarrow Kameraaufnahmen verzerrt
 - ▶ Tonnenförmige Verzeichnung
 - ▶ Merkmalspunkte entzerren
 - ▶ Intrinsische Kameraparameter notwendig



(a) Gitter



(b) kissenförmig



(c) tonnenförmig

Bildquelle: (Simone Graf, 2007)

Kamerakalibrierung

- ▶ Intrinsische Kameraparameter
 - ▶ Beschreiben interne Geometrie einer Kamera
 - ▶ und damit Eigenschaften wie:
 - ▶ Brennweite
 - ▶ Bildhauptpunkt
 - ▶ Pixelskalierung
 - ▶ Linsenverzeichnung

Problemstellung

Lösungsansätze

Modellbasierte Posebestimmung

Visual Servoing

Kombinierter Ansatz

Zusammenfassung und Ausblick

Schritt 1/3: Initiale Bestimmung von Weltpunkten

- ▶ Ziel: Bestimmung erster 3D-Oberflächenpunkte des Gegenstandes
- ▶ Szenario:
 - ▶ Aufnahme von zwei perspektivisch unterschiedlichen Aufnahmen
 - ▶ Merkmalsdetektion
 - ▶ Korrespondenzsuche

Schritt 1/3: Initiale Bestimmung von Weltpunkten

- ▶ Ziel: Bestimmung erster 3D-Oberflächenpunkte des Gegenstandes
- ▶ Szenario:
 - ▶ Aufnahme von zwei perspektivisch unterschiedlichen Aufnahmen
 - ▶ Merkmalsdetektion
 - ▶ Korrespondenzsuche



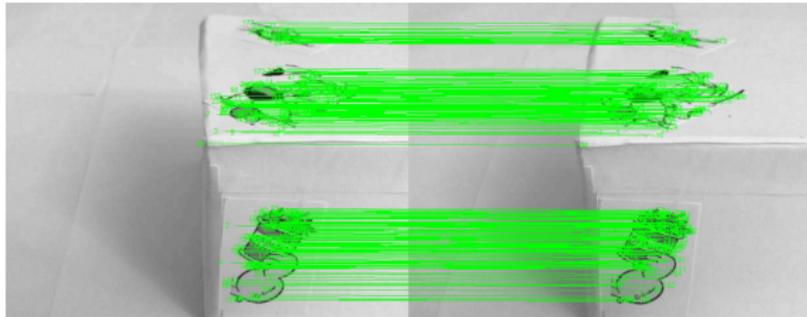
Schritt 1/3: Initiale Bestimmung von Weltpunkten

- ▶ Ziel: Bestimmung erster 3D-Oberflächenpunkte des Gegenstandes
- ▶ Szenario:
 - ▶ Aufnahme von zwei perspektivisch unterschiedlichen Aufnahmen
 - ▶ Merkmalsdetektion
 - ▶ Korrespondenzsuche



Schritt 1/3: Initiale Bestimmung von Weltpunkten

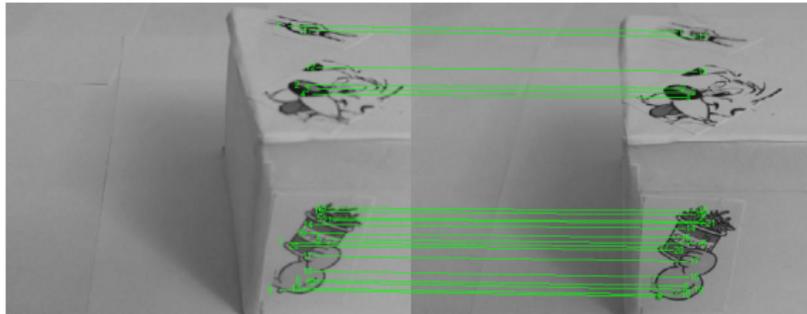
- ▶ Ziel: Bestimmung erster 3D-Oberflächenpunkte des Gegenstandes
- ▶ Szenario:
 - ▶ Aufnahme von zwei perspektivisch unterschiedlichen Aufnahmen
 - ▶ Merkmalsdetektion
 - ▶ Korrespondenzsuche





