

# Unbemanntes Konvoi-Fahren auf und abseits von Wegen

Thorsten Lüttel, Michael Manz und Hans-Joachim Wünsche

Selbstständig agierende Landfahrzeuge bieten die Möglichkeit, die Gefährdung und die kognitive Belastung des Soldaten im Einsatz stark zu reduzieren. Dazu muss das unbemannte Fahrzeug (Unmanned Ground Vehicle, UGV) – wie der menschliche Fahrer – in der Lage sein, die Umwelt wahrzunehmen, um daraus intelligente Handlungen ableiten zu können. Ein wichtiger Schritt in diese Richtung ist die permanente und robuste Erkennung eines Führungsfahrzeugs und das dadurch ermöglichte autonome Konvoi-Fahren.

Um die persönliche Gefährdung von Soldaten im Einsatz zu minimieren, wird immer häufiger über den Einsatz von unbemannten Fahrzeugen nachgedacht, zum Beispiel für Transport- oder Aufklärungsaufgaben. Eine Realisierungsmöglichkeit ist die Fernsteuerung eines solchen Fahrzeugs. Eine ausschließliche Fernsteuerung hat jedoch einige Nachteile. Zum einen ist die Reichweite der Kommando- und/oder Videokommunikation, z. B. durch die Funkverbindung (Funklöcher) und somit die operationelle Reichweite des Systems stark begrenzt. Zum anderen ist die kognitive Belastung des Teleoperators sehr hoch.

## Entlastung durch autonome Teilfunktionen

Einen Ausweg bieten hier autonome Teilfunktionen, die in das UGV integriert werden können. Das von der Wehrtechnischen Dienststelle für Informationstechnologie und Elektronik (WTD 81) in Auftrag gegebene Forschungsprojekt „Vision-Software zur Steigerung der Autonomie“ beschäftigt sich aus diesem Grund verstärkt

mit der Realisierung GPS-unabhängiger Verfahren, die unter anderem ein vollständig autonomes Konvoi-Fahren ermöglichen sollen.

Die Universität der Bundeswehr in München (UniBwM) kann dabei auf einen großen Erfahrungsschatz zurückgreifen. Am Institut für Technik Autonomer Systeme (TAS) werden schon seit über 25 Jahren autonome Landfahrzeuge entwickelt. Als aktuelle Demonstrationsplattform steht mit MuCAR-3 (Munich Cognitive Autonomous Robot Car, 3rd Generation) ein modifizierter VW Touareg zur Verfügung, der mit rechnergesteuerter Aktorik und leistungsfähiger Sensorik ausgestattet ist.

## Die Wahrnehmung des Führungsfahrzeugs

Grundlage für ein autonomes Transportfahrzeug im Konvoi ist dabei eine äußerst robuste und kontinuierliche Wahrnehmung eines bestimmten Führungsfahrzeugs. Im vorgestellten Verfahren stützt sich die Detektion des Führungsfahrzeugs entweder auf Daten eines LIDAR-Systems (Light Detection and Ranging – Velodyne HDL-64SE2), auf Bilder einer HDRC-Farbkamera (High Dynamic Range Camera) oder einer Kombination aus beiden Sensoren. Um den horizontalen und vertikalen Sichtbereich der Kameras zu erhöhen, sind diese auf der beweglichen Kameraplattform MarVEye8 (Multifocal active/reactive Vehicle Eye)

montiert. Ein leistungsfähiger Rechner an Bord von MuCAR-3 ermöglicht eine multisensorielle Schätzung der Relativposition des Führungsfahrzeugs gegenüber dem Roboterfahrzeug in Echtzeit. Um eine Wahrnehmung eines Fahrzeugs in komplexer Umgebung zu ermöglichen, wird die Position in allen sechs Freiheitsgraden (Orts- und Winkellage im Raum) geschätzt. Zusätzlich wird über die Schätzung des Lenkwinkels und der Geschwindigkeit des Führungsfahrzeugs eine zeitliche Vorhersage der Bewegung des Fahrzeugs mit Hilfe des Ackermann-Modells ermöglicht.

