



Virtueller Radarsensor mit charakteristischen Eigenschaften

Regen, Gegenlicht oder Schmutz – was jeder Fahrer als störenden Faktor bei der Umfeldwahrnehmung kennt, trifft auch auf Sensoren zu. Fahrerassistenzsysteme müssen damit zurechtkommen und trotz fehlerbehafteter Sensordaten lebenswichtige Maßnahmen einleiten. Um dies reproduzierbar im virtuellen Fahrversuch abzusichern, haben die Forscher vom Institut für Fahrzeugtechnik der TU Graz gemeinsam mit Magna Steyr Engineering ein Radarsensormodell entwickelt, das Sensoreigenschaften realistisch simuliert und sich bereits in der Konzeptphase einsetzen lässt. Das Modell wurde mit Hilfe von CarMaker umfassend untersucht und getestet.

Sensoren sind die Sinnesorgane intelligenter Fahrerassistenzsysteme: Sie spüren potentielle Gefahrenquellen auf und sorgen dafür, dass die Assistenzsysteme in Sekundenbruchteilen die richtigen Fahrzeugreaktionen auslösen, um Unfälle zu vermeiden. Technologisch haben sich zur Umfelderkennung neben Laser-, Ultraschall- und Video-Sensoren insbesondere Radarsensoren durchgesetzt. Deren Stärke liegt in einer sehr guten Mess- und Trennfähigkeit von Relativgeschwindigkeiten. So kann ein Radarsystem präzise Abstände messen und problemlos mehrere Ziele voneinander trennen und deren Bewegungen verfolgen. Radarsensoren sind daher die ideale Basis für Systeme zur Abstandregelung und vorausschauenden Notbremsung.

Naturngemäß ist allerdings auch der beste Sensor mit Störgrößen und Messungenauigkeiten behaftet: Diese resultieren unter anderem aus der Abschattung der Sensorstrahlen durch andere Objekte, Latenzen zwischen dem Messzeitpunkt und der Bereitstellung des Signals sowie kurzzeitigen, zufälligen Objektverlusten. Eine große Herausforderung bei der Entwick-

lung von Fahrerassistenzsystemen ist es daher, zuverlässige Systeme zu entwickeln, die trotz der unsicheren Sensor-Eingangsdaten die Fahrsituation richtig erkennen, bewerten und die nötigen Maßnahmen einleiten.

Sensordfehler frühzeitig einkalkulieren

Je nach Entwicklungsphase bieten sich für die Absicherung von Assistenzsystemen unterschiedliche Testverfahren an: Diese reichen von der reinen Office-Simulation über Hardware-in-the-Loop-Tests bis hin zum Fahrversuch auf der Teststrecke. Letzterer ist bekanntermaßen sehr zeit- und ressourcenintensiv und kann nur eingeschränkt eingesetzt werden – insbesondere im Bereich von Fahrerassistenzsystemen aufgrund der hohen Komplexität der Testszenarien. OEMs und Zulieferer verlagern daher große Teile der Validierung von Fahrerassistenzsystemen in frühe Phasen der Entwicklung, in denen sich Fehler im System noch leichter und vor allem kostengünstiger beseitigen lassen. Sie nutzen hierzu leistungsfähige Simulationswerkzeuge wie CarMaker, mit deren Hilfe Regelsysteme in ein virtuelles Testfahrzeug integriert und

unter reproduzierbaren Bedingungen im virtuellen Fahrversuch untersucht werden können.

CarMaker simuliert frei konfigurierbare Verkehrssituationen in der Umgebung eines virtuellen Ego-Fahrzeugs. Es lassen sich alle Testszenarien übersichtlich in Manövern abbilden und durch den Test-Manager von CarMaker automatisiert abarbeiten. Die Software beinhaltet auch ein Sensormodell, das Objekte in der Umgebung des Ego-Fahrzeugs detektiert. Die Sensoreigenschaften wie Öffnungswinkel und Reichweite lassen sich bei diesem Modell frei konfigurieren, um verschiedenste Sensortypen zu simulieren. Allerdings handelt es sich hier um ein generisches, ideales Sensormodell, das auf Basis der Positionsdaten aus der Verkehrssimulation von CarMaker arbeitet. Standardmäßig macht es keine Messfehler und kennt auch keine Latenzzeiten, so dass es die Informationen über ein detektiertes Objekt zeitgleich mit dessen Erscheinen ausgibt.

