

Einsatz von Rückkopplungsstrukturen in der Farbbildverarbeitung

Ivan Volosyak, Axel Gräser

Universität Bremen, IAT
Otto-Hahn-Allee NW1, D-28359 Bremen
{volosyak, ag}@iat.uni-bremen.de
<http://www.iat.uni-bremen.de>

Kurzfassung

Die Verwendung der Objektfarbe zur Objekterkennung in einer Szene ist ein sehr verbreitetes Verfahren in der Farbbildverarbeitung. In diesem Beitrag wird ein neuer Zugang zu der Problematik der Informationsgewinnung vorgestellt, der durch die Einführung von Rückkopplungsstrukturen in den gesamten Prozess der Bildverarbeitung gekennzeichnet ist. Im wesentlichen wird hier auf den Einsatz von Rückkopplungen im Bereich der Bildgewinnung eingegangen, da in den überlagerten Strukturen, wie Merkmalsextraktion und Klassifikation von der Farbe weitgehend abstrahiert werden kann. Durch den Einsatz von Rückkopplungsstrukturen in der Farbbildverarbeitung können einfache und damit extrem schnelle Algorithmen realisiert werden. *Die erzielten Ergebnisse wurden mit dem Rehabilitationssystem „FRIEND“ [9] getestet.*

1 Einleitung

Die automatische Informationsgewinnung aus Kamerabildern stellt ein zentrales Problem der Bildverarbeitung dar. Durch die rapiden Leistungssteigerungen von einer Rechnergeneration zur nächsten hat sich die Farbbildverarbeitung in der letzten Zeit zunehmend zum Standard im Bereich der Muster- und Objekterkennung entwickelt. Grundsätzlich sind durch die Nutzung von Farbbildern zur Objektdetektion qualitative Verbesserungen zu erwarten. Eine große Schwierigkeit ist dabei, dass die Objektfarbe nicht exakt, sondern nur vage definiert werden kann. Der Grund dafür sind große Schwankungen in der Farbe eines Objektes, die durch störende Einflüsse wie Umgebungsbeleuchtung, Schattenwurf, Lichtreflexe, Farbverzerrungen bei der Bildaufnahme u.s.w. verändert werden kann. Auch bei der Aufnahme einer Bildsequenz können Farbabweichungen von Bild zu Bild auftreten. Bild 3 zeigt als ein gutes Beispiel die Farbverzerrungen, die bereits auf dem Bilderfassungsniveau auftreten und daher durch keine nachgeschaltete Bearbeitung eliminiert werden können.

2 Stand der Technik

Einen guten Überblick über Artikel, in denen der Begriff Feedback in der Bildverarbeitung seit Mitte der 80er Jahre angewendet wurde, findet man z.B. in [3][5]. Hierbei geht es im Allgemeinen um anwendungsspezifische Systeme, die Bildfolgen in Echtzeit auswerten können. In dem dabei entwickelten *4D-Ansatz* wird ein computerinternes raumzeitliches Modell der beobachteten Szene durch Bildmessungen und Schätzverfahren dem in der Welt tatsächlich ablaufenden Vorgang nachgeführt. Die Modellierung umfasst die 3D-Form mit ihren im Bild vermessbaren Merkmalen, die Lage der identifizierten Objekte in den drei räumlichen Dimensionen und das Bewegungsverhalten der Objekte relativ zueinander durch *dynamische Modelle*. Sie stellen eine Charakterisierung von Objekten auf der Zeitachse dar; die Modellierung von Objekten sowohl in den drei Raumdimensionen als auch in der vierten Dimension Zeit führte zur Bezeichnung *4D-*

Ansatz. Diese Verarbeitungsschritte werden alle 40 ms (entspricht 25 fps) zyklisch durchlaufen, die Objektmodelle werden am Ende jedes Zyklus anhand der ermittelten Abweichungen $y - y^*$ korrigiert. Dieses Verfahren ist robust, liefert gute Ergebnisse, ist aber vor allem für Grauwertbildverarbeitung wegen einer sehr hohen Komplexität ausgedacht. Diese Methode entspricht aus der Sicht der Komplexität (Vorhersage des Systemzustands, Bildung einer Jacobi-Matrix) den Visual- Servoing Verfahren; Details des Einsatzes in der Robotik sind in [2] dargestellt. Diese Rückkopplungsart stellt kein Feedback *in der* Bildverarbeitung dar, da Sollwerte und Istwerte sich nicht auf Größen der Bildverarbeitung beziehen (Bild 1).