Schritt 1/3: Initiale Bestimmung von Weltpunkten

- ▶ Ziel: Bestimmung erster 3D-Oberflächenpunkte des Gegenstandes
- ▶ Szenario:
 - ▶ Aufnahme von zwei perspektivisch unterschiedlichen Aufnahmen
 - ▶ Merkmalsdetektion
 - ▶ Korrespondenzsuche



Schritt 1/3: Initiale Bestimmung von Weltpunkten

- ▶ Relative Orientierung zwischen den Aufnahmen ermitteln
- ▶ Berechnung der Fundamentalmatrix F
 - ▶ 8-Punkte-Algorithmus
 - ▶ Bestimmung der korrespondierenden Bildpunkte
 - ▶ Optimale Schätzung von F mit RANSAC
 - ▶ Bildpaar in epipolaren Ebenen
 - ▶ Bildpaar in epipolaren Ebenen

Schritt 1/3: Initiale Bestimmung von Weltpunkten

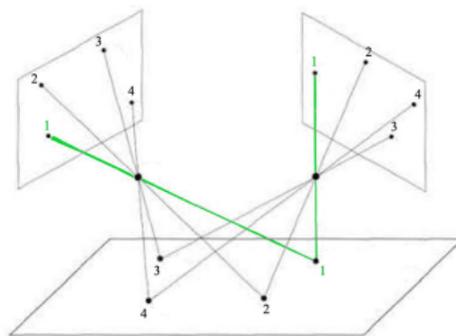
- ▶ Relative Orientierung zwischen den Aufnahmen ermitteln
- ▶ Berechnung der Fundamentalmatrix F
 - ▶ 8-Punkte-Algorithmus
 - ▶ Benötigt ≥ 8 korrespondierende Merkmalspunkte
 - ▶ Optimale Schätzung von F mit RANSAC
 - ▶ RANdom SAmple Consensus
 - ▶ Eliminiert Fehuzuordnungen (Outlier)

Schritt 1/3: Initiale Bestimmung von Weltpunkten

- ▶ Relative Orientierung zwischen den Aufnahmen ermitteln
- ▶ Berechnung der Fundamentalmatrix F
 - ▶ 8-Punkte-Algorithmus
 - ▶ Benötigt ≥ 8 korrespondierende Merkmalspunkte
 - ▶ Optimale Schätzung von F mit RANSAC
 - ▶ RANdom SAMple Consensus
 - ▶ Eliminiert Fehlzusordnungen (Outlier)

Schritt 1/3: Initiale Bestimmung von Weltpunkten

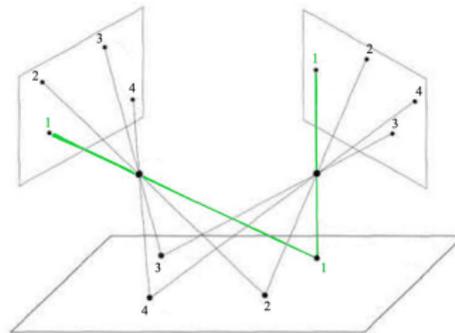
- ▶ Bestimmung der Projektionsmatrizen P_1 und P_2
 - ▶ Eine Projektionsmatrix bildet 3D-Weltpunkte auf 2D-Bildpunkte einer Kameraaufnahme ab
 - ▶ Berechnung auf Grundlage von:
 - ▶ Fundamentalmatrix
 - ▶ Intrinsischen Kameraparameter
 - ▶ Merkmalskorrespondenzen



Bildquelle: (Hartley & Zisserman, 2004)

Schritt 1/3: Initiale Bestimmung von Weltpunkten

- ▶ Bestimmung der Projektionsmatrizen P_1 und P_2
 - ▶ Eine Projektionsmatrix bildet 3D-Weltpunkte auf 2D-Bildpunkte einer Kameraaufnahme ab
 - ▶ Berechnung auf Grundlage von:
 - ▶ Fundamentalmatrix
 - ▶ Intrinsischen Kameraparameter
 - ▶ Merkmalskorrespondenzen



