

Identifikation von Fahrscenarien während einer virtuellen Testfahrt

Christian King¹, Johannes Bach¹, Stefan Otten¹ und Eric Sax¹

Abstract: In den vergangenen Jahren adressierten zahlreiche Innovationen im Automobil den Bereich Fahrerassistenzsysteme. Die Technologien entwickeln sich zunehmend in Richtung automatisiertes Fahren und bringen eine Zunahme an intelligenten, verknüpften und komplexen Funktionen mit sich. Durch die direkte Interaktion des Ego-Fahrzeuges mit anderen Verkehrsteilnehmern entsteht eine Vielzahl neuartiger Fahrsituationen und Szenarien. Daraus resultiert ein konstant wachsender Raum an Systemzuständen und Variationen, der validiert und verifiziert werden muss. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, wird zunehmend auf Virtualisierung und Simulation von gesetzt. In dieser Veröffentlichung stellen wir einen Ansatz vor, Szenarien innerhalb einer virtuellen Testfahrt zu identifizieren. Der Fokus liegt hierbei auf der Abstraktion und Ableitung spezifischer Manöver der einzelnen Fahrzeuge bzw. deren logischen Zusammenhänge in einem komplexen Szenario. Der Ansatz ermöglicht eine Analyse und die Bewertung vollständiger virtueller Testfahrten anhand der erlebten Szenarien. Zusätzlich können Aussagen in Bezug auf die Abdeckung des Systemraumes innerhalb einer virtuellen Testfahrt getroffen werden.

Keywords: Automatisiertes Fahren, FAS, Test, Virtualisierung Verifikation, Validierung, Szenarien, Situationen

1 Umfeld und Motivation

Automatisiertes Fahren und die zunehmende Elektrifizierung der Fahrzeuge führen zu neuen Herausforderungen im Bereich der Absicherung automatisierter Fahrerassistenzsysteme. Innovationen im Bereich von Sensorsystemen, hochpräzise Karten, Onlinedienste sowie der elektronische Horizont führen zu einer erweiterten Umfelderkennung in zukünftigen Fahrzeugen [BA17]. Zusätzlich resultieren die zunehmende Vernetzung der Fahrfunktionen und die daraus entstehenden Abhängigkeiten zu einer Vergrößerung des Variantenraums, der für eine ausreichende Absicherung abgedeckt werden muss. Um die Qualität und Sicherheit dieser neuen Fahrfunktionen durchgängig zu gewährleisten, sowie die notwendigen Testkilometer [HE15] reduzieren zu können, rücken verstärkt virtuelle Ansätze in den Fokus [WO16].

Aktuelle Testkonzepte basieren größtenteils auf systematischen Tests, die vorrangig synthetisch entwickelt und in Testkatalogen zusammengefasst werden [SAX08]. Diese etablierten Ansätze des spezifikationsbasierten Testens sind nicht mehr ausreichend, um

¹ FZI Forschungszentrum Informatik, Bereich ESS, Haid-und-Neu-Str, 76131, Karlsruhe, king@fzi.de, bach@fzi.de, otten@fzi.de, sax@fzi.de

den weiter zunehmenden Variantenraum an möglichen Fahrscenarien und Situationen abzudecken. Systematische Testfälle repräsentieren relevante Eckpunkte des Raums, welche notwendig sind um die korrekte Funktionalität für ausgewählte hochrelevante Situationen nachzuweisen. Um die Bereiche zwischen diesen Eckpunkten abzudecken, werden statistische Methoden für die Generierung von Fahrscenarien erforscht [SU15]. Durch die so eingeführte Zufälligkeit und Varianz ist der Zustand der Simulation nicht länger a-priori bekannt. Ein Vergleich der Simulationsergebnisse, für unterschiedliche Parametrisierungen des Testobjektes, benötigt daher komplexe Bewertungsmethoden. Hierbei stellt die Identifikation von Fahrscenarien eine große Herausforderung dar. Innerhalb einer kompletten Testfahrt müssen ausgewählte Szenarien für eine Evaluation identifiziert werden, um im nächsten Schritt relevante Funktionen und Systeme bewerten zu können.

