

# Multiagentensysteme für das Kooperative Verkehrsmanagement

Jana Görmer, Christopher Mumme

Institut für Informatik  
TU Clausthal  
Julius-Albert-Str. 4  
38678 Clausthal-Zellerfeld  
Jana.Goermer@tu-clausthal.de  
Christopher.Mumme@tu-clausthal.de

**Abstract:** Der Beitrag beschreibt einen agentenbasierter Ansatz zur autonomen Bildung von Fahrzeugzusammenschlüssen für die Optimierung von Verkehrsflüssen. Der Kernbeitrag ist eine neue gruppenorientierte Fahrmethode. Simulationsexperimente zeigen, dass für die Gruppenbildung möglichst großen Homogenität innerhalb von Gruppen und Heterogenität zwischen Gruppen sinnvoll sind.

## 1 Motivation

Die Verkehrssysteme der Zukunft haben intelligente Boardcomputer und sind mit Car-to-X Kommunikationsfähigkeiten ausgestattet. Dies stellt neue Herausforderungen an Mechanismen der Beherrschbarkeit und Anpassungsfähigkeit solcher Systeme, deren Organisationsform sich zunehmend von traditionellen hierarchischen Modellen zu dezentralen Multiagentensystemen entwickelt. In unserer Forschung betrachten wir den Einsatz von Protokollen und Methoden für spontane Koordination und Kooperation von Fahrzeugen und Infrastrukturelementen, um den Durchsatz von Verkehrsinfrastrukturen zu verbessern. Wir modellieren Fahrzeuge und Infrastrukturelemente wie Ampeln durch Softwareagenten, die autonome Entscheidungen für die Verkehrsteilnehmer und Kontrollautoritäten treffen und miteinander koordinieren können. Verschiedene Typen von Verkehrsteilnehmern werden mit ihren lokalen Eigenschaften, Präferenzen und Zielen repräsentiert. Wir entwickeln eine dezentrale gruppenorientierte Fahrmethode, die Fahrzeuge mit ähnlichen gewünschten Geschwindigkeiten in Gruppen zusammenfasst, Konflikte löst und in Experimenten positive Effekte auf Gesamtreisezeiten und Durchsatz zeigt.

## 2 Stand der Technik

Derzeitige Verkehrssimulationen zielen darauf ab, den Verkehrsfluss zu analysieren und zu steuern. Dabei simulieren die meisten Systeme das individuelle Verhalten der Verkehrsteilnehmer [Ba05, Fis05] anhand von mathematischen Modellen. Diese Modelle

beziehen oft Pläne und Ziele der Verkehrsteilnehmer und Kommunikation zwischen den Teilnehmern nicht mit ein.

Multiagenten-basierte Simulation ist hier ein geeigneter Lösungsansatz. Die Vorteile ergeben sich aus den Wechselwirkungen zwischen Agenten und auch Agentengruppen. Bspw. können nicht nur Fahrzeuge als Agenten dargestellt werden, sondern auch weitere Komponenten des Straßenverkehrs (Ampeln). Hier gibt es erste Forschungsansätze, wie bspw. [BOS10, CTJ07], die sich mit agentenbasierter Verkehrscoordination und Routing beschäftigen. Insgesamt ist das Thema der dezentralen Koordination und Kooperation zwischen Fahrzeugen jedoch wenig erforscht. Methoden zur Koordination und Kommunikation werden in [BM04, CTJ07, Sa11] behandelt. Barrett et al. [BSK11] behandeln Modelle zur ad-hoc Teamwork in einer sehr vereinfachten Domäne, ohne Kommunikation und ohne Aspekte aus der Robotik. [Do97, LI96] schlagen verschiedene Gruppenbildungstechniken vor, die auf Koordination und Kooperation basieren. In unserer Forschung erweitern wir existierende Modelle (z.B. das Fahrzeugfolgemodell von Gipps [Gi81]) aus dem Verkehrsbereich für die agentenbasierte Simulation.

Als Basisplattform für die Simulation von Verkehrsszenarien benutzen wir den Verkehrssimulator AIMSUN, den wir mit dem JADE Framework zur Modellierung der Agenten und zur Implementierung des MAS integrieren. Das daraus resultierende “Agent-based Traffic Simulation System (ATSim)” wurde in [CGM11] beschrieben.

### 3 Gruppenorientierte Fahrmethode (GF)

Die GF-Methode soll Spur- und Geschwindigkeitswahl von Fahrzeugen so koordinieren, dass schnellere Fahrzeuge nicht durch langsamere blockiert werden. Die Fahrzeuge koordinieren sich dezentral über Kommunikation, somit ist keine Anpassung/Erweiterung der Verkehrsinfrastruktur nötig.

