

AUTOMATISIERTE FAHRZEUGE

Sensormodelle als Schlüsselement für Sensorfusion

Beim automatisierten Fahren wird typischerweise der Begriff Sensormodell verwendet, wenn es um die Simulation von Sensoren geht, zum Beispiel als Teil einer Validierungskette. Während Sensormodelle ein wichtiger Aspekt der Simulation sind, sind sie ebenso wichtig für die Leistung des Umgebungsmodells und der darin enthaltenen Sensorfusion.



© vegefox.com | Adobestock

Skalierbare Architekturen für die Sensorfusion ermöglichen den einfachen Austausch von Sensormodellen, so dass getestete Komponenten wiederverwendet werden können und mehr Entwicklungsressourcen in die Sensormodellierung fließen können.

Was ist ein Sensormodell?

Unabhängig davon, ob ein Sensormodell für die Simulation oder die Sensorfusion zum Einsatz kommt, beschreibt es, wie Objekte, zum Beispiel Fahrzeuge, Fußgänger oder Fahrradfahrer, mit einem bestimmten Sensor interagieren

und von ihm wahrgenommen werden. Diese Interaktion umfasst die beiden Aspekte der Erkennbarkeit und des Erscheinungsbildes von Objekten.

Detektierbarkeit

Dieser Teil des Sensormodells beschreibt, ob ein Sensor ein Objekt de-

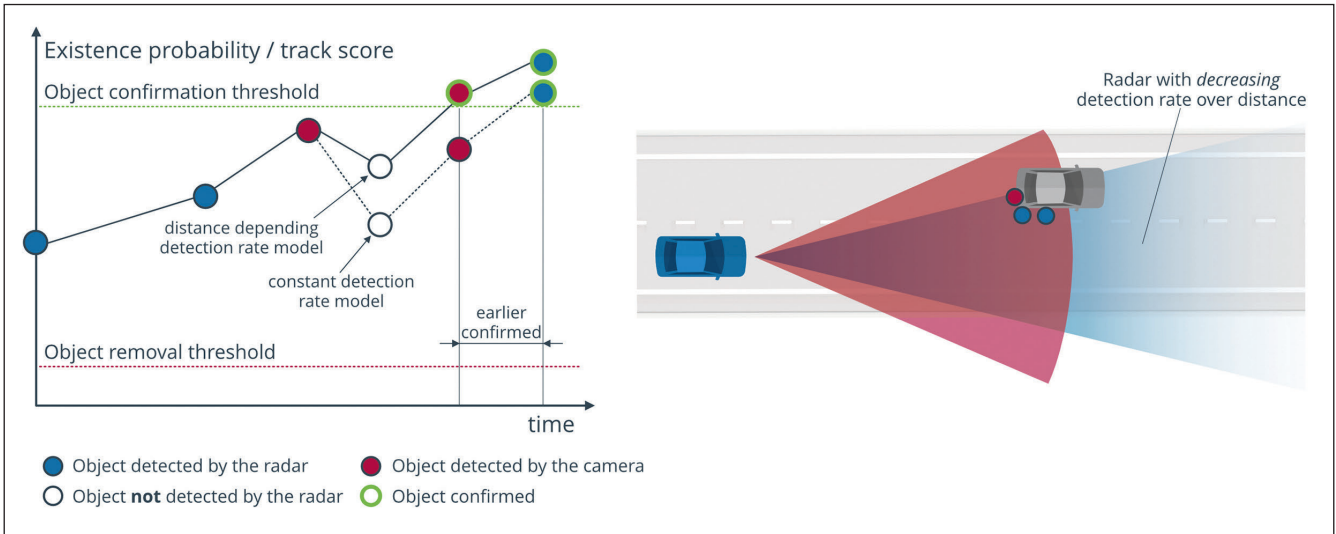


Bild: Beispiel einer Radar-Kamera-Fusion, bei der die Detektionsrate des Radars mit zunehmender Objektentfernung kleiner wird. Die Objektbestätigungszeit verringert sich, wenn die Detektionscharakteristik des Radars richtig modelliert ist (graue durchgezogene Linien), verglichen mit einem Radarmodell mit konstanter Detektionsrate (graue gestrichelte Linien). © Baselabs

tektieren kann. Ein Beispiel: eine Kamera ist Teil des Sensoraufbaus und ein KI-basierter Bilddetektor wurde auf Bilder trainiert, die nur Ansichten von Fahrzeugrückseiten enthalten. Ein solcher Bilddetektor wird Fahrzeuge korrekt erkennen, wenn deren Rückseite auf dem Bild zu sehen ist, wie Fahrzeuge, die vor dem automatisierten Fahrzeug fahren. Derselbe Bilddetektor würde jedoch querende Fahrzeuge nicht erkennen, weil er nicht auf Seitenansichten von Fahrzeugen trainiert wurde. In der Praxis ist es nicht ganz schwarz-weiß, sondern eher so, dass ein Sensor ein Objekt besser erkennen kann als ein anderes. So werden zum Beispiel neun von zehn Autos erkannt, wenn sie vor dem automatischen Fahrzeug fahren, und sieben von zehn Autos, wenn sie

