

Extraktion handlungsrelevanter Merkmale aus Farbbildern zur Navigation eines mobilen Roboters*

V. Stephan, H.-M. Groß, Andrea Heinze

Technische Universität Ilmenau
Fachgebiet Neuroinformatik
D-98684 Ilmenau, Postfach 0565
Tel: +49 3677 69 1305, Fax: +49 3677 69 1665
e-mail: volker.stephan@informatik.tu-ilmenau.de

Abstract

Im vorliegenden Beitrag werden verschiedene Ansätze zur Extraktion von handlungsrelevanten Informationen aus Farbbildern zur Navigation eines mobilen Roboters vorgestellt. Es wird gezeigt, daß aus einem Farbbild unter Anwendung einer problemspezifischen Datenvorverarbeitung für ein Navigationsproblem stabilere situationsbeschreibende Merkmale extrahierbar sind als aus einem Grauwertbild. Das Erlernen des Navigationsverhaltens selbst ist nicht Gegenstand des Beitrages.

Einleitung und Szenario

Wir nutzen farbliche visuelle Informationen zum Erlernen einer Hindernisvermeidung bei möglichst langer Geradeausfahrt eines autonom agierenden Miniaturroboters in einer realen Labyrinthwelt. In Erweiterung dazu ist das Erlernen eines effektiven Explorationsverhaltens Gegenstand aktueller Forschungsarbeiten.

Zur Untersuchung der Aufgabenstellung wurde eine Labyrinthwelt genutzt, in der verschiedene Hinderniskonstellationen auftreten und lokale Wegabschnitte hinsichtlich ihrer Eignung zur effektiven Exploration mit rechteckigen farbigen Landmarken gekennzeichnet sind (Abbildung 3 links). In dieser Umgebung agiert der Miniaturroboter KHEPERA, welcher mit einer Onboard-Farbkamera zur visuellen Wahrnehmung seiner Umwelt ausgestattet ist. Der von der Farbkamera des Roboters gelieferte visuelle Datenstrom ist jedoch sehr *umfangreich*, *redundant*, von *Umwelteinflüssen abhängig* und somit für die direkte weitere Verarbeitung nur bedingt geeignet.

Kompensation von Störungen

Wechselnde Beleuchtungsstärken und Schattenwürfe verursachen Helligkeitsschwankungen (Abbildung 3 rechts), unterschiedliche spektrale Zusammensetzungen des Lichtes führen zu Farbvarianzen im Kamerabild (Abbildung 4).

Zur Realisierung der Hindernisvermeidung müssen aus dem Kamerabild *robuste* situationsbeschreibende Merkmale extrahiert werden, welche insbesondere eine Unterscheidung zwischen

*Die Arbeiten sind Teil des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projektes „Sensomotorische Interaktion“ (Gr 1378/1-1).

dem hellblauen Labyrinthboden, den Landmarken und den gelblichen Hindernissen ermöglichen. Zur Kompensation der Helligkeitsschwankungen aufgrund unterschiedlicher Beleuchtungsintensitäten kann eine Kamera mit automatischer Iris-Steuerung eingesetzt werden, unterschiedliche lokale Helligkeiten innerhalb eines Bildes aufgrund von Schatten können damit jedoch nicht ausgeglichen werden.

Die Helligkeitsinvarianz realisiert das menschliche Sehsystem u.a. mit einer Transformation in den physiologischen Farbraum, in dem Helligkeit und Farbe dekorreliert vorliegen [Pomierski96]. Die drei orthogonalen Achsen dieses rhomboederförmigen Farbraumes repräsentieren die Rot-Grün-Aktivierung (RG), die Blau-Gelb-Aktivierung (BY) und die Schwarz-Weiß-Aktivierung (BW).

