

SIMERO: Sichere Mensch-Roboter-Koexistenz

Dipl.-Wi.-Ing. Dirk Ebert, Prof. Dr. Dominik Henrich
AG Eingebettete Systeme und Robotik (RESY),
Fachbereich Informatik, Universität Kaiserslautern,
<http://resy.informatik.uni-kl.de/>

1. Motivation
2. Aufgabenstellung
3. Vergleich OTS 2002 zu OTS 2003
4. Überwachung des Systems
5. Erkennung von Sensorfehlern
6. Zusammenfassung
7. Ausblick



Weitere Informationen zum SIMERO-Projekt:

<http://resy.informatik.uni-kl.de/projects/simero/>

Motivation

Heute

- Industrieroboter und Mensch sind in getrennten Arbeitsräumen
- Industrieroboter können ihre Umwelt nicht wahrnehmen

Zukunft

- Mensch und Roboter arbeiten im selben Arbeitsraum
- Roboter erfüllen Dienstleistungen in der Nähe von oder am Menschen
- Hohe Flexibilität in der Produktion bei niedrigen Stückzahlen durch enge Verketzung von Mensch und Roboter



Notwendige Schlüsselkomponenten

- Günstige und robuste Sensoren
- Schnelle Erfassung der Umwelt
- Schnelle und robuste Planung



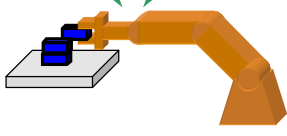
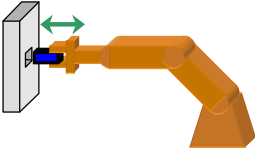
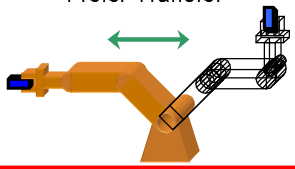
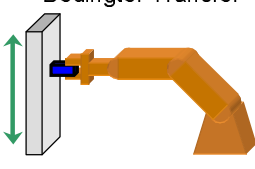
Den in der industriellen Produktion eingesetzten Manipulatoren fehlt in der Regel die Möglichkeit, ihre Umwelt wahrzunehmen. Die Roboter besitzen nur diejenigen Sensoren, die sie für die Erfüllung ihrer Produktionsaufgabe benötigen.

Dies hat den Nachteil, dass der Roboter Hindernisse, die sich in seinem Arbeitsraum befinden, nicht wahrnehmen kann. Daher können bei der Bewegung von Industrierobotern in unvollständig bekannten Umgebungen Kollisionen auftreten. Dies gilt insbesondere dann, wenn bewegliche Hindernisse, wie zum Beispiel Menschen, im Arbeitsraum sind. Je nach Masse und Geschwindigkeit des Roboterarms kann die Kollision zu schweren Verletzungen bis hin zum Tod führen.

Die aktuellen Sicherheitsvorschriften (z.B. [ISO10218]) schreiben daher vor, dass Industrieroboter in abgegrenzten Bereichen ("Zellen") arbeiten müssen. Diese Bereiche müssen so abgesichert sein, dass der Roboter deaktiviert wird, sobald die Abgrenzung während des Automatikbetriebes durchbrochen wird.

Allerdings ist eine strikte Abschottung des Roboters von der Umwelt bei vielen Aufgaben nicht wünschenswert oder nicht möglich. Industrieroboter und Mensch haben unterschiedliche Stärken. Industrieroboter sind schnell, stark und positionsgenau. Menschen dagegen sind sehr geschickt bei komplizierten Montagevorgängen und können sehr flexibel auf ungeplante Situationen reagieren. Um diese Stärken optimal zu kombinieren, ist in vielen Fällen eine enge Zusammenarbeit zweckmäßig.

Klassifikation der Roboteroperationen

	Werkstück (zeitweise) ohne Umweltkontakt	Werkstück mit Umweltkontakt	
Bewegung mit Änderung der Kontakt-situation	Aufgreifen / Ablegen 	De-/Montieren 	Bewegung auf engem Raum
Bewegung ohne Änderung der Kontakt-situation	Freier Transfer 	Bedingter Transfer 	Bewegung über große Entfernung
	Schnelle Bewegung	Langsame Bewegung	



Hinter dieser Klassifizierung steht die Idee, jene Roboterbewegung abzusichern, die für den Menschen das größte Schadensrisiko aufweist.