Je nach Anwendungsfall kann es allerdings von Vorteil sein, die

Übersicht



Anwender

- Institut für Fahrzeugtechnik, Technische Universität Graz (Österreich)
- Magna Steyr Engineering



Länder



Deutschland, Österreich



Produkt



CarMaker



Herausforderung

Die Entwicklung eines Radarsensormodells, das die charakteristischen Eigenschaften realer Sensoren abbildet und zugleich wenig Rechenzeit benötigt.



Lösung

Ein phänomenologisches Sensormodell berechnet physikalische Sensoreffekte effizient auf Basis mathematischer Zusammenhänge. Das Modell wurde im virtuellen Fahrversuch validiert und optimiert.

Sensoreigenschaften bereits zu einem frühen Entwicklungszeitpunkt genauer zu modellieren. Somit wäre es z. B. schon in der Konzeptphase eines autonomen Notbremsystems (AEB) möglich, die Latenzzeiten für die Erfassung plötzlich auftauchender Verkehrsobjekte in die Anforderungen für die Bremsanlage einfließen zu lassen.

Reale Sensoreffekte zeiteffizient modelliert

Verfügbare physikalische Sensormodelle sind für solche Konzeptstudien ungeeignet. Sie führen in der Regel zu hohen Rechenzeiten und sind meist aufwendig zu parametrieren. Aus diesem Grund hat ein Forscherteam vom Institut für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität Graz gemeinsam mit Magna Steyr Engineering ein phänomenologisches Sensormodell entwickelt, das die Eigenschaften von Radarsensoren realistisch simuliert und im Vergleich zu physikalischen Modellen erheblich weniger Rechenzeit benötigt.

Das Modell arbeitet wie der Sensor in CarMaker mit den geometrischen Informationen der Simulationsumgebung. Es analysiert, ob die simulierten Verkehrsobjekte im Erfassungsbereich des Sensors liegen und ob sie durch andere Objekte abgeschattet werden. Die so generierte Objektliste wird anschließend mit einem radarspezifischen Messrauschen beaufschlagt. Dabei werden die Eigenschaften realer Sensorbauteile mit Hilfe von einfachen mathematischen Zusammenhängen rechenzeiteffizient abgebildet. Umwelteinflüsse wie das Wetter und die

Eigenschaften der detektierten Objekte werden hier ebenfalls berücksichtigt. Zusätzlich verliert der virtuelle Sensor bereits detektierte Objekte zufällig für eine kurze Zeit. Wie in realen Sensoren werden die verrauschten Signale mit einem Kalman Filter aufbereitet und anschließend dem Assistenzsystem zur Verfügung gestellt.

Sensor-Modellvalidierung mit realen und virtuellen Testfahrten

Zur Validierung und Optimierung dieses Modells wurden im Fahrversuch Messungen mit einem realen Radarsensor durchgeführt und mit den Simulationsergebnissen des Sensormodells verglichen. Hierbei kamen zwei Fahrzeuge zum Einsatz: Ein Ego-Fahrzeug mit eingebautem Radarsensor und ein Zielfahrzeug. Zur genauen Messung der Bewegungsdaten wurden beide Fahrzeuge mit einem DGPS-basierten Messsystem ausgerüstet (Positionsgenauigkeit +/- 2 cm). Der Radarsensor – ein Seriensensor mit offener Schnittstelle – lieferte als Output für die Validierung eine Liste mit den detektierten Objekten, d. h. die Position, Geschwindigkeit und Beschleunigung der Objekte, deren Dimensionen sowie die Wahrscheinlichkeiten, dass die Objekte existieren.

Die realen Fahrversuche wurden anschließend 1:1 in die Simulation mit CarMaker übertragen. Dazu wurden das virtuelle Ego-Fahrzeug und das virtuelle Zielfahrzeug exakt mit den vom Referenzmesssystem erfassten Daten bewegt. Anschließend konnte der

Output des Radarsensors direkt mit den Ergebnissen des Sensormodells verglichen werden.

