

RECHNERUNTERSTÜTZTE KOOPERATION VON AUTONOMEN MOBILEN SYSTEMEN

Edgar Nett

Das Familienauto durchquert mit der vom Bordcomputer angezeigten Geschwindigkeit von 50 km/h ohne weitere Verkehrsregelung die belebte Kreuzung. Wie im Reißverschlussverfahren zischen die Autos aneinander vorbei. Der Fahrer lauscht entspannt der Radioübertragung eines Roboter-Fußballspiels um die deutsche Meisterschaft. Die Kinder im Fond vertreiben sich die Zeit bis zur Ankunft am Urlaubsort mit interaktiven Spielen. Ihre während der Fahrt gefundenen Spielpartner befinden sich irgendwo in einem anderen Fahrzeug der näheren Umgebung. Über Forschungsaktivitäten der Wissenschaftler der Magdeburger Fakultät für Informatik, welche diese Zukunftsvision Realität werden lassen, soll in diesem Beitrag berichtet werden.

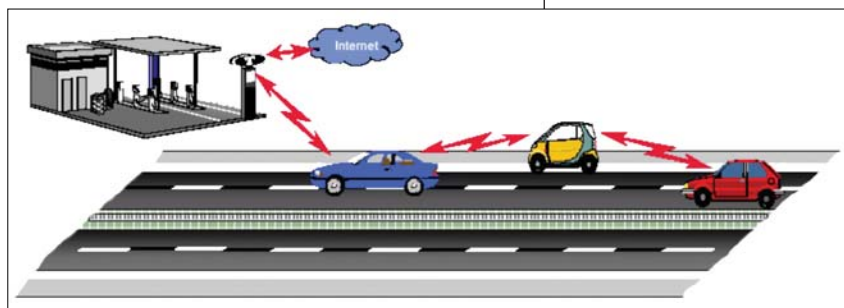
Mobilität und Transport sind unverzichtbare Bestandteile unserer Gesellschaft und Wirtschaft, die auch bei immer höherer Verkehrsdichte gewährleistet werden müssen. Jedoch ist der Neubau oder die Erweiterung bestehender Fahrstrecken aus ökologischen, ökonomischen und sozialen Aspekten meist nicht vertretbar.

Die Entwicklung lokaler mechatronischer Komponenten für Fahrzeuge (z. B. Anti-Blockier-System ABS, Elektronisches Stabilitätsprogramm ESP, Tempomat), die den Komfort und die Sicherheit innerhalb des Fahrzeuges erhöhen, ist bereits weit fortgeschritten. Zur Erhöhung der Sicherheit zwischen Fahrzeugen sollen in der Entwicklung befindliche Systeme zur automatischen Abstandskontrolle beitragen. Sie sind gedacht für das rechnerkontrollierte Fahren insbesondere in LKW-Kolonnen. Ebenso sind in den letzten Jahren zentralisierte Navigationssysteme entwickelt worden, die Routenplanung und Wegweisung bereits kommerziell verfügbar machen.

INTEGRATION HETEROGENER KOMMUNIKATIONSDIENSTE

Ein Ziel, das sowohl der Erhöhung der Verkehrssicherheit als auch der effizienteren Nutzung der bestehenden Verkehrsinfrastruktur dient, ist der Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechnik zur Entwicklung kooperativer Fahrassistenten. Die verfolgte Vision ist ein verteiltes System zur Verkehrskontrolle, das auf der Kooperation der beteiligten Fahrzeuge aufbaut. Die existierende lokale Informationsinfrastruktur wird genutzt, um des Ergebnis der Kooperation umzusetzen und mit anderen Diensten zu integrieren.

In dem Forschungsprojekt „FleetNet – Internet on the Road“ haben sich Firmen aus der Auto- sowie der Informationstechnikindustrie das Ziel gesetzt, prototypisch eine verteilte Plattform zur Integra-



tion unterschiedlicher Kommunikationsdienste bereit zu stellen [1]. Wie in Abbildung 1 dargestellt, soll die Kommunikation sowohl zwischen fahrenden Autos als auch zwischen solchen und festen Servicestationen ermöglicht werden, wobei letztere als Gateway zu Internetdiensten genutzt werden können. Die angebotenen Dienste können prinzipiell in drei Kategorien unterteilt werden:

- sicherheitskritische, kooperative Fahrerunterstützung
- Dienste auf der Basis von Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation
- allgemeine, meist Internet-basierte Informationsdienste.

