

Aw2 - Vortrag „Visuelle Regelung für einen Roboterarm“

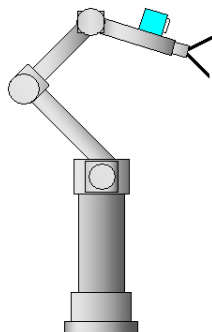
Benjamin Wagner

Department Informatik
Fakultät Technik und Informatik
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

4. Juni 2009

Gliederung

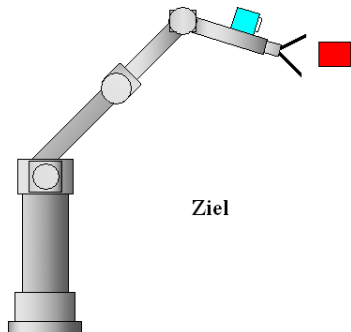
- 1 Problemstellung
- 2 Grundlagen
- 3 Stand der Forschung
- 4 Konzept
- 5 Zusammenfassung



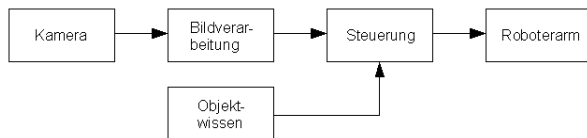
Objekt

Start

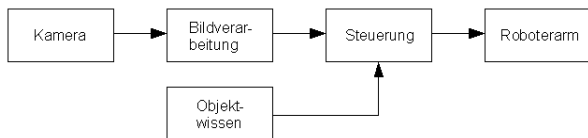
- Roboterarm mit einer Kamera an seinem Endeffektor
- Ein Gegenstand den der Roboter kennt und sieht befindet sich im Arbeitsbereich



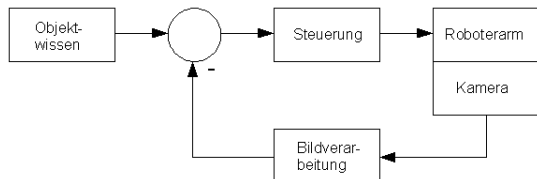
- Ziel: Annäherung an einen bekannten sichtbaren Gegenstand. Die Zielpose des Endeffektors relativ zum Objekt ist fest vorgegeben.
- Hintergrund: Anschließende Manipulation eines Gegenstands (Nicht Bestandteil dieses Vortrags)



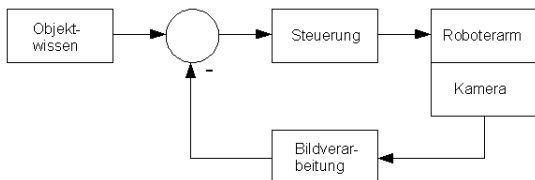
- Problemstellung: Annäherung eines Roboterarms an einen bekannten sichtbaren Gegenstand auf Basis der Daten einer Kamera
- Lösungsansatz open-loop: Look then move



- Problemstellung: Annäherung eines Roboterarms an einen bekannten sichtbaren Gegenstand auf Basis der Daten einer Kamera
- Lösungsansatz open-loop: Look then move
- Vorgehensweise: Die Kameradaten werden nur einmal ausgewertet. Eine Annäherung erfolgt in einem Schritt.
- Nachteil: Endpose des Endeffektors relativ zum Objekt kann von der vorgegebenen Zielpose abweichen.



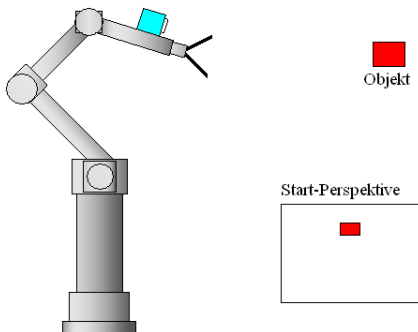
- Lösungsansatz closed-loop: Look and move
- Vorgehensweise: Die Kameradaten werden kontinuierlich ausgewertet. Eine Annäherung erfolgt in mehreren Schritten.