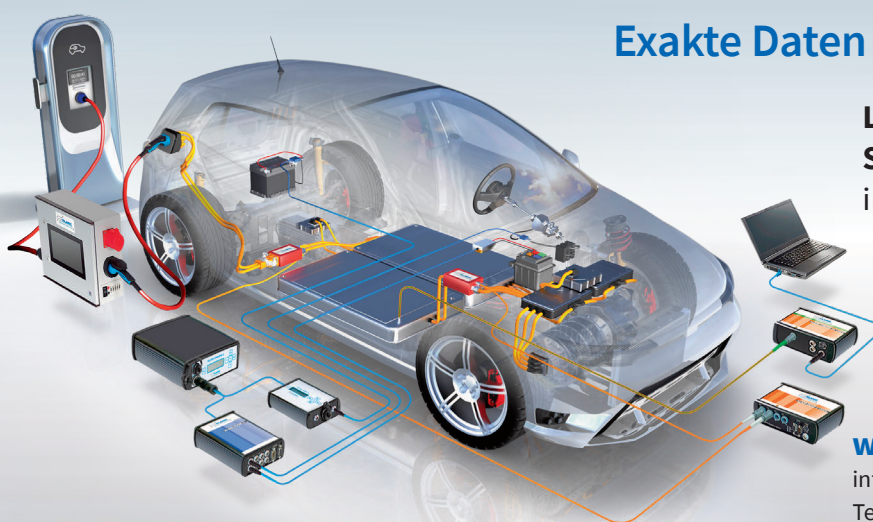
kreuzen. Neben diesem Beispiel gibt es viele Objekteigenschaften, die das Erkennungsverhalten eines Sensors beeinflussen können, beispielsweise der Blickwinkel, die Entfernung, die Größe und die Art des Objekts. Auch die Umgebung kann die Erkennungsleistung beeinflussen, wie das Wetter oder die Beleuchtungsbedingungen. Schließlich kann auch das Host-System des Sensors einen Einfluss haben – zum Beispiel kann die Erkennungsleistung je nach Einbaulage des Sensors unterschiedlich sein. Je nach Anwendung und geforderter Qualität der Modellierung kann ein resultierendes Detektionsmodell eine beliebige Auswahl der oben genannten Eigenschaften enthalten (Bild).

Erscheinungsbild

Während der Detektionsteil eines Sensormodells beschreibt, ob und mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Sensor ein Objekt erkennen kann, beschreibt das Erscheinungsbildmodell, wie ein Sensor ein Objekt wahrnimmt. Für einen einfachen Radarsensor erscheint ein Objekt üblicherweise in Form von drei Werten: Entfernung, Winkel und Dopplergeschwindigkeit. Aus diesem Beispiel wird ersichtlich, dass das Erscheinungsmodell Einschränkungen für den Sensor beinhaltet. Zum Beispiel kann ein Radar nur den radialen Teil der Objektgeschwindigkeit (die Dopplergeschwindigkeit) beobachten, und für ein querfahrendes Objekt enthält die beobachtete Dopplergeschwindigkeit nur einen Teil der tatsächlichen Objektgeschwin-

MESSTECHNIK FÜR DIE MOBILITÄT VON MORGEN

Exakte Daten für effizientes Energiemanagement



Lösungen zum schnellen und präzisen Messen von **Strom, Spannung** und **elektrischer Leistung** in 12/24/48V- und HV-Systemen bis 1.500V

www.klaric.de
 info@klaric.de
 Telefon: +49 711 32 77 76-0



INFO

Standardisierte Sensorfusionsbibliothek

Mit Baselabs Create Embedded ist eine modulare und ISO-26262-zertifizierte Sensorfusionsbibliothek verfügbar, die effiziente Algorithmen für Embedded-Plattformen beinhaltet. Die skalierbare Sensorfusionsarchitektur ermöglicht die einfache Implementierung und den schnellen Austausch von Sensormodellen. Dadurch lassen sich individuelle, sicherheitskonforme Sensorfusionsalgorithmen effizient entwickeln und flexibel an Anforderungen, unterschiedliche Projekte und Sensorkonfigurationen anpassen. Das ermöglicht es, die Komplexität sicherheitskritischer Automobilanwendungen einfacher zu bewältigen.

digkeit. Darüber hinaus beschreibt das Erscheinungsbild- oder Messmodell typischerweise die Fehler in den beobachteten Größen. So kann zum Beispiel ein Radar die Entfernung des Objekts mit einer Genauigkeit von ± 1 m messen, ein anderes mit $\pm 0,5$ m. Ähnlich wie bei den Detektionseigenschaften kann das Erscheinungsbild im Sensor vom Objekt selbst abhängen. Beispielsweise ist es möglich, dass die Entfernungsgenauigkeit bei Pkw besser ist als bei Lkw, oder sie könnte von der Umgebung und anderen Bedingungen abhängen.