Der Schwerpunkt der Aktivitäten in diesem Projekt liegt dabei vor allem bei den Diensten der zweiten und dritten Kategorie. Dazu zählen aktuelle Informationen wie Unfallmeldung bzw. Verkehrsflussinformationen direkt von anderen Fahrzeugen im unmittelbar voraus liegenden Streckenverlauf, aber auch interaktives Spielen zwischen Begleitpassagieren (Kindern) in verschiedenen Fahrzeugen aus der näheren Verkehrsumgebung. Die dritte Kategorie umfasst Informationsdienste allgemeiner Art, angefangen von Informationen über Benzinpreise und weitere Serviceangebote der nächsten Tankstelle, über elektronisches Marketing entlang der Straße, bis zu mobilen Büroanwendungen.

Abb. 1
FleetNet – Kommunikationsszenario

Eine große Herausforderung an Forschung und Entwicklung für die Bereitstellung adäquater Technologien besteht hier vor allem darin, dass bei den zur Diskussion stehenden Anwendungen die Kommunikation nicht mehr zwischen stationären Partnern mit festen Adressen stattfindet. In einer hochdynamischen und mobilen Umgebung wie der beschriebenen, können die Partner der Kommunikationsbeziehungen (also die Anbieter und Nutzer der entsprechenden Dienste) ständig wechseln. Benötigt werden Kommunikationsformen, bei denen nicht eine konkrete Verbindung, sondern der Inhalt von Nachrichten im Vordergrund steht und die Anbieter/Nutzer-Beziehung anonym und austauschbar bleibt. Weitere interessante Anwendungsfelder finden sich in den Bereichen E-Learning und E-Medicine. Die Bedeutung dieser Problematik hat auch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) veranlasst ein Schwerpunktprogramm mit dem Titel „Basissoftware für selbstorganisierende Infrastrukturen für vernetzte mobile Systeme“ auszuschreiben. Ausgewählte Projekte werden in Kürze mit der Arbeit an diesen Problemen beginnen können. Eines der größten wird dabei an der hiesigen Fakultät für Informatik (FIN) unter der Leitung des Autors in Angriff genommen /3/.

Im Bereich der kooperativen Fahrerunterstützung gewinnt der Aspekt der intelligenten Auflösung räumlicher Konfliktsituationen in begrenzten Umgebungen enorm wachsende Bedeutung. Dazu gehören z. B. das Überqueren von Kreuzungen oder das Einfädeln in eine Spur. Das mag auch daran liegen, dass die hierbei zu lösenden Hauptprobleme prinzipiell auch beim Einsatz mobiler Roboter z. B. in dynamisch sich ändernden Produktionsumgebungen anzutreffen sind. Man spricht daher bei der Behandlung dieser Thematik verallgemeinernd von der Kooperation autonomer mobiler

Systeme. So hat die EG im Rahmen ihres Forschungsprogramms „Future and Emerging Technologies (FET)“ eine sogenannte Initiative mit dem Titel „Global Computing: co-operation of autonomous and mobile entities in dynamic environments“ gestartet /2/. Darin wird u. a. als Ziel formuliert, dass Fahrzeuge untereinander kooperieren, um so die begrenzt vorhandene Straßenkapazität insbesondere an neuralgischen Knotenpunkten effizient zu nutzen. Vergleichbare Ziele gelten auch für den Luftverkehr. Im Folgenden werden die am Lehrstuhl „Echtzeitsysteme und Kommunikation (EuK)“ laufenden Forschungsaktivitäten zu dieser Thematik vorgestellt /3/.