2 Konzept für die Ableitung von Szenarien aus virtuellen Testfahrten

Im Rahmen dieses Ansatzes soll eine virtuelle Testfahrt ganzheitlich betrachtet werden. Dabei wird dem Ego-Fahrzeug während einer virtuellen Testfahrt lediglich der Start- und Endpunkt vorgegeben. Mit Hilfe eines Fahrermodells bewegt sich das Fahrzeug zwischen den vorgegebenen Wegpunkten, analog zu einer realen Testfahrt. Zu zufällig ausgewählten Zeitpunkten werden andere Verkehrsteilnehmer mit zufälligen Fahrmanövern eingespielt und so werden möglicherweise kritische Situationen und Szenarien herbeigeführt.

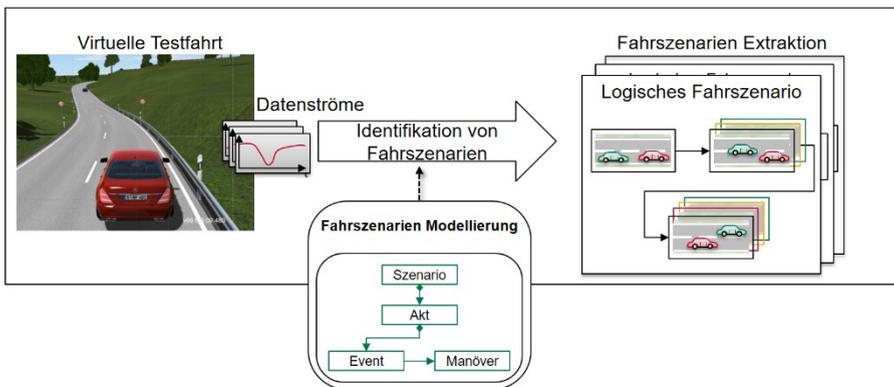


Abb 1. Konzeptskizze für die Identifikation von Fahrscenarien aus einer virtuellen Testfahrt

Der Fokus dieser Veröffentlichung liegt auf der Identifikation der einzelnen Fahrmanöver und Fahrscenarien in der virtuellen Testfahrt. Ansätze zur Modellierung von Szenarien für die Testfallgenerierung sind in [BA16] dargestellt und sind Grundlage für diese Arbeit. Die erkannten Szenarien werden für eine Bewertung der Testfahrt genutzt und bilden im

nächsten Schritt die Grundlage zur Ableitung von neuen, unbekanntcn Testfällen oder Anforderungen an die Funktion. Zusätzlich ist eine Aussage über die Testabdeckung der virtuellen Testfahrt möglich, da bekannt ist, welche Szenarien mit welcher Häufigkeit während der Testfahrt aufgetreten sind. In Abb 1 ist das vorgeschlagene Konzept dargestellt. Die Simulation stellt die Informationen in Form von kontinuierlichen Datenströmen zur Verfügung. Auf Grundlage dieser Daten sollen abstrakte Fahrsczenarien und Manöver identifiziert und erkannt werden. Aus einer Testfahrt können zahlreiche logische Fahrsczenarien abgeleitet werden. Logische Fahrsczenarien beschreiben hierbei das grundsätzliche Verhalten des Ego-Fahrzeugs gemeinsam mit den anderen Verkehrsteilnehmern. Beispiele sind ein Auffahr- und Folgefahrt-Szenario oder ein Szenario mit einem Überholmanöver. Diese logischen Szenarien können innerhalb einer Testfahrt wiederum mehrfach instanziiert sein. Dabei unterscheiden sich die logisch gleichen Szenarien in der Parametrisierung und Lokalisierung ihrer Fahrmanöver. Beispielsweise kann ein Überholmanöver mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und an verschiedenen Streckenpositionen durchgeführt werden. In Abb 1 ist ein Fahrzeug dargestellt, welches einen Überholvorgang durchführt. Die unterschiedlich parametrisierten Fahrmanöver werden durch verschieden gefärbte Kästen innerhalb des Szenarios repräsentiert.