Aktuelle Lösungen der Verkehrstelematik ermöglichen Kommunikation zwischen Fahrzeugen innerhalb eines bestimmten Radius. Mit Hilfe des GF wird der Kommunikationsradius vergrößert, indem Informationen über Fahrzeuge durch Multi-Hop-Routing weitergegeben werden. So können Gruppen von schnellen und von langsamen Autos gebildet werden. Jede Gruppe hat einen Gruppenführer. Wenn nun eine schnelle Gruppe von einer langsameren blockiert wird, kommunizieren die Gruppenführer untereinander und einigen sich auf Fahrspuren, die die jeweiligen Gruppen nutzen. Diese Spuren werden dann von allen Fahrzeugen der jeweiligen Gruppen genutzt und so können die schnellen Fahrzeuge den langsameren ausweichen. Die drei Aspekte des GF, (1) das verteilte dynamische Gruppieren von Fahrzeugen, (2) Gruppenkonflikte und (3) die individuelle Fahrzeugkoordination werden im Folgenden beschrieben.

**(1):** Fahrzeuge, die die gleiche Fahrgeschwindigkeit bevorzugen, gruppieren sich autonom. Eine Fahrzeuggruppe enthält einen Gruppenführer und Mitglieder. Der Gruppenführer ist verantwortlich für die Koordination der Gruppenmitglieder. Er übernimmt die Rolle des Gruppenleiters, er verwaltet die Gruppengröße und entscheidet, wann die Gruppe wieder aufgelöst wird. Die Bewältigung dynamischer Verkehrssituationen erfor-

dert die dynamische Bildung und Verwaltung von Gruppen. Das bedeutet, dass sich die Anzahl der Gruppen und die Anzahl der Mitglieder ändern können.

Der Gruppenalgorithmus besteht aus zwei Phasen: In der ersten Phase sucht ein Fahrzeug mögliche Gruppen und wählt eine Gruppe aus, die seinen Fahreigenschaften (Geschwindigkeit, Verzögerung, Beschleunigung) ähnelt. Der Gruppenleiter dieser Gruppe prüft, ob das Fahrzeug aufgenommen werden kann. Die zweite Phase wird durchgeführt, wenn ein Fahrzeug an keiner Gruppe teilnehmen kann und ggf. eine eigene Gruppe bildet. Dazu bewertet es seine Nachbarfahrzeuge anhand der o.g. Eigenschaften, prüft, ob eine Gruppe gebildet werden kann und koordiniert die Gruppenbildung

(2): Wir definieren einen Konflikt zwischen Gruppen folgendermaßen: *Ein Gruppenkonflikt besteht dann, wenn eine langsamere Gruppe eine schnellere Gruppe aufhält* (vgl. Abbildung 4). So ist es eine Aufgabe der GF, schnelle und langsame Fahrzeuge so zu koordinieren, dass sie sich nicht blockieren.

Eine Konfliktsituation kann durch den Gruppenführer und die Mitglieder erkannt werden. Jedes Fahrzeug sucht nach anderen Gruppen, die potentiell die eigene Gruppe blockieren können und sendet die Informationen darüber an den jeweiligen Gruppenleiter. Die Aufgabe des Gruppenführers besteht nun darin seine Mitglieder auf den Fahrspuren zu koordinieren. Dazu wählt der Gruppenführer die Fahrspur seiner Gruppe nach folgenden Kriterien: (a) Als Gruppenspur soll die Fahrspur gewählt werden, die am wenigsten Spurwechsel der Gruppenmitglieder erfordert oder (b) die Gruppenspur soll sicherstellen, dass schnelle Gruppen nicht durch langsame blockiert werden.

(3): Ein individuelles Fahrzeug sollte immer selbst entscheiden, auf welcher Fahrbahn es fahren möchte, um seine bevorzugte Geschwindigkeit fahren zu können. Im Simulationsmodell wird dies durch eine nutzenbasierte Entscheidungsstrategie abgebildet: Ein Fahrzeug berechnet für alle Fahrspuren Nutzenwerte und wählt die Fahrbahn mit dem größten Nutzen. Die Entscheidung hierbei basiert allein auf lokal wahrgenommene Informationen und ist nicht immer optimal für den gesamten Verkehr.

Jedes Mitglied einer Gruppe erhält eine Empfehlung der Fahrspur durch einen Gruppenführer. Jedoch ist ein Fahrzeug nicht verpflichtet, der Empfehlung zu folgen. Es kann eine andere Fahrspur wählen, wenn dies einen höheren lokalen Nutzen verspricht.

