

52. IWK

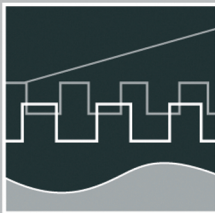
Internationales Wissenschaftliches Kolloquium
International Scientific Colloquium



PROCEEDINGS

10 - 13 September 2007

FACULTY OF COMPUTER SCIENCE AND AUTOMATION



COMPUTER SCIENCE MEETS AUTOMATION

VOLUME I

Session 1 - Systems Engineering and Intelligent Systems

Session 2 - Advances in Control Theory and Control Engineering

**Session 3 - Optimisation and Management of Complex
Systems and Networked Systems**

Session 4 - Intelligent Vehicles and Mobile Systems

Session 5 - Robotics and Motion Systems



Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der deutschen
Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über
<http://dnb.ddb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-939473-17-6

Impressum

- Herausgeber: Der Rektor der Technischen Universität Ilmenau
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter Scharff
- Redaktion: Referat Marketing und Studentische Angelegenheiten
Kongressorganisation
Andrea Schneider
Tel.: +49 3677 69-2520
Fax: +49 3677 69-1743
e-mail: kongressorganisation@tu-ilmenau.de
- Redaktionsschluss: Juli 2007
- Verlag: 
Technische Universität Ilmenau/Universitätsbibliothek
Universitätsverlag Ilmenau
Postfach 10 05 65
98684 Ilmenau
www.tu-ilmenau.de/universitaetsverlag
- Herstellung und
Auslieferung: Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat OHG
Am Hawerkamp 31
48155 Münster
www.mv-verlag.de
- Layout Cover: www.cey-x.de
- Bezugsmöglichkeiten: Universitätsbibliothek der TU Ilmenau
Tel.: +49 3677 69-4615
Fax: +49 3677 69-4602

© Technische Universität Ilmenau (Thür.) 2007

Diese Publikationen und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Mit Ausnahme der gesetzlich zugelassenen Fälle ist eine Verwertung ohne Einwilligung der Redaktion strafbar.

Preface

Dear Participants,

Confronted with the ever-increasing complexity of technical processes and the growing demands on their efficiency, security and flexibility, the scientific world needs to establish new methods of engineering design and new methods of systems operation. The factors likely to affect the design of the smart systems of the future will doubtless include the following:

- As computational costs decrease, it will be possible to apply more complex algorithms, even in real time. These algorithms will take into account system nonlinearities or provide online optimisation of the system's performance.
- New fields of application will be addressed. Interest is now being expressed, beyond that in "classical" technical systems and processes, in environmental systems or medical and bioengineering applications.
- The boundaries between software and hardware design are being eroded. New design methods will include co-design of software and hardware and even of sensor and actuator components.
- Automation will not only replace human operators but will assist, support and supervise humans so that their work is safe and even more effective.
- Networked systems or swarms will be crucial, requiring improvement of the communication within them and study of how their behaviour can be made globally consistent.
- The issues of security and safety, not only during the operation of systems but also in the course of their design, will continue to increase in importance.

The title "Computer Science meets Automation", borne by the 52nd International Scientific Colloquium (IWK) at the Technische Universität Ilmenau, Germany, expresses the desire of scientists and engineers to rise to these challenges, cooperating closely on innovative methods in the two disciplines of computer science and automation.

The IWK has a long tradition going back as far as 1953. In the years before 1989, a major function of the colloquium was to bring together scientists from both sides of the Iron Curtain. Naturally, bonds were also deepened between the countries from the East. Today, the objective of the colloquium is still to bring researchers together. They come from the eastern and western member states of the European Union, and, indeed, from all over the world. All who wish to share their ideas on the points where "Computer Science meets Automation" are addressed by this colloquium at the Technische Universität Ilmenau.

All the University's Faculties have joined forces to ensure that nothing is left out. Control engineering, information science, cybernetics, communication technology and systems engineering – for all of these and their applications (ranging from biological systems to heavy engineering), the issues are being covered.

Together with all the organizers I should like to thank you for your contributions to the conference, ensuring, as they do, a most interesting colloquium programme of an interdisciplinary nature.

I am looking forward to an inspiring colloquium. It promises to be a fine platform for you to present your research, to address new concepts and to meet colleagues in Ilmenau.