Das Risiko ermittelt sich aus der Wahrscheinlichkeit P_{Raum} , dass der Mensch im selben Raum wie der Roboter ist, multipliziert mit dem Kehrwert der Wahrscheinlichkeit P_{Ausweich} , dass der Mensch der Kollision ausweichen kann und mit der Höhe S des zu erwartenden Schadens:

$$\text{Risiko} = P_{\text{Raum}} * (1 - P_{\text{Ausweich}}) * S$$

Die Wahrscheinlichkeit, dass Mensch und Roboter den selben Raum beanspruchen steigt unter sonst gleichen Bedingungen mit dem vom Roboter überstrichenen Raum.

Die Wahrscheinlichkeit, dass der Mensch der Kollision ausweichen kann, sinkt mit steigender Robotergeschwindigkeit auf Grund der begrenzten Reaktionsfähigkeit des Menschen.

Die Schadenshöhe hängt stark von anderen Randbedingungen ab (Werkzeug im Robotergreifer, Scharfkantigkeit der Umwelt, ...) Eine Kollision mit dem Roboter wird für einen Menschen aber unter sonst gleichen Bedingungen zu einem größeren Schaden (= Verletzung) führen, wenn der Roboter schneller fährt.

Aus diesen Gründen ist das Risiko für die freie Transferbewegung maximal.

Aufgabenstellung

Aufgabe

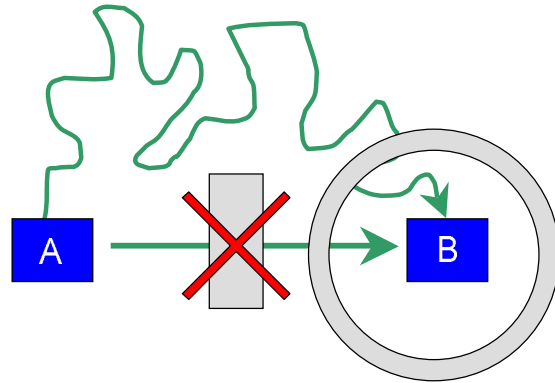
„Bring Objekt O von Ort A nach Ort B“

Nebenbedingungen

- Ohne Kollision mit Hindernissen
- Auf „vernünftigem“ Weg
- Sinnvolles Verhalten, wenn Aufgabe unmöglich

Einschränkung

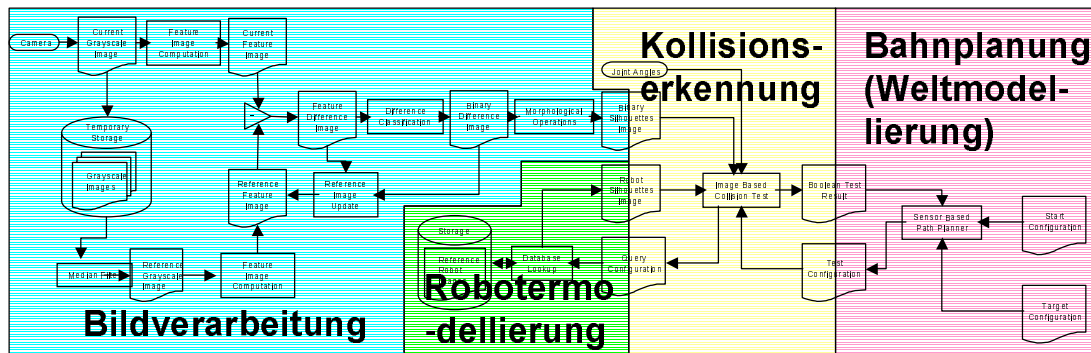
Objekt ist klein im Vergleich zu Greifer
→ Fahrt mit Objekt und Leerfahrt sind äquivalent



Die betrachtete Aufgabe besteht darin, die Transferbewegungen eines Manipulators kollisionsfrei durchzuführen. Von einer gegebenen Startkonfiguration aus soll der Manipulator auf einer möglichst kurzen, kollisionsfreien Bahn in eine gegebene Zielkonfiguration fahren. Falls notwendig, soll der Manipulator um auftretende Hindernisse herumfahren. Wenn es keinen Weg zum Ziel gibt, soll der Manipulator zu einer freien Konfiguration in der Nähe des Ziels fahren und dort stehen bleiben.

