

Autonomes Fahren bei der BMW AG – Grundlegende Architektur und Anforderungen an die hochgenaue Karte



Autonomous Driving at BMW Group – Overview of Architecture and Requirements towards high-definition maps

Hartmut Liefke, Unterschleißheim

Kurzfassung

Die individuelle Mobilität und ihre industrielle Umsetzung befinden sich vor einem technologischen Quantensprung. Insbesondere das autonome Fahren ist hierbei eine wesentliche Technologie, welche zu großen Veränderungen führen wird. Die BMW Group investiert bereits seit geraumer Zeit in entsprechende Entwicklungsprojekte und hat Prototypen zum autonome Fahren auf diversen Strecken bereits erfolgreich erprobt.

Im Artikel werden die unterschiedlichen Automatisierungsstufen und die grundlegende Architektur des Systems erläutert. Weiterhin wird die hochgenaue Karte als zentraler Lösungsbaustein und deren Anwendung beim automatisierten Fahren erläutert.

Schlüsselwörter: Autonomes Fahren, Automobil, hochgenaue Karte, Lokalisierung

Abstract

The individual mobility and its industrial implementation are right before significant changes. In particular, the autonomous driving is an important, new technology that will lead to large changes in the mobility. The BMW Group continuously invests into significant research and development projects, and successfully implemented various prototypes on different routes.

This article describes the different levels of automatization and the overall architecture of such a system. Furthermore, the high-definition map will be described as an important building block for the autonomous driving.

Keywords: autonomous driving, automobile, high-definition map, localization

1. Einleitung

Die individuelle Mobilität und ihre industrielle Umsetzung befinden sich vor einem technologischen Quantensprung. Das Automobil und seine Technologien werden sich in den nächsten 10 Jahren stärker verändern als in den vergangenen 30 Jahren. Die BMW Group hat hier das autonome Fahren als wesentliches Innovationfeld erkannt und vor einiger Zeit entsprechende Entwicklungsaktivitäten gestartet. Bereits 2006 umrundete ein BMW 3er selbstständig den Hockenheimring und seit 2011 werden automatisierte Prototypen der BMW Group auf unterschiedlichen Strecken erprobt. Aus der Prototypentwicklung sind im letzten Jahrzehnt viele wichtige Fahrerassistenzfunktionen in die Serienentwicklung, z.B. bei der 7er und 5er Serie, eingeflossen und werden kontinuierlich weiter entwickelt.

Ein zentraler Lösungsbaustein für das autonome Fahren ist hierbei die hochgenaue Karte. Auf Basis der Eigenlokalisierung des Fahrzeugs innerhalb der Karte kann ein genaueres Abbild des Umfelds mit einer höheren Vorausschau als Ergänzung zur Fahrzeugsensorik erzeugt und verwendet werden.

2. Stufen der Automatisierung

Grundsätzlich werden im Bereich der Fahrerassistenz mehrere Stufen der Automatisierung unterschieden. Sie unterscheiden sich stark bzgl. des Automatisierungsgrads, notwendiger Aufmerksamkeit/Eingriffe der Fahrer und der damit verbundenen Entwicklungskomplexität (siehe Abbildung 1). Diese können folgendermaßen grob beschrieben werden:

- **Level 2:** Fahrerassistenzsysteme als Vorstufe zum automatisierten Fahren. Der Fahrer bleibt permanent in der Fahrverantwortung (Hands-on Detection).
- **Level 3:** Erstmals ab Level 3 ist eine Teilung der Verantwortung für die Fahrzeugsteuerung zwischen Fahrer und Fahrzeug möglich. Der Fahrer kann sich während einer hochautomatisierten Fahrt im gleichgerichteten, vom Gegenverkehr abgegrenzten Straßenverkehr über einen längeren Zeitraum mit bordeigenen Nebentätigkeiten beschäftigen bzw. entspannen (Eyes off). Er muss weiterhin in der Lage sein, die Fahraufgabe, nach Aufforderung durch das System,