## 4 Experimentelle Validierung

Unser Simulationsszenario beschreibt drei verschiedenen Typen von Verkehrsteilnehmern mit den Eigenschaften gewünschte Geschwindigkeit in km/h ( $v$ ), maximale Verzögerung in  $m/s^2$  ( $d$ ) und Beschleunigung in  $m/s^2$  ( $a$ ): Die Klasse FAST ( $v=160$ ,  $d=-8$ ,  $a=6$ ), die Klasse MEDIUM ( $v=80$ ,  $d=-8$ ,  $a=4$ ), und die Klasse SLOW ( $v=60$ ,  $d=-6$ ,  $a=2$ ). Dieser Test wurde zweimal mit AIMSUN generiert. Zuerst wurden Daten mit den AIMSUN-Standardfahreinstellungen gesammelt, dann wurde für einen zweiten Durchlauf die gruppenorientierte Fahrmethode genutzt.

Die gruppenorientierte Fahrmethod berücksichtigt die gewünschte Geschwindigkeit von Fahrzeugen, löst Konflikte und verbessert Verzögerungs- und Beschleunigungszeiten, sodass Ziele schneller erreicht werden können ohne Behinderung von anderen Fahrzeugen. Dadurch werden Geschwindigkeiten von allen Fahrzeugen verbessert und es ergibt sich eine bessere Reisezeit für individuelle Fahrzeuge durch die implementierten Koordinationsmechanismen wie in Abbildung 4 zu sehen. Die Abbildung zeigt die Geschwindigkeiten aller Verkehrsteilnehmerklassen.

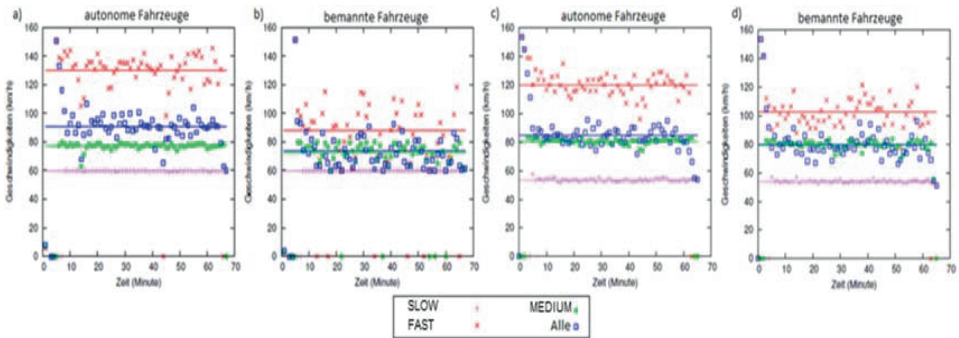


Abbildung 4: Ergebnisse der Simulation

(a) stellt die Simulationsergebnisse für autonome Fahrzeuge mit GF dar, während (b) die Ergebnisse der Simulation mit Standardparametern zeigt. Auf den ersten Blick erkennt man in (a), dass die durchschnittlichen Geschwindigkeiten der Fahrzeugklassen deutlich unterschiedlich sind: für die Klasse FAST 130km/h (roter Balken), für MEDIUM 77km/h und für SLOW 60km/h, was jeweils recht nahe an den gewünschten Geschwindigkeiten liegt. Im Vergleich sind die Geschwindigkeiten der bemannten Fahrzeugklassen in (b) bei FAST fast 60km/h niedriger als bei den autonomen Fahrzeugen; bei MEDIUM mit 72km/h 5km/h langsamer als die autonomen und für SLOW ungefähr gleichschnell. Der Durchschnitt ist mit der „blauen Durchschnittslinie“ für alle Fahrzeuge gebildet und liegt mit 91km/h bei den autonomen Fahrzeugen deutlich höher als bei den bemannten Fahrzeugen mit rund 74km/h. Diese Unterschiede in den Geschwindigkeiten haben großen Einfluss auf die Verzögerungszeiten von Fahrzeugen; dies schlägt sich auf die Gesamtreisezeiten nieder.

Um reelle Verkehrsbedingungen besser anzunähern, haben wir die Eigenschaften der Gruppen etwas angepasst. Tabelle 2 und Abbildungen 4(c) und 4(d) zeigen die Simulationsergebnisse mit leichten Veränderungen der Eigenschaften. Die Konfiguration erlaubt zwei Fahrzeugen innerhalb einer Gruppe, die gewünschte Geschwindigkeit maximal um 10km/h zu variieren. Maximale Verzögerung und Beschleunigung dürfen um  $0.5 \text{ m/s}^2$  variieren: FAST ( $v=[150, 160]$ ,  $d=[-7.5, -8]$ ,  $a=[5.5, 6]$ ), MEDIUM ( $v=[80, 90]$ ,  $d=[-7.5, -8]$ ,  $a=[3.5, 4]$ ) und RK ( $v=[50, 60]$ ,  $d=[-5.5, -6]$ ,  $a=[2, 2.5]$ ).

