



Smart Adaptive Data Aggregation

www.projekt-sada.de

Abschlussbericht des Konsortiums

ZE:	Förderkennzeichen:
Siemens AG	01ME14002A
BASELABS	01ME14002B
NXP Semiconductors	01ME14002C
DFKI	01ME14002D
ALL4IP	01ME14002E
fortiss GmbH	01ME14002F

NXP Semiconductors Laufzeit des Vorhabens:

01.02.2015 – 30.04.2018

Berichtszeitraum:

01.02.2015 – 30.04.2018

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

**IKT FÜR
ELEKTROMOBILITÄT**

Table of Contents

Abschlussbericht des Konsortiums.....	1
1. Aufgabenstellung	3
2. Motivation und Notwendigkeit.....	5
3. Planung und Ablauf des Vorhaben	6
4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	8
5. Wesentliche Projektergebnisse	11
6. Veröffentlichungen des Ergebnisses.....	36

1. Aufgabenstellung

Das vom BMWI geförderte Verbundprojekt SADA (Smart Adaptive Data Aggregation) war ein innovatives Forschungsprojekt, realisiert von den Konsortialpartnern Siemens AG, fortiss GmbH, Baselabs GmbH, NXP Semiconductors, DFKI und ALL4IP TECHNOLOGIES im Zeitraum von Februar 2015 bis April 2018. Es wurden die Grundlagen für eine neue flexiblere Datenfusion entwickelt.

SADA erlaubt eine dynamische und voll-automatische Anpassung der Sensorkonfiguration und des dazugehörigen Fusionsprozesses, anhängig von der Verfügbarkeit der Sensoren. Dies erlaubt einen flexiblen Einsatz verfügbarer Sensoren und erweitert Möglichkeiten der Sensordatenfusion. Die intelligente Analyse der Sensordaten hilft bei der optimierten Auslastung der Verkehrswege und bietet eine höhere Sicherheit durch die Anwendung in innovativen Assistenzsystemen und beim autonomen Fahren. Durch die Arbeiten in diesem Projekt können auch bestehende Systeme flexibel erweitert werden.