Im Prinzip ist eine Transferbewegung nur eine Bewegung des Roboters ohne gegriffene Objekte. Bewegungen mit Objekten werden als Transportbewegungen bezeichnet. Für kleine Objekte sind Transport- und Transferbewegung praktisch gleich zu behandeln. Lediglich der Transport von größeren Objekten muss gesondert betrachtet werden. Im folgenden wird daher nicht zwischen Transfer- und Transportbewegung unterschieden.

SIMERO-System



Aufgabe

- Bewege Dich von A nach B ohne Kollision mit Hindernissen auf einer effizienten Bahn.

Notwendiges Wissen bzw. Fähigkeiten

- Wissen über die Umwelt → externe Sensoren, Sensordatenverarbeitung, Weltmodellierung
- Wissen über die eigene Position und Form → interne Sensoren, Robotermotellierung
- Fähigkeit eine Kollision zu erkennen → Kollisionserkennung
- Fähigkeit einen Weg zu finden → Bahnplanung



Das SIMERO-System gliedert sich in die vier Hauptkomponenten Bildverarbeitung, Robotermotellierung, Kollisionserkennung und Bahnplanung.

Aufgabe der Bildverarbeitung ist es, ein Silhouettenbild der aktuellen Szene zu erstellen. Ein Silhouettenbild ist ein binäres Bild, in dem alle Vordergrundpixel (Roboter, Mensch) gesetzt und alle Hintergrundpixel (Umwelt) gelöscht sind.

Die Aufgabe der Robotermotellierung besteht darin, die Kollisionserkennung mit Wissen über die Geometrie des Roboters zu versorgen. Im SIMERO-System wird eine bildbasierte Kollisionserkennung verwendet. Daher muss hier die Robotermotellierung zu einer angefragten Konfiguration ein Silhouettenbild des Roboters liefern.

Die Aufgabe der Kollisionserkennung ist es, zu entscheiden, ob eine bestimmte Konfiguration zu einer Kollision mit einem Objekt führen könnte, wenn der Roboter diese Konfiguration einnimmt. Dabei wird lediglich diese angefragte Konfiguration betrachtet, egal ob es möglich ist, diese Konfiguration aus der gegenwärtigen Konfiguration zu erreichen.

Der im SIMERO-System verwendete Kollisionstest baut keine Repräsentation des 3D-Arbeitsraumes auf, sondern arbeitet ausschließlich auf den Silhouettenbildern von Szene und Roboter [Ebert02b].

Die Bahnplanung hat die Aufgabe, ausgehend von einer gegebenen Startkonfiguration eine kollisionsfreie Bahn zu einer gegebenen Zielkonfiguration zu finden.

Versuchsaufbau

Interne Sensoren

- Information über den Zustand des Roboters
- Beispiel: Gelenkwinkelkodierer, Motorstrommesser

Externe Sensoren

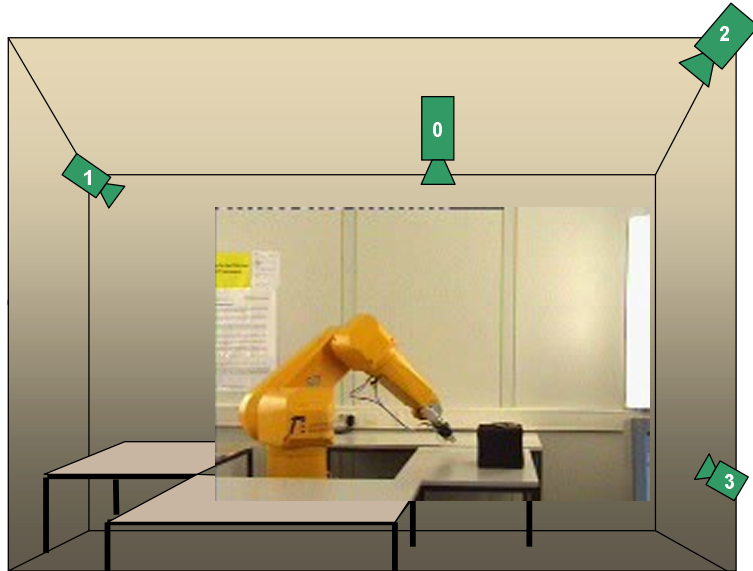
- Information über den Zustand der Umwelt
- Beispiel: Laserscanner, Kameras, Lichtschranken, Kraft-/Momentensensoren