Professor Peter Scharff
Rector, TU Ilmenau



Professor Christoph Ament
Head of Organisation

Table of Contents

CONTENTS

	Page
1 Systems Engineering and Intelligent Systems	
A. Yu. Nedelina, W. Fengler DIPLAN: Distributed Planner for Decision Support Systems	3
O. Sokolov, M. Wagenknecht, U. Gocht Multiagent Intelligent Diagnostics of Arising Faults	9
V. Nissen Management Applications of Fuzzy Control	15
O. G. Rudenko, A. A. Bessonov, P. Otto A Method for Information Coding in CMAC Networks	21
Ye. Bodyanskiy, P. Otto, I. Pliss, N. Teslenko Nonlinear process identification and modeling using general regression neuro-fuzzy network	27
Ye. Bodyanskiy, Ye. Gorshkov, V. Kolodyazhniy, P. Otto Evolving Network Based on Double Neo-Fuzzy Neurons	35
Ch. Wachten, Ch. Ament, C. Müller, H. Reinecke Modeling of a Laser Tracker System with Galvanometer Scanner	41
K. Lüttkopf, M. Abel, B. Eylert Statistics of the truck activity on German Motorways	47
K. Meissner, H. Hensel A 3D process information display to visualize complex process conditions in the process industry	53
F.-F. Steege, C. Martin, H.-M. Groß Recent Advances in the Estimation of Pointing Poses on Monocular Images for Human-Robot Interaction	59
A. González, H. Fernlund, J. Ekblad After Action Review by Comparison – an Approach to Automatically Evaluating Trainee Performance in Training Exercise	65
R. Suzuki, N. Fujiki, Y. Taru, N. Kobayashi, E. P. Hofer Internal Model Control for Assistive Devices in Rehabilitation Technology	71
D. Sommer, M. Golz Feature Reduction for Microsleep Detection	77

F. Müller, A. Wenzel, J. Wernstedt A new strategy for on-line Monitoring and Competence Assignment to Driver and Vehicle	83
V. Borikov Linear Parameter-Oriented Model of Microplasma Process in Electrolyte Solutions	89
A. Avshalumov, G. Filaretov Detection and Analysis of Impulse Point Sequences on Correlated Disturbance Phone	95
H. Salzwedel Complex Systems Design Automation in the Presence of Bounded and Statistical Uncertainties	101
G. J. Nalepa, I. Wojnicki Filling the Semantic Gaps in Systems Engineering	107
R. Knauf Compiling Experience into Knowledge	113
R. Knauf, S. Tsuruta, Y. Sakurai Toward Knowledge Engineering with Didactic Knowledge	119
2 Advances in Control Theory and Control Engineering	
U. Konigorski, A. López Output Coupling by Dynamic Output Feedback	129
H. Toossian Shandiz, A. Hajipoor Chaos in the Fractional Order Chua System and its Control	135
O. Katernoga, V. Popov, A. Potapovich, G. Davydau Methods for Stability Analysis of Nonlinear Control Systems with Time Delay for Application in Automatic Devices	141
J. Zimmermann, O. Sawodny Modelling and Control of a X-Y-Fine-Positioning Table	145
A. Winkler, J. Suchý Position Based Force Control of an Industrial Manipulator	151
E. Arnold, J. Neupert, O. Sawodny, K. Schneider Trajectory Tracking for Boom Cranes Based on Nonlinear Control and Optimal Trajectory Generation	157

K. Shaposhnikov, V. Astakhov The method of ortogonal projections in problems of the stationary magnetic field computation	165
J. Naumenko The computing of sinusoidal magnetic fields in presence of the surface with bounded conductivity	167
K. Bayramkulov, V. Astakhov The method of the boundary equations in problems of computing static and stationary fields on the topological graph	169
T. Kochubey, V. Astakhov The computation of magnetic field in the presence of ideal conductors using the Integral-differential equation of the first kind	171
M. Schneider, U. Lehmann, J. Krone, P. Langbein, Ch. Ament, P. Otto, U. Stark, J. Schrickel Artificial neural network for product-accompanied analysis and control	173
I. Jawish The Improvement of Traveling Responses of a Subway Train using Fuzzy Logic Techniques	179
Y. Gu, H. Su, J. Chu An Approach for Transforming Nonlinear System Modeled by the Feedforward Neural Networks to Discrete Uncertain Linear System	185
3 Optimisation and Management of Complex Systems and Networked Systems	
R. Franke, J. Doppelhammer Advanced model based control in the Industrial IT System 800xA	193
H. Gerbracht, P. Li, W. Hong An efficient optimization approach to optimal control of large-scale processes	199
T. N. Pham, B. Wutke Modifying the Bellman's dynamic programming to the solution of the discrete multi-criteria optimization problem under fuzziness in long-term planning	205
S. Ritter, P. Bretschneider Optimale Planung und Betriebsführung der Energieversorgung im liberalisierten Energiemarkt	211
P. Bretschneider, D. Westermann Intelligente Energiesysteme: Chancen und Potentiale von IuK-Technologien	217