2.1 Ableitung von Szenarien aus einer virtuellen Testfahrt

Die Simulation liefert alle verfügbaren Daten über die Verkehrsteilnehmer und die Umwelt. Um eine Aussage über das Fahrsczenario zu ermöglichen, müssen große Mengen kontinuierlicher Daten reduziert und interpretiert werden. Fahrmanöver oder komplexe Interaktionen der Verkehrsteilnehmer können nur schwierig aus den reinen Geschwindigkeits- oder Positionsinformationen einzelner Fahrzeuge abgelesen werden. Dazu ist eine Abstraktion auf die jeweils relevanten Größen notwendig. Für diese Abstraktion sind verschiedene Ansätze denkbar. Eine Möglichkeit stellen Algorithmen des maschinellen Lernens dar, die nach einer Lernphase die Fahrsczenarien selbstständig innerhalb einer virtuellen Testfahrt klassifizieren können. Der Einsatz von selbstlernenden Methoden ist mit einem sehr hohen initialen Aufwand verknüpft. Neben der Auswahl der richtigen Netzstruktur und Netztiefe, spielt auch die Qualität der Lerndaten und der Lernalgorithmus eine entscheidende Rolle für die Qualität der Klassifizierung. Ein weiterer Ansatz ist ein wissensbasierter Ansatz und verwendet eine Metamodellierung für die Ableitung der Fahrsczenarien [BA16]. Für die Erkennung von Fahrmanövern und Szenarien müssen diese im Vorfeld mittels Modellierung abgebildet werden. Diese Modellierung dient während der virtuellen Testfahrt als Muster.

2.2 Modellierung von Fahrsczenarien

Die Modellierung von Fahrsczenarien ist im Fokus zahlreicher wissenschaftlicher Arbeiten. Das von [GU15] vorgeschlagene Konzept erlaubt eine Modellierung von Interaktionen zwischen Teilnehmern. Geyer et al. [GE13] fokussiert sich auf ein Ontologie-Konzept für

die Generierung von Testfall- und Use-Case-Katalogen, das auf einer Theateranalogie basiert. Für diese Veröffentlichung wird die in [BA16] vorgestellte Metamodellierung verwendet. Bach et. al. schlagen darin einen modell-basierten Ansatz vor, der eine Abstraktion der beschriebenen Fahrscenarien bis auf die logische Ebene ermöglicht. In Anlehnung an den Ansatz von Geyer et al. [GE13] wird eine Terminologie aus dem Bereich Theater und Film verwendet. Der Ansatz basiert auf einem Domänenmodell zur Abbildung der relevanten Klassen für ein Fahrscenario sowie einem graphenbasierten Regelwerk. Eine zeitliche Abstraktion wird durch die Verwendung von Akten erreicht. Akte unterscheiden sich in den Fahrmanövern, die die Handlung und Zustände der Fahrzeuge beschreiben. Der Übergang zwischen zwei Akten wird durch ein Event ausgelöst. Neben der zeitlichen Abstraktion wird auch eine räumliche Abstraktion innerhalb eines Aktes durchgeführt. Diese bezieht sich weniger auf Lageinformationen, als vielmehr auf die logischen Relationen zwischen den Teilnehmern. Ein Auffahren und Folgefahrt Szenario lässt sich im einfachsten Fall mit drei Akten beschreiben. Im ersten Akt befinden sich die Teilnehmer T1 und T2 beispielsweise in der Freifahrt. Durch ein Event, unterschreiten eines spezifizierten Abstandes, findet der Übergang in den zweiten Akt statt. Das Handlung, beziehungsweise das Fahrmanöver, des zweiten Aktes, ist das Auffahren von T1 auf T2. Sobald die relative Geschwindigkeit kleiner als ein Grenzwert ist, findet der Übergang in den dritten Akt statt. Dieser Akt beinhaltet das Manöver Folgefahrt.