In SIMERO verwendete Sensoren

- Gelenkwinkelkodierer
- Grauwertkameras

Prototypischer Aufbau

- Vier stationäre Grauwert-Kameras
- Bewegung in den drei Hauptachsen



Der Aufbau der Roboterzelle ist in der Abbildung zu sehen. Die verwendete Hardware besteht aus einem Stäubli RX130 6-Achs Industrieroboter, der auf einem Sockel in der Mitte der Roboterzelle montiert ist. Der Roboter wird durch eine Stäubli CS7B Robotersteuerung kontrolliert. Auf der Robotersteuerung läuft ein Programm in der steuerungseigenen Sprache V+, das die Kontrolle des Roboters über ein Netzwerk ermöglicht. Das eigentliche Softwaresystem läuft auf einem Standard-PC mit Athlon XP 2200+ Prozessor und 512 MB Hauptspeicher.

In diesem PC sind zwei DFG/BW1 Framegrabber (baugleich zu ELTEC/PCEYE4) eingebaut. An diese Framegrabber sind insgesamt vier DMK 73/C Grauwertkameras mit Vario-Focus-Objektiven angeschlossen. Die Vario-Focus-Objektive ermöglichen ein manuelles Einstellen von Sichtwinkel (Zoom) und Focus.

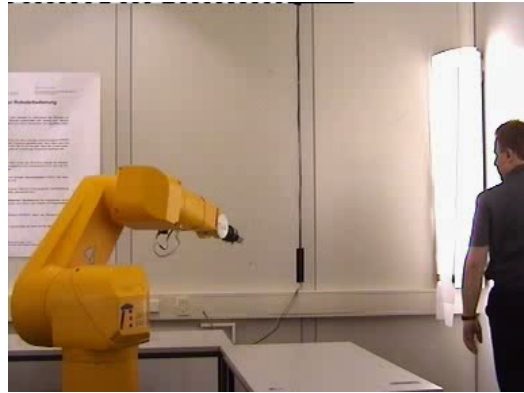
Die Grauwertkameras sind an folgenden Positionen angebracht: Kamera 0 ist an der Decke oberhalb des überwachten Arbeitsraumes angebracht und blickt im wesentlichen senkrecht nach unten. Kamera 1 ist in der linken, hinteren, oberen Ecke (aus Sicht eines vor der Zelle stehenden Betrachters) angebracht. Kamera 2 befindet sich in der rechten, vorderen oberen Ecke. Kamera 3 ist in der Nähe der rechten, vorderen, unteren Ecke befestigt.

Die Beleuchtung erfolgt durch Leuchtstoffröhren, die über elektronische Vorschaltgeräte betrieben werden, damit keine Helligkeitsschwankungen in den Kamerabildern vorhanden sind. Jeweils eine Lampe mit zwei Leuchtstoffröhren befindet sich in den vier Ecken der Arbeitszelle. Außerdem befinden sich drei Lampen mit je einer Leuchtstoffröhre an der Zellendecke. Alle Lampen sind zur Erzielung einer diffuseren Beleuchtung mit Papier bespannt.

Vergleich Stand OTS 2003 zu OTS 2002

Versuchssystem

- Standard-PC
 - * 2002: Athlon 1.4 GHz
 - * 2003: Athlon XP 2200+ (1.8 GHz)
(Athlon XP 2600+ (2.0 GHz))
- 2 Framegrabber DFG BW/1 (= ELTEC/PCEYE4)
- 4 Grauwertkameras DMK 73/C
- Roboter Stäubli RX 130 mit CS7B Steuerung



Unterschiede

- Optimierte Berechnung der Binärbilder
- Berechnung des Robotermodells statt Datenbank
- Kollisionserkennung auf PTP-Segmenten
- Überwachung des Systems auf Ausfälle
- Glättung erzeugter Bahnen
- Parallelisierung von Bildverarbeitung und Roboterbewegung



Die Binärbilderzeugung verwendet Merkmale (z.B. mittlerer Grauwert), die für Grauwertkacheln berechnet werden ([Ebert01]). Die optimierte Berechnung der Binärbilder beruht auf einer Untersuchung über den Beitrag und den Rechenaufwand der einzelnen Merkmale. Dadurch konnten die Zahl der Merkmale reduziert und der Rechenaufwand deutlich verringert werden.