Z. Lu, Y. Zhong, Yu. Wu, J. Wu WSReMS: A Novel WSDM-based System Resource Management Scheme	223
M. Heit, E. Jennenchen, V. Kruglyak, D. Westermann Simulation des Strommarktes unter Verwendung von Petrinetzen	229
O. Sauer, M. Ebel Engineering of production monitoring & control systems	237
C. Behn, K. Zimmermann Biologically inspired Locomotion Systems and Adaptive Control	245
J. W. Vervoorst, T. Kopfstedt Mission Planning for UAV Swarms	251
M. Kaufmann, G. Bretthauer Development and composition of control logic networks for distributed mechatronic systems in a heterogeneous architecture	257
T. Kopfstedt, J. W. Vervoorst Formation Control for Groups of Mobile Robots Using a Hierarchical Controller Structure	263
M. Abel, Th. Lohfelder Simulation of the Communication Behaviour of the German Toll System	269
P. Hilgers, Ch. Ament Control in Digital Sensor-Actuator-Networks	275
C. Saul, A. Mitschele-Thiel, A. Diab, M. Abd rabou Kalil A Survey of MAC Protocols in Wireless Sensor Networks	281
T. Rossbach, M. Götze, A. Schreiber, M. Eifart, W. Kattanek Wireless Sensor Networks at their Limits – Design Considerations and Prototype Experiments	287
Y. Zhong, J. Ma Ring Domain-Based Key Management in Wireless Sensor Network	293
V. Nissen Automatic Forecast Model Selection in SAP Business Information Warehouse under Noise Conditions	299
M. Kühn, F. Richter, H. Salzwedel Process simulation for significant efficiency gains in clinical departments – practical example of a cancer clinic	305

D. Westermann, M. Kratz, St. Kümmerling, P. Meyer Architektur eines Simulators für Energie-, Informations- und Kommunikationstechnologien	311
P. Moreno, D. Westermann, P. Müller, F. Büchner Einsatzoptimierung von dezentralen netzgekoppelten Stromerzeugungsanlagen (DEA) in Verteilnetzen durch Erhöhung des Automatisierungsgrades	317
M. Heit, S. Rozhenko, M. Kryvenka, D. Westermann Mathematische Bewertung von Engpass-Situationen in Transportnetzen elektrischer Energie mittels lastflussbasierter Auktion	331
M. Lemmel, M. Schnatmeyer RFID-Technology in Warehouse Logistics	339
V. Krugljak, M. Heit, D. Westermann Approaches for modelling power market: A Comparison.	345
St. Kümmerling, N. Döring, A. Friedemann, M. Kratz, D. Westermann Demand-Side-Management in Privathaushalten – Der eBox-Ansatz	351
4 Intelligent Vehicles and Mobile Systems	
A. P. Aguiar, R. Ghabchelloo, A. Pascoal, C. Silvestre , F. Vanni Coordinated Path following of Multiple Marine Vehicles: Theoretical Issues and Practical Constraints	359
R. Engel, J. Kalwa Robust Relative Positioning of Multiple Underwater Vehicles	365
M. Jacobi, T. Pfützenreuter, T. Glotzbach, M. Schneider A 3D Simulation and Visualisation Environment for Unmanned Vehicles in Underwater Scenarios	371
M. Schneider, M. Eichhorn, T. Glotzbach, P. Otto A High-Level Simulator for heterogeneous marine vehicle teams under real constraints	377
A. Zangrilli, A. Picini Unmanned Marine Vehicles working in cooperation: market trends and technological requirements	383
T. Glotzbach, P. Otto, M. Schneider, M. Marinov A Concept for Team-Orientated Mission Planning and Formal Language Verification for Heterogeneous Unmanned Vehicles	389