Eine einfache Feedbackstruktur stellt die automatische Anpassung einer optimalen Schwelle zur Grauwertsegmentierung dar. Ergebnisse der Klassifizierung werden nach einer nachgeschalteten Plausibilitätskontrolle zurückgeführt zur SchwellwertEinstellung in der Bildsegmentierung (Bild 5). Eine Anwendung dieser Methode stellt eine automatische Detektion einer künstlichen Markierung in der Ausführung des Systems FRIEND [4] dar.

Allgemein gilt, dass Systeme mit Rückkopplungsstrukturen, wie sie in technischen Systemen häufig und in biologischen Systemen immer vorliegen, sich als sehr robust erweisen. In [1] wird bereits eine Rückkopplung zur robusten Segmentierung eingeführt. Aus dem RGB- Farbbild werden 48 Parameter gewonnen (statistische Größen 1. Ordnung, Histogrammparameter, u.s.w.). Diese Größen werden nun über eine Bildfolge jeweils zwischen aufeinander folgenden Bildern verglichen und die stabilsten Parameter ausgewählt. Diese bilden die Grundlage für den Regelkreis. Stellgröße sind zwei Parameter des Segmentierungsalgorithmus. Nach jeder Segmentierung werden fünf (nicht näher beschriebene) Gütekriterien ausgewertet. Diese fünf Parameter werden zu einer normalisierten Größe zusammengefasst und bilden die Bewertungsgröße für den Segmentierungsalgorithmus. Diese Bewertungsgröße ist Eingangsgröße für den Regler, der auf der Basis eines genetischen Algorithmus die Auswahl aus den 48 Bildparametern verändert. Der Regler verändert außerdem die Segmentierungsparameter. Die Komplexität der Vorgehensweise und die Unbestimmtheit der bei Rückkopplung genutzten Größen ist der hier vorliegenden Problemstellung nicht angepasst.

3 Das Grundprinzip

Bild 1 zeigt den Standardaufbau eines Bildverarbeitungssystems.

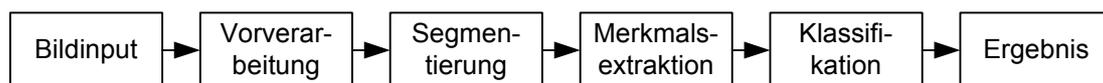
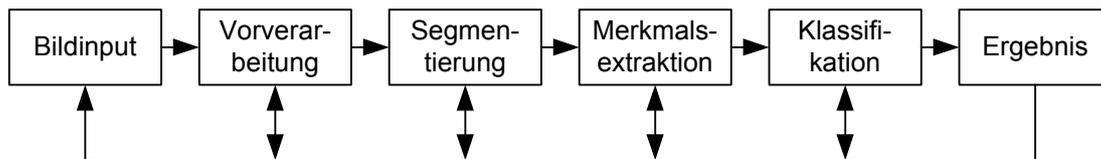


Bild 1: Standardstruktur eines Bildverarbeitungssystems

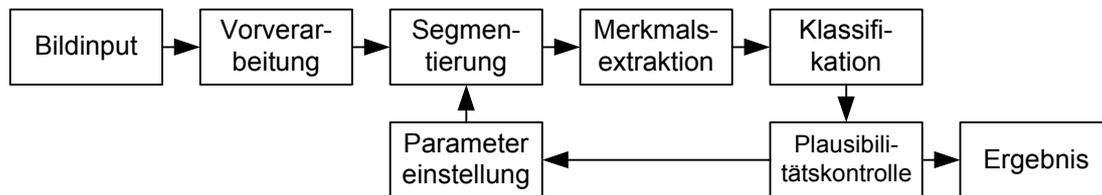
Die einzelnen Stufen werden seriell durchlaufen und die Ergebnisse die in einer Stufe erzielt werden, hängen ausschließlich von den Ergebnissen der vorherigen Stufe ab.

Nachteile solcher global entkoppelter Strukturen sind in der Automatisierungstechnik gut bekannt. Diese Strukturen sind nicht robust und davon abhängig, dass viele Randbedingungen exakt eingehalten werden. Methoden und Systeme, die unter Laborbedingungen gut arbeiten, versagen in der Praxis.