AUTONOME MOBILE SYSTEME IM STRASSENVERKEHR

Lästige und für Wirtschaft und Umwelt schädliche Staus bilden sich häufig an kritischen Bereichen des Straßenverkehrs, z. B. an Kreuzungen oder beim Einfädeln von zusammenlaufenden Spuren. Abbildung 2 veranschaulicht eine solche Situation, in der es durch Einfädelung zu einem Rückstau kommt. Indem man die an kritischen Bereichen entstehenden räumlichen Konfliktsituationen in intelligenter Weise auflöst, können diese Bereiche effizienter genutzt und Staus auf diese Art vermieden werden. Herkömmliche Methoden, wie etwa Ampeln oder Verkehrszeichen, haben vor allem zwei Nachteile. Zum einen werden Fahrzeuge häufig selbst dann gebremst, wenn gar keine Konfliktsituation vorliegt, z. B. wenn Fahrzeuge vor einer roten Ampel halten, ohne dass andere Fahrzeuge die Kreuzung benutzen. Zum anderen führen herkömmliche Methoden zu einem Anhalten-und-Weiterfahren-Verhalten, oder zumindest zu einem unnötig starken Abbremsen in Situationen, in denen ein Konflikt auch durch ein geringfügiges Ändern der Geschwindigkeit vermieden werden könnte.



Abb. 2
Rückstau an zusammen-
laufenden Spuren

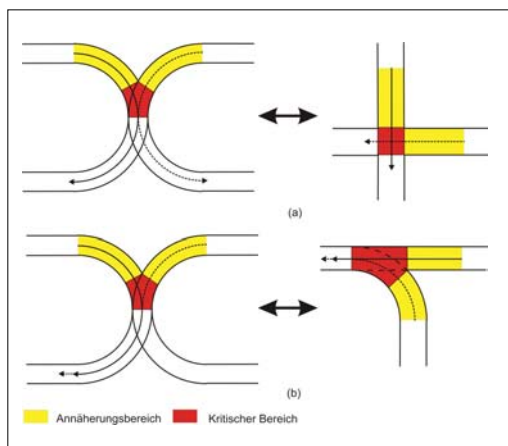


Abb. 3
Modell einer räumlichen Konfliktsituation

Abbildung 3 erläutert die Problematik exemplarisch anhand eines verallgemeinerten Modells für Konfliktsituationen. Dieses Szenario, in dem zwei Spuren zusammenlaufen und sich dann wieder trennen, erlaubt es, sowohl eine Kreuzungssituation als auch zusammenlaufende Spuren zu modellieren. Bleiben die Fahrzeuge auf ihrer Spur, so entspricht dies einer Kreuzungssituation (Abb. 3(a)). Wechselt hingegen eines der Systeme die Spur, so entspricht dies einer Situation, wie sie sich beim Einfädeln ergibt (Abb. 3(b)). Unmittelbar hinter der Stelle, an der die beiden Spuren sich treffen, befindet sich der von den Fahrzeugen auf beiden Spuren gemeinsam genutzte kritische Bereich (rot unterlegt). Diesem vorgelagert, erstreckt sich auf jeder einzelnen Spur ein so genannter Annäherungsbereich bestimmter Länge (gelb unterlegt). Sie dienen dazu, die jeweiligen Ankommgeschwindigkeiten so anzupassen, dass die Fahrzeuge zum kooperativ festgelegten Zeitpunkt in den kritischen Bereich einfahren werden.

KONFLIKTAUFLÖSUNG IN GRUPPEN

Alle Fahrzeuge, die sich in dem gelben bzw. rotem Bereich aufhalten, bilden zusammen eine Gruppe. Mitglied dieser Gruppe wird man durch Einfahren in den Annäherungsbereich. Durch Verlassen des kritischen Bereichs wird auch automatisch die Gruppe verlassen. Ziel ist es, die Geschwindigkeiten der einzelnen Fahrzeuge so durch kooperatives Verhalten der Gruppenmitglieder zu bestimmen, dass der kritische Bereich in einer festzulegenden Reihenfolge sequentiell durchfahren wird. Innerhalb dieser Gruppe tauschen die Mitglieder ihre lokalen Informationen – z. B. ihre Position und Geschwindigkeit – aus, um auf diese Weise eine gemeinsame Sicht auf die aktuelle Situation der Gruppe – den so genannten Gruppenzustand – zu bestimmen. Diese gemeinsame Sicht auf die aktuelle Situation erlaubt es nun jedem einzelnen Mitglied, lokal die Geschwindigkeiten, mit denen die Mitglieder der