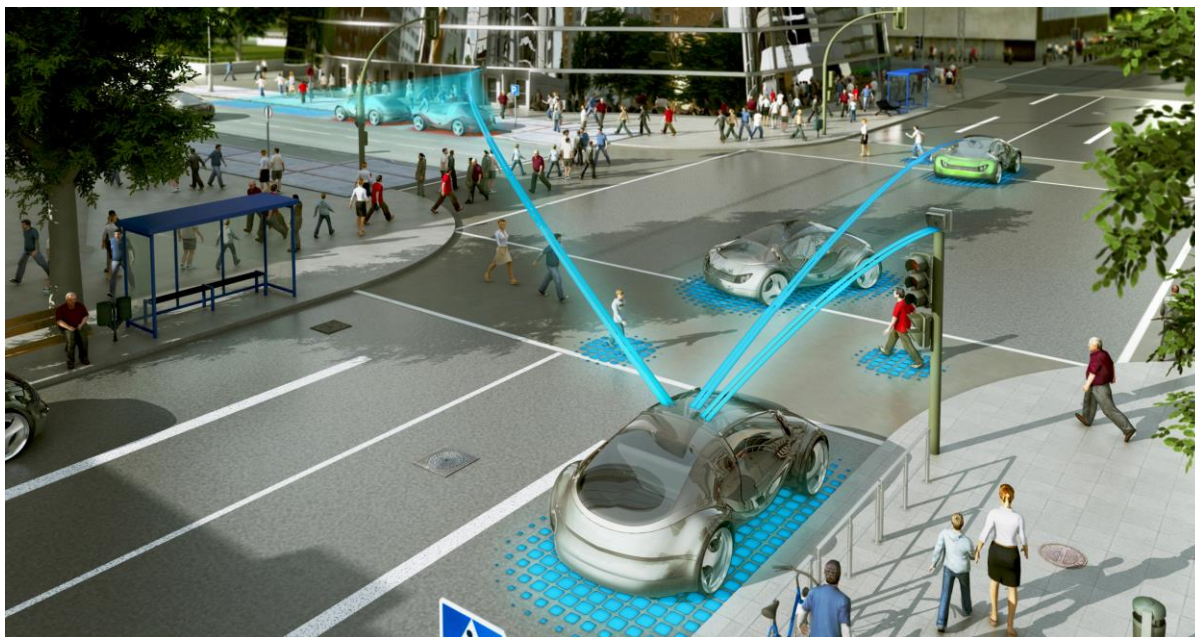


Abbildung 1: SADA Motivation

Moderne Fahrzeuge werden zunehmend mit sensorischen Komponenten ausgestattet. Durch die Anwendung von Advanced Driver Assistance Systems (ADAS), bis hin zum voll-autonomen Fahren, werden in Zukunft aus PKWs und LKWs fahrende Messstationen. Gleichzeitig ist die Verkehrsinfrastruktur zahlreicher Städte mit Sensoren ausgestattet, die aktuelle Informationen über Verkehrsflüsse, Straßenauslastung, Parkplatzbelegung etc. über die Car-2-X Schnittstelle an das Fahrzeug liefern.

Auch die Fahrer selbst bringen Sensoren mit. Nahezu jeder besitzt heutzutage ein Smartphone, dessen Kamera man über einen Plug&Play-Anschluss in die Sensorik eines Fahrzeuges einbringen und damit auch herstellereitig weniger gut ausgestattete PKW aufrüsten könnte.

Eine Kombination von Daten aus mobilen Einheiten und Infrastruktur ist heute noch nicht weit verbreitet. Damit sind viele Chancen einer potentielle Mehrwertgenerierung noch nicht optimal genutzt. Es fehlt eine Möglichkeit, die vielen vorhandenen Bausteine modularer zu nutzen und flexibel neu zu verknüpfen.

Wesentlicher Grund scheint die vertikale Integration der Funktionen zu sein, d.h. die Funktionen werden inklusive der dafür notwendigen Hardware und Software unabhängig voneinander entwickelt. Generell kann man folgende drei Bearbeitungsschritte identifizieren

- Erfassung der Umwelt durch den Sensor
- Interpretation der Werte auf Basis eines Modells (Umwelt, Fahrzeug, Fahrer)
- Reaktion durch die Applikation

In den meisten heutigen Systemen sind diese drei Ebenen / Komponenten nicht explizit vorhanden, sondern eng miteinander verwoben und in einem Block implementiert (Abbildung 2), so dass eine Wiederverwendung nahezu unmöglich ist. Eine Kooperation der verschiedenen Applikation wird damit sehr schwierig. Modelle sind zumeist in den Sensor und die Applikation einprogrammiert und nicht explizit vorhanden. Dies erzeugt eine ungenutzte Redundanz an Sensoren, Hardware und Software, und es verhindert die flexible Anpassung und Erweiterung von Services.