Die Berechnung des Robotermodells aus den Gelenkwinkeln ermöglicht das Herausrechnen des Roboters bei beliebigen Gelenkwinkelstellungen [Gecks03]. Die im letzten Jahr verwendete Methode der vorausberechneten Bilddatenbank ermöglichte dies nicht [Ebert02a].

Die Kollisionserkennung auf Point-To-Point-Segmenten (PTP) ermöglicht bei Bahnplanungsverfahren, die solche Segmente testen, eine erhebliche Beschleunigung, solange der Arbeitsraum von wenigen Hindernissen belegt ist [Urbanczik03].

Ein Beispiel für Bahnplanungsverfahren, die PTP-Segmente verwenden, sind Randomized-Roadmap-Planner. Der Randomized-Roadmap-Planner hat den Nachteil, dass die erzeugte Bahn willkürlich im Raum verläuft. Aus diesem Grund muss die Bahn geglättet werden. Hierzu wird das Verfahren aus [Siegert99] benutzt.

Die Parallelisierung von Bildverarbeitung und Roboterbewegung ermöglicht die Erzeugung neuer Bahnpunkte bevor der Roboter den letzten Zielpunkt erreicht hat. Durch Überschleifen entsteht eine kontinuierliche Roboterbewegung [Gecks03].

Überwachung des Systems auf Ausfälle

Systemversagen möglich durch

- Hardwarefehler
- Softwarefehler

Bei sensorbasierten Systemen zusätzlich Sensorfehler

- Hardwarefehler in der Sensorik
- Ungeplante Umweltzustände
- Messfehler

Problematik der Sensorfehler

- Können zu Fehlentscheidungen des Systems führen
- Nicht erkennbar durch klassische „System Health Checks“
- Fehlererkennung erfordert Modell der erwarteten Sensordaten

Im SIMERO-System

- Überwachung der Kameras auf Fehlfunktion



Für Hard- und Softwarefehler stehen (im Prinzip) Verfahren zur Verfügung, die das Auftreten der Fehler erkennen können. Die klassischen Methoden haben bei komplexen Systemen jedoch Schwierigkeiten, die notwendigen Parameter zu bestimmen.

Zum Beispiel wurde in [Khodabandehloo96] die Fehlermöglichkeit und Einflussanalyse (FMEA) und die Fehlerbaumanalyse exemplarisch für einen Industrieroboter durchgeführt. Das Problem bei dieser Art von Analyse ist die Schwierigkeit zu den einzelnen Fehlern die Eintrittswahrscheinlichkeiten zu bestimmen.

Sobald der Mensch in das System mit einbezogen werden muss, wird die Analyse noch komplexer:

In [Gaskill96] wird festgestellt, dass der einzig gangbare Weg zur Gewährleistung der Sicherheit bei interaktiven Maschinen darin besteht, zu gewährleisten, dass die Maschine immer sicher arbeitet und kein zufälliger Hardware oder systematischer Fehler zu einer gefährlichen Situation führt. Allerdings wird auch festgestellt, dass durch die zunehmende Komplexität der Maschinen die Anzahl der möglichen Fehlerzustände so groß ist, dass sie nicht mehr einzeln erfasst und überprüft werden können.

In [Bertagnolli02] werden die Voraussetzungen untersucht, die erfüllt sein müssen, damit ein autonomer mobiler Roboter in Europa in den Verkehr gebracht werden darf. Hauptaugenmerk ist die Einhaltung des Sicherheitsabstandes, der durch Sensoren überwacht wird. Die Absicherung gegen Fehler des überwachenden Systems wird nicht betrachtet.