Gruppen die Annäherungsbereiche durchfahren sollen, zu bestimmen und damit natürlich im Speziellen auch seine eigene Geschwindigkeit. Jeder Gruppeneintritt löst, nachdem die dazu notwendigen Informationen kommuniziert wurden, die Berechnung des neuen Gruppenzustands bei allen Mitgliedern aus.

Dieser gemeinsam mit dem Fraunhoferinstitut für Autonome intelligente Systeme (AiS) verfolgte Lösungsansatz ermöglicht die Planung koordinierter Geschwindigkeiten basierend auf einer Wahrnehmung der aktuellen Situation, die erheblich detaillierter ist, als sich dies allein durch die lokalen Sensoren eines einzelnen autonomen mobilen Systems erreichen ließe. So können beispielsweise Position und Geschwindigkeit aller beteiligten Fahrzeuge erheblich genauer bestimmt werden, als dies ein Fahrer allein aufgrund seiner visuellen Wahrnehmung könnte. Dies erlaubt eine feingranularere Abstimmung der Geschwindigkeiten als bei den oben erwähnten Anhalten- und Weiterfahren-Ansätzen. Da die Planung der Geschwindigkeiten situationsabhängig stattfindet, können die elektronischen Fahrzeugassistenten kooperativ ein für die aktuelle Situation optimales Verhalten bestimmen.

Die Architektur, die diesen Ansatz realisiert, besteht aus drei Ebenen, die im Folgenden näher erläutert werden. Da die Fahrzeuge sich während der Konfliktauflösung mit eventuell hohen Geschwindigkeiten auf den kritischen Bereich zu bewegen, ist es besonders wichtig, dass alle Ebenen der Architektur nicht nur ihre funktionalen Anforderungen erfüllen, sondern dabei auch ein vorhersagbares Zeitverhalten gewährleisten.

Auf der obersten Ebene planen die beteiligten Systeme lokal die Geschwindigkeit, mit der sie den Annäherungsbereich durchfahren. Immer, wenn ein weiteres Fahrzeug in den Annäherungsbereich einfährt und sich der Gruppe anschließt, müssen neue Geschwindigkeiten für alle Gruppenmitglieder bestimmt werden. Die dabei angewandten Planungsalgorithmen müssen drei Voraussetzungen genügen. Sie müssen deterministisch sein, so dass ausgehend von einem einheitlichen Gruppenzustand alle autonomen Systeme die gleichen Geschwindigkeiten berechnen und damit ein koordiniertes Verhalten zeigen. Darüber hinaus müssen die Planungsalgorithmen ein vorhersagbares Zeitverhalten haben, da eine zu spät erfolgte Konfliktauflösung katastrophale Folgen haben kann. Schließlich müssen die Planungsalgorithmen die Geschwindigkeiten der autonomen Systeme derart bestimmen, dass eine effiziente Nutzung des kritischen Bereiches erreicht wird.

Durch die Planungsverfahren lassen sich die oben erwähnten Nachteile herkömmlicher Verfahren, wie sie z. B. Ampelschaltungen haben, relativ leicht vermeiden. Nähert sich beispielsweise ein Fahrzeug ohne Konkurrenzsituation