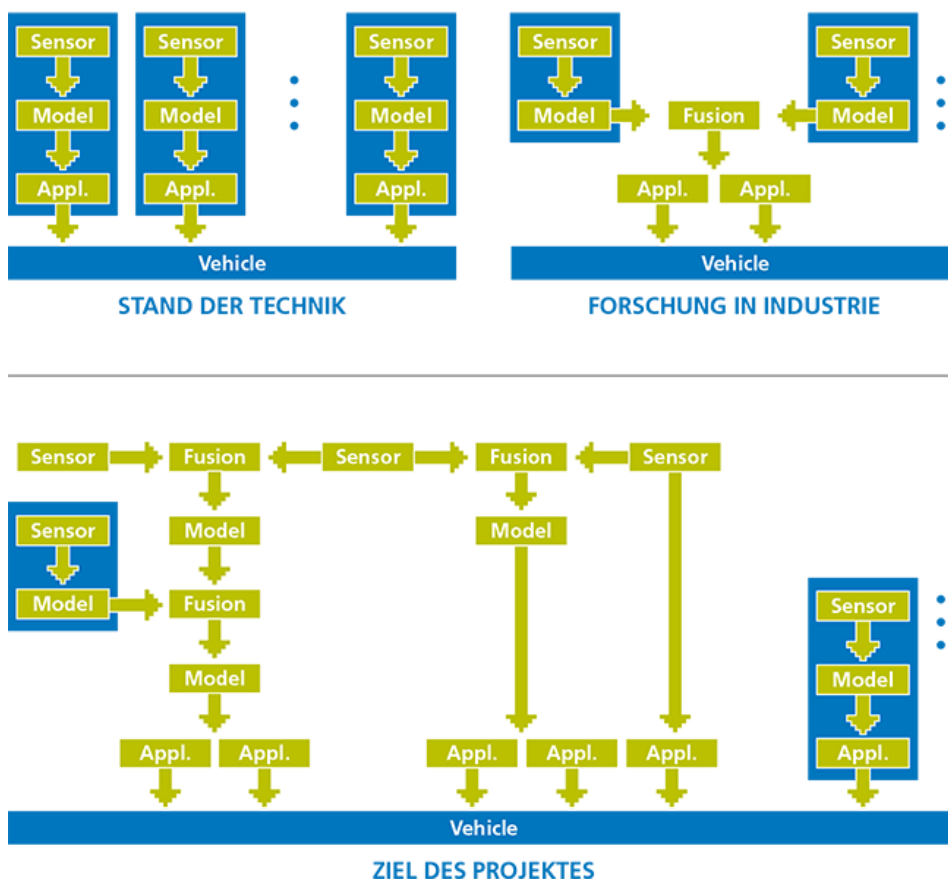


Abbildung 2: Vom Stand der Technik der verwobenen Komponenten hin zu einer flexiblen, modularen Datenfusionsstruktur

Desweiteren ist diese Form des Entwurfs und der Entwicklung nur dann möglich, wenn zum Entwurfsbeginn die notwendigen Daten und Sensoren vollständig bekannt sind. Sobald verschiedenste neue Fahrzeugkonzepte und Infrastrukturelemente zusammenarbeiten sollen, erscheint es jedoch fast unmöglich, zum Entwurfsbeginn alle sich potentiell ergebenden Datenquellen oder Anwendungsmöglichkeiten vorherzusagen. Daher sind Systeme notwendig, die auch beim Entwurf noch unbekannte Datenquellen oder Anwendungen nutzen können.

Primäres Ziel des hier des SADA-Projekt war es daher, eine Lösung zu entwickeln, die die im Auto vorhandenen Daten intelligent und sehr flexibel mit den Daten der stationären Sensor-Infrastruktur verknüpft, so dass neue Anwendungsideen schnell umgesetzt werden können.

In dem Verbundvorhaben SADA ist ein Pilotvorhaben beschrieben, das die Anwendung neuartiger Lösungen für die dynamische Integration und Auswertung von Daten zeigt.

Im SADA wurde ein Adaptions- und Fusionsprozess entwickelt, der in Echtzeit in der Lage ist, zu erkennen, welche Daten ihm zur Verfügung stehen, die relevanten Daten für den Anwendungsfall auswählt und somit eine schnelle Reaktion ermöglicht. Für die Vernetzung der Sensor-Daten unterschiedlicher Quellen wird eine Hochgeschwindigkeits-Kommunikationsarchitektur entwickelt, die Sensoren im Fahrzeug sowie außerhalb des Fahrzeugs (Car-2-X) mit den Recheneinheiten vernetzt. Um dies zu ermöglichen entwickeln die Projektpartner Technologien für modulare Sensorfusion, die den verschiedenen Beteiligten in der Wertschöpfungskette neue, IKT-basierte Geschäftsmodelle bietet und damit die Wettbewerbsfähigkeit im Bereich IKT für Elektromobilität stärkt.

Im Rahmen des Projektes wurde ein Demonstrator erstellt, der die Integration von stationären und mobilen Sensoren am Beispiel des geführten/autonomen Fahrens auf eine induktive Ladestation zeigt. Die Demonstrator-Video sind online zu finden:

- <https://www.youtube.com/watch?v=drmIRm0U7Ps&t=2s>
- <https://www.youtube.com/watch?v=To43nogdRo8>

Als Demonstrator war ursprünglich die von Siemens in einem Vorläuferprojekt entwickelte RACE-Hardwareplattform vorgesehen. Nach einem Beschluss der Siemens AG vom Februar 2016, ihre Aktivität im Bereich "IKT für Automotive" einzustellen, wurde die Siemens-Abteilung CF NTF RACE im April 2016 aufgelöst, so dass die RACE-Plattform nicht länger für SADA zur Verfügung stand. Als Ersatz stellte das DFKI seine Forschungsplattform EO smart connecting car 2 (EOsc2) bereit. Die Erweiterung des Basisfahrzeugs um potentiell verschiedene Arten von Extendern (Ladefläche, Sitzplätze, Range-Extender) mit verschiedenen Arten zusätzlicher Sensoren sollte Änderungen der Sensortopologie verursacht durch Änderungen der Morphologie demonstrieren. Die Kombination eines kleinen Elektro-Stadtfahrzeugs mit einem Extender (etwa zur Ladeflächenenerweiterung oder als Range-Extender zur Reichweitensteigerung) traf dabei die typischen Probleme der aktuellen Elektromobilität.