3 Anwendung und Evaluation

Für aktuelle Fahrerassistenzsysteme, wie Adaptive Cruise Control (ACC), ist das Szenario der Folgefahrt von hoher Relevanz. Daher soll exemplarisch eine Erkennung des Manövers „Folgefahrt“ dargestellt werden. In diesem Fall sollen alle Akte, in denen das Egofahrzeug das Manöver „Folgefahrt“ ausführt, identifiziert werden. Dafür wird das gesamte Szenario abstrahiert und im Anschluss nach den Akten mit dem Manöver Folgefahrt gesucht. Für die Erkennung von komplexeren Fahrmanövern wie dem Überholvorgang muss ein Muster als Sequenz von Akten eingebracht werden. In Abbildung 2 ist die Modellierung des Akts Folgefahrt dargestellt. Für den Übergang in den Akt und für das Verlassen sind Events definiert. Zusätzlich muss die Randbedingung erfüllt sein, dass sich die Nahbereiche (rote Kästen) der Fahrzeuge berühren. Während der Folgefahrt muss die relative Geschwindigkeit kleiner als ein Grenzwert dv sein. Daher dient diese Bedingung als Einstiegsevent. Um das Manöver zu wechseln und damit den Akt zu verlassen, muss die Bedingung an die relative Geschwindigkeit verletzt oder ein Spurwechsel von einem der Teilnehmer durchgeführt werden. Um den so modellierten Akt in einer virtuellen Testfahrt erkennen zu können, werden im ersten Schritt die verschiedenen Erfassungsbereiche des Ego-Fahrzeugs betrachtet.

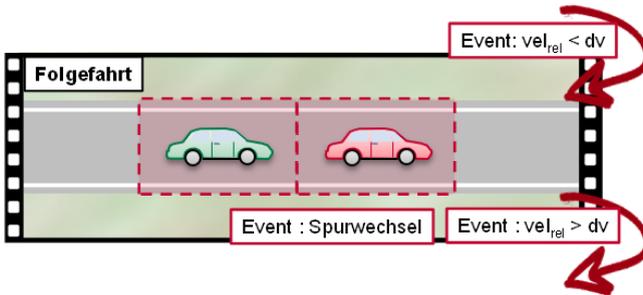


Abbildung 2: Modellierung des Akts mit dem Fahrmanöver Folgefahrt

Befindet sich ein vorausfahrendes Fahrzeug im Nahbereich, muss die relative Geschwindigkeit berechnet werden. Falls sie kleiner als ein definierter Schwellwert ist, wird das Fahrmanöver Folgefahrt erkannt ansonsten handelt es sich um ein anderes Fahrmanöver. Diese Berechnung wird zyklisch wiederholt. Die Frequenz der Berechnung ist abhängig von der benötigten Genauigkeit zur Abbildung der Fahrmanöverdynamik und der Zykluszeit der Fahrzeugsimulation. Aufgrund auftretender Geschwindigkeitsschwankungen werden eine Hysterese, sowie minimale Übergangszeiten für den Aktwechsel verwendet. Ansonsten führen Schwankungen in den Geschwindigkeitsverläufen zu wiederholt fehlerhaften Sprüngen zwischen verschiedenen Fahrmanövern und den zugehörigen Akten.