dem kritischen Bereich, so muss es seine Geschwindigkeit natürlich nicht ändern. Dennoch sind nicht alle Planungsstrategien gleich gut geeignet. Nahe liegend wäre, dass die Fahrzeuge in der Reihenfolge den kritischen Bereich durchqueren, in der sie in den Annäherungsbereich eingefahren sind. Diese „Wer zuerst kommt, wird auch zuerst bedient“-Strategie (sie wird auch als FIFO (First In First Out) bezeichnet) hat allerdings erhebliche Nachteile. In einer Situation, in der ein sehr langsames Fahrzeug gefolgt wird von einem sehr viel schnelleren auf einer anderen Spur, muss das später kommende Fahrzeug sehr stark bremsen, um nach dem langsameren durch den kritischen Bereich zu fahren. Hier würde ohne Notwendigkeit die Reihenfolge der Fahrzeuge, die sich „natürlich“ ergeben hätte – das schnellere Fahrzeug wäre sicherlich vor dem langsamen in den kritischen Bereich gefahren – durch eine andere, „künstliche“ ersetzt, so dass es zu unnötigen Bremsmanövern kommt.

Es wurde daher ein Kriterium zum Bestimmen der Reihenfolge definiert, dass die natürliche Reihenfolge zwischen den autonomen mobilen Systemen erhält, also die Reihenfolge, die sich ohne Geschwindigkeitsänderungen ergeben würde. Dazu bestimmt das Planungsverfahren für jedes Fahrzeug zunächst denjenigen Zeitpunkt, an dem es den kritischen Bereich erreicht hätte, wäre es mit der Geschwindigkeit weitergefahren, mit der es in den Annäherungsbereich eingefahren ist (so genannte Predicted Enter Time (PET)). Hierbei werden die Geschwindigkeiten für die Fahrzeuge so bestimmt, dass sie in der Reihenfolge aufsteigender PETs den kritischen Bereich durchfahren. Tatsächlich muss hierfür zunächst keines der Fahrzeuge seine Geschwindigkeit verändern. Dies wird nur dann notwendig, wenn die PETs von zwei Fahrzeugen so dicht beieinander liegen, dass eine Kollision im kritischen Bereich nicht ausgeschlossen werden kann. In diesem Falle wird die Geschwindigkeit des Fahrzeugs mit der späteren PET so weit reduziert, dass eine Kollision vermieden wird. Auf diese Weise kann man durch ein minimales Anpassen der Geschwindigkeiten Kollisionen im kritischen Bereich verhindern. Das Fahrverhalten bleibt dabei insgesamt flüssig, so dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Staus gesenkt werden kann.

In der Ebene unterhalb der Planungsebene wird der Gruppenzustand als Eingabe für die Planungsebene bestimmt. Der Gruppenzustand enthält die für die Planung relevanten Parameter (lokaler Zustand) aller Gruppenmitglieder. Welche Parameter dies sind, ist abhängig vom eingesetzten Planungsverfahren. So sind in dem oben beschriebenen Verfahren Position und Geschwindigkeit der Fahrzeuge entscheidende Größen. Der aktuelle Gruppenzustand muss für die Systeme nicht ständig verfügbar sein. Es ist hinreichend, wenn er vor der Planung, d. h.

immer wenn sich ein weiteres autonomes mobiles System der Gruppe anschließt, bestimmt wird. Dabei ist es besonders wichtig, dass die Gruppenzustände, die von den einzelnen autonomen mobilen Systemen bestimmt werden, soweit übereinstimmen, dass sie bei allen Systemen zu den gleichen Planungsergebnissen führen.

Die Ebene zur Bestimmung des Gruppenzustandes wurde so entworfen, dass möglichst wenige Informationen zwischen den Gruppenmitgliedern ausgetauscht werden müssen, da die Informationsübertragung zeitraubend und fehlerbehaftet ist. Dazu wird der Umstand ausgenutzt, dass Fahrzeuge nach dem Durchfahren des Annäherungsbereiches die jeweils aktuell gültige Geschwindigkeitsvorgabe konstant einhalten. So kann der momentane Standort bei Eintreffen eines neuen Gruppenmitgliedes lokal für alle alten Mitglieder berechnet werden. Dennoch ist die Übertragung von Informationen nach wie vor notwendig, da ein Fahrzeug, das in einen Annäherungsbereich einfährt, von keinem der Systeme, die bereits dort sind, einen lokalen Zustand kennt, den es als Grundlage einer solchen Berechnung nutzen könnte. Ebenso kennen aber auch die anderen Fahrzeuge noch nicht den lokalen Zustand des neuen Systems. Ein Defekt, der dazu führt, dass ein Fahrzeug seine errechnete Geschwindigkeit nicht einhalten kann, muss natürlich automatisch an alle Gruppenmitglieder kommuniziert werden.