2. Motivation und Notwendigkeit

Wie in der Vorstudie „Mehr Software (im) Wagen“ ausgearbeitet, hat die Komplexität der heutigen IKT-Architektur ein Ausmaß erreicht, das die Implementierung neuer Software-basierter Innovationen zeitaufwändig und teuer macht. Es gilt daher rasch zu handeln und de-facto Standards zu setzen, und nicht auf erfahrungsgemäß langwierige Änderungen der IKT-Architektur durch Standardisierungsgremien wie z.B. AUTOSAR zu warten. Hierdurch kann ein Wettbewerbsvorsprung für spätere europäische/weltweite Projekte und Standardisierungsaktivitäten geschaffen werden.

Im Projekt RACE (Robust and reliable Automotive Computing Environment for future eCars) wurde hierzu eine neuartige IKT-Architektur für Elektrofahrzeuge realisiert. Durch Verwendung einer zentralisierten Rechnerplattform und eines homogenen Kommunikationsnetzes auf Basis von Real-Time Ethernet wurde zunächst die physikalische Struktur der E/E Architektur deutlich vereinfacht. Die darauf aufsetzende Middleware stellte Basismechanismen für Safety und die Erweiterbarkeit durch neue Komponenten zur Laufzeit („Plug & Play“) bereit.

SADA ergänzte die generelle Zielrichtung von RACE, die Komplexität der Fahrzeug-IKT zu reduzieren und die Basis für die Bereitstellung SW-basierter Innovationen im Fahrzeug zu unterstützen.

RACE fokussierte sich zunächst auf die IKT *im* Fahrzeug. Durch die zunehmende Integration von zahlreichen Sensoren im Fahrzeug, in der Infrastruktur und in den Energienetzen wurden zunehmend große Datenmengen zur Umfelderkennung, -bewertung und für Prognosen bereit-gestellt, die die Interaktion zwischen den Partnern des Dreiecks „Smart-Car – Smart-Traffic – Smart-Grid“ wesentlich beeinflusste. In vielen abgeschlossenen und laufenden Forschungsprojekten versuchte man dem Aspekt der Vernetzung prinzipiell insbesondere auf kommunikativer Ebene Rechnung zu tragen und neue Steuerungsaufgaben und Geschäftsmodelle zu ermöglichen. SADA ergänzte diese Arbeiten, in

dem es eine Möglichkeit bereitstellte, auf diese Informationen aus Anwendungssicht geeignet zuzugreifen.

Vorher war dem Aspekt der qualitativen Vernetzung von Sensordaten und der Vernetzung der entsprechenden Auswertungsverfahren wenig Aufmerksamkeit geschenkt worden. Aus Sicht vieler Anwendungen warten zu den verfügbaren bzw. eingesetzten Sensoren und Kommunikationstechnologien die Vertrauenswürdigkeit, Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Objekte nicht ausreichend bekannt. Der SADA-Ansatz ermöglichte eine deutliche Verbesserung dieser Qualitätseigenschaften und hierdurch auch eine Schaffung einer solideren Basis für die Zustandserkennung und Umwelterfassung, die die Absprungbasis für deutlich verbesserte Prognosen und aus Benutzersicht besser akzeptierte Anwendungen bot.

Die in SADA entwickelte Plattform für modulare Sensorfusion ermöglicht für verschiedene Stakeholder in der Wertschöpfungskette neue, IKT-basierte Geschäftsmodelle und hierdurch die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit im Bereich IKT für Elektromobilität:

- Für Anbieter von Informationen, wie beispielsweise Betreiber von IKT-Systemen für Verkehrssteuerung oder Parkraumanbieter, ermöglicht SADA die Bereitstellung der Informationen zu einem größeren Nutzerkreis und damit die Generierung von zusätzlichem Umsatz.
- Die neue Rolle eines „Datenaggregators“ ermöglicht es, aus der Konfiguration und Bereitstellung von multiplen Sensorinformationen Mehrwert zu generieren. Hier sind verschiedene Modelle denkbar, beispielsweise die Lizenzierung der Plattform an Fahrzeughersteller, aber auch das Anbieten des Dienstes im Backend („Cloud“).
- Anbieter von Anwendungen können nun auf Basis von SADA neue Anwendungen schneller und flexibler entwickeln. Da sie hierbei nicht auf die Spezifika der verfügbaren und verbauten Sensoren Rücksicht nehmen müssen, reduziert sich der Aufwand für Anpassung an spezielle Situationen und Fahrzeugtypen.