Der dafür entwickelte Algorithmus beruht dabei auf den neuesten Forschungsaktivitäten des Instituts. Grundlage des Algorithmus bildet der sogenannte 4D-Ansatz, eine räumlich-zeitliche Modellierung des Führungsfahrzeugs und der Eigenbewegung des Roboters. Ein 3D-CAD-Modell bestehend aus Punkten, Linien und Flächen dient dabei der Beschreibung der geometrischen Form und der Erscheinung des Führungsfahrzeugs in den Sensordaten. Dieses CAD-Modell und die Fahrzeugdynamik bilden zusammen mit den geschätzten Fahrzeugzuständen die interne Modellvorstellung der Umwelt zu einem bestimmten Zeitpunkt. Ausgehend von der Modellvorstellung werden für den nächsten Zeitpunkt mögliche Positionen des Führungsfahrzeugs im 3D-Raum generiert und mit Hilfe der Abbildungsgeometrie der Senso-

### Autoren:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Wünsche, Dipl.-Ing. Thorsten Lüttel und Dipl.-Ing. (FH) Michael Manz, Universität der Bundeswehr München, Institut für Technik Autonomer Systeme



(Foto: Autoren)

**Linke Seite: Darstellung der internen Modellvorstellung von MuCAR-3. Rechte Seite: Überlagerung der internen Modellvorstellung (3D-Modell des VW Tiguan) mit den realen Daten eines Kamera-Farbbilds**

rik in die Sensordaten (z.B. Farbbild) projiziert. Diese Führungsfahrzeughypothesen werden anhand selbstständig erlernter Farb-, Gradienten- (z.B. Hell-Dunkel-Übergänge an Fensterahmen) und Hindernissignaturen des Führungsfahrzeugs in den LIDAR- und Bilddaten bewertet. Aus den am besten bewerteten Hypothesen wird anschließend eine Schätzung der wahren Führungsfahrzeugposition und -dynamik abgeleitet und damit die interne Modellvorstellung aktualisiert.

Die Überlagerung der Modellvorstellung mit den realen Daten eines Farbbildes ist auf dem Bild oben dargestellt. Das mittels der geschätzten Führungsfahrzeugposition projizierte CAD-Modell eines VW Tiguan (Führungsfahrzeug) ist darin durch die blauen Linien (Gradientenpositionen) und die dunklen bzw. roten Flächen (Schatten bzw. Rücklichtsignatur) repräsentiert. Aus dem Bild ist zu erkennen, dass die interne Modellvorstellung der Objektwahrnehmung sehr gut mit der realen Welt übereinstimmt.

Es ist anzumerken, dass zur Wahrnehmung des Führungsfahrzeugs nur Sensorik zum Einsatz kommt, welche im autonomen Fahrzeug integriert ist. Das Verfahren ist somit unabhängig von GPS-Informationen oder anderen externen Daten, welche über drahtlose Kommunikationsmedien übertragen

werden müssten. Des Weiteren werden nur Fahrzeugmerkmale ausgewertet, daher sind keine künstlich angebrachten Markierungen am Führungsfahrzeug notwendig, auch wenn solche natürlich zusätzlich am Fahrzeug angebracht und im Wahrnehmungsprozess berücksichtigt werden könnten.

### Die Verfolgung des Führungsfahrzeugs

Durch die Fahrzeugumgebungserfassung mittels LIDAR und Kamera ist das vorgestellte System in der Lage, auch in schwierigen Situationen – wie bei teilweiser Verdeckung des Führungsfahrzeugs, starkem Regen oder komplexen Lichtverhältnissen wie bei tiefstehender Sonne – ein Fahrzeug in unstrukturiertem Gelände robust zu verfolgen. Das autonome Fahrzeug fährt dabei genau in der Fahrspur des Führungsfahrzeugs und kürzt auch in engen Kurven den Weg nicht ab. Dies wird, wie im linken Teil des obigen Bildes dargestellt, dadurch erreicht, dass fortwährend lokale Wegpunkte generiert werden. Die Größe der grünen Ellipsen beschreibt ihre Positionsunsicherheit. Alle diese Wegpunkte stellen vergangene Positionen des Führungsfahrzeugs dar und beschreiben somit den Weg, den dieses genommen hat. Durch die Wegpunkte wird ein Pfad gelegt, welcher es dem

autonomen System ermöglicht, bestmöglich der Fahrspur des Führungsfahrzeugs zu folgen. Das vorgestellte System ist somit in der Lage, einem Führungsfahrzeug auf und abseits von Wegen zu folgen. Für die Geschwindigkeitsregelung wird ähnlich wie bei heutigen ACC-Systemen (Adaptive Cruise Control) ein geschwindigkeitsabhängiger Sollabstand eingeregelt. Bisher wurden dabei – begrenzt durch die Sensorreichweite – Geschwindigkeiten bis ca. 80 Kilometer pro Stunde erreicht.

Weiterhin „merkt“ sich das System den zurückgelegten Weg für eine gewisse Strecke, wodurch das Rückwärtsfahren (z.B. bei Wegblockaden) des Konvois ermöglicht wird. Hier wird das autonome Fahrzeug vom Führungsfahrzeug „zurückgeschoben“.

Das vorgestellte System wurde auf unserem Versuchsfahrzeug MuCAR-3 implementiert. MuCAR-3 ist somit in der Lage, vollständig autonom anderen Fahrzeugen auch in anspruchsvollem Gelände zu folgen.