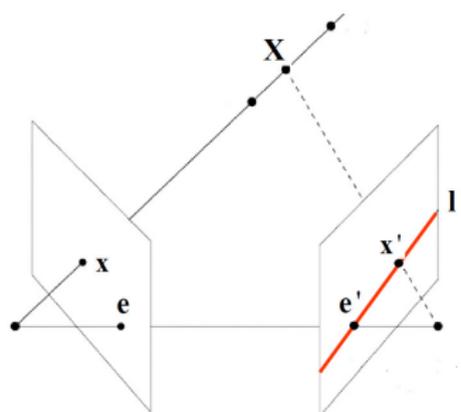
Bildquelle: (Hartley & Zisserman, 2004)

Schritt 1/3: Initiale Bestimmung von Weltpunkten

- ▶ Triangulation der Merkmalskorrespondenzen zu 3D-Weltpunkten
- ▶ Triangulation
 - ▶ Tri = Drei
 - ▶ lat. Triangulum: „Dreieck“
 - ▶ Berechnung der Weltpunkte anhand:
 - ▶ Merkmalskorrespondenzen
 - ▶ Projektionsmatrizen P_1 und P_2

Schritt 1/3: Initiale Bestimmung von Weltpunkten

- ▶ Triangulation der Merkmalskorrespondenzen zu 3D-Weltpunkten, anhand:
 - ▶ Merkmalskorrespondenzen
 - ▶ Projektionsmatrizen P_1 und P_2



Bildquelle: (Andreas Meisel, 2008)

Schritt 1/3: Initiale Bestimmung von Weltpunkten

- ▶ Triangulation der Merkmalskorrespondenzen zu 3D-Weltpunkten
- ▶ Weltpunkte
 - ▶ 3D-Punkte bezüglich des Weltkoordinatensystems
 - ▶ 3D-Oberflächenpunkte des Gegenstandes
 - ▶ Ein Weltpunkt besitzt Merkmal(e)
 - ▶ Bestimmt die Wiedererkennungsrate

Schritt 2/3: Weltpunkte aus weiteren Aufnahmen

- ▶ 3D-Merkmalmodell mit Merkmalen aus weiteren Aufnahmen erweitern
 - ▶ Wiedererkennungsrate
 - ▶ Detaillierteres 3D-Modell
- ▶ Ablauf:
 1. Aufnahme eines dritten Bildes B_3
 2. Berechne Projektionsmatrix P_3
 - 1. Bestimme Kameraposition C_3 und Blickrichtung R_3
 - 2. Berechne Projektionsmatrix P_3
 3. Merkmalsvergleich zwischen B_3 und B_2
 4. Triangulation der Merkmalskorrespondenzen zu neuen Weltpunkten

Schritt 2/3: Weltpunkte aus weiteren Aufnahmen

- ▶ 3D-Merkmalmodell mit Merkmalen aus weiteren Aufnahmen erweitern
 - ▶ Wiedererkennungsrate
 - ▶ Detaillierteres 3D-Modell
- ▶ Ablauf:

1. Aufnahme eines dritten Bildes B_3
2. Berechne Projektionsmatrix P_3

3. Merkmalsvergleich zwischen B_3 und B_2
4. Triangulation der Merkmalskorrespondenzen zu neuen Weltpunkten

Schritt 2/3: Weltpunkte aus weiteren Aufnahmen

- ▶ 3D-Merkmalmodell mit Merkmalen aus weiteren Aufnahmen erweitern
 - ▶ Wiedererkennungsrate
 - ▶ Detaillierteres 3D-Modell
- ▶ Ablauf:
 1. Aufnahme eines dritten Bildes B_3
 2. Berechne Projektionsmatrix P_3
 - ▶ Merkmalsvergleich zwischen B_3 und dem 3D-Merkmalmodell
 - ▶ Anhand der 3D-Welt- zu 2D-Bild-Korrespondenzen kann P_3 berechnet werden
 3. Merkmalsvergleich zwischen B_3 und B_2
 4. Triangulation der Merkmalskorrespondenzen zu neuen Weltpunkten
 - ▶ Nur Merkmale triangulieren welche noch nicht im 3D-Merkmalmodell vorhanden sind!