M. A. Arredondo, A. Cormack SeeTrack: Situation Awareness Tool for Heterogeneous Vehicles	395
J. C. Ferreira, P. B. Maia, A. Lucia, A. I. Zapaniotis Virtual Prototyping of an Innovative Urban Vehicle	401
A. Wenzel, A. Gehr, T. Glotzbach, F. Müller Superfour-in: An all-terrain wheelchair with monitoring possibilities to enhance the life quality of people with walking disability	407
Th. Krause, P. Protzel Verteiltes, dynamisches Antriebssystem zur Steuerung eines Luftschiffes	413
T. Behrmann, M. Lemmel Vehicle with pure electric hybrid energy storage system	419
Ch. Schröter, M. Höchemer, H.-M. Groß A Particle Filter for the Dynamic Window Approach to Mobile Robot Control	425
M. Schenderlein, K. Debes, A. Koenig, H.-M. Groß Appearance-based Visual Localisation in Outdoor Environments with an Omnidirectional Camera	431
G. Al Zeer, A. Nabout, B. Tibken Hindernsvermeidung für Mobile Roboter mittels Ausweichecken	437
5 Robotics and Motion Systems	
Ch. Schröter, H.-M. Groß Efficient Gridmaps for SLAM with Rao-Blackwellized Particle Filters	445
St. Müller, A. Scheidig, A. Ober, H.-M. Groß Making Mobile Robots Smarter by Probabilistic User Modeling and Tracking	451
A. Swerdlow, T. Machmer, K. Kroschel, A. Laubenheimer, S. Richter Opto-acoustical Scene Analysis for a Humanoid Robot	457
A. Ahranovich, S. Karpovich, K. Zimmermann Multicoordinate Positioning System Design and Simulation	463
A. Balkovoy, V. Cacenkin, G. Slivinskaia Statical and dynamical accuracy of direct drive servo systems	469
Y. Litvinov, S. Karpovich, A. Ahranovich The 6-DOF Spatial Parallel Mechanism Control System Computer Simulation	477

V. Lysenko, W. Mintchenya, K. Zimmermann 483
Minimization of the number of actuators in legged robots using
biological objects

J. Kroneis, T. Gastauer, S. Liu, B. Sauer 489
Flexible modeling and vibration analysis of a parallel robot with
numerical and analytical methods for the purpose of active vibration damping

A. Amthor, T. Hausotte, G. Jäger, P. Li 495
Friction Modeling on Nanometerscale and Experimental Verification

Paper submitted after copy deadline

2 Advances in Control Theory and Control Engineering

V. Piwek, B. Kuhfuss, S. Allers 503
Feed drivers – Synchronized Motion is leading to a process optimization

G. Al Zeer / A. Nabout / B. Tibken

Hindernisvermeidung für Mobile Roboter mittels Ausweichecken

1. EINLEITUNG

Der Einsatz von intelligenten fahrerlosen Transportsystemen gewinnt u. a. in modernen Industrieanlagen immer mehr an Bedeutung. Solche Systeme können beispielsweise in modernen Lager- und Produktionshallen für eine automatisierte Lagerhaltung eingesetzt werden, um den Materialfluss zu optimieren und so die Herstellungskosten zu reduzieren.

Bahnplanung ist ein zentrales Problem im Bereich der mobilen Robotik und wesentlicher Bestandteil solcher Transportsysteme. In dieser Anwendung ist zwischen statischer und dynamischer Bahnplanung zu unterscheiden [1]. Die statische Bahnplanung berechnet für ein Fahrzeug an Hand bekannter globaler Informationen über die Start- und Zielpositionen sowie der vorhandenen Hindernisse im gesamten Aktionsraum eine oder mehrere mögliche Gesamtrouten, die die Startposition mit der Zielposition unter Vermeidung der Hindernisse verbindet. Bei einer dynamischen Bahnplanung wird die Hindernisvermeidung dynamisch durchgeführt, indem zuerst das Ziel direkt angesteuert wird, bis das Fahrzeug auf ein Hindernis trifft. Die dynamische Bahnplanung besteht nun darin, eine Bahn für ein Ausweichmanöver unter Berücksichtigung der Zielposition zu berechnen [2].

Im Bereich der mobilen Robotik werden zur Trajektorien-Planung bei Vorhandensein von statistischen und / oder dynamischen Hindernissen unterschiedliche Lösungsansätze verfolgt (Tu and Yang, 2003; Bennewitz et al., 2002; Melchior et al., 2003). Eine der populärsten Bahnplanungsmethoden sind die artificial potential fields (Tsuji et al., 2002). Diese Methode liefert in einem statischen Umfeld lediglich eine Lösung, die jedoch nicht die kürzeste Trajektorie liefert [1].

In der künstlichen Intelligenz (KI) findet man zur Lösung des hier genannten Problems weitere Lösungsansätze [3]. Seit 1968 findet die A*-Methode [4, 5] für die statische Bahnplanung als Graphensuchalgorithmus Anwendung [6]. Der Algorithmus sucht die beste Bahn von einer gegebenen Start- zu einer gewünschten Zielposition. Hierbei wird der Arbeitsraum durch einen Graphen modelliert. Der Algorithmus durchläuft den

Graphen und untersucht die Nachbarknoten der bereits erreichten Positionen.