Abbildung 5 zeigt die drei Bänder des RGB-Bildes aus Abbildung 3 (rechts) mit Schattenwurf und Abbildung 6 die drei Aktivierungskarten dieses Bildes im physiologischen Farbraum. Es wird deutlich, daß die Helligkeitsschwankungen auf die BW-Aktivierungskarte beschränkt sind und die beiden Farbkarten weitgehend unbeeinflusst bleiben. Da die Farbe und nicht die Helligkeit eines Objektes im Labyrinth zur stabilen Diskrimination von Hindernissen und Boden relevant ist, erscheint eine Transformation des RGB-Bildes in den physiologischen Farbraum zweckmäßig.

Da die Schwankungen der Lichtquellenspektren nicht sehr stark waren und die zu unterscheidenden Objekte im Labyrinth farblich deutlich unterschiedlich erscheinen, konnte zur Realisierung der Hindernisvermeidung zunächst auf eine Farbadaptation verzichtet werden. Eine leistungsfähige Methode zur Realisierung der Farbadaptation wird in [Pomierski96] vorgestellt. Spätere Arbeiten zur Navigation unter „Real-World“ Bedingungen werden intensiv von der Farbadaptation Gebrauch machen.

Gewinnung des situationsbeschreibenden Merkmalsvektors für das Navigationssystem

Zur Steuerung des Roboters soll ein neuronales Netzwerk eingesetzt werden, welches die während des Durchfahrens des Labyrinthes auftretenden Inputvektoren selbstorganisierend auf eine diskrete Anzahl von sensorischen Zuständen abbildet [Kohonen82], [Stephan96]. Das nachgeschaltete Reinforcement-Lernverfahren ermittelt durch „trial and error“ für jeden sensorischen Zustand eine optimale Aktion [Groß96], [Heinze96]. Um das Lernverfahren effektiv zu gestalten, ist eine geringe Zahl an sensorischen Zuständen und somit ein möglichst niedrigdimensionaler Inputvektor erforderlich.

Zur Extraktion situationsbeschreibender Merkmale wurden einerseits die Analyse räumlich orientierter Bildstrukturen (Farbkanten) mittels Gabor-Wavelet-Filtern und andererseits die Nutzung von integralen Farbmerkmalen mittels lokalisierter rezeptiver Felder untersucht.

Bildanalyse mittels Gabor-Wavelet-Filtern

Die Faltung des Bildes mit Gabor-Wavelet-Filtern (Abbildung 7 links und mitte) realisiert eine lokale Frequenzanalyse unter Berücksichtigung der Orientierung im Bild.

Da für eine kollisionsfreie Navigation nur die naheliegenden Hindernisse von Bedeutung sind, erfolgt die Faltung lediglich im unteren Bildbereich (Abbildung 7 rechts), wobei die Fitwerte der dargestellten 6 Faltungsaufpunkte für jeweils drei verschiedene Vorzugsrichtungen berechnet werden. Die resultierenden 18 Werte werden innerhalb einer Orientierung paarweise durch eine Maximumfunktion auf 9 Werte reduziert. Diese Analyse wird sowohl auf der RG- Karte als auch

auf der BY-Karte durchgeführt, und deren Ergebnisse inhibitorisch und ortskorrespondierend verrechnet, um Landmarkenkanten von Hinderniskanten zu unterscheiden. Um aus Bildern, die keinerlei Kanten beinhalten, handlungsrelevante Informationen zu extrahieren, wird dem Inputvektor der mittlere BY-Aktivitätswert des unteren Halbbildes hinzugefügt.

Bildanalyse mittels lokalisierter rezeptiver Feldstrukturen

Der zweite Ansatz zur Bildung eines möglichst niedrigdimensionalen und handlungsrelevanten Inputvektors arbeitet mit rezeptiven Feldstrukturen. Die drei genutzten rezeptiven Felder integrieren räumlich Informationen aus dem unteren Bildbereich der BY-Aktivierungskarte.