Überwachung

Allgemein

- Systeme mit Sensoren stellen Annahmen über die Umwelt auf
- Wenn diese Annahmen nicht erfüllt sind, können auch korrekt arbeitende Systeme Fehlentscheidungen treffen
- Annahmen über die Umweltzustände müssen überprüft werden

Bei kamerabasierten Systemen

- Anfragen liefern neue, aktuelle Bilder
- Bilder mit gutem Signal-Rausch-Verhältnis
- Beleuchtungsverhältnis
- Kameraeinstellung (Zoom, Focus, Blende)
- Kamerapositionierung im Raum
- Freien und verdeckten Sichtbereich



Modell der Sensordaten

- (Statistische) Erwartung an die Sensorwerte
- (Statistische) Erwartung an aus den Sensorwerten ermittelten Werte



Beispiel für Modelle der Sensordaten

- Wertebereich der einzelnen Sensorwerte
- Mittelwert der Sensordaten
- Mittlere Veränderung der Sensordaten

Beispiel für Modelle der aus Sensordaten ermittelten Größen

- Erwartete Koordinaten für Kameraposition
- Erwarteter Belegungszustand des Raumes

Die Modelle, die (statistischen) Erwartungen an die Sensordaten beschreiben, sind relativ einfach zu überprüfen.

Problematisch sind Modelle, bei denen zuerst aus den Sensordaten andere Größen ermittelt werden. Eigentlich müsste (beweisbar) sichergestellt sein, dass auf Grund der fehlerhaften Sensordaten keine abgeleiteten Größen ermittelt werden können, die innerhalb der erwarteten Grenzen liegen. Um dies beweisen zu können, sind aber weitere Annahmen über die Umwelt notwendig, die wiederum geprüft werden müssten

...

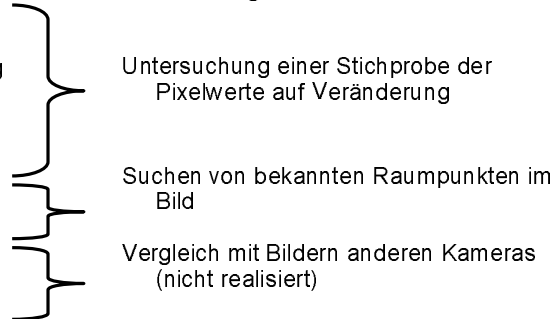
Beispiel: Überwachung der Kamerapositionierung durch Suche nach Schachbrettmuster im Raum. Es muss sichergestellt sein, dass bei keiner möglichen Kameraposition irgendein anderes Schachbrett zu sehen ist.

Überwachung der Kamerafunktion

Mögliche Fehler

- Totalausfall der Kamera
- Falsche Blende- / Shutter / Beleuchtung
- Standbildwiedergabe
- Rauschen der Übertragung
- Kabeldefekte
- Positionsänderung einer oder mehrerer Kameras
- Verschmutzung der Kameralinse
- Ungenügender Sichtbereich

Fehlererkennung durch



Besonderheiten im SIMERO-System

- Durch Differenzbilder werden viele Störungen entschärft
- Problematisch ist der Einrichtbetrieb



Die Überwachung der Pixelfehler wird durch ein eigenes Modul realisiert das transparent in den Datenfluss der Bildverarbeitung eingehängt ist. Die Überwachung läuft parallel zum Betrieb des Systems.

Die Überprüfung der Kamerapositionierung ist ein eigener Betriebsmodus, der vor der Erstellung der Referenzbilder ausgeführt wird.

Die Realisierung der Verfahren zur Überwachung auf Pixelfehler und der Kamerapositionierung ist in [Wenzel03] beschrieben.

Im SIMERO-System stellen die betrachteten Fehler im Normalbetrieb keine große Gefahrenquelle dar. Wenn das aktuelle Bild gestört ist, zeigt sich dies normalerweise in einer starken Abweichung zum Referenzbild. Dadurch werden mehr Hindernisse erkannt als tatsächlich da sind. Dies kann dazu führen, dass sich der Roboter nicht mehr bewegt, weil der Raum voller Hindernisse ist. Eine Kollision kann nur dann eintreten, wenn Hindernisse im Raum nicht erkannt werden. Dies kann dadurch geschehen, dass eine Kamera permanent ein Standbild liefert und das Hindernis nicht im Standbild zu erkennen ist.