In dieser Veröffentlichung wird eine neue Methode für die Berechnung von Bahnen für mobile Roboter, die in einem Aktionsraum von einer Start- zu einer Zielposition unter Vermeidung von statischen Hindernissen geführt werden sollen, vorgestellt. Diese Bahnplanung erfolgt offline für die gesamte Route und berücksichtigt dynamische Hindernisse nicht, die während der Fahrt entstehen können. Eine solche Bahnplanung wird beispielsweise bei der vollautomatischen Lagerhaltung benötigt, um fahrerlose Fahrzeuge flexibel im gesamten Lagerbereich automatisch zu manövrieren. Die Methode stützt sich dabei auf Messdaten eines Kamerasystems und berechnet mittels Ausweichecken mehrere mögliche Bahnen in Form von approximativen Strecken, die sich durch ihre Gesamtlänge sowie Anzahl und Stärke der Lenkvorgänge unterscheiden. Die Ergebnisse dieser Methode werden an Hand einer MATLAB-Implementierung diskutiert.

2. BAHNPLANUNG MITTELS APPROXIMATIVER STRECKEN

Die entwickelte Methode stützt sich auf die Verwendung einer oder mehrerer Kameras, die den Aktionsraum erfassen. Abb. 1 zeigt den Aktionsraum (Laborraum) mit drei Fahrzeugen. Durch Auswertung der Kameraaufnahmen werden die Positionen und Ausrichtungen der Fahrzeuge sowie die Positionen und Ausdehnung der Hindernisse automatisch erkannt.

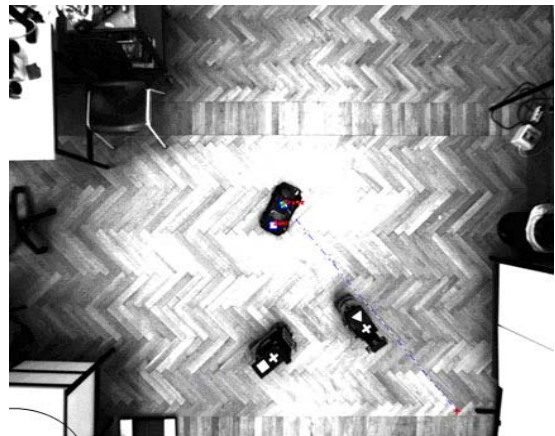


Abb. 1: Aufnahme des Aktionsraumes

Anschließend werden Ausweichecken berechnet, die als Kurspunkte dienen. Zwischen diesen befinden sich befahrbare kollisionsfreie Wege in Form gerader Strecken. Diese Methode basiert auf der Beschreibung des Arbeitsraumes in Form von Rasterpunkten (Pixeln), wie dies üblicherweise bei Kamera-Aufnahmen der Fall ist. Die Idee des hier vorgestellten Verfahrens stützt sich zur Berechnung der approximativen Strecken auf die Konturapproximation aus dem Bereich der Bildanalyse.

Zur Ermittlung von Ausweichecken wird jedes Hindernis von einem Rechteck eingeschlossen (s. Abb. 2). Die Eckpunkte der Rechtecke aller Hindernisse im Aktionsraum dienen hierbei als Ausweichecken für die Bahnplanung. Dadurch kann der Verlust an befahrbarem Aktionsraum gering gehalten werden.

Die Umgebung um jedes Hindernis herum wird in 8 Oktanten eingeteilt. Die

auszuwählenden Ausweichecken hängen von den Positionen den Start- und Zielpositionen entsprechend Tabelle 1 ab. Um einem Hindernis auszuweichen werden maximal zwei Eckpunkte verwendet.

Liegt beispielsweise die Startposition im dritten Quadranten und die Zielposition im siebten Quadranten (s. grau unterlegter Bereich der Tabelle an Position 3, 7), wird der Eckpunkt „c“ als Ausweichecke gewählt. Liegt hingegen die Startposition im zweiten Quadranten und die Zielposition im siebten Quadranten, dann werden die Eckpunkte „a“ und „d“ oder „b“ und „c“ ausgewählt. Abb. 2 illustriert die verwendete Strategie bei Vorliegen von zwei Hindernissen.