Dabei untersuchten die Wissenschaftler unter anderem, ob das entwickelte Sensormodell die Latenzzeiten realer Sensoren ausreichend genau simuliert. Um dies zu verifizieren, erfassten sie, zu welchem Zeitpunkt die gefilterten Daten vom realen Sensor und vom Sensormodell zur Verfügung gestellt werden, d. h. wie viel Zeit zwischen dem Auftauchen des Objektes im Sensorbereich und dem Bereitstellen der Daten vergeht. Latenzzeiten entstehen insbesondere durch die Signalverarbeitung der vom Empfangsteil des Sensors aufgenommenen Messdaten. Objekte müssen als solche erkannt, über die Zeit verfolgt und klassifiziert werden (PKW, LKW, stehendes Objekt etc.). Zusätzlich muss die Fahrfunktion bestimmte Objekte als relevant einstufen (zum Beispiel das Zielfahrzeug beim Abstandstempomaten.) Diese „Suche in einem Heuhaufen“ benötigt entsprechende Verarbeitungszeit.

Ideales vs. phänomenologisches Sensormodell

Der Mehrwert des phänomenologischen Modells für die Entwicklungsarbeit zeigt sich in der konkreten Anwendung, z. B. bei der virtuellen Entwicklung eines autonomen Notbremsassistenten (AEB). Um den Einfluss der Sensormodellierung auf die Simulationsergebnisse zu untersuchen, haben die Forscher der TU Graz einen AEB-Regler in das Fahrzeugmodell von CarMaker integriert. Dieser Regler veranlasst eine Vollbremsung, wenn die berechnete Zeit bis zur Kollision (TTC) unter den Grenzwert von 0,9 Sekunden sinkt. Daraufhin wurden in CarMaker typische Testszenarien aus dem Manöverkatalog für Fahrerassistenzsysteme simuliert, jeweils mit dem idealen Modell von CarMaker und mit dem entwickelten Modell.

Ein Beispiel aus dem Manöverkatalog ist eine klassische Situation auf Autobahnen: das Ausscheren eines langsameren Fahrzeugs vor

ein schnelleres Ego-Fahrzeug (siehe Abbildung 2).

Dieses Szenario wurde mit folgenden Parametern simuliert: Das Ego-Fahrzeug fährt mit konstanter Geschwindigkeit ($v=130$ km/h) und konstantem Abstand ($d=72$ m) hinter T1 auf der linken Fahrspur. T2 und T3 fahren konstant mit 90 km/h auf der rechten Fahrspur. Wenn der Abstand zwischen dem Ego-Fahrzeug und T2 unter einen Grenzwert (hier: $d=24$ m) sinkt, wechselt T2 ohne die Geschwindigkeit zu ändern vor dem Ego-Fahrzeug auf die linke Fahrbahn. Der virtuelle Fahrer reagiert nicht darauf.

Es zeigte sich, dass der autonome Notbremsassistent es beim idealen Sensormodell schafft, das Ego-Fahrzeug rechtzeitig vor einer Kollision abzubremsen. Sobald T2 auf die linke Fahrspur wechselt, liefert das Modell dem AEB-System die Information über das detektierte Objekt. Im Vergleich dazu liefert das phänomenologische Sensormodell erst später die Information über ein relevantes Objekt an den AEB-Regler. Dieser leitet zwar sofort eine Notbremsung ein, so dass die Relativgeschwindigkeit zwischen Ego-Fahrzeug und T2 reduziert wird. Eine Kollision kann jedoch nicht komplett verhindert werden, da der Grenzwert $TTC=0,9$ s durch die Latenzzeit des Sensormodells bereits unterschritten wurde.