Überprüfung der Bildqualität

Annahmen über die Pixel

- Auf Grund des Kamerarauschens gibt es immer Bildveränderungen
- Differenz zu Pixel in vorherigem Bild in unveränderten Bildteilen klein
- Bewegte Objekte sind nur ein kleiner Teil des Bildes

Durchführung

- Untersuchung einer Stichprobe
- Anzahl der Pixel bestimmen, deren Differenz zum vorherigen Bild:
 - * unverändert ist
 - * größer als ein zu bestimmender Schwellwert ist
- Wenn diese Anzahlen einen Schwellwert überschreiten, das System anhalten



Probleme

- Mit einer kleinen, aber positiven Wahrscheinlichkeit können alle Pixel gleich sein, auch wenn das System noch in Ordnung ist.
- Werden große Objekte im Bild bewegt (z. B. direkt vor der Kamera) wird dies als Fehler erkannt



Das Problem bei der Festlegung der Stichprobengröße ist die Abwägung zwischen Laufzeit und Anzahl der tolerierbaren Fehlalarme.

Mit größer werdender Stichprobe sinkt die Wahrscheinlichkeit, einen Fehler zu machen, allerdings steigt die notwendige Bearbeitungszeit.

Überprüfung der Kamerapositionierung

Überprüfung

- Roboter ist in bekannter Position („Home“)
- Im Bild wird nach Schachbrett gesucht
- Die Pixelkoordinaten der inneren Kanten werden mit gespeicherten Werten verglichen

Problem

- Es existieren mehrere Kamerapositionen, die die selben Pixelkoordinaten ergeben
- Was passiert bei mehreren Schachbrettern in Bild?



Eine Annahme über die Umwelt („Kameras sind richtig positioniert“ wird durch eine andere Annahme („nur das Schachbrett am Roboter ist im Sichtbereich“) ersetzt.

Nur dann sinnvoll, wenn:

- Wahrscheinlichkeit eines der Annahme widersprechenden Umweltzustandes abnimmt
- Annahme durch den Bediener leichter überprüfbar ist



Die kritischen Kamerapositionen befinden sich auf der Geraden zwischen Schachbrett und Kamera. Der Zoom muss so eingestellt sein, dass die scheinbare Größe des Schachbretts gleich bleibt. Bei der gewählten Ausführung gibt es einen weiteren Freiheitsgrad auf einer Kreisbahn um den Mittelpunkt des Schachbrettes. Dies ließe sich aber durch ein Schachbrett mit vier inneren Ecken vermeiden.

Das Problem, dass es verschiedene Kamerapositionen gibt, die die gleichen Messwerte erzeugen, tritt dann nicht auf, wenn die Kameras nur einen kleinen Bewegungsspielraum in der Orientierung besitzt. Dies kann zum Beispiel durch eine Befestigung mit Kugelgelenk erreicht werden, wie sie viele Überwachungskameras haben.

Das Vorhandensein von mehreren Schachbrettern im Bild kann erkannt werden. Problematisch ist die Situation, dass ein anderes Schachbrett an der erwarteten Position erkannt wird, während sich das eigentlich gesuchte Schachbrett auf Grund der Positionsänderung außerhalb des Bildes befindet.

Die Wahrscheinlichkeit, dass in der Zelle ein (falsches) Schachbrett so angebracht ist, dass die Koordinaten der inneren Punkte vom System akzeptiert werden sind deutlich kleiner als die Wahrscheinlichkeit, dass sich die Kameraorientierung oder -position verändert hat.

Ein menschlicher Bediener kann deutlich leichter erkennen, ob ein Schachbrettmuster im Sichtbereich der Kameras ist, als die genaue Orientierung der Kameras.

Aus diesen Gründen erhöht die gewählte Form der Kamerapositionsprüfung die Betriebssicherheit des Systems.

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

- Sicherere Mensch-Roboter-Koexistenz erfordert Sicherheitssystem
- Funktion des Sicherheitssystem muss gewährleistet sein
- Sensordaten müssen gegen ein Modell überprüft werden
- Überprüfung der Sensordaten auf Gültigkeit bei komplexen Sensoren aufwendig
- (unüberprüfte) Annahmen über die Umwelt unumgänglich
- Im SIMERO-System am Beispiel von Fehlern der Kameras durchgeführt
- Einfaches Modell für die einzelnen Sensorwerte
- Komplexes Modell für die Kamerapositionierung
- Veränderungen im laufenden Betrieb unkritisch
- Problem ist der Einrichtbetrieb

Ausblick

- Definition der Anforderungen an die Umwelt
- Komplexere Reaktionen (evtl. Kompensation von Störungen)
- Diagnosehilfen für Bediener