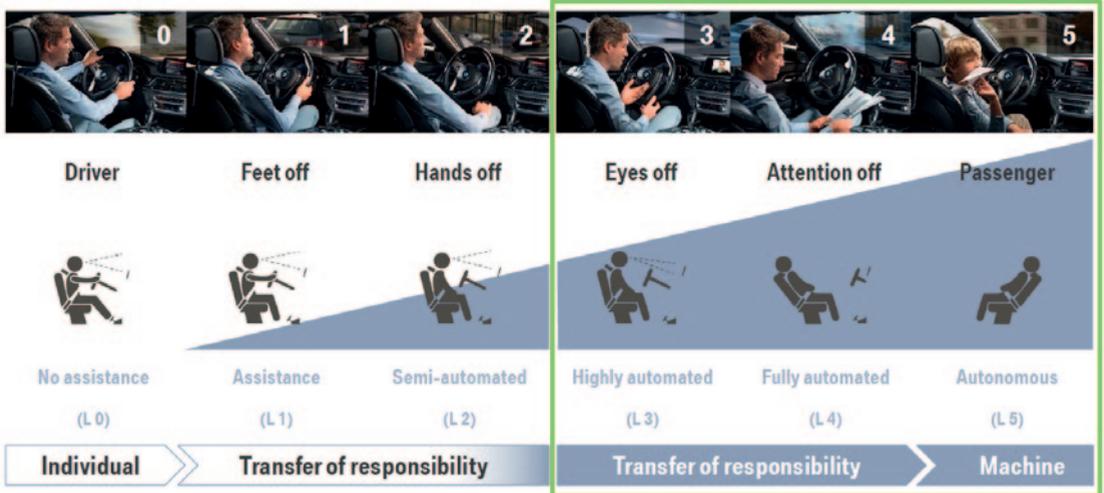


Abb. 1: Die unterschiedlichen Stufen der Automatisierung in der Fahrerassistenz

innerhalb einer angemessenen Zeit (einige Sekunden) wieder zu übernehmen.

- **Level 4:** Vollautomatisiertes Fahren im Stadtverkehr und in einer erweiterten Ausbaustufe im gleichgerichteten, vom Gegenverkehr abgegrenzten Verkehr. Der Fahrer kann während der Fahrt auf langen Strecken ggf. schlafen. Wesentlicher Unterschied zu Level 3: deutlich ausgedehnteres Zeitintervall bis zur erneuten Übernahme des Steuers (Mind off).
- **Level 5:** Autonomes Fahren, Lenkrad und Pedalerie sind nicht mehr zwingend erforderlich, Passagiere sitzen ohne Fahraufgabe im Fahrzeug; Fahrerlaubnis nicht erforderlich (Driver

off). Sofern Pedalerie und Lenkrad vorhanden sind, kann der Fahrer das Fahren übernehmen, muss aber niemals.

Die Automatisierungsstufen unterscheiden sich signifikant bezüglich der technischen Architektur, Redundanz- und Sicherheitskonzepte.

3. Kooperationspartner

Die BMW Group kann diese technischen Herausforderungen für das autonome Fahren nur mit entsprechenden Partnern umsetzen. Grundsätzlich sind hier vier große Themenfelder relevant, die mit unterschiedlichen Partnern abgebildet werden (siehe Abbildung 2).

Das Diagramm zeigt vier Themenfelder für die Implementierung des autonomen Fahrens:

- COOPERATION:** SENSORS: CAMERA, RADAR, LIDAR. OBJECT FUSION. ROAD MODEL. DRIVING STRATEGY/PLANNING. AUTONOMOUS DRIVING. Partner: BMW, MOBILEYE, intel, Continental, DELPHI, FCA, MAGNA, OEMs.
- HD-MAP:** CENTIMETER PRECISION. REAL-TIME CAPABLE. HIGHLY AVAILABLE AND RELIABLE. OEM-COOPERATION. Partner: BMW, Audi, here, intel, Mercedes-Benz.
- INFRASTRUCTURE 5G:** ULTRA LOW LATENCY. ULTRA HIGH RELIABILITY. ULTRA HIGH DATA RATES. 5G AUTOMOTIVE ASSOCIATION. Partner: BMW, Audi, Mercedes-Benz, intel, HUAWEI, NOKIA, Q.
- SENSOR STANDARD:** SENSORS: CAMERA, RADAR, LIDAR. COMPLEXITY REDUCTION. FLEXIBILITY. FUTURE-PROOF INTERFACE. INTERNATIONAL BOARDS & ASSOCIATIONS. Partner: Continental, DELPHI, BOSCH, Valeo, Intel, Mobileye, Autoliv, ISO, BMW, Audi, Mercedes-Benz, VDA.