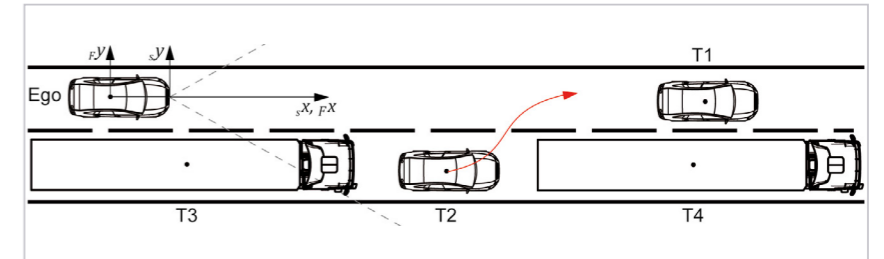


Abbildung 2: Simuliertes Autobahnszenario

Vorteile für den Entwicklungsprozess

Die Simulationsergebnisse verdeutlichen die Relevanz, Fahrerassistenzsysteme im Umgang mit realistischen, d.h. fehlerbehafteten Sensorsignalen, zu testen. Das von der TU Graz und Magna Steyr Engineering entwickelte phänomenologische Sensormodell lässt sich bereits in der Konzeptphase für die virtuelle Entwicklung und Absicherung einsetzen; zu einem Zeitpunkt, an dem noch wenige Daten aus Messungen zur Verfügung stehen. Es benötigt wenig Rechenzeit und ist auf Basis von Datenblättern leicht zu parametrieren.

Der Einsatz dieses Modells bei der virtuellen Entwicklung mit CarMaker kann bereits in frühen Phasen zu einem hohen Reifegrad eines Systems führen. Hierdurch können teure Entwicklungsschleifen vermieden und Entwicklungszeiten signifikant reduziert werden.

Fazit und Ausblick

Die vorgestellte Arbeit zeigt: CarMaker dient nicht nur OEMs und Zulieferern als zuverlässige Entwicklungsplattform für

das modellbasierte Testen von Fahrerassistenzsystemen. Auch für Universitäten und Forschungseinrichtungen bietet CarMaker optimale Bedingungen, um Konzepte und Entwicklungsmethoden grundlegend und systematisch zu untersuchen. Insbesondere die Offenheit der Plattform und die Möglichkeit, schnell und einfach Modelle in die virtuelle Fahrzeugumgebung zu integrieren, machen CarMaker zu einem bevorzugten Werkzeug für Wissenschaftler.

Die Fahrzeugtechniker der TU Graz wollen die erfolgreiche Entwicklung des Radarsensormodells weiterführen und das Modell für den Hardware-in-the-Loop-Einsatz echtzeitfähig machen. Außerdem soll das phänomenologische Modell erweitert werden, um auch andere Sensortypen, wie Lasersensoren, realitätsnah zu simulieren. Zur Entwicklung und Validierung der neuen Modelle wird auch in Zukunft die offene Integrations- und Testplattform CarMaker zum Einsatz kommen.

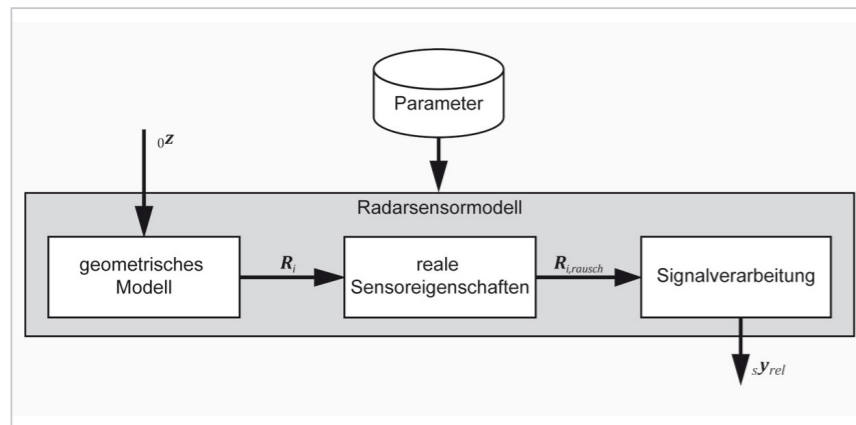


Abbildung 1: Funktionsschema des phänomenologischen Radarsensormodells



Abbildung 3: Vergleich ideales und phänomenologisches Radarsensormodell