[Bertagnolli02]

Bertagnolli, F., Ziegler, M., Dillmann, R.: "Mobile Roboter auf dem Weg zur CE-Zertifizierung", In: VDI-Bericht 1679 - Tagungshandbuch zur Robotik 2002, Ludwigsburg, pp. 669-675, 2002

[Ebert01]

Ebert, D., Henrich, D.: „Safe Human-Robot-Cooperation: Problem Analysis, System Concept and Fast Sensor Fusion" In: IEEE Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems, pp. 239-244, Baden-Baden, Germany, August 20 - 22, 2001

[Ebert02a]

Ebert, D., Henrich, D.: „SIMERO - Sicherheitsstrategien für die Mensch-Roboter-Kooperation" In: „OTS-Systeme in der Robotik – Roboter Ohne Trennende Schutzeinrichtungen“, Reihe BKM Berichte, Herbert Utz Verlag, S. 5.1-5.17, München, 25. Juni 2002

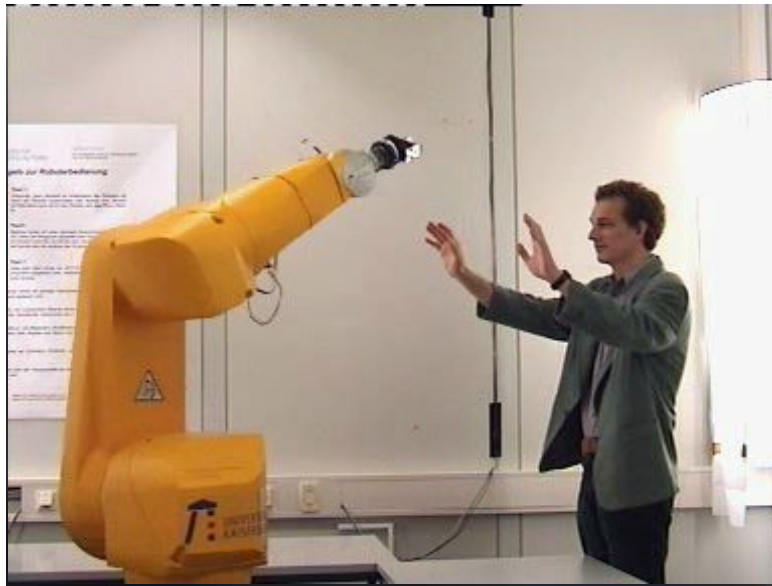
[Ebert02b]

Ebert, D., Henrich, D.: „Safe Human-Robot-Cooperation: Image-based collision detection for Industrial Robots" In: IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 1826-1831, Lausanne, October 2 - 4, 2002

[Gaskill96]

Gaskill, S.P., Went, S.R.G. "Safety issues in modern applications of robots"; In: Reliability Engineering and System Safety 53, Elsevier Science Limited, Northern Ireland, pp. 301-307, 1996

SIMERO: Sichere Mensch-Roboter-Koexistenz



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !



[Gecks03]

Gecks, T.: „SIMERO - Erzeugung von flüssigen, schnellen Roboterbewegungen“, Diplomarbeit, AG eingebettete Systeme und Robotik, FB Informatik, Universität Kaiserslautern, 2003

[Khodabandehloo96]

Khodabandehloo, K.: "Analyses of robot systems using fault and event trees: case studies", In: Reliability Engineering and System Safety 53, Elsevier Science Limited, Northern Ireland, pp. 247-264, 1996

[Siegert99]

Siegert, H.-J.: „Weg- und Trajektorienplanung“, Skript zur Vorlesung, AG Echtzeitsysteme und Robotik, TU München, 1998

[Urbanczik03]

Urbanczik, Ch.: „SIMERO: Bildbasierte Kollisionserkennung und Bahnglättung im Konfigurationsraum“, Diplomarbeit, AG eingebettete Systeme und Robotik, FB Informatik, Universität Kaiserslautern, 2003

[Wenzel03]

Wenzel, P.: „SIMERO: Überwachung der Funktion eines Systems zur sicheren Mensch-Roboter-Kooperation“, Projektarbeit, AG eingebettete Systeme und Robotik, FB Informatik, Universität Kaiserslautern, 2003