Schritt 2/3: Weltpunkte aus weiteren Aufnahmen

- ▶ 3D-Merkmalmodell mit Merkmalen aus weiteren Aufnahmen erweitern
 - ▶ Wiedererkennungsrates
 - ▶ Detaillierteres 3D-Modell
- ▶ Ablauf:
 1. Aufnahme eines dritten Bildes B_3
 2. Berechne Projektionsmatrix P_3
 - ▶ Merkmalsvergleich zwischen B_3 und dem 3D-Merkmalmodell
 - ▶ Anhand der 3D-Welt- zu 2D-Bild-Korrespondenzen kann P_3 berechnet werden
 3. Merkmalsvergleich zwischen B_3 und B_2
 4. Triangulation der Merkmalskorrespondenzen zu neuen Weltpunkten
 - ▶ Nur Merkmale triangulieren welche noch nicht im 3D-Merkmalmodell vorhanden sind!

Schritt 2/3: Weltpunkte aus weiteren Aufnahmen

- ▶ 3D-Merkmalmodell mit Merkmalen aus weiteren Aufnahmen erweitern
 - ▶ Wiedererkennungsrate
 - ▶ Detaillierteres 3D-Modell
- ▶ Ablauf:
 1. Aufnahme eines dritten Bildes B_3
 2. Berechne Projektionsmatrix P_3
 - ▶ Merkmalsvergleich zwischen B_3 und dem 3D-Merkmalmodell
 - ▶ Anhand der 3D-Welt- zu 2D-Bild-Korrespondenzen kann P_3 berechnet werden
 3. Merkmalsvergleich zwischen B_3 und B_2
 4. Triangulation der Merkmalskorrespondenzen zu neuen Weltpunkten
 - ▶ Nur Merkmale triangulieren welche noch nicht im 3D-Merkmalmodell vorhanden sind!

Schritt 2/3: Weltpunkte aus weiteren Aufnahmen

- ▶ 3D-Merkmalmodell mit Merkmalen aus weiteren Aufnahmen erweitern
 - ▶ Wiedererkennungsrates
 - ▶ Detaillierteres 3D-Modell
- ▶ Ablauf:
 1. Aufnahme eines dritten Bildes B_3
 2. Berechne Projektionsmatrix P_3
 - ▶ Merkmalsvergleich zwischen B_3 und dem 3D-Merkmalmodell
 - ▶ Anhand der 3D-Welt- zu 2D-Bild-Korrespondenzen kann P_3 berechnet werden
 3. Merkmalsvergleich zwischen B_3 und B_2
 4. Triangulation der Merkmalskorrespondenzen zu neuen Weltpunkten
 - ▶ Nur Merkmale triangulieren welche noch nicht im 3D-Merkmalmodell vorhanden sind!

Schritt 2/3: Weltpunkte aus weiteren Aufnahmen

- ▶ 3D-Merkmalmodell mit Merkmalen aus weiteren Aufnahmen erweitern



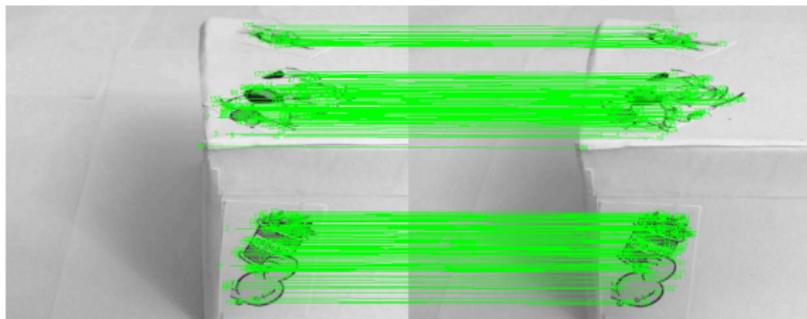
Schritt 2/3: Weltpunkte aus weiteren Aufnahmen