Bild 2(a) zeigt den fundamentalen Prinzipvorschlag. Für jede Stufe oder über mehrere Stufen der Bildverarbeitung hinweg können Sollwerte definiert werden, mit denen die erreichten Ergebnisse der Bildverarbeitung verglichen werden. In der Regel entsteht eine Abweichung also ein Regelfehler. Dieser Regelfehler dient dazu, in den Bildverarbeitungsprozess einzugreifen und Parameter oder Algorithmen so zu beeinflussen, dass die Aufgabe sicher erfüllt wird.



(a): Allgemeine Darstellung einer Bildverarbeitung mit Rückkopplungsstrukturen



(b): Praktisch realisiertes Farbbildverarbeitungssystem mit Rückkopplungsstrukturen

Bild 2. Einsatz von Rückkopplungsstrukturen in der Bildverarbeitung

In diesem Beitrag wird eine praktische Realisierung dieser Methode an dem FRIEND System vorgestellt und diskutiert, wobei die Ergebnisse aus der Klassifikationsstufe zurück zur Bildsegmentierung geführt werden (Bild 2(b)). Die Bilderfassung und Vorverarbeitung arbeiten wie üblich sequenziell. Die Rückkopplungsstrukturen bilden eine Systemarchitektur, die sich einer Kaskadenregelung ähnelt.

4 Segmentierung

Der Schwerpunkt der vorgeschlagenen Methode liegt in der durch Rückkopplungsstrukturen erweiterten Segmentierung. Der nächste Abschnitt gibt einen kurzen Überblick über das Segmentierungsproblem allgemein und die gängigen Lösungsansätze.

4.1 Bildsegmentierung

Eine frühzeitige Datenreduktion ist wesentlich für die Echtzeitfähigkeit von Bildverarbeitungs-algorithmen, insbesondere in der Farbbildverarbeitung, wo im Vergleich zur Verarbeitung von Grauwertbildern die dreifache Datenmenge anfällt. Der Prozess der Zusammenfassung gleichartiger Pixel zu sogenannten Merkmalsdaten mit einer entsprechenden Datenstromreduktion, auch Segmentierung genannt, ist somit ein zentraler Bestandteil jedes Bildanalyseprozesses. Die Segmentierung trennt Objekte vom Hintergrund, selektiert einzelne Objekte aus der Objektsammlung. Durch eine drastische Verringerung des im Bild vorhandenen Informationsgehaltes, führen z.B. falsch eingestellte Segmentierungsparameter praktisch immer zu Fehlklassifizierungen oder falschen Erkennungsergebnissen. Damit ist die Bildsegmentierung einer der wichtigsten Schritte in der automatischen Bildverarbeitung.

4.2 Übertragung in die Praxis: Rehabilitationssystem FRIEND

Der am IAT entwickelte Rehabilitationsroboter „FRIEND“ dient der Unterstützung von behinderten Personen. Bild 9 zeigt die momentane Systemarchitektur. Typische Abläufe wie das Greifen eines ausgewählten Gegenstandes oder das Einschenken eines Glases werden mit einem visuell geregelten Roboterarm realisiert. Für diese Aufgabe müssen verschiedene Objekte sicher erkannt werden [4]. Die visuelle Regelung des Roboterarms erfordert die Verarbeitungszeiten in einem zulässigen Bereich zu halten und aus Sicherheitsgründen eine Framerate von mehr als 10 fps (frames per second) zu realisieren. Um diesen Anforderungen zu entsprechen, werden die natürlichen Farbeigenschaften der zu detektierenden Objekte verwendet.

HSV Farbraum

Wie bereits erwähnt variiert die Intensität der Farben bei der Bildaufnahme im Fall einer nicht konstanten Umgebungsbeleuchtung und beim Schattenwurf. Diese Abhängigkeit ist oft unerwünscht. Um sie auszublenden, wird in der Literatur meist eine Auftrennung eines Farbbildes in einen chromatischen und einen achromatischen Anteil vorgeschlagen. Diese Auftrennung ist in einem HSV- Farbraum bereits vorhanden, wodurch sich die in diesem Farbraum arbeitenden Segmentierungsverfahren als robust erweisen. Da der Rechenaufwand dieser Farbraumtransformation sehr gering und in vielen neuen Framegrabbern bereits auf der Hardware implementiert ist, wurde der HSV- Farbraum zur Segmentierung ausgewählt.

