

# **Entwicklung eines Multiagentsystem zur kooperativen Erkundung einer 2D- Simulationsumgebung**

Michael Vojer, Markus Schober, Dominik Kevin Schindele, Stefan  
Harnisch, Gerrit-Maximilian Söffker und Marco Mehlmann

Matrikelnummer: 3579565, 5102260, 4144198, 9782508, 3244237,  
3290611

E-Mail: michael.vojer@studium.fernuni-hagen.de, mar-  
kus.bf2@hotmail.com, schindele.dominik@gmail.com, har-  
nisch.stefan@gmail.com, maxsoeffker@arcor.de, marcoka-  
dur@gmail.com

Studiengang: Informatik B.Sc., Informatik B.Sc., Praktische Informa-  
tik M. Sc., Praktische Informatik M. Sc., Informatik B.Sc., Informatik  
B.Sc.,

Studium in: Vollzeit (Dominik Kevin Schindele, Gerrit-Maximilian  
Söffker) und Teilzeit (Michael Vojer, Markus Schober, Stefan Har-  
nisch, Marco Mehlmann)

Bearbeitungsdauer: 1 Semester

Betreuer: Prof. Dr. habil. Zhong Li

## 1. Problemstellung

### 1.1. Motivation

In diesem Gruppenprojekt werden verschiedene Ansätze simuliert, um den Punkt zu bestimmen, ab dem keine weitere Verbesserung bei der Erkundung eines unbekannten Gebiets – dargestellt als 2D-Umgebung – erreicht wird.

Die Exploration unbekannter Gebiete ist ein relevantes Problem für die Informatik, weil sie viele Herausforderungen mit sich bringt, die auch in der digitalen Welt auftreten.

- Zum Beispiel geht es darum, wie man effizient und sicher neue Wege, Datenstrukturen oder Algorithmen entdeckt und nutzt.
- In der Robotik, bei autonomen Fahrzeugen oder in der Künstlichen Intelligenz ist es wichtig, unbekannte Umgebungen zu erkunden, um neue Informationen zu sammeln und Entscheidungen zu treffen.
- Außerdem hilft die Erforschung unbekannter Gebiete dabei, Probleme zu lösen, die mit Unsicherheit, begrenzten Ressourcen oder unvorhersehbaren Situationen verbunden sind.

Insgesamt trägt die Untersuchung dieser Themen dazu bei, intelligentere und anpassungsfähigere Systeme zu entwickeln.

Aktuell wird im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) – Institut für Robotik und Mechatronik an einem Prototyp „Lightweight Rover Unit (LRU)“ gearbeitet für den Einsatz bei zukünftigen planetaren Explorationsmissionen und terrestrischen Katastropheneinsätzen. Einen umfassenden und aktuellen Überblick über bestehende Ansätze, Forschungstrends, Forschungslücken und offene Herausforderungen im Bereich der autonomen Roboter-Exploration bietet die systematische Mapping-Studie [7].

### 1.2. Aufgabenstellung

Das Ziel besteht darin, ein prototypisches Multiagentensystem zu entwickeln, in dem autonome Roboter ein unbekanntes 2D-Gebiet kartieren. Dabei sollen die autonomen Agenten kooperativ agieren und gemeinsam eine Wissensbasis aufbauen, indem sie über Nachrichtenprotokolle miteinander kommunizieren.

### 1.3. Intendierte Ergebnisse

Im Rahmen unseres Projekts setzen wir gezielt Methoden der Informatik ein, um die Effizienz und Effektivität der Multiagentensysteme zu optimieren. Zunächst konzipieren wir eine strukturierte Architektur des Systems, die die autonome Zusammenarbeit der Roboter (Agenten) ermöglicht. Dabei werden Algorithmen implementiert, die den Informationsaustausch steuern und eine gemeinsame Wissensbasis aufbauen. Im nächsten Schritt spezifizieren wir die Algorithmen zur effizienten Kartierung eines unbekannten 2D-Gebiets, wobei Schwerpunkte auf Pfadplanung, Kollisionsvermeidung und Informationsmanagement liegen. Zur Validierung entwickeln wir einen funktionalen Prototyp, der die Koordination der Roboter demonstriert und die Kartierung in einer simulierten Umgebung mit Hindernissen realisiert. Abschließend

erfolgt eine umfassende Auswertung der Ergebnisse anhand definierter Metriken, um die Performance verschiedener Strategien zu vergleichen und diejenige zu identifizieren, die in einer idealisierten 2D-Umgebung die beste Lösung darstellt.

## 2. Aktueller Stand der Technik

Multiagentensysteme zur kooperativen Erkundung unbekannter Gebiete werden in der Praxis bislang nur selten eingesetzt und dann meist in vereinfachter Form realisiert. Bestehende Lösungen setzen typischerweise auf eine zentrale Kontrollinstanz, welche die Erkundungsaufgaben koordiniert und den einzelnen Einheiten konkrete Anweisungen erteilt.

Dementsprechend verfügen die beteiligten Agenten oder Roboter nur über stark eingeschränkte Autonomie bei der Gebietserkundung. Vollständig dezentral organisierte Teams, in denen jeder Agent eigenständig Entscheidungen über sein nächstes Erkundungsziel trifft, sind in realen Anwendungen bislang die Ausnahme.

Gleichzeitig wird in der Forschung intensiv an fortschrittlichen Ansätzen gearbeitet, um die Zusammenarbeit solcher Systeme ohne zentrale Steuerung zu ermöglichen.