Wenn sich in der Umgebung mehrere Hindernisse befinden, wird zuerst das der Startposition am nächsten liegende Hindernis berücksichtigt. Es wird festgelegt, in welchen Oktanten sich Start- und Zielposition befinden, um die benötigten Ausweichecken auszuwählen. Der letzte ermittelte Ausweichpunkt wird als neuer Startpunkt betrachtet und gestützt auf die Oktantenauswertung des ihm am nächsten liegenden Hindernisses werden weitere Ausweichecken ausgewählt. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis sich zwischen der letzten ausgewählten Ausweichecke und der Zielposition keine Hindernisse mehr befinden (s. nebenstehende Abbildung).

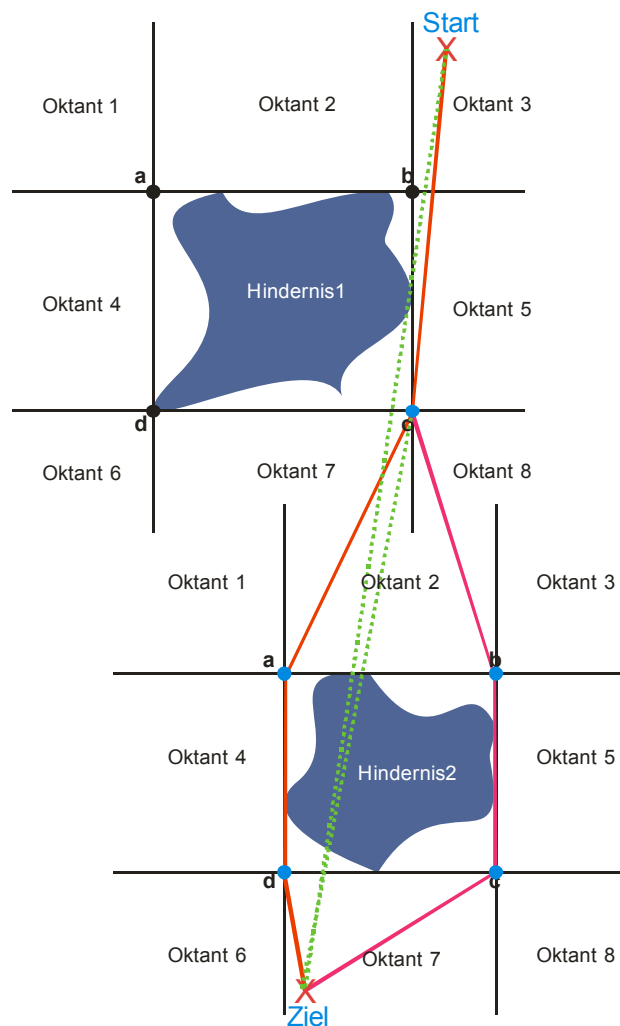


Abb. 2: Bahnplanung mittels Ausweichecken

		Start							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Oktant		1	2	3	4	5	6	7	8
ZIEL	1	0	0	0	0	b	0	d	b V d
	2	0	0	0	a	b	a	da V cb	b
	3	0	0	0	a	0	a V c	c	0
	4	0	a	a	0	ba V cd	0	d	d
	5	b	b	0	ab V dc	0	c	c	0
	6	0	a	a V c	0	c	0	0	0
	7	d	ad V bc	c	d	c	0	0	0
	8	d V b	b	0	d	0	0	0	0

Tabelle 1: Ausweicheckentabelle

3. MATLAB-IMPLEMENTIERUNG:

Die präsentierte Methode wurde zum Test in MatLab implementiert. Es wurde ein Aktionsraum mit 12x12 Gitterpositionen festgelegt. Die Gitterpositionen wurden mit unterschiedlichen Werten, wie folgt, belegt:

- Startposition: rot
- mit Hindernis belegte Gitterposition: gelb
- freie Gitterposition: weiß
- Zielposition: blau
- Eckenposition: zyan

Abbildungen 3 und 4 zeigen zwei Testbeispiele.

In Abb. 3 befinden sich die Startposition im ersten Oktanten und die Zielposition im sechsten Oktanten. Laut der Ausweicheckentabelle, muss der Weg über den Eckpunkt (10, 3) verlaufen. Wie das Beispiel zeigt, wird eine einzige kollisionsfreie Bahn erzeugt, die im Bild durch einen grünen Pfeil markiert ist.

Im zweiten Beispiel liegen zwischen der Start- und der Zielposition zwei Hindernisse. Hier wird zuerst das der Startposition am nächsten liegende Hindernis betrachtet. Es ist ersichtlich, dass sich die Startposition im zweiten Oktanten und die Zielposition im siebten Oktanten befinden. Entsprechend der Ausweicheckentabelle werden die Eckpunkte (3, 4) und (6, 4) oder (3, 8) und (6, 8) ausgewählt.