- ▶ 3D-Merkmalmodell mit Merkmalen aus weiteren Aufnahmen erweitern



Schritt 2/3: Weltpunkte aus weiteren Aufnahmen

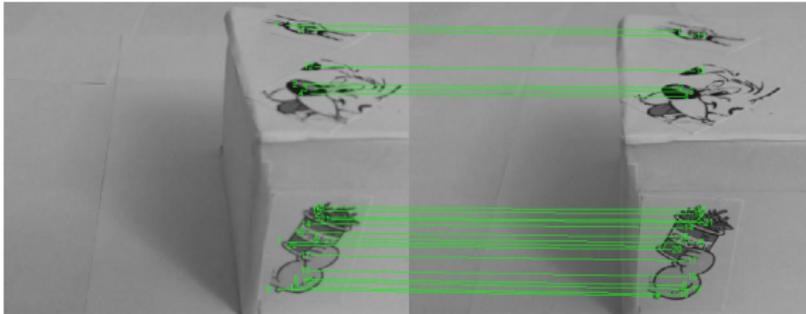
- ▶ 3D-Merkmalmodell mit Merkmalen aus weiteren Aufnahmen erweitern





Schritt 2/3: Weltpunkte aus weiteren Aufnahmen

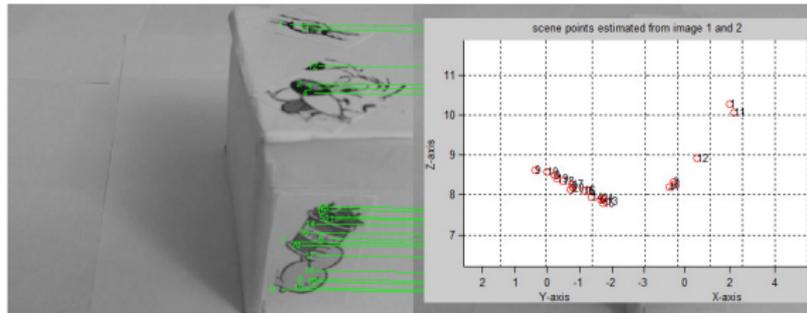
- ▶ 3D-Merkmalmodell mit Merkmalen aus weiteren Aufnahmen erweitern





Schritt 2/3: Weltpunkte aus weiteren Aufnahmen

- ▶ 3D-Merkmalmodell mit Merkmalen aus weiteren Aufnahmen erweitern



Schritt 2/3: Weltpunkte aus weiteren Aufnahmen

- ▶ 3D-Merkmalmodell mit Merkmalen aus weiteren Aufnahmen erweitern



Schritt 2/3: Weltpunkte aus weiteren Aufnahmen

- ▶ 3D-Merkmalmodell mit Merkmalen aus weiteren Aufnahmen erweitern



Schritt 2/3: Weltpunkte aus weiteren Aufnahmen

- ▶ 3D-Merkmalmodell mit Merkmalen aus weiteren Aufnahmen erweitern



Schritt 2/3: Weltpunkte aus weiteren Aufnahmen

- ▶ 3D-Merkmalmodell mit Merkmalen aus weiteren Aufnahmen erweitern





Schritt 2/3: Weltpunkte aus weiteren Aufnahmen

- ▶ 3D-Merkmalmodell mit Merkmalen aus weiteren Aufnahmen erweitern



Schritt 2/3: Weltpunkte aus weiteren Aufnahmen

- ▶ 3D-Merkmalmodell mit Merkmalen aus weiteren Aufnahmen erweitern



Schritt 2/3: Weltpunkte aus weiteren Aufnahmen

- ▶ 3D-Merkmalmodell mit Merkmalen aus weiteren Aufnahmen erweitern



Schritt 2/3: Weltpunkte aus weiteren Aufnahmen

- ▶ 3D-Merkmalmodell mit Merkmalen aus weiteren Aufnahmen erweitern



Zwischenstand

- ▶ 3D-Modellgenerierung abgeschlossen!
- ▶ ⇒ Gegenstand kann erfasst und die zugehörige räumliche Pose ermittelt werden

Schritt 3/3: Posebestimmung

- ▶ **Gesucht:**
 - ▶ Relative Pose eines Gegenstandes bezüglich des Knickarmroboters
- ▶ **Gegeben:**
 - ▶ Kamerabild aus einer beliebigen Perspektive
- ▶ **Ablauf:**
 - ▶ Merkmalsvergleich zwischen aktueller Aufnahme und 3D-Merkmalmodell
 - ▶ Berechnung der Projektionsmatrix mit den 3D-2D-Korrespondenzen