Dazu zählen beispielsweise frontier-basierte Verfahren, die auf der Nutzung von Erkundungsgrenzen beruhen, sowie verteilte Entscheidungsmodelle für eine autonome Koordination. Obwohl diese Konzepte in Simulationen und Laborumgebungen bereits vielversprechende Ergebnisse zeigen, sind sie in der Praxis bislang kaum über experimentelle Erprobungen hinausgekommen.

## 3. Lösungsidee

Zur Analyse des Problems entwickeln wir einen funktionalen Prototypen, der die Koordination von Robotern demonstriert und die Kartierung in einer simulierten Umgebung mit Hindernissen ermöglicht.

Um dieses Konzept zu realisieren, setzen wir verschiedene Informatikmethoden ein, um die angestrebten Ergebnisse zu erzielen. Dies umfasst die Entwicklung der Architektur eines Multi-Agenten-Systems unter Verwendung der Programmiersprache Python und der Mesa-Bibliothek. Zudem implementieren wir Algorithmen, wobei wir insbesondere Frontier-based Ansätze in Kombination mit Random Walk, A\* und Raycasting zur Simulation des Sichtfelds nutzen. Für die Kommunikation zwischen den Agenten verwenden wir die Schwarzes Brett-Methode. Die Erstellung des Prototyps sowie die Auswertung der Ergebnisse erfolgen anhand von zweidimensionalen Metriken, wie beispielsweise dem Explorationsmaß pro Zeiteinheit. Diese Methoden ermöglichen es uns, das System strukturiert aufzubauen, die gewünschten Funktionen zu implementieren, praktische Tests durchzuführen und die Ergebnisse objektiv zu bewerten.

Durch diese Vorgehensweise sind wir in der Lage, die Algorithmen in einer realistischen Umgebung zu testen und ihre Funktionsweise anschaulich zu beobachten. Die visuelle Darstellung und die direkte Anzeige der Daten in mehreren Metriken ermöglichen es, potenzielle Fehler oder Optimierungsmöglichkeiten frühzeitig zu identifizieren. Dies gewährleistet, dass die Ergebnisse von hoher Qualität sind, da sie auf praktischen Tests basieren und der Ablauf Schritt für Schritt nachvollzogen werden kann.

Dennoch bestehen gewisse Unsicherheiten, da es sich um eine idealisierte 2D-Umgebung handelt. Daher bleibt die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf reale Szenarien fraglich, ins-

besondere hinsichtlich der Erfassung aller relevanten Parameter. Beispielsweise können unterschiedliche Untergründe die Beweglichkeit der Agenten beeinträchtigen, während bewegliche Hindernisse die Kommunikationsqualität stören können. Darüber hinaus können variierende Wetterbedingungen zu Leistungseinbußen führen, was die Robustheit und Effizienz der Systeme in realen Anwendungsszenarien beeinflusst.

### 4. Vorläufige Gliederung

Gliederung:

- Keywords
- Einleitung
- Darstellung des Problems
- Beschreibung der Simulationsbedingungen
- Benennung der eingesetzten Methoden/Algorithmen/Ansätze
- Darstellung der Ergebnisse
- Fazit und mögliche Weiterentwicklungsmöglichkeiten

### 5. Vorläufiger Zeitplan

- Abfolge der notwendigen Schritte:
  - Erstellung des Exposés
  - Simulation programmieren
  - Ausarbeitung anfertigen
  - PowerPoint Folien anfertigen
- Die Gruppenteilnehmer kommen wöchentlich im Rahmen des Projekts zusammen, um Ergebnisse zu diskutieren sowie Aufgaben zu erarbeiten und zu verteilen.
- **Meilensteine:**
  - Abgabe des Exposés – Mitte Mai
  - Abgabe der Vorversion des Projekts – 03. August 2025
  - Abgabe der Finalversion des Projekts – 24. August 2025
  - Gruppenvortrag – Termin unbekannt

### 6. Ausgangsliteratur

- [1] M. Wooldridge, Introduction to Multiagent Systems, John Wiley & Sons, 2002
- [2] A. M. Uhrmacher und D. Weyns, in Multi-Agent Systems, Boca Raton, CRC Press, 2018, p. VII.
- [3] V. Marik, O. Stepankova, H. Krautwurmova und M. Luck, in Multi-Agent Systems and Applications II, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2003, p. 5 ff..
- [4] P. E. Hart, N. J. Nilsson und B. Raphael, „A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths,“ IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics, Bd. 4, Nr. 2, p. 100–107, 1968.
- [5] H. Sharma, P. Leskovsky, A. Alekseychuk, O. Hellwich, R. S. Anand, N. Zerbe und P. Hufnagl, „Determining similarity in histological images using graph-theoretic

## **Exposé zur Abschlussarbeit/Seminararbeit/Fachpraktikum**

description and matching methods for content-based image retrieval in medical diagnostics,“ Diagnostic Pathology, Bd. 7, Nr. 1, p. 134, 2012.

- [6] W. Gao, M. Booker, A. Adiwahono, M. Yuan, J. Wang und Y. W. Yun, „An improved Frontier-Based Approach for,“ IEEE, Bd. 1, Nr. 1, p. 1 ff., 2018.
- [7] Brugali, D., Muratore, L., & De Luca, A. (2025). Mobile robots exploration strategies and requirements: A systematic mapping study. The International Journal of Robotics Research, 0(0), 1–46.