Threshold- Klassifizierung

Bei der Klassifizierung wird jedes Pixel anhand seiner Farbwerte zu einer Farbklasse zugeordnet. Um den an das System gestellten Anforderungen an die Verarbeitungszeiten unter 100 ms zu entsprechen, können in dem System nur schnelle Klassifizierungsverfahren eingesetzt werden. Die einfachste Klassifizierungsmethode benutzt für die Farbklassenzuordnung eine Reihe von vorher bestimmten Threshold- Werten. Die Farbklassen werden in diesem Fall durch eine entsprechende Partitionierung des Farbraums definiert, was im Fall einer äquidistanten Einteilung der einzelnen Farbkanäle im Bild 4 veranschaulicht ist. Da die Objektfarben nicht das gesamte Farbspektrum abdecken, werden nicht alle Farbwerte zu Objektklassen zugeordnet. Das Problem ist jedoch, dass im Fall mehrerer zu detektierender Gegenstände ihre Farbklassen praktisch immer eine Tendenz zur Überschneidung aufweisen. Ein großer Nachteil ist dabei, dass die Pixel mit Farbwerten, die nahe an einer Klassengrenze liegen, durch eine Beleuchtungsänderung oder selbst durch geringes Rauschen zu einer anderen Farbklasse zugeordnet werden können. Daher sind die Objekterkennungssysteme, in denen lediglich eine feste Klassendefinition verwendet wird, sehr unzuverlässig.

4.3 Kaskadenregelung

Bild 6 (a) zeigt einen aus der Regelungstechnik bekannten zweistufigen Kaskadenregelkreis. Der innere Regelkreis regelt die Hilfsregelgröße X_I auf den vorgegebenen Sollwert W_I . Dieser Sollwert W_I wird vom überlagerten Regelkreis vorgegeben. Die Hilfsregelgröße folgt dieser Vorgabe. Das dynamische Verhalten der Hilfsregelgröße ist deutlich schneller als das der äußeren Regelgröße. Die Vorteile einer Kaskadenregelung sind bekannt. Für unsere Aufgabenstellung ist der Vorteil von großer Bedeutung, dass weiterhin nur ein Stellglied im System vorhanden ist. Die Übertragung der Idee einer Kaskadenregelung auf das Gebiet der Bildverarbeitung zeigt Bild 6 (b). Dem Stellglied im regelungstechnischen Sinn entspricht die Segmentierungsstufe, deren Bedeutung bereits erwähnt wurde. Bekannt ist auch, dass dieser Schritt praktisch immer am rechenaufwendigsten ist. Die „Parametereinstellung“ stellt den Regler dar, Klassifikation ermittelt die Regelgröße, die mit vorgegebenen Größen (Sollwert) verglichen wird. Da System FRIEND sehr großen Helligkeitsänderungen unterworfen ist (Einsatz in einer In- und Outdoor Umgebung, große Intensitätsschwankungen des Tageslichts) scheint sehr sinnvoll, an den inneren Regelkreis die Aufgabe der Farbenverfolgung zu delegieren; unsere Untersuchungen haben ergeben, dass die Objektfarben bedingt durch die Kameraparameteränderung (Autofokus, automatischer Weißabgleich) u.v.a.m. sehr stark variieren. Die beschriebene schnelle schwellwertbasierte Klassifizierung reicht zur Threshold- Einstellung von Farbklassen. Die Bestimmung des äußeren Regelkreises bleibt weiterhin aufgabenspezifisch, für unser System sind das Aufgaben der Erkennung und Lokalisation von Objekten.

Praktische Realisierung des Verfahrens

Bildinput:

Die visuelle Regelung des Roboterarms erfordert die Bildinformationen eines Stereokamerasystems. Dieses besteht im FRIEND- System aus zwei SONY EVI 371 PAL Farbkameras. Nach der Bildaufnahme in beiden Kameras findet zuerst eine Partial- Scan- Methode je Bild statt, dabei wird aus jedem aufgenommenen Bild der benötigte Bereich mit der Größe von 512 x 256 Pixel ausgeschnitten; als Ergebnis wird das Bild der Größe 256 x 256 Pixel mit normalen Seitenverhältnissen ausgegeben. Mit dem Bild der zweiten Kamera geschieht dasgleiche. Im zweiten Schritt werden beide Bilder zu einem Bild der Größe 512 x 256 verknüpft. Bild 8 zeigt den angewendeten Verknüpfungsprozess.