Die zuletzt gefundenen Eckpunkte (6, 4) und (6, 8) werden jeweils als neue Startpunkte s_1 und s_2 betrachtet, und gestützt auf die Oktantantenbewertung werden die resultierenden Strecken, wie oben beschrieben, untersucht. In diesem Beispiel resultieren die Eckpunkte (8, 3) und (11, 3) oder (8, 10) und (11, 10).

Zwischen den letzten ausgewählten Ausweichpunkten (11, 3) und (11, 10) und der Zielposition befinden sich keine weiteren Hindernisse mehr. Die Bahnen werden nun durch kombinatorische Bildung von Wegen über Start- und Eckpunkte zu der

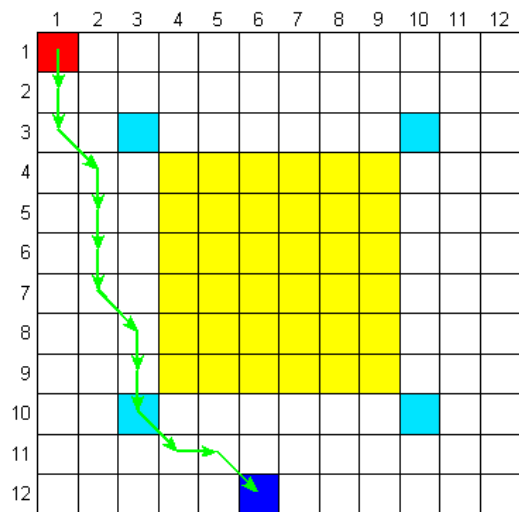


Abb. 3: Aktionsraum mit einem Hindernis

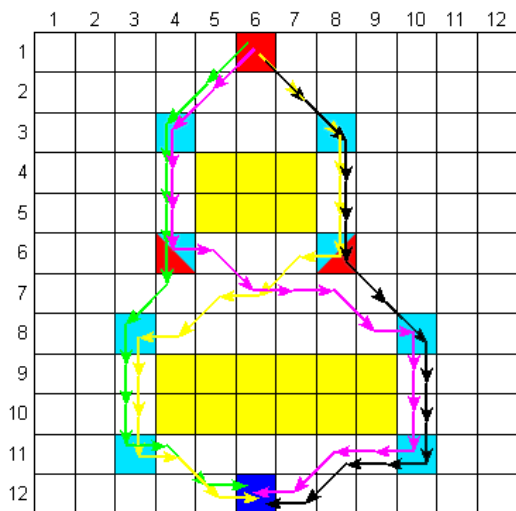


Abb. 4: Aktionsraum mit zwei Hindernissen

Zielposition gebildet, wobei Verbindungen von Eckpunkten der gleichen Ebene ausgeschlossen werden.

Für das vorliegende Beispiel sind vier kollisionsfreie Bahnen generiert worden, die im Bild grün $\{(1, 6), (3, 4), (6, 4), (8, 3), (11, 3), (12, 6)\}$, magenta $\{(1, 6), (3, 4), (6, 4), (8, 10), (11, 10), (12, 6)\}$, gelb $\{(1, 6), (3, 8), (6, 8), (8, 3), (11, 3), (12, 6)\}$ und schwarz $\{(1, 6), (3, 8), (6, 8), (8, 10), (11, 10), (12, 6)\}$ eingezeichnet werden.

4. SYSTEMAUFBAU

Das zur Verifizierung der Ergebnisse eingesetzte Robot-Vision-System besteht aus einem zentralen Leitreechner mit WLAN-Kommunikation und integrierter Bildauswertung, einer CCD-Kamera mit Weitwinkelobjektiv für die Bilderfassung, und mehreren mobilen Testfahrzeugen, die jeweils mit einem Mikrocontroller und einem PDA bestückt sind. Als Testfahrzeug wurde ein Modellfahrzeug verwendet, welches um einige Module erweitert wurde.



Abb. 5: Robot-Vision System

Es wurden Abstandssensoren für die Erfassung dynamischer Hindernisse und ein Mikrocontroller-Evaluationsbord verwendet, das als Schnittstelle zwischen der Elektronik des Fahrzeugs und dem im Fahrzeug integrierten PDA dient.