Die Simulation in (c) und (d) zeigt, dass heterogene Gruppen eine negative Auswirkung auf die Geschwindigkeit der autonomen Fahrzeuge haben. Insbesondere die langsamen Fahrzeuge (SLOW) werden, verglichen mit den bemannten Fahrzeugen, oft verzögert, da diese mit der Harmonisierung der Geschwindigkeiten und kooperativen Spurwechsel

beschäftigt sind. Daraus schließen wir, dass bei der die Bildung möglichst homogener Gruppen angestrebt werden sollte. Beide Experimente zeigen jedoch auch, dass große Unterschiede *zwischen* den Fahrzeuggruppen insgesamt bessere Ergebnisse für die Gesamtreisezeit der gruppenorientierten Fahrmethode bringen.

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Das Papier beschreibt eine neue Methode zur Bildung von Fahrzeuggruppen mit koordinierter Spur- und Geschwindigkeitswahl innerhalb einer Gruppe. Simulationsergebnisse bestätigen die Hypothese, dass der Gruppenbildung die Homogenität der Gruppen bzgl. der Eigenschaften anzustreben ist. Andererseits bringt die gruppenorientierten Fahrmethode bessere Ergebnisse, wenn die Unterschiede zwischen den Fahrzeuggruppen größer sind. Offen bleibt die Validierung dieser Hypothesen für hohe Verkehrsaufkommen.

Zukünftige Forschung wird die gruppenorientierte Fahrmethode um Koordinationsverfahren zwischen Fahrzeuggruppen und Infrastrukturelementen (wie Ampeln) zur weiteren Reduktion der Reisezeiten erweitern.

## Literaturverzeichnis

- [Ba05] Barceló, J; Codina, E; Casas, J; Ferrer, JL; García, D (2005): Microscopic traffic simulation: A tool for the design, analysis and evaluation of intelligent transport systems. *Journal of Intelligent and Robotic* 2-3:173-203.
- [BM04] Bauer B.; Müller, J.P. (2004), Methodologies and Modelling Languages. In Luck, Ashri, d'Inverno, eds., *Agent-Based Software Development* (p. 77–131). Artech House.
- [BSK11] Barrett, S; Stone, P; Kraus S (2011): Empirical evaluation of ad hoc teamwork in the pursuit domain. *In Proc. of 11th AAMAS*, 567-574.
- [BOS10] Bazzan, ALC; de Oliveira, D; da Silva, BC (2010): Learning in groups of traffic signals. *Eng. Appl. Artif. Intell.*, 23:560-568.
- [CC95] Chu-Carroll, J; Carberry, S (1995). Communication for conflict resolution in multiagent collaborative planning. *In Proc. of Int. Conf. on Multi-Agent Systems*, pages 49-56.
- [CGM11] Chu, VH; Görmer, J; Müller, JP (2011): ATSim: Combining AIMSUM and jade for agent-based traffic simulation. *In Proc. of the 14th CAEPIA*.
- [CTJ07] Consoli, A; Tweedale, J; Jain, L (2007): An architecture for agent coordination and cooperation. *In Proc. of KES 2007 11th International Conference on Knowledge-Based Intelligent Engineering Systems*, pages 934-940.
- [Do97] Doran, JE; Franklin, S; Jennings, NR; Norman TJ (1997): On cooperation in multi-agent systems.
- [Gi81] Gipps, P (1981): A behavioural car-following model for computer simulation. *Transportation Research Part B: Methodological*, 15:105-111.
- [LI96] Luck, M; Inverno, M (1996): Engagement and cooperation in motivated agent modeling. In Zhang and Lukose, editors, *Distributed Artificial Intelligence Architecture and Modelling: Proc. of the First Australian Workshop on DAI*, pages 70-84.
- [Vis05] VISSIM 4.10 User Manual (2005), PTV AG, Karlsruhe, Germany.
- [Sa11] Salazar, N; Rodriguez-Aguilar, JA; Arcos, JL; Peleteiro, A; Burguillo-Rial, JC (2011). Emerging cooperation on complex networks. *In Proc. of 10th AAMAS*, pages 669-676.
- [TCM01] Tessier, C; Chaudron, L; Müller, HJ (2001). *Conflicting Agents*. Kluwer Aca.