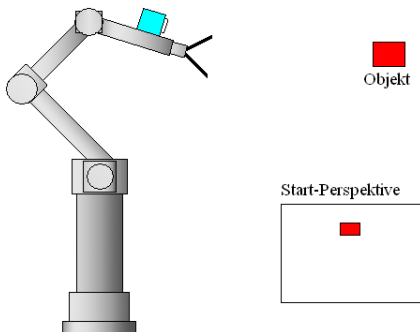
- Lösungsansatz closed-loop: Look and move
- Vorgehensweise: Die Kameradaten werden kontinuierlich ausgewertet. Eine Annäherung erfolgt in mehreren Schritten.
- Vorteil: Endpose des Endeffektors relativ zum Objekt kann so eingestellt werden, dass sie der vorgegebenen Zielpose entspricht [HHC96]

- Closed-loop Ansatz in Bezug auf die gegebene Problemstellung wird als Visual Servoing(visuelle Regelung) bezeichnet.
- Visual Servoing gibt es seit 1979 [HHC96].

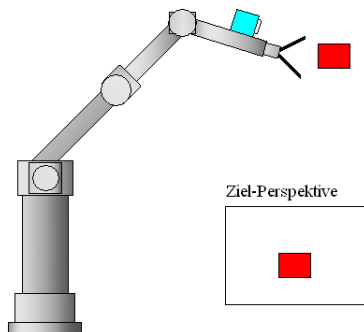
- Closed-loop Ansatz in Bezug auf die gegebene Problemstellung wird als Visual Servoing (visuelle Regelung) bezeichnet.
- Visual Servoing gibt es seit 1979 [HHC96].
- Klassische Forschungsbereiche [CH06], [CH07]
 - 2-D basierte visuelle Regelung
 - 3-D basierte visuelle Regelung
- Die meisten aktuellen Forschungsbereiche basieren auf diesen beiden klassischen Verfahren.



- Regelung auf Basis von Bildmerkmalen: Z.b. markante Bildpunkte [MC08]

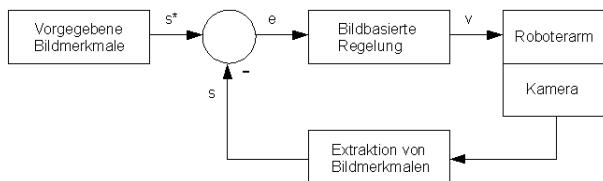


- Regelung auf Basis von Bildmerkmalen: Z.b. markante Bildpunkte [MC08]
- Ist-Größe im Regelkreis sind die Merkmale des aktuellen Bildes, das von der Kamera gesendet wird.
- Für das oben dargestellte Objekt eignen sich zum Beispiel die Pixelkoordinaten der 4 Ecken als Ist-Größe.



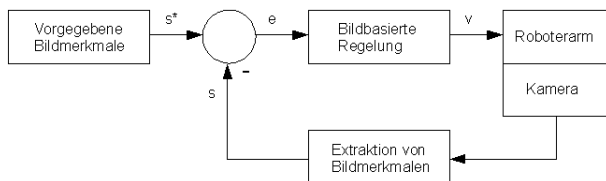
- Die Zielansicht muss offline, also vor der Ausführung, aufgenommen werden.
- Aus der Zielansicht wird die Soll-Größe des Regelkreises berechnet: Pixelkoordinaten der 4 Ecken des Objekts

2-D basierte visuelle Regelung



- Aus der Abweichung der Pixelkoordinaten der 4 Ecken des Objekts werden Werte zur Steuerung des Roboters berechnet.

2-D basierte visuelle Regelung



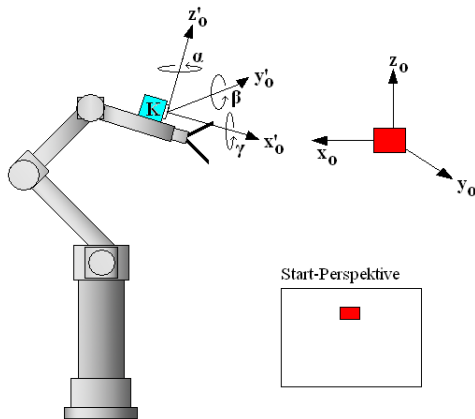
- Aus der Abweichung der Pixelkoordinaten der 4 Ecken des Objekts werden Werte zur Steuerung des Roboters berechnet.
- Wenn keine Abweichung mehr vorhanden ist, dann befindet sich der Endeffektor in der vorgegebenen Zielpose.