Vorverarbeitung:

Die Vorteile des HSV- Farbraums wurden bereits beschrieben. An dieser Stelle findet eine Konvertierung des Bildes aus dem von der Kamera verwendeten RGB- Farbraum zum HSV- Farbraum statt. Bild 12 zeigt die Bilder in einer Falschfarbraumdarstellung, wobei die Bilder des HSV Farbraums als RGB Bilder dargestellt werden, dabei gilt folgende Regel für die Farbkanäle: $H \Rightarrow R$; $S \Rightarrow G$; $V \Rightarrow B$ (HSV \rightarrow RGB).

Segmentierung:

Zur Objekterkennung wird die Farbe der Objekte verwendet, die Grenzwerte der jeweiligen Farbklass (s. Abschnitt Threshold- Klassifizierung), die auch a priori bekannt sind, werden als Stellgrößen des internen Regelkreises gehandelt und nach der Klassifizierung in die Segmentierungsstufe zurückgeführt. Dabei werden in diesem inneren Regelkreis die Rückkopplungsparameter mittels Mittelwertes und Standardabweichung der jeweiligen Farbklass berechnet, diesen Prozess wird in Bild 7 gezeigt. Details des Einsatzes sind in [8] dargestellt. Als Ergebnis der weiteren Bearbeitung werden Koordinaten der umgrenzenden Rechtecke von Regionen der jeweiligen Farbklass weitergegeben. Zur Plausibilitätskontrolle im inneren Regelkreis wird die Anzahl der Pixel der jeweiligen Farbklass verwendet.

Merkmalsextraktion:

Die zu lokalisierenden Objekte befinden sich in den zuvor bestimmten umschreibenden Rechtecken. Alle Pixel, die sich geometrisch in den Rechtecken befinden und gemäß deren Farbwerten in dem verbreiterten Farbbereich der jeweiligen Farbklass liegen; die Threshold- Klassifizierung wird nochmals angewendet.

Klassifikation:

Die Pixel werden anhand ihrer Farbwerte zu Objektregionen zusammengefasst. Für diese Regionen werden die Momente bis zur zweiten Ordnung bestimmt. Zur Objektdetektion werden Methoden der Ellipsen Anpassung [7] eingesetzt, die aus diesen Momenten eine entsprechende Ellipse (mit den äquivalenten normalisierten Zentralmomenten zweiter Ordnung) bilden.

Soll / Ist Vergleich:

Da das System nur mit vorherbestimmten Objekten arbeitet, werden im äußeren Regelkreis die geometrischen Eigenschaften von Objekten verwendet.

Ergebnis:

Das Bildverarbeitungssystem ist ein Bestandteil des Visual- Servoing Systems zur Kontrolle des MANUS- Roboterarms. Als Ergebnis werden die Koordinaten der lokalisierten Objekte weitergegeben.

Bild 12 macht die Funktionsweise des Farbbildverarbeitungssystems deutlich. Die a priori bekannten Farbwerte der jeweiligen Farbklassen liefern wegen einer differentiellen Umgebungsbeleuchtung keine ausreichende Genauigkeit der Objektlokalisierung (Bild 12 (a)). Die Objektklassen „LED“ und „Grüne Flasche“ werden zwar gefunden. Die Anzahl der Pixel und die Ellipsengeometrie, die für die weitere Steuerung des Roboters von Bedeutung sind, werden durch eine unvollständige Segmentierung nicht mit genügender Genauigkeit ermittelt. Die Segmentierungsparameter werden innerhalb des inneren Regelkreises automatisch eingestellt, bis eine fehlerfreie Segmentierung und eine genaue Objektlokalisierung gewährleistet ist. Der Prozess dieser Parameteradaption veranschaulicht Bild 12 (b) und (c). Bild 12(b) zeigt einen Zwischenschritt des Regelkreises und Bild 12(c) den Endzustand. Die Segmentierung bezieht sich dabei immer auf das gleiche Ursprungsbild. Die optimale Anpassung durch den Regelkreis erfolgt also für jedes aufgenommene Bild.