Auswertung des Navigationsverhaltens

Das erlernbare Verhalten des mobilen Roboters hängt sehr stark von der Qualität des situationsbeschreibenden Merkmalsvektors ab. Wenn z.B. der Inputvektor wesentliche Informationen nicht enthält, entstehen sensorische Zustände, in denen keine Handlungsstrategie stabil abgeleitet werden kann. Der Roboter dokumentiert dies in seinem Verhalten entweder durch eine erhöhte Unfallzahl oder kreisförmige Bewegungstrajektorien (kleine Reinforcementwerte), die statistisch gesehen das geringste Kollisionsrisiko beinhalten. Durch Vergleich des erlernten Verhaltens basierend auf unterschiedlichen Inputvektoren können somit Rückschlüsse auf die Eignung der Inputvektoren zur Problemlösung gezogen werden.

Navigation mit Gabor-Wavelet-Filtern

Der Inputvektor des neuronalen Netzes wurde auf dem vorverarbeiteten Farbbild und auf dem Grauwertbild errechnet. Die erlernten Navigationsleistungen basierend auf dem Farbbild zeigt Abbildung 1 links, Abbildung 1 rechts dokumentiert das Verhalten auf Grundlage des Grauwertbildes.

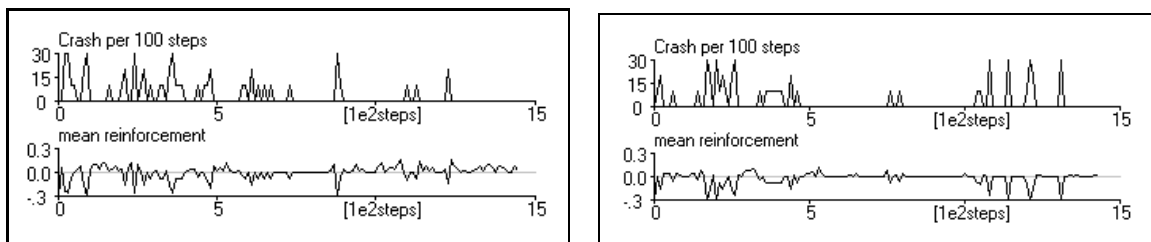


Abbildung 1: *Erlerntes Verhalten basierend auf Situationsbeschreibung mittels Gabor-Wavelet-Filterung auf dem Farbbild (links) und auf dem Grauwertbild (rechts).*

Es wird deutlich, daß unter Nutzung des Farbbildes als Grundlage für die Merkmalsextraktion bei identischen Netzwerkkonfigurationen ein besseres Verhalten (höhere Reinforcementkurve aufgrund hoher Bewertungssignale) erlernt werden konnte. In der BY-Karte erscheinen die Kanten zwischen den Hindernissen und dem Boden helligkeitsunabhängig und konnten robuster detektiert werden als im Grauwertbild.

Navigation mit lokalisierten rezeptiven Feldern

Diese Inputvektorkombination besteht aus drei mittleren Aktivitätswerten des unteren Bildbereichs, basierend einerseits auf der BY-Aktivitätskarte und andererseits auf dem Grauwertbild.

Abbildung 2 (links) zeigt die Navigationsergebnisse auf Grundlage der BY-Aktivierungskarte und Abbildung 2 (rechts) die Ergebnisse unter Nutzung des Grauwertbildes.

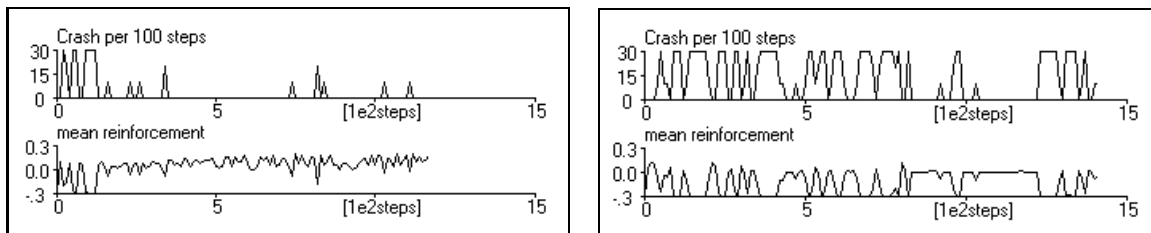


Abbildung 2: *Erlerntes Verhalten basierend auf lokalisierten rezeptiven Feldern auf der BY-Aktivierungskarte (links) und auf dem Grauwertbild (rechts).*