- Vor- und Nachteile [CH06], [CH07]
- Nachteile:
 - Wenn Start- und Zielpose weit auseinander liegen, dann kann das Verfahren instabil werden. Es unterliegt also einem Konvergenzradius. Das liegt daran das unbekannt ist, wie weit sich das Objekt von der Kamera entfernt befindet.

- Vor- und Nachteile [CH06], [CH07]
- Nachteile:
 - Wenn Start- und Zielpose weit auseinander liegen, dann kann das Verfahren instabil werden. Es unterliegt also einem Konvergenzradius. Das liegt daran das unbekannt ist, wie weit sich das Objekt von der Kamera entfernt befindet.
- Vorteile:
 - Nur wenig Objektwissen notwendig
 - Robust bei Kalibrierungsfehlern
 - Selbst wenn das Verfahren instabil wird, kann es nicht passieren, dass das Objekt aus dem Blickwinkel der Kamera verschwindet [BMHC06]

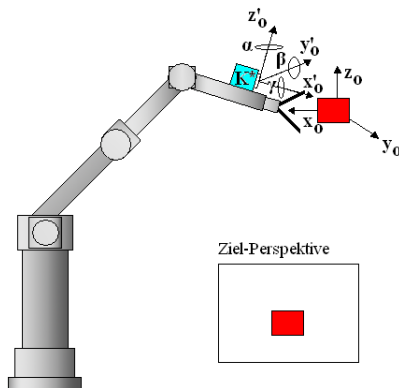
- Vor- und Nachteile [CH06], [CH07]
- Nachteile:
 - Wenn Start- und Zielpose weit auseinander liegen, dann kann das Verfahren instabil werden. Es unterliegt also einem Konvergenzradius. Das liegt daran das unbekannt ist, wie weit sich das Objekt von der Kamera entfernt befindet.
- Vorteile:
 - Nur wenig Objektwissen notwendig
 - Robust bei Kalibrierungsfehlern
 - Selbst wenn das Verfahren instabil wird, kann es nicht passieren, dass das Objekt aus dem Blickwinkel der Kamera verschwindet [BMHC06]
- Video. Quelle:
<http://www.irisa.fr/lagadic/mpg/asservissement-visuel/av-robuste/3d.mpg>
(2.6.09)

3-D basierte visuelle Regelung



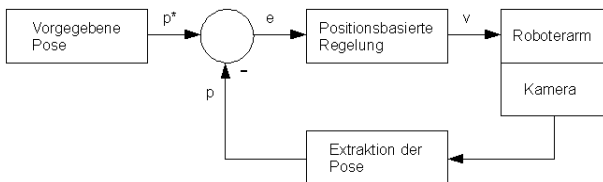
- Regelung auf Basis der Kamerapose relativ zum Objekt [MC08]. Kamerapose $p = (x_0 \ y_0 \ z_0 \ \alpha \ \beta \ \gamma) \in \mathbb{R}^6$
- Die aktuelle Kamerapose relativ zum Objekt stellt die Ist-Größe im Regelkreis dar.

3-D basierte visuelle Regelung



- Die Zielpose der Kamera beschreibt die Soll-Größe des Regelkreises.
- Diese Zielpose muss offline, also vor der Ausführung, berechnet werden.

3-D basierte visuelle Regelung



- Aus der Abweichung von Ziel- und aktueller Kamerapose werden Werte zur Steuerung des Roboters berechnet.
- Wenn keine Abweichung mehr vorhanden ist, dann befindet sich der Endeffektor in der vorgegebenen Zielpose.

- Vor- und Nachteile [CH06], [CH07]
- Nachteile:
 - Es wird ein 3D CAD-Modell des Objekts benötigt an das sich der Roboter annähern soll
 - Das Objekt kann aus dem Blickwinkel der Kamera verschwinden
 - Gefahr der Instabilität bei Kalibrierungsfehlern

- Vor- und Nachteile [CH06], [CH07]
- Nachteile:
 - Es wird ein 3D CAD-Modell des Objekts benötigt an das sich der Roboter annähern soll
 - Das Objekt kann aus dem Blickwinkel der Kamera verschwinden
 - Gefahr der Instabilität bei Kalibrierungsfehlern
- Vorteile:
 - Das Verfahren ist stabil, solange keine Kalibrierungsfehler vorhanden sind.