5 Experimentelle Ergebnisse

Das Verfahren wurde anhand einer künstlich veränderbaren Beleuchtung erfolgreich getestet. Die Änderungen der Objektfarben werden nachgeregelt, auch die Bewegungen von Objekten zuverlässig verfolgt. Die Stabilität der Objekterkennung bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen zeigt Bild 11. Das Bild 11 (a) und (c) zeigt die gleiche Szene bei unterschiedlichen Umgebungsbeleuchtungsbedingungen. Das Bild 11 (b) und (d) zeigt die Stabilität der Ergebnisse infolge der Rückkopplungsstrukturen. Die Robustheit ist nur begrenzt bei sehr schnellen Änderungen der Umgebungsbeleuchtung, da dann durch Objektfarben begründete Farbklassenüberschneidungen zu einer falschen Farbklasse - Objektzuordnung führen können. Dieses Problem kann durch Einbeziehung von weiteren Objekteigenschaften vermieden werden.

Durch Einsatz des vorgeschlagenen Verfahrens lässt sich die Zuverlässigkeit der Objekterkennung erhöhen. Bild 10 zeigt das Eingangsbild und Bild 12 - die erzielten Ergebnisse im Fall einer Aufgabe aus der Rehabilitationsrobotik: „Einschenken eines Glases mit dem Roboter“. Die über die detektierten Objekte gelegten Ellipsen zeigen eine gute Anwendbarkeit des Verfahrens für Visual Servoing- Aufgaben. Eine Verarbeitungsgeschwindigkeit über 10 fps in dem Visual- Servoing- Regelkreis wurde erreicht. Bild 13 zeigt die Ergebnisse einer Detektion von mehreren Objekten.

6 Zusammenfassung und Ausblick

In den vorangegangenen Abschnitten wurde ein Überblick über die Funktionsweise eines Farbbildverarbeitungssystem mit Rückkopplungsstrukturen gegeben, das als eine Erweiterung der klassischen Methoden der Farbbildverarbeitung betrachtet werden kann. Die Zuverlässigkeit der Klassifikation hängt im Wesentlichen von der Bildsegmentierung ab. Das vorgestellte Konzept einer Kaskadenregelung zur Segmentierung ist neu und vielversprechend. Das Einfügen von Rückkopplungsalgorithmen führt sowohl zu qualitativen Verbesserungen als auch zu einer einfacheren Systemstruktur. Die optimale Parametrierung der Regler ist ein Problem, das noch weiterer Arbeiten bedarf.

7 Literatur

1. Bhanu, B., Ming, J., Lee, S.: Closed-loop adaptive image segmentation. Proceedings 1991 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (91CH2983-5), 3-6 June 1991.
2. Corke, P.I.: *Visual Control of Robots: high performance visual servoing*. -Research studies press Ltd, 1996. ISBN: 0 86380 207 9.
3. Dickmanns, D. : *Rahmensystem für visuelle Wahrnehmung veränderlicher Szenen durch Computer*. -Aachen: Shaker, 1998. ISBN 3-8265-4275-4.
4. Gräser, A.; Martens, C. "Rehabilitation Robots - Transfer of Development and Research Results to Disabled Users" 3rd International Workshop on Human-friendly Robotic Systems, Daejeon, Korea, January 21-22, 2002
5. Jähne, B.; Haussecker, H.; Geissler, P.: *Handbook of computer vision and applications ...; Vol. 3* Seiten 581-586. -San Diego, Calif. [u.a.] : Acad. Press, 1999. ISBN 0-12-379773-X.
6. Martens, C.; Radchenko, O.; Pape, A.; She, H.; Volosyak, I.; Gräser, A.: "Autonomous and Robust 'Beverage Serving'-Task with the Rehabilitation Robotic System FRIEND", 7th European Conference for the Advancement of Assistive Technology, "Shaping the Future", Dublin, Ireland, August 31st – 3rd September 2003, <http://atireland.ie/aaate/>
7. R. Haralick and L. Shapiro: "Computer and Robot Vision", Addison-Wesley Publishing Company, Reading, MA, USA, 1992.
8. Volosyak, I., Gräser, A.: "Automatic object recognition using fuzzy decision system for the reha-robot FRIEND" Proceedings of the 8th ICORR, Daejeon, South Korea, 23-25 April 2003.
9. Volosyak, I.; Radchenko, O.; Pape, A.; Martens, C.; She, H.; Wendland, E.; Gräser, A. "Smart tray for the support of a wheelchair mounted manipulator", International Conference on Economic, Engineering and Manufacturing Systems ICEEMS 2003, Brasov, Romania.