Schritt 3/3: Posebestimmung

- ▶ **Gesucht:**
 - ▶ Relative Pose eines Gegenstandes bezüglich des Knickarmroboters
- ▶ **Gegeben:**
 - ▶ Kamerabild aus einer beliebigen Perspektive
- ▶ **Ablauf:**
 - ▶ Merkmalsvergleich zwischen aktueller Aufnahme und 3D-Merkmalmodell
 - ▶ Berechnung der Projektionsmatrix mit den 3D-2D-Korrespondenzen

Schritt 3/3: Posebestimmung

- ▶ **Gesucht:**
 - ▶ Relative Pose eines Gegenstandes bezüglich des Knickarmroboters
- ▶ **Gegeben:**
 - ▶ Kamerabild aus einer beliebigen Perspektive
- ▶ **Ablauf:**
 - ▶ Merkmalsvergleich zwischen aktueller Aufnahme und 3D-Merkmalmodell
 - ▶ Berechnung der Projektionsmatrix mit den 3D-2D-Korrespondenzen
 - ▶ Rotation und Translation zwischen Kameraaufnahme und Gegenstand

Schritt 3/3: Posebestimmung

- ▶ **Gesucht:**
 - ▶ Relative Pose eines Gegenstandes bezüglich des Knickarmroboters
- ▶ **Gegeben:**
 - ▶ Kamerabild aus einer beliebigen Perspektive
- ▶ **Ablauf:**
 - ▶ Merkmalsvergleich zwischen aktueller Aufnahme und 3D-Merkmalmodell
 - ▶ Berechnung der Projektionsmatrix mit den 3D-2D-Korrespondenzen
 - ▶ Rotation und Translation zwischen Kameraaufnahme und Gegenstand



Problemstellung

Lösungsansätze

Modellbasierte Posebestimmung

Visual Servoing

Kombinierter Ansatz

Zusammenfassung und Ausblick

Visual Servoing

- ▶ Arbeitet in Abhängigkeit einer Regelung
- ▶ Benötigt kein 3D-Merkmalmodell
- ▶ Verfahren basiert auf „Zielpose“

- ▶ Zielpose:
 - ▶ Orientierung von mindestens 8 bekannten Gegenstandsmerkmalen
 - ▶ Eine Merkmalsorientierung :=



Visual Servoing

- ▶ Arbeitet in Abhängigkeit einer Regelung
- ▶ Benötigt kein 3D-Merkmalmodell
- ▶ Verfahren basiert auf „Zielpose“

- ▶ Zielpose:
 - ▶ Orientierung von mindestens 8 bekannten Gegenstandsmerkmalen
 - ▶ Eine Merkmalsorientierung :=
 - ▶ x- und y-Bildkoordinate

Visual Servoing

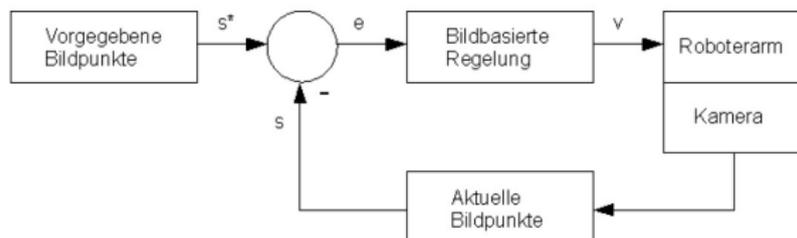
▶ Verfahren

- ▶ Kamera nimmt in kontinuierlichen Abständen Aufnahmen auf
- ▶ Aufnahme enthält lokalisierenden Gegenstand
- ▶ Die 8 bekannten Gegenstandsmerkmale werden gesucht
- ▶ Anhand der Orientierungsdifferenz Bewegung ableiten



Visual Servoing

- ▶ Regelung
 - ▶ Sollgröße s^*
 - ▶ Zielpose
 - ▶ Istpose s
 - ▶ Aktuelle Orientierung der Merkmale
 - ▶ Momentane Regelabweichung e
 - ▶ Differenz der Ist- und Sollgröße
 - ▶ Bestimmt die Richtung zur Zielpose