KOMMUNIKATION IN LOKALEN FUNKNETZEN

Die wesentliche Grundlage für die Kooperation ist die Möglichkeit, zwischen den Fahrzeugen Informationen auszutauschen. Speziell ist in dem hier vorgestellten Ansatz der Informationsaustausch die Grundlage für die Bestimmung eines einheitlichen Gruppenzustandes und damit für ein koordiniertes Verhalten der autonomen Systeme. Da des Weiteren das Zeitverhalten der Kommunikationsebene entscheidenden Einfluss auf das Zeitverhalten der gesamten Konfliktauflösung hat, ist die Zuverlässigkeit und zeitliche Vorhersagbarkeit der Kommunikationsschicht, in welcher der Informationsaustausch realisiert ist, von entscheidender Bedeutung.

Offensichtlich können für die Kommunikation zwischen mobilen Systemen aber keine Kommunikationsnetzwerke eingesetzt werden, die auf einer Verkabelung der beteiligten mobilen Systeme beruhen. Daher werden stattdessen lokale Funknetzwerke eingesetzt, die aber erheblich unzuverlässiger und in ihrem Verhalten unvorhersagbarer sind als drahtgebundene Netzwerke. Dies liegt daran, dass die Informationen während ihrer Übertragung ungeschützt äußeren Störungen ausgesetzt sind. Daher muss die Möglichkeit einer zuverlässigen und zeitlich vorher-sagbaren Kommunikation für die höheren Ebenen erst geschaffen werden.

Dieses Problem zu lösen, ist eine der wesentlichen Herausforderungen bei der Realisierung der kooperativen Fahrerunterstützung. Zur Lösung dieses Problems wurden entsprechende Kommunikationsprotokolle entworfen, speziell zugeschnitten auf IEEE.802.11, den De-facto-Standard für drahtlose Funknahbereichsnetze /4/. Sie bilden das Gegenstück zu dem aus dem Internet bekannten TCP-Standard (Transmission Control Protocol).

Die entwickelten Kommunikationsprotokolle der untersten Ebene ermöglichen es bei Einfahrt in den Annäherungsbereich, sich bei der dort bestehenden Gruppe anzumelden. Dabei stellen die Protokolle sicher, dass die Anmeldung innerhalb einer bekannten maximalen Zeit erfolgt. Anschließend können dann zuverlässig und mit einer begrenzten Übertragungsdauer Informationen innerhalb der Gruppe versendet werden.

PROTOTYPISCHES SZENARIO

Zur Überprüfung des oben vorgestellten Ansatzes und der Architektur wurde im Robotik-Labor der Fakultät für Informatik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg ein Applikationsprototyp implementiert. In diesem Prototyp (s. Abb. 4) bewegen sich Roboter auf zwei durch Linien markierten geschlossenen Schleifen. Diese Schleifen überschneiden sich, so dass ein kritischer Bereich entsteht, an dem die Roboter ihre Geschwindigkeiten koordinieren müssen. Wie in der Abbildung zu erkennen ist, entspricht die in diesem Szenario nachgebildete Situation dem in Abbildung 3 dargestellten Modell einer Konfliktsituation. Der Anfang des Annäherungsbereiches ist durch Farbmarkierungen auf den Linien kenntlich gemacht. In dem Prototyp werden drei 6-rädrige Roboter eingesetzt, die sich mit Geschwindigkeiten von bis zu 1ms^{-1} in der etwa $3 \times 4\text{ m}$ großen Prototypumgebung bewegen. Der Applikationsprototyp zeigt, wie die entstehenden Konfliktsituationen durch die Kooperation der autonomen Systeme intelligent aufgelöst werden können.