Ein wesentliches Ziel des Förderprogramms IKT für Elektromobilität II ist die ganzheitliche Betrachtung von Anwendungen, Diensten und Geschäftsmodellen, die sich aus der Wechselwirkung zwischen den Themenfeldern „Smart Car“, „Smart Grid“ und „Smart Traffic“ ergeben. Das Projekt SADA stellte für die Entwicklung solcher Dienste eine technologische Basis bereit, in dem Informationen aus diesen drei Bereichen in einer einheitlichen Beschreibung und auf einer einheitlichen Plattform zusammengeführt, aufbereitet und bereitgestellt werden können. Somit wurde durch Datenfusion eine Grundlage geschaffen

- für eine Erhöhung der Akzeptanz von Elektromobilität durch Steigerung der Leistungsfähigkeit der elektromobilen Verkehrsträger,
- eine intensivere Vernetzung von Elektrofahrzeugen und Netzinfrastruktur, um gegenseitigen Mehrwert zu schaffen und
- die Optimierung von Verkehrsflüssen, wodurch insgesamt die Effizienz des volkswirtschaftlichen Gesamtsystems gesteigert wird.

Die Beherrschung dieser neuen Technologie ist einerseits ein wichtiger Baustein für die technologische Weiterentwicklung der deutschen Industrie und dient damit nachhaltig dem Erhalt der Wertschöpfung in der heimischen Volkswirtschaft. Andererseits fördert diese Technologie die Umsetzung des Masterplanes der deutschen Bundesregierung eine Million Elektrofahrzeuge bis 2020 auf die Straße zu bringen, indem die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen und ihr Mehrwert für andere Ökosysteme deutlich gesteigert werden kann.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt gliedert sich in 10 Arbeitspakete, die in der Laufzeit von insgesamt 39 Monaten (inklusive einer kostenneutralen Verlängerung von drei Monaten) bearbeitet wurden.

AP 0: Projektmanagement

Das Arbeitspaket umfasst alle Aufgaben in Bezug auf das Projektmanagement, sowohl in Bezug auf das administrative Projektmanagement als auch in Bezug auf die technische Koordination zwischen den Arbeitspaketen. Die Leitung dieses Arbeitspakets übernimmt die Siemens AG.

AP 1: Anforderungen

In diesem Arbeitspaket werden zu Beginn des Projektes die Anforderungen und Erwartungen der Partner an das Projektergebnis definiert. Die Erwartungen an später entwickelte Märkte werden definiert. Über Gespräche mit potentiellen Kunden soll das Bild eines späteren Produktes ideell geformt werden. Die Leitung dieses Arbeitspakets übernimmt die Siemens AG.

AP 2: Architektur

Ziel dieses Arbeitspakets ist es, ein gemeinsames Verständnis über die Gesamtarchitektur herzustellen und zu dokumentieren. Dies bildet die Voraussetzung für Entwurf und Implementierung der Einzelkomponenten sowie für deren spätere Integration. Die Leitung dieses Arbeitspakets übernimmt die Siemens AG.

AP 3: Kommunikation

Ausgehend vom Stand der Technik wird die Kommunikationsstruktur für ein Fahrzeug, im speziellen zur Sensordatenfusion, ausgewählt und spezifiziert. Eine geeignete Netzwerktopologie zur breitbandigen Kommunikation im Fahrzeug zwischen hochintegrierten Recheneinheiten (In-Car) aber auch aus dem Fahrzeug heraus (Car2X) wird entwickelt. Des Weiteren werden Anbindung und Zusammenspiel des Fahrzeuges mit seiner Umgebung ausgearbeitet. Die Leitung dieses Arbeitspakets übernimmt NXP Semiconductors.

AP 4: RTE und Backend

In diesem Arbeitspaket wird die Ausführungsplattform bereitgestellt, bestehend aus Hardware, Kommunikationskanälen, einem Betriebssystem und einem Run-Time Environment (RTE). Darüber hinaus wird ein Backend für die Datenhaltung und Vermittlung entwickelt. Zudem wird eine Kommunikation zwischen Backend, mobilen Einheiten und dem Fahrzeug erarbeitet. Die Leitung dieses Arbeitspakets übernimmt fortiss GmbH.

AP 5: Beschreibung auf Bedeutungsebene

Ziel dieses Arbeitspakets ist es, die Prinzipien für eine verständliche Beschreibung der relevanten Eigenschaften der insgesamt verwendbaren Ressourcen zu entwickeln. Dabei werden die für den Demonstrator relevanten Komponenten geeignet beschrieben und Inferenzmethoden bereit gestellt, auf denen die automatische Konfiguration beruht. Die Leitung dieses Arbeitspakets übernimmt die Siemens AG.