- Einschränkungen der klassischen Verfahren führte zu vielen neuen Ideen(Überblick folgt)

- Einschränkungen der klassischen Verfahren führte zu vielen neuen Ideen(Überblick folgt)
- Haupt-Ziele der Forschung auf dem Gebiet der visuellen Regelung:
 - Stabilität
 - Robustheit bei Kalibrierungsfehlern
 - So wenig Objektwissen wie möglich verwenden
 - Mathematische Analysierbarkeit der Stabilität
- Diese Ziele dienen als Bewertungskriterien für Verfahren

Überblick zu Forschungsbereichen [CH06], [CH07]

Überblick zu Forschungsbereichen [CH06], [CH07]

- 2-D basierte visuelle Regelung [CMC06]
- 3-D basierte visuelle Regelung [PCT07]

Überblick zu Forschungsbereichen [CH06], [CH07]

- 2-D basierte visuelle Regelung [CMC06]
- 3-D basierte visuelle Regelung [PCT07]
- Fortgeschrittene visuelle Regelung:
 - Hybride visuelle Regelung [MCB99], [HJ06]
 - Entkoppelte visuelle Regelung [CH01], [TCM08]
 - Visuelle Regelung mit Umschaltung [GH03], [GH07]
 - Trajektorienplanung [AF05], [HH05]
 - Direkte visuelle Regelung [CMC08]

- Hybride visuelle Regelung [MCB99], [HJ06]
 - 2-D und 3-D basierte visuelle Regelung gleichzeitig
 - Ziel: Vereinigung der Vorteile der 2-D und 3-D basierten visuellen Regelung

- Hybride visuelle Regelung [MCB99], [HJ06]
 - 2-D und 3-D basierte visuelle Regelung gleichzeitig
 - Ziel: Vereinigung der Vorteile der 2-D und 3-D basierten visuellen Regelung

- Entkoppelte visuelle Regelung [CH01], [TCM08]
 - 2-D basierte visuelle Regelung
 - Entkoppelte Regelung. Zum Beispiel einen Regler pro Freiheitsgrad der Kamera
 - Ein geeignetes Bildmerkmal als Eingang pro Regler
 - Ziel: Stabilität der Regelung erhöhen und mathematische Analysierbarkeit der Stabilität erreichen

- Visuelle Regelung mit Umschaltung [GH03], [GH07]
 - 2-D und 3-D basierte visuelle Regelung gleichzeitig berechnet, aber nur ein Ergebnis zur Zeit verwendet
 - Auswahl des Ergebnisses wird durch geeignete Kriterien entschieden
 - Ziel: Vereinigung der Vorteile der 2-D und 3-D basierten visuellen Regelung

- Visuelle Regelung mit Umschaltung [GH03], [GH07]
 - 2-D und 3-D basierte visuelle Regelung gleichzeitig berechnet, aber nur ein Ergebnis zur Zeit verwendet
 - Auswahl des Ergebnisses wird durch geeignete Kriterien entschieden
 - Ziel: Vereinigung der Vorteile der 2-D und 3-D basierten visuellen Regelung
- Trajektorienplanung [AF05], [HH05]
 - 2-D basierte visuelle Regelung
 - Der Roboter wird offline ausgehend von einer Startpose bis zur Zielpose relativ zum Objekt geführt
 - Während dieser Trajektorie werden in kurzen Abständen Bilder aufgenommen und gespeichert
 - Die 2-D basierte visuelle Regelung wird pro Subzielbild durchgeführt

- Trajektorienplanung [AF05], [HH05]
 - Ziel: Stabilität erreichen. Das ist möglich, da das 2-D Verfahren für kleine Abstände stabil ist.

- Trajektorienplanung [AF05], [HH05]
 - Ziel: Stabilität erreichen. Das ist möglich, da das 2-D Verfahren für kleine Abstände stabil ist.
- Direkte visuelle Regelung [CMC08]
 - Regelung auf Basis des Bildes selbst. Es wird nur die Helligkeit jedes Pixels verwendet.
 - Ziel: Einsparung der Bildverarbeitung zur Berechnung von Bildmerkmalen

- Es gibt Verfahren die folgende Eigenschaften besitzen:
 - Robustheit bei Kalibrierungsfehlern
 - Wenig Objektwissen notwendig
 - Mathematische Analysierbarkeit der Stabilität
- Die Stabilität hat sich deutlich verbessert. Globale Stabilität ist noch nicht vorhanden.