Der Aktionsraum mit einer Größe von 5m x 5m wird durch das Kamerasystem erfasst. Der Leitreechner wertet das aufgenommene Bild aus, indem er die Positionen der Fahrzeuge sowie die Positionen der statischen Hindernisse ermittelt. Eine kollisionsfreie Bahn wird dann, wie oben gezeigt, generiert und in entsprechende Fahrbefehle umgesetzt. Wie aus Abb. 5 zu entnehmen ist, kommunizieren die Fahrzeuge (Clients) mit dem Leitreechner (Server) über ein WLAN-Netz. Die Fahranweisungen werden an den PDA des betreffenden Modellfahrzeugs übertragen, welcher sie seinerseits an den Mikrocontroller weiterleitet. Der Mikrocontroller verarbeitet die Fahrbefehle nacheinander bis der berechnete Weg abgefahren ist. Im Falle einer Kollisionswarnung durch die Abstandssensoren stoppt das Fahrzeug schnellstmöglich und veranlasst eine neue Aufnahme der Kamera durch Senden einer Hindernismeldung an den Server. Eine Standortbestimmung anhand von Position und Ausrichtung sowie eine Neuberechnung

der Route wird dann vom Server durchgeführt, um mit einem entsprechenden Ausweichmanöver auf die neu entstandene Hindernissituation reagieren zu können.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Mit der vorgestellten Bahnplanungsmethode, Bahnplanung mit Ausweichecken, können in Aktionsräumen mit beliebiger Anzahl von Hindernissen kollisionsfreie Fahrbahnen für mobile Roboter ermittelt werden, die jeweils eine Start- mit einer Zielposition verbinden. Diese Bahnen haben die Form eines Polygonzuges mit mehreren Kanten, die jeweils eine geradlinige Fahrtstrecke repräsentieren.

Die Methode zeichnet sich durch eine einfache Implementierung und schnelle Ausführung aus, da hier die Bahnen nicht durch kombinatorische Bildung von Wegen aus allen zur Verfügung stehenden Gitterzellen ermittelt werden, die dann auf die Kollisionsfreiheit geprüft werden. Ein weiterer Vorteil der Methode liegt in der bereits approximativen Form der generierten Bahnen.

Es ist an dieser Stelle noch einmal zu betonen, dass die erzeugten Bahnen sich in ihrer Gesamtlänge sowie Anzahl und Stärke der vorhandenen Lenkungen unterscheiden und dadurch auch in ihrer Qualität. Anhand dieser Eigenschaften können die erzeugten Bahnen u.a. unter Verwendung eines Optimierungskriteriums beurteilt werden.

References:

- [1] Cezar A. Sierakowski and Leandro dos S. Coelho. Study of two Swarm Intelligence Techniques for Path Planning of Mobile Robots. IFAC Robotics 'Robot Control I', 16th IFAC Juli 3-8, 2005, Pontifical Catholic University of Parana, Brazil.
- [2] Jean-Claude Latombe. Robot Motion Planning. Kluwer Academic publishers, ISBN 0-7923-9129-2 1991.
- [3] S. J. Russell, P. Norvig, International Edition, Artificial Intelligence: A Modern Approach, second Edition, ISBN: 0137903952, 2003.
- [4] G. Görz, C.-R. Rollinger, J. Schneeberger (Hrsg.), Handbuch der Künstlichen Intelligenz: 3. Auflage, Oldenbourg Verlag 2000, ISBN 3-486-25049-3, Kap. 4: Suche.
- [5] U. Lämmel, J. Cleve, Lehr- und Übungsbuch Künstliche Intelligenz. Lehr- und Übungsbuch. Fachbuchverlag Leipzig. 2004. ISBN: 3-446-22574-9. Kap. 3 , Problemlösung mittels Suche.
- [6] A. Steger. Diskrete Strukturen, Band 1: Kombinatorik, Graphentheorie, Algebra. Springer-Lehrbuch. Berlin: Springer, 2002. ISBN 3-540-67597-3. Kap. II, Graphentheorie.

Authors:

Prof. Dr.-Ing. Bernd Tibken
Dr.-Ing. Adnan Abou-Nabout
M.Sc. Ghaida Al Zeer
Bergische Universität Wuppertal, Lehrstuhl für Automatisierungstechnik/Regelungstechnik,
Fachbereich Elektrotechnik, Informationstechnik, Medientechnik
Rainer-Gruenter.Str. 21, 42097 Wuppertal
D – Wuppertal
Phone: (+49) 202 / 439 1754
Fax: (+49) 202 / 439 1756
E-Mail: alzeer@uni-wuppertal.de