Da, wie oben erwähnt, die Zeit, welche für die Bekanntmachung des Eintrittes eines neuen Gruppenmitgliedes plus die Versendung der für die lokale Berechnung des neuen Gruppenzustandes durch die einzelnen Systeme benötigten Informationen, von entscheidender Bedeutung ist, wurden in dem Applikationsprototypen entsprechende Messungen durchgeführt. Die Ergebnisse von Messungen dieser Zeitdauer, die wir als Reaktionszeit bezeichnet haben, sind in Abbildung 5 dargestellt. Sie zeigt in Form einer Häufigkeitsverteilung, wie oft während der Messungen Reaktionszeiten innerhalb eines bestimmten Intervalls aufgetreten sind. Es zeigt sich, dass alle gemessenen Werte um die mittlere Reaktionszeit von $46,27\text{ ms}$ verteilt sind, bei einer gemessenen maximalen Reaktionszeit von $64,90\text{ ms}$. Setzt man diese Zeiten in Relation zur Reaktionszeit eines menschlichen Fahrers, so zeigt sich, dass sie als hinreichend klein erachtet

werden können. Man geht bei einem Fahrer von einer Reaktionszeit von etwa 200 ms für einfache optische Reize aus. Die Reaktionszeit auf komplexe Situationen, wie sie im Straßenverkehr auftreten, ist mit 1 Sekunde deutlich höher. Gemessen an diesen Werten erreicht die vorgestellte Kommunikationsarchitektur sehr kleine Reaktionszeiten. Betrachtet man den Weg, den ein Fahrzeug während der gemessenen maximalen Verzögerung zurücklegt, – das sind bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h etwa 20 cm – so zeigt sich, dass dieser im Vergleich zum Bremsweg des Fahrzeugs unbedeutend kleine Wert praktisch vernachlässigt werden kann. Es zeigt sich also, dass sich technologisch eine intelligente Koordinierung der Geschwindigkeiten innerhalb einer hinreichend kurzen Zeit erreichen lässt.

Es ist heutzutage weitgehend unstrittig, dass die Fähigkeit zur Kooperation ein wesentliches Merkmal für intelligentes Verhalten eines Teams von Robotern ist. Es gibt viele anspruchsvolle Anwendungen für Teams von mobilen Robotern, jedoch erfüllen bestehende Robotersysteme noch nicht alle Voraussetzungen, um die hierbei gestellten hohen Anforderungen zu erfüllen. Ein Hauptgrund für diesen Mangel ist die Tatsache, dass die Kombination von Zuverlässigkeit und Rechtzeitigkeit einerseits und komplexem Roboterverhalten andererseits bisher noch wenig erforscht und verstanden ist. Da die Komplexität eines Szenarios mit in Realzeit kooperierenden mobilen Robotern starke Parallelen zu industriellen Systemen aufweist, in denen autonome Teilsysteme koordiniert Aufgaben lösen (Fabrikautomation, Automatisierungstechnik), sind die Forschungsergebnisse von genereller Bedeutung.

Sogenannte Benchmarks haben das Ziel, eine objektivierbare Aussage über die Qualität der in den Teildisziplinen erzielten Forschungsergeb-

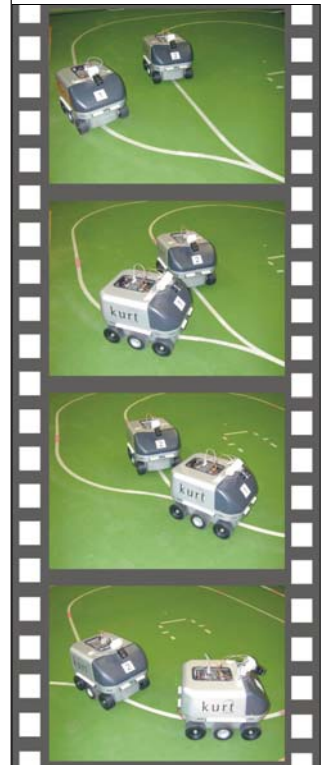
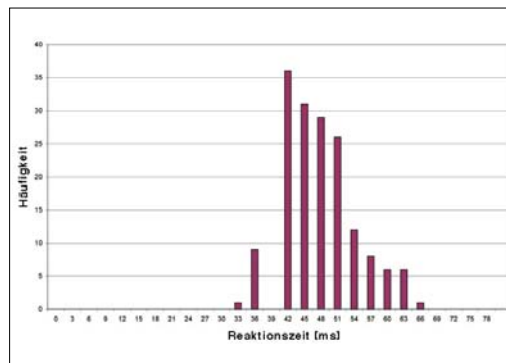