Für eine Umsetzung der Szenarienidentifikation mittels lernender Algorithmen wird eine Datenbank mit Fahrscenarien benötigt, die die entsprechenden Trainingsdaten beinhaltet. Beispielsweise stellen Support Vector Machines (SVM) als auch neuronale Netze eine interessante Option dar. Bei Letzteren sind die Anzahl verwendeter Schichten, die Anzahl der Eingangsneuronen, die Aktivierungsfunktionen und die Trainingsalgorithmen variabel. Sie hängen davon ab, auf Grundlage welcher Informationen das künstliche neuronale Netz die Entscheidung treffen soll. Die einzelnen Szenarien müssen für die Lernphase entsprechend gelabelt werden. Der zu erwartende initiale Aufwand für die Realisierung eines Ansatzes mit Methoden des maschinellen Lernens ist zunächst umfangreich, bietet in Verbindung mit der abstrakten Metamodellierung auf der logischen Ebene einen Mehrwert.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Der beschriebene Ansatz beschäftigt sich damit, wie eine virtuelle Testfahrt ganzheitlich betrachtet und bewertet werden kann. Die Notwendigkeit relevante Manöver, Akte und Szenarien innerhalb einer Testfahrt zu identifizieren, um beispielsweise die Funktionalität der Fahrerassistenzsysteme bewerten zu können oder neue, unbekannte Testfälle zu identifizieren, wurde herausgearbeitet. Verschiedene Ansätze zur Ableitung von Fahrscenarien sind dargestellt und eine logische Abstraktion, basierend auf modell-

basierten Beschreibungen sowie über selbstlernende Verfahren, diskutiert. Am Beispiel des Manövers „Folgefahrt“ wurde die Anwendung der logischen Abstraktion für die Identifikation von Testbedingungen in der virtuellen Testfahrt diskutiert.

Im nächsten Schritt erfolgt eine vollständige Modellierung und Anwendung verschiedener Fahrzenarien sowie der funktionale Nachweis des Ansatzes. Zusätzlich wird untersucht, inwieweit sich der Ansatz auch auf Realfahrten übertragen lässt. In diesem Zusammenhang wird untersucht, welche Daten verfügbar sein müssen um kritische Situationen auch im realen Straßenverkehr identifizieren und ableiten zu können.

References

- [BA17] Bach, J., Otten, S., Sax, E., „A Taxonomy and Systematic Approach for Automotive System Architectures: From Functional Chains to Functional Networks“, 3rd International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems (VEHITS), 2017.
- [HE15] Helmer, T., et al., “Safety performance assessment of assisted and auto-mated driving by virtual experiments: Stochastic microscopic traffic simulation as knowledge synthesis,” IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2015.
- [WO16] Wohlfahrt, C., et al., „Von Systematischer Absicherung zur ‚Digitalen Erprobungsfahrt‘“, 6. Fachkonferenz AUTOTEST Stuttgart, 2016.
- [SAX08] Sax, E., „Automatisiertes Testen Eingebetteter Systeme in der Automobilindustrie. München“, Carl Hanser Verlag, München Wien, 2008.
- [SU15] Schulze, T., Müller, B., Meyer, G. , „Advanced Microsystems for Automotive Applications 2015: Smart Systems for Green and Automated Driving“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015.
- [BA16] Bach, J., Otten, S., Sax, E., „A model-based scenario specification method to support development and test of automated driving functions“, IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2016.
- [GU15] C. Guo, K. Kidono, and Y. Kojima, “Understanding surrounding vehicles in urban traffic scenarios based on a low-cost lane graph,” in Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2015 IEEE, June 2015, pp. 511–518..
- [GE13] S. Geyer, M. Baltzer, B. Franz, S. Hakuli, M. Kauer, M. Kienle, S. Meier, T. Weißgerber, K. Bengler, R. Bruder, F. Flemisch, and H. Winner, “Concept and development of a unified ontology for generating test and use-case catalogues for assisted and automated vehicle guidance,” IET Intelligent Transport Systems, vol. 8, no. 3, pp. 183–189, 2013. [Online]. Available: <http://tubiblio.ulb.tudarmstadt.de/62301/>