Testlichtquelle aus 3 LEDs mit folgenden Wellenlängen:

- Rot: $\lambda = 660 \text{ nm}$
- Gelb: $\lambda = 590 \text{ nm}$
- Grün: $\lambda = 565 \text{ nm}$



(a) digitale Fotokamera (b) linke Kamera (c) rechte Kamera

Bild 3. Testlichtquelle, aufgenommen mit einer handelsüblichen Digitalkamera (Olympus C-840L) und mit CCD Kameras des Stereokamerasystems (Sony Zoom EVI 371): Farbunterschiede zwischen den gelben und grünen LED in (b) und (c) sind nicht erkennbar

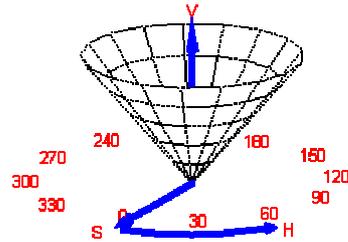
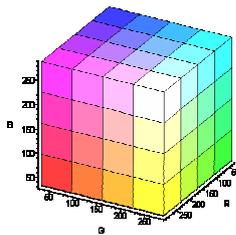


Bild 4. Definition von Farbklassen mit konstanten Thresholds; Aufnahme im RGB Farbraum: Auswahl des HSV Farbraums, da weniger anfällig gegenüber Intensitätsänderungen

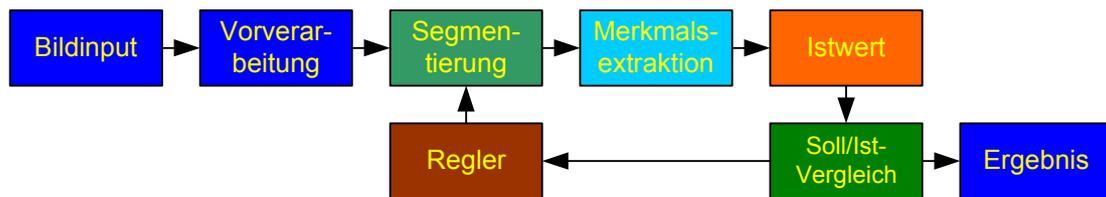


Bild 5. Klassische Rückkopplung in der Grauwertbildverarbeitung, z.B. zur automatischen Thresholds- Anpassung auf der Segmentierungsstufe

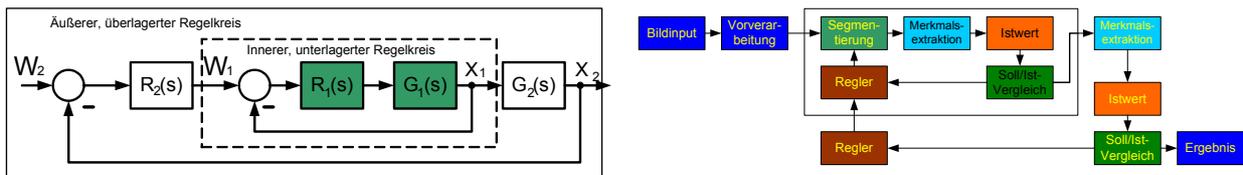
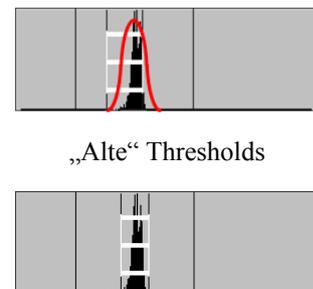
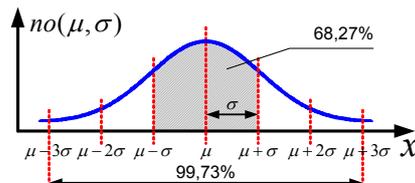
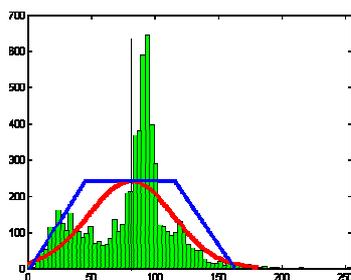


Bild 6. Realisierung der Idee der Kaskadenregelung, der innere unterlagerte Regelkreis „entspricht“ der Segmentierung



„Neue“ Thresholds

Bild 7. Berechnung der Feedback - Parameter. Eine detailliertere Beschreibung dieses Prozesses ist in [8] dargestellt.