Abb. 2: Industrieübergreifende Partnerschaften sind notwendig für eine erfolgreiche Implementierung des autonomen Fahrens



Abb. 3: Lösungsbausteine auf dem Weg zum autonomen Fahren

4. Digitale Karten in der Architektur

Für die technische Umsetzung des autonomen Fahrens sind unterschiedliche technische Elemente notwendig, die in Abbildung 3 illustriert werden. Neben der Onboard-Logik (Steuergeräte, Sensoren, Embedded Software) spielt das Backend einschließlich der Bereitstellung digitaler Karten eine zentrale Rolle.

Die hochgenauen Karten werden genutzt, um einerseits das Fahrzeug genau zu lokalisieren. Hierfür sind wichtige Elemente wie z. B. Fahrspurmarkierungen, Fahrbahnbegrenzungen, aber auch Landmarken, wie z. B. Ampeln oder Brücken, relevant. Diese werden dann mit den fahrzeugeigenen Sensorinformationen abgeglichen, um das Fahrzeug in Längs- und Querrichtung zentimetergenau zu lokalisieren. Hierfür reicht die Genauigkeit heutiger Navigationskarten nicht aus. Weiterhin dienen die Karten der Vorausschau. Heutige Fahrzeugsensorik (analog dem menschlichen Auge) kann nur einen begrenzten Sichtbereich erfassen. Verdeckungen bzw. Details weit vor dem Fahrzeug können nicht bzw. nur sehr ungenau erkannt werden. Hochgenaue Karten bilden hier eine wichtige Ergänzung.

5. Hochgenaue Karten

Heute verfügbare digitale Karten bilden das Verkehrsnetz so ab, dass eine Navigation ausreichend funktioniert, solange Menschen die endgültigen Entscheidungen treffen. Für automatisierte Fahrmanöver ist darüber hinaus spurgenaues Kartenmaterial mit Bezug zu den relevanten Umgebungsmerkmalen (Kurvenverlauf, Einengungen,

Sichtbeschränkungen usw.) eine wesentliche Voraussetzung. Gleiches gilt für die Verfügbarkeit von Zusatzinformationen, beispielsweise zur Infrastruktur, wie Positionen und Status von Lichtsignalanlagen, Wechselweganzeigern und Schildern. Bei höherer Umgebungskomplexität können auch dreidimensionale, hochgenaue Umgebungsmodelle, z.B. mit Fassaden, notwendig sein.

„Das autonome Fahren stellt ganz andere Anforderungen an eine digitale Karte. Sie ist nicht mit dem vergleichbar, was wir bislang kannten. [...] Diese Karte muss genauer sein, umfassender und muss sich noch stärker an der Echtzeit orientieren als die Karten, die wir derzeit im Einsatz haben. Sie braucht eine Verkehrszeichenerkennung, noch schnellere Real-Traffic-Informationen und möglichst auch eine dreidimensionale Darstellung. Zugleich werden auf der Karte auch Informationen über Steigungen oder Gefälle benötigt. Die Karte der Zukunft, die man für das automatisierte Fahren benötigt, muss sich im Zentimeterbereich bewegen. Die Karte fürs autonome Fahren, die Karte 3.0, werden wir ebenfalls im Minutenrhythmus updaten müssen. Karten müssen immer den landestypischen Gesetzmäßigkeiten angepasst werden, entsprechend ist die Karte kulturell geprägt.“

Christof Hellmis,

Leiter digitale Kartenplattform-Dienste bei HERE

Zumeist erfolgt die Datenerhebung für digitale Karten durch Auswertung von Satellitenaufnahmen und Befahrung der Strecken mit Spezialfahrzeugen, teilweise basiert sie auf Nutzerangaben. In jüngerer Zeit nimmt die Auswertung von großen