### MuCAR 3 auf der M-ELROB 2010

Diese Fähigkeit konnte auf der M-ELROB 2010 (Military European Land Robot Trial) in allen Schwierigkeitsstufen erfolgreich demonstriert werden. Stufe 1 bestand aus einem Rundkurs



(Foto: OFw Winkler, PIZ Heer)

**MuCAR-3 im Szenario „Transport-Movement“ während der M-ELROB (Military European Land Robot Trial) 2010**

über breite Schotter- und Sandpisten inklusive einiger Haarnadelkurven, in Stufe 2 kam eine Schlaglochstrecke durch dichten Wald hinzu. Als „Zusatzaufgabe“ war ein enger Checkpoint zu passieren, und der komplette Konvoi musste einmal aufgrund einer Straßensperre autonom zurücksetzen. Diese Strecke von zusammen 4,3 Kilometer wurde in 17:24 Minuten vollkommen autonom absolviert, alle anderen Teams scheiterten spätestens am Zeitlimit von 60 Minuten. Darüber hinaus war das Team um MuCAR-3 das einzige, das die Herausforderungen der schlammigen LKW-/Panzer-Fahrschulstrecke in Stufe 3 angenommen hat. Zusätzlich zu den mechanischen Anforderungen der Strecke an die Fahrzeuge war eine präzise Bahnregelung beim Umfahren der tiefen Wasserlöcher sowie der Durchfahrt einer schlammigen Wiese erforderlich – diese stellten selbst den menschlichen Fahrer des Führungsfahrzeugs vor Herausforderungen. In Stufe 3 wurden zwei Kilometer in 20:02 Minuten erledigt und immerhin 99,76 Prozent der Strecke autonom gefahren.

**Schritte zur Einsatzreife**

Mit den im jetzigen Forschungsprojekt erzielten Ergebnissen ist ein robustes unbemanntes Konvoi-Fahren auf und

abseits von Wegen möglich. Es erfordert allerdings derzeit noch eine direkte Sichtverbindung und büßt aufgrund der derzeit verfügbaren Sensortechnologie unter extremen Beleuchtungssituationen an Robustheit ein. Daher sind auch aus Sicht des Bedarfsträgers weitere Untersuchungen im Rahmen von F&T-Projekten notwendig, um die Technologie des unbemannten Konvois für die Anforderungen einsatznaher Szenarien weiterzuentwickeln.

Die UniBw München beabsichtigt, hierfür in Zukunft einerseits Konvois aus mehreren Fahrzeugen zu untersuchen und sich andererseits mit größeren Abständen zwischen den einzelnen Konvoi-Teilnehmern – bis hin zum Verlust der Sichtverbindung – zu beschäftigen. Diese kann z. B. durch Umwelteinflüsse wie Staubfahnen auf pistenähnlichen Wegen, Nebel oder Dunkelheit sowie durch strecken- und einsatzbedingte Verdeckungen auftreten. Damit wird die Komplexität im Bereich der Wahrnehmung und Situationsinterpretation bereits beträchtlich erhöht. Zusätzliche Schwierigkeiten ergeben sich z. B. in Ortsdurchfahrten – ein Themengebiet, das die Forscher an der UniBwM noch viele Jahre beschäftigen wird. Hier müssen die unbemannten Fahrzeuge nicht nur statische Hindernisse wie Bebauung berücksichtigen, sondern auch mit Verkehrsteilnehmern unterschiedlichster

Art (z. B. Kraftfahrzeuge, Zweiräder, Fußgänger oder Tiere) zurecht kommen, ohne die Durchschnittsgeschwindigkeit des Konvois zu stark zu reduzieren oder sogar zum Stillstand zu bringen.

Parallel zur algorithmischen Weiterentwicklung müssen die entwickelten Verfahren von den Forschungsplattformen auf ein geländegängiges militärisches Transportfahrzeug übertragen werden, um hiermit Erfahrungen unter einsatznäheren Bedingungen sammeln zu können. Hierzu werden die Forscher um Professor Wünsche im Rahmen eines anderen Projekts die Konvoifähigkeit ihres Forschungsfahrzeugs MuCAR-3 bis Ende 2013 auf einen militärischen Lastkraftwagen übertragen.

**Das Institut für Technik autonomer Systeme (TAS)**

Weitere Forschungsprojekte am Institut TAS beschäftigen sich mit speziellen Bildverarbeitungsverfahren für automotives Sehen, mit Verfahren zur visuellen Objekterkennung, mit der Datenfusion aus Kamera und LIDAR zur Weg- und Kreuzungserkennung, mit der LIDAR-basierten Umgebungserkennung und Navigation, mit neuartigen objektrelationalen Navigationsverfahren und Missionsplanungsmethoden sowie mit Stereobildverarbeitung für Fahrzeuge und humanoide Roboter. ■