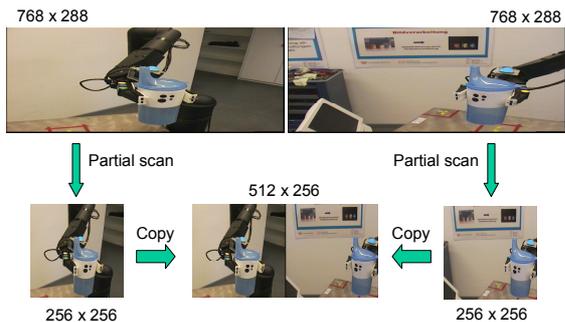


Bild 8. Partial Scan Verfahren zur Verknüpfung von Bildern der Videosequenz



Bild 10. „Eingangsbild“ des Systems



(a) Ergebnisse ohne Rückkopplung



(b) Zwischenergebnis bei Rückkopplung



(c) Endergebnis

Bild 12. Farbbildverarbeitung mit Rückkopplungsstrukturen

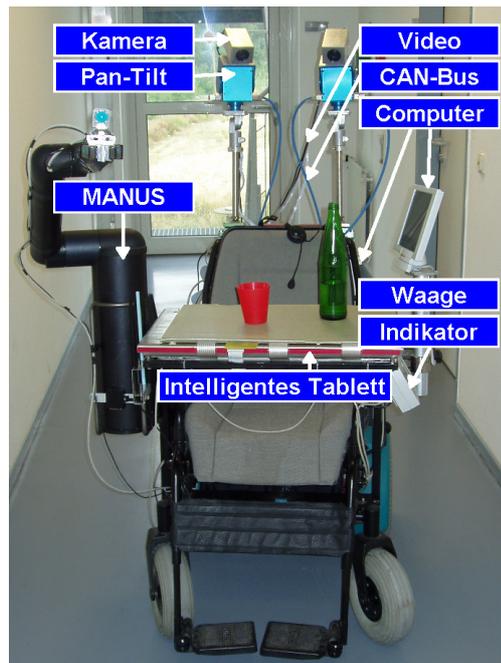
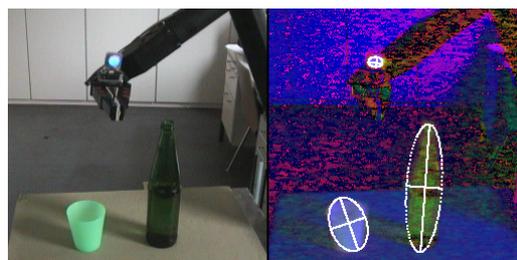


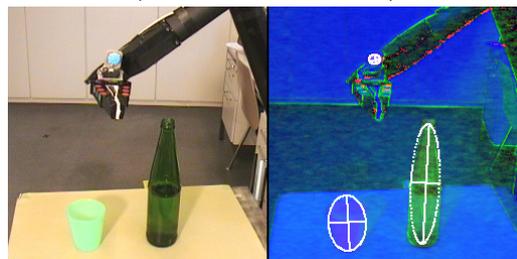
Bild 9. Rehabilitationssystem FRIEND



(a)

(b)

Unterschiedliche Beleuchtungsverhältnisse



(c)

(d)

Bild 11. Stabile Objekterkennung bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen

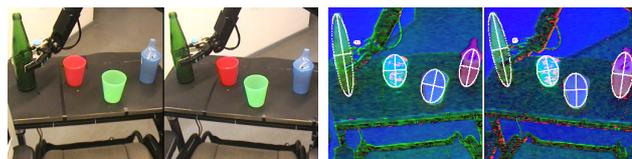


Bild 13. Erkennung von mehreren Objekten eines Rehabilitationsszenarios