- Es gibt Verfahren die folgende Eigenschaften besitzen:
 - Robustheit bei Kalibrierungsfehlern
 - Wenig Objektwissen notwendig
 - Mathematische Analysierbarkeit der Stabilität
- Die Stabilität hat sich deutlich verbessert. Globale Stabilität ist noch nicht vorhanden.
- Diese Eigenschaften werden zusammen nur durch eine entkoppelte visuelle Regelung erreicht. Deshalb wird in diesem Bereich aktuell am meisten geforscht.

- Visuelle Regelung kann auch für mobile Roboter eingesetzt werden [KC02]

- Visuelle Regelung kann auch für mobile Roboter eingesetzt werden [KC02]
- Anwendungsbezogene Forschungsprojekte:
 - Mobiler Roboter der einer Linie auf dem Boden folgen soll [CCO08]
 - Automatische Landung eines Flugzeugs in einer Simulation [BC07]
 - Andockmanöver für ein autonomes Unterwasser-Fahrzeug [LJK03]
 - Medizin: Assistenzroboter bei Operationen für minimale Eingriffe [VMO05]

- Visuelle Regelung kann auch für mobile Roboter eingesetzt werden [KC02]
- Anwendungsbezogene Forschungsprojekte:
 - Mobiler Roboter der einer Linie auf dem Boden folgen soll [CCO08]
 - Automatische Landung eines Flugzeugs in einer Simulation [BC07]
 - Andockmanöver für ein autonomes Unterwasser-Fahrzeug [LJK03]
 - Medizin: Assistenzroboter bei Operationen für minimale Eingriffe [VMO05]
- Automobilindustrie: Roboter verfolgen ein Bauteil in Bewegung während der Bearbeitung [iAG]

- Folgendes Verfahren soll umgesetzt werden: „Visual Servoing with Moments of SIFT Features“ [HNSR06]
- Stammt von der Technischen Universität in Dortmund
- Einordnung des Verfahrens: Entkoppelte visuelle Regelung

- Folgendes Verfahren soll umgesetzt werden: „Visual Servoing with Moments of SIFT Features“ [HNSR06]
- Stammt von der Technischen Universität in Dortmund
- Einordnung des Verfahrens: Entkoppelte visuelle Regelung
- Eigenschaften des Verfahrens:
 - 6 SIFT-Merkmale [Low04] verwendet. Pro Freiheitsgrad der Kamera ein geeignetes SIFT-Merkmal.
 - Regelung auf Basis der Pixelkoordinaten, Skalierung und Orientierung von SIFT-Merkmalen
 - Wenig Objektwissen notwendig
 - Laut Experimenten hohe Stabilität gewährleistet

- Problemstellung: Annäherung eines Roboterarms an einen Gegenstand mit Hilfe einer Kamera.
- open- vs. closed-loop

- Problemstellung: Annäherung eines Roboterarms an einen Gegenstand mit Hilfe einer Kamera.
- open- vs. closed-loop
- Anfang der Forschung auf dem Gebiet der visuellen Regelung: 2-D und 3-D Ansatz
- Stand der Forschung:
 - Neue Forschungsbereiche sind zu 2-D und 3-D hinzugekommen
 - Globale Stabilität noch nicht vorhanden. Trotzdem existieren konkrete Anwendungen
- Konzept: Entkoppelte visuelle Regelung

- Problemstellung: Annäherung eines Roboterarms an einen Gegenstand mit Hilfe einer Kamera.
- open- vs. closed-loop
- Anfang der Forschung auf dem Gebiet der visuellen Regelung: 2-D und 3-D Ansatz
- Stand der Forschung:
 - Neue Forschungsbereiche sind zu 2-D und 3-D hinzugekommen
 - Globale Stabilität noch nicht vorhanden. Trotzdem existieren konkrete Anwendungen
- Konzept: Entkoppelte visuelle Regelung
- Ausblick: Weiterhin viel Forschungsaktivität zu erwarten. Besonders im Bereich der entkoppelten und direkten Regelung.