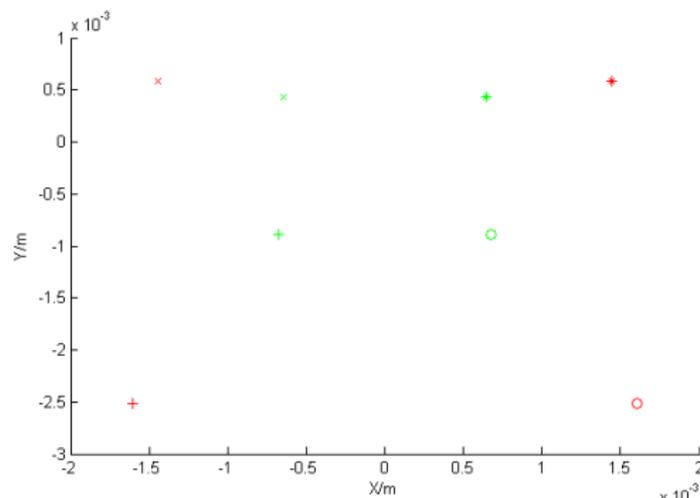


Bildquelle: (Benjamin Wagner, 2009)



Visual Servoing

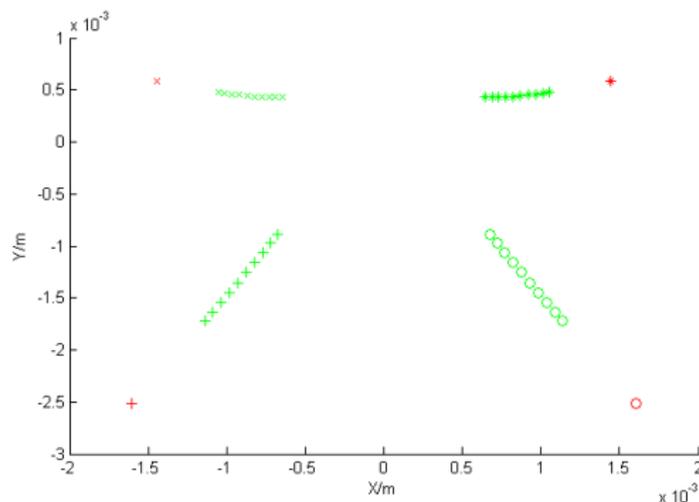
- ▶ Ausgangsposition
- ▶ Bewegung zum Gegenstand
- ▶ Zielpose erreicht





Visual Servoing

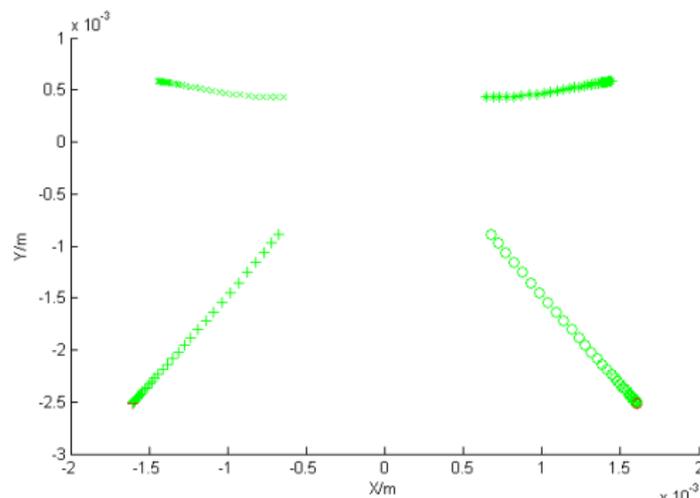
- ▶ Ausgangsposition
- ▶ Bewegung zum Gegenstand
- ▶ Zielpose erreicht





Visual Servoing

- ▶ Ausgangsposition
- ▶ Bewegung zum Gegenstand
- ▶ Zielpose erreicht



Problemstellung

Lösungsansätze

Modellbasierte Posebestimmung

Visual Servoing

Kombinierter Ansatz

Zusammenfassung und Ausblick

Kombinierter Ansatz

- ▶ Modellbasierter Ansatz
 - ▶ Einmalige Bildauswertung
 - ▶ V: Hohe Geschwindigkeit
- ▶ Visual Servoing
 - ▶ Regelungsbasiertes Verfahren (Kontinuierliche SOLL/IST-Analyse)
 - ▶ V: Hohe Genauigkeit
- ▶ ⇒ Ein kombinierter Ansatz der beiden Verfahren liegt daher nahe!