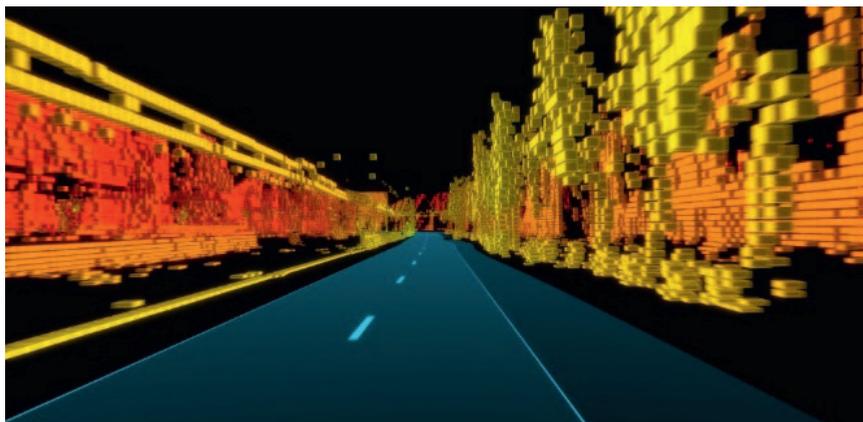


Abb. 4: TomTom RoadDNA

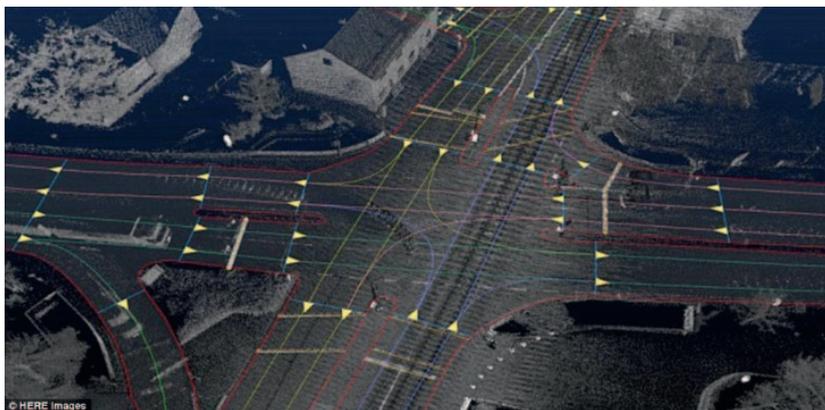


Abb. 5: Hochgenaue Karte von HERE

Datenmengen, die automatisch aus mobilen Nutzergeräten erfasst werden, einen breiteren Raum ein. Mit Hilfe dieses Verfahrens lassen sich Informationen schneller und in einem höheren Detaillierungsgrad sammeln und mit Zusatzinformationen anreichern. Der Veröffentlichung im Hintergrund geht allerdings ein aufwändiger, zeitintensiver Prozess zur Validierung und Bereitstellung voraus.

Durch hochauflösende Karten kann der Vorausschauhorizont über die Reichweite der Sensoren hinaus ausgeweitet werden. Somit besteht die Möglichkeit, Systemgrenzen bzw. Situationen, die ein hochautomatisiertes Fahrzeug in seltenen Ausnahmen nicht perfekt beherrscht, frühzeitig zu erkennen und die Fahraufgabe rechtzeitig wieder an den Fahrer zu übergeben. Zum anderen werden Zuverlässigkeit und Qualität der Umfeldprognose, die 360°-Umfeldwahrnehmung, durch Verwendung von hochpräzisiertem Kartenmaterial nochmals deutlich erhöht. So lässt sich beispielsweise der exakte Verlauf der Fahrspuren einer Karte entnehmen. In der Karte hinterlegte Landmarken ma-

chen zudem die exakte Bestimmung der eigenen Fahrzeugposition möglich. Beispiele hierfür sind die Ansätze von TomTom (siehe Abbildung 4) und HERE (siehe Abbildung 5). Hochgenauen Karten kommt daher eine essenzielle Rolle zur Beherrschung der enormen Herausforderungen des hochautomatisierten Fahrens zu, weswegen sich die BMW Group unter anderem am Kartenhersteller HERE beteiligt hat.

Gegenstand aktueller Konzeptentwicklung ist die Frage, wie hoch die Dichte der in der Karte hinterlegten Informationen sein muss. Ziel der Entwicklung ist es, den optimalen Kompromiss zwischen der Qualität und Menge an Karteninformationen einerseits sowie der Anzahl und Güte der verwendeten Fahrzeugsensoren bzw. der Intelligenz der Algorithmen andererseits zu ermitteln.

Anschrift des Autors

Dipl.-Inf. Hartmut Liefke M.Sc., BMW Autonomous Driving
Campus, Landshuter Straße 26, 85716 Unterschleißheim,
Deutschland.

E-Mail: hartmut.liefke@bmw.de