Einfluss von Sensormodellen auf die Sensorfusionsarchitektur

Theoretisch ließen sich Sensormodelle entwerfen, die dem realen Sensorverhalten sehr nahekommen, wie physikalische Modelle oder hochkomplexe phänomenologische Modelle. In der Realität sind die Freiheitsgrade bei der Sensormodellierung jedoch oft begrenzt. Das liegt vor allem an den Beschränkungen der vorgesehenen Hardware und einem Mangel an relevanten Daten für die Identifizierung und Parametrisierung solcher komplexen Modelle.

Hardware

Typische ADAS- und L2-Funktionen werden auf Embedded-Hardware wie dem Aurix-Sicherheitsprozessor von Infineon

ausgeführt, wodurch die Auswahl an Algorithmen aufgrund der zur Verfügung stehenden CPU-Leistung einschränkt wird. Für Verfahren wie Objektfusion und -verfolgung beschränkt sich die Auswahl oft sogar auf Algorithmen und Architekturen, die auf Kalman-Filtern basieren.

Kalman-Filter eignen sich einerseits, weil sie gut bekannt sind und ihre geschlossene Form eine Ausführung auf typischer Embedded-Hardware im Fahrzeug ermöglicht. Andererseits können sie nicht direkt auf beliebig komplexe Modelle zurückgreifen. Stattdessen sind sie auf die Verwendung sogenannter unimodaler Sensormodelle beschränkt. Wenn zum Beispiel Pkw einem Sensor anders erscheinen als Lkw, kann das nicht von einem einzigen Kalman-Filter verarbeitet werden, weil das ein bimodales Modell erfordern würde.

Anforderungen an eine skalierbare Sensorfusionsarchitektur

Modifikationen an der Sensorfusionsarchitektur können diese Einschränkung bis zu einem gewissen Grad kompensieren, allerdings sind diese Architekturmodifikationen modellspezifisch und erfordern oft tiefgreifende Anpassungen des gesamten Algorithmus und Codes. Vor allem wenn es um den Einsatz im Rahmen von Serienprojekten geht, wer-

den diese Änderungen kosten- und zeitintensiv, wenn sie in jedem Projekt und für jede Änderung an Sensoren manuell durchgeführt werden.

Separate Sensormodelle

Damit eine Sensorfusionsarchitektur skalierbar wird, müssen die Sensormodelle vollständig von der Sensorfusionsarchitektur getrennt sein. Außerdem muss das Sensormodell selbst in die Teile Detektierbarkeit und Erscheinungsbild aufgeteilt werden. Auf diese Weise lassen sich Sensormodelle als dedizierte kleine Einheiten entwickeln, die damit leichter test- und austauschbar sind. Außerdem vereinfacht dieses Vorgehen die Modellidentifikation und -parametrierung.

Wiederverwendbarkeit

Aus mathematischer Sicht ist der Austausch eines Sensormodells in einem Sensorfusionsalgorithmus relativ einfach. Wenn es jedoch um die Implementierung geht, erfordert der Austausch eines Sensormodells in der Regel die Anpassung großer Mengen an Code auf verschiedenen Architekturebenen. Insbesondere wenn die Sensorfusion auf Embedded-Hardware ausgeführt wird und funktionale Sicherheit gewährleistet werden muss, sollte der Austausch eines Sensormodells weder eine manuelle Anpassung dieser Code-Teile noch eine erneute Absicherung erfordern. Stattdessen muss eine skalierbare Architektur für die Sensorfusion den Austausch von Sensormodellen unterstützen und gleichzeitig die (viel größeren) verbleibenden Teile sicher wiederverwenden können. ■ (eck)

www.baselabs.de



Dr. Eric Richter ist Director of Customer Relations und Mitbegründer bei Baselabs in Chemnitz. Er promovierte dem Gebiet der Sensordatenfusion für automatisiertes Fahren. © Baselabs

HANSER
automotive News



Nichts mehr verpassen!

Mit unserem kostenlosen Info-Dienst:
www.hanser-automotive.de/newsletter