Kombinierter Ansatz

- ▶ **Modellbasierter Ansatz**
 - ▶ Einmalige Bildauswertung
 - ▶ V: Hohe Geschwindigkeit
- ▶ **Visual Servoing**
 - ▶ Regelungsbasiertes Verfahren (Kontinuierliche SOLL/IST-Analyse)
 - ▶ V: Hohe Genauigkeit
- ▶ ⇒ Ein kombinierter Ansatz der beiden Verfahren liegt daher nahe!

Kombinierter Ansatz

- ▶ **Modellbasierter Ansatz**
 - ▶ Einmalige Bildauswertung
 - ▶ V: Hohe Geschwindigkeit
- ▶ **Visual Servoing**
 - ▶ Regelungsbasiertes Verfahren (Kontinuierliche SOLL/IST-Analyse)
 - ▶ V: Hohe Genauigkeit
- ▶ ⇒ Ein kombinierter Ansatz der beiden Verfahren liegt daher nahe!



Kombinierter Ansatz

- ▶ **Ablauf:**
 1. Initiale modellbasierte Posebestimmung
 2. Korrektur der Pose mit „Visual Servoing“

- ▶ Der kombinierte Ansatz vereint den Geschwindigkeitsvorteil des modellbasierten Ansatzes sowie die hohe Genauigkeit des „Visual Servoing“-Verfahrens

Problemstellung

Lösungsansätze

Modellbasierte Posebestimmung

Visual Servoing

Kombinierter Ansatz

Zusammenfassung und Ausblick



Zusammenfassung und Ausblick

S1 Anwendungen 1

- ▶ Identifikation mit SIFT

S2 Projekt 1

- ▶ Implementierung der modellbasierten Posebestimmung

S2 Anwendungen 2

- ▶ Lösungsansätze zur Identifikation und Lokalisierung von Gegenständen

S3 Projekt 2

- ▶ Implementierung der modellbasierten Posebestimmung

S3 Seminar

S4 Masterarbeit

- ▶ (Implementierung des kombinierten Ansatzes)
- ▶ (Greifen + Verschieben von Gegenständen)





Zusammenfassung und Ausblick

S1 Anwendungen 1

- Identifikation mit SIFT

S2 Projekt 1

- Implementierung der modellbasierten Posebestimmung

S2 Anwendungen 2

- Lösungsansätze zur Identifikation und Lokalisierung von Gegenständen

S3 Projekt 2

- Implementierung der modellbasierten Posebestimmung

S3 Seminar

S4 Masterarbeit

- (Implementierung des kombinierten Ansatzes)
- (Greifen + Verschieben von Gegenständen)





Zusammenfassung und Ausblick

S1 Anwendungen 1

- Identifikation mit SIFT

S2 Projekt 1

- Implementierung der modellbasierten Posebestimmung

S2 Anwendungen 2

- Lösungsansätze zur Identifikation und Lokalisierung von Gegenständen

S3 Projekt 2

- Implementierung der modellbasierten Posebestimmung

S3 Seminar

S4 Masterarbeit

- (Implementierung des kombinierten Ansatzes)
- (Greifen + Verschieben von Gegenständen)





Zusammenfassung und Ausblick

S1 Anwendungen 1

- ▶ Identifikation mit SIFT

S2 Projekt 1

- ▶ Implementierung der modellbasierten Posebestimmung

S2 Anwendungen 2

- ▶ Lösungsansätze zur Identifikation und Lokalisierung von Gegenständen

S3 Projekt 2

- ▶ Implementierung der modellbasierten Posebestimmung

S3 Seminar

S4 Masterarbeit

- ▶ (Implementierung des kombinierten Ansatzes)
- ▶ (Greifen + Verschieben von Gegenständen)





Vielen Dank Vielen Dank

für Ihre Aufmerksamkeit!