Abb. 4
Ablauf einer Konfliktsituation
im Applikationsprototypen

Abb. 5
Zeitmessungen
Intelligente Roboterteams

nisse treffen zu können. Der erfolgreichste Benchmark für die Erforschung autonomer, mobiler Roboter wird kurz RoboCup genannt. Dieser internationale Wettbewerb „The Robot World Cup Soccer Games and Conferences“ ist der anerkannte Benchmark, an dem viele führende Gruppen aus den Bereichen der Künstlichen Intelligenz und der Robotik mit den Schwerpunkten mobile

Roboter, Multi-Sensorik, Adaptivität und Lernen, Multiagentensysteme aber auch anderen Teilgebieten der Informatik und Ingenieurwissenschaften wie Simulation, Visualisierung oder Realzeitsysteme teilnehmen. Abbildung 6 zeigt eine Spielszene aus solch einem Wettbewerb /5/.

Abb. 6
Fußballspielende Roboter



Dies hat die DFG vor Jahresfrist veranlasst, ein dieser Thematik gewidmetes Schwerpunktprogramm „Kooperierende Teams mobiler Roboter in dynamischen Umgebungen“ zu starten /6/. Das wesentliche Forschungsziel ist hierbei, autonome mobile Roboter in die Lage zu versetzen, schnell und mit komplexem Teamverhalten in einer dynamischen Umgebung auf nicht reguläre und unvorhergesehene Ereignisse zu reagieren. Der zweite Bereich umfasst die Durchführung von Benchmark-Workshops, in denen die in prototypisch entwickelten Teilsysteme eingegangenen Forschungsergebnisse in einer Testumgebung in Form des Fußballspiels anschaulich und mit hohem Unterhaltungswert verglichen und bewertet werden können. Der Beitrag der Arbeitsgruppe „Echtzeitsysteme und Kommunikation“ zu diesem Forschungsprogramm zielt auf die Fusion von auf mehreren Robotern gewonnenen Daten verschiedener Sensoren wie Kameras und Laserscanner in einem virtuellen Sensor. Damit soll zu einer genaueren, dezentralen Weltmodellierung beigetragen werden (Was genau ist meine Position, wo befindet sich der Ball etc).

Bibliographische Hinweise

/1/ www.fleetnet.de

/2/ www.cordis.lu/ist/fetgc.htm

/3/ <http://www-ivs.cs.uni-magdeburg.de/EuK/>

/4/ Nett, E., Mock, M., Gergeleit M.: Das drahtlose Ethernet. Der IEEE 802.11 Standard: Grundlagen und Anwendung, Addison-Wesley. Februar 2001.

/5/ www.robocup.org

/6/ <http://ais.gmd.de/dfg-robocup/>



Prof. Dr. Edgar Nett,

geboren 1951 in Niedermendig/Rheinland-Pfalz, promovierte 1978 im Fach Informatik an der Universität Bonn und habilitierte sich dort 1991 für das Fach Informatik. Anschließend übernahm er die Leitung des Forschungsbereichs „Responsive Systeme“ im GMD-Forschungszentrum Informationstechnik in St. Augustin bei Bonn, verbunden mit einer Privatdozentur an der Universität

Bonn. Seit Januar 1999 ist er Professor für Technische Informatik und Leiter der Arbeitsgruppe „Echtzeitsysteme und Kommunikation (EuK)“. Seit Juni 2002 leitet er das Institut für Verteilte Systeme an der Fakultät für Informatik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

Seine Forschungs- und Interessenschwerpunkte sind autonome mobile Systeme, Verteilte Echtzeitsysteme, verlässliche Kommunikation in drahtlosen Netzen.