- [AF05] B. Allotta and D. Fioravanti. 3d motion planning for image-based visual servoing tasks. *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 2173 – 2178, April 2005.
- [BC07] O. Bourquardez and F. Chaumette. Visual servoing of an airplane for auto-landing. *2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pages 1314 – 1319, November 2007.
- [BMHC06] O. Bourquardez, R. Mahony, T. Hamel, and F. Chaumette. Stability and performance of image based visual servo control using first order spherical image moments. *Proceedings of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pages 4304 – 4309, Oktober 2006.

- [CCO08] A. Cherubini, F. Chaumette, and G. Oriolo. An image-based visual servoing scheme for following paths with nonholonomic mobile robots. *10th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, 2008*, pages 108–113, Dezember 2008.
- [CH01] P. I. Corke and S. A. Hutchinson. A new partitioned approach to image-based visual servo control. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 17(4):507 – 515, August 2001.
- [CH06] F. Chaumette and S. Hutchinson. Visual servo control, part i: Basic approaches. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 13(4):82 – 90, December 2006.
- [CH07] F. Chaumette and S. Hutchinson. Visual servo control, part ii: Advanced approaches. *IEEE*

Robotics and Automation Magazine, 14(1):109 – 118, März 2007.

- [CMC06] A.I. Comport, E. Marchand, and F. Chaumette. Statistically robust 2-d visual servoing. *IEEE Transactions on Robotics*, 22(2):415 – 420, April 2006.
- [CMC08] C. Collewet, E. Marchand, and F. Chaumette. Visual servoing set free from image processing. *2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 81–86, Mai 2008.
- [GH03] N. R. Gans and S. A. Hutchinson. An experimental study of hybrid switched system approaches to visual servoing. *Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 3:3061 – 3068, September 2003.
- [GH07] N. R. Gans and S. A. Hutchinson. Stable visual servoing through hybrid switched-system control.

IEEE Transactions on Robotics, 23(3):530 – 540,
Juni 2007.

- [HH05] O. Hornung and B. Heimann. A model-based approach for visual guided grasping with uncalibrated system components. *2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pages 226 – 232, August 2005.
- [HHC96] S. Hutchinson, G. D. Hager, and P. I. Corke. A tutorial on visual servo control. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 12(5):651 – 670, Oktober 1996.
- [HJ06] A. H. A. Hafez and C. V. Jawahar. Integration framework for improved visual servoing in image and cartesian spaces. *2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pages 2320 – 2325, Oktober 2006.

- [HNSR06] F. Hoffmann, T. Nierobisch, T. Seyffarth, and G. Rudolph. Visual servoing with moments of sift features. *2006 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, pages 4262–4267, Oktober 2006.
- [iAG] inos Automationssoftware GmbH. inos visual servoing. Zugriffsdatum: 1. Juni 2009.
- [KC02] D. Kragic and H. I. Christensen. Survey on visual servoing for manipulation. Technical report, Computational Vision and Active Perception Laboratory, 2002. Zugriffsdatum: 1. Juni 2009.
- [LJK03] P.-M. Lee, B.-H. Jeon, and S.-M. Kim. Visual servoing for underwater docking of an autonomous underwater vehicle with one camera. *OCEANS 2003. Proceedings*, 2:677 – 682, September 2003.
- [Low04] D. G. Lowe. Distinctive image features from

scale-invariant keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 2(60):91–110, November 2004.

- [MC08] M. Marey and F. Chaumette. Analysis of classical and new visual servoing control laws. *2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 3244 – 3249, Mai 2008.
- [MCB99] E. Malis, F. Chaumette, and S. Boudet. 2-1/2-d visual servoing. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 15(2):238 – 250, April 1999.
- [PCT07] J. Pomares, F. Chaumette, and F. Torres. Adaptive visual servoing by simultaneous camera calibration. *2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 2811 – 2816, April 2007.
- [TCM08] O. Tahri, F. Chaumette, and Y. Mezouar. New decoupled visual servoing scheme based on invariants from projection onto a sphere. *2008 IEEE*

International Conference on Robotics and Automation, pages 3238 – 3243, Mai 2008.

- [VMO05] M.-A. Vitrani, G. Morel, and T. Ortmaier. Automatic guidance of a surgical instrument with ultrasound based visual servoing. *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 508 – 513, April 2005.

Danke für die Aufmerksamkeit!

Fragen?