Abbildung 2 zeigt deutlich, daß auch die Nutzung rezeptiver Felder zur Generierung des Inputvektors die Auswertung des vorverarbeiteten Farbbildes gegenüber dem Grauwertbild vorteilhaft ist, da im Grauwertbild aufgrund schwankender Helligkeiten keine stabilen Grauwerte für die Unterscheidung zwischen Hindernissen und Boden gefunden wurden.

Zusammenfassung

Wir extrahierten aus dem visuellen Datenstrom zur kollisionsfreien Navigation eines autonomen Roboters zwei verschiedenartige situationsbeschreibende Merkmalsvektoren. Dabei wurden beide Alternativen einerseits auf vorverarbeiteten Farbbildern und andererseits auf den entsprechenden Grauwertbildern getestet und anhand des erlernten Verhaltens des Roboters verglichen. Die Untersuchungsergebnisse dokumentieren, daß unter Nutzung vorverarbeiteter Farbbilder deutlich robustere situationsbeschreibende Merkmale extrahiert werden können.

Literatur

- [Groß96] **Groß H.-M. et al.:** *Sensory-based Robot Navigation using Self-organizing Networks and Q-learning.* In Proceedings of World Congress on Neural Networks 96, San Diego USA, pp. 94-99, Lawrence Erlbaum Associates, Inc. Publishers, 1996.
- [Heinze96] **Heinze A.:** *Handlungsorganisation in neuronalen Agentenkollektiven.* Schriftenreihe Fachgebiet Neuroinformatik der TU-Ilmenau, Report Nr. 1/96, ISSN 0945-7518, 1996.
- [Kohonen82] **Kohonen T.:** *Self-organized formation of topologically correct feature maps.* In Biological Cybernetics, 43, 1982.
- [Pomierski96] **Pomierski T., Groß H.-M.:** *Biological neural architecture for chromatic adaptation resulting in constant color sensations.* In ICNN-96: Proc. of the ICNN-96, pp. 734-739, Washington DC: IEEE, 1996.
- [Stephan96] **Stephan V.:** *Vision basierte Ansätze für ein selbstorganisierendes Explorationsverhalten eines mobilen Roboters in einer Labyrinthwelt.* Diplomarbeit TU-Ilmenau, 1996.

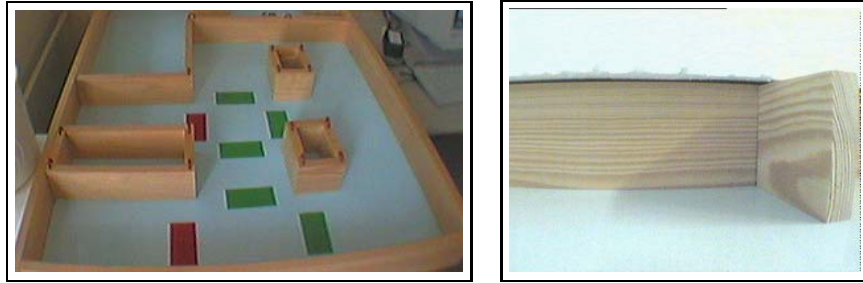


Abbildung 3: Szenario mit Hindernissen; die roten Landmarken kennzeichnen Sackgassen, die grünen günstige Wege (links). Durch Schattenwürfe entstehen Helligkeitsschwankungen im Kamerabild (rechts).