AP 6: Fusionsmodell

Ziel dieses Arbeitspaketes ist die Erstellung von Werkzeugen (konkret Softwarebibliotheken bzw. – Applikationen) zur hochautomatisierten Erstellung von Fusionsmodellen aus Konfigurations- bzw. Beschreibungsdaten, die von den Fusionsalgorithmen in AP7 direkt genutzt werden können. Die Leitung dieses Arbeitspakets übernimmt BASELABS.

AP 7: Datenfusion

Ziel ist die Entwicklung und Implementierung der Methoden welche die Verbindung von Sensorrohdaten und zugehöriger Metadaten im System erlauben. Im Arbeitspaket werden eine Reihe generischer Fusionsalgorithmen entworfen, die den Übergang von einer datendichten Umgebung,

d.h. auf Sensor-ebene, zu einer informationsdichten Umgebung, d.h. auf Zustandsebene ermöglichen. Die Leitung dieses Arbeitspakets übernimmt fortiss GmbH.

AP 8: Demonstrator

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wird auf Basis vorhandener Fahrzeuge ein Demonstrator für die Projektergebnisse erarbeitet. Hierzu werden zu Projektbeginn geeignete Demonstrationsszenarien definiert sowie im Rahmen diese Arbeitspakets Applikationen entwickelt und auf einem Versuchtsträger integriert. Zur Evaluierung der Zielerreichung werden geeignete Kriterien festgelegt, deren Erreichung während der Projektlaufzeit kontinuierlich verfolgt wird. Die Leitung dieses Arbeitspakets übernimmt die Siemens AG.

AP 9: Öffentlichkeitsarbeit

Aufgabe dieses Arbeitspaketes ist die Außerdarstellung der Projektergebnisse, die Koordination der Projektarbeiten mit der Begleitforschung und der intensive Austausch mit den Partnerprojekten aus dem Forschungsschwerpunkt IKT für Elektromobilität II. Darüber hinaus erfolgt der Austausch mit interessierten Partnern aus der Automobil- und Zulieferindustrie. Die Leitung dieses Arbeitspakets übernimmt die Siemens AG.

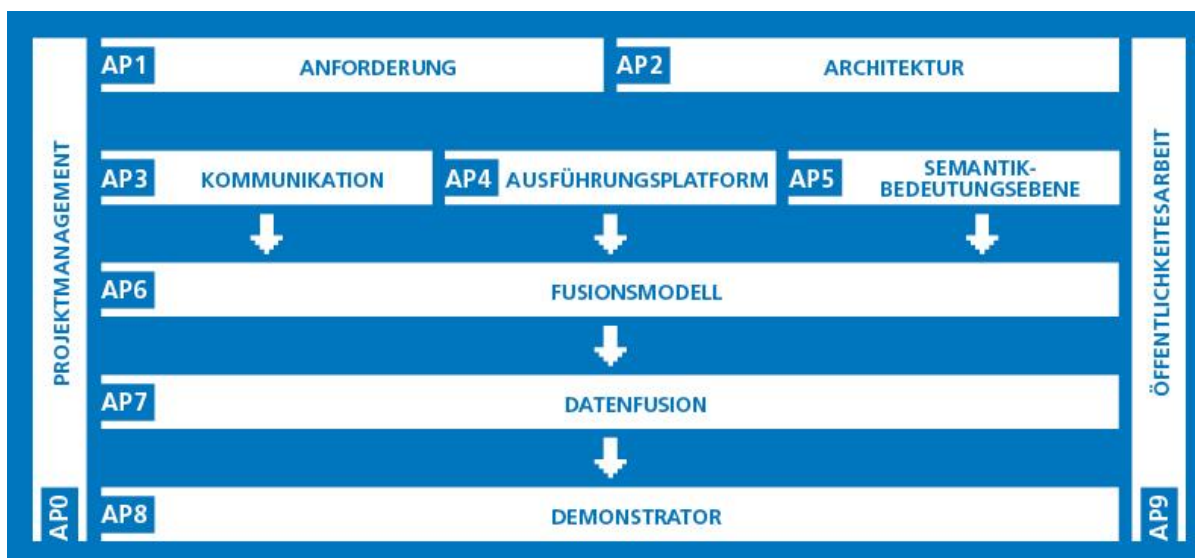


Abbildung 3: Projektstruktur

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Der Gegenstand des Projektes SADA ist die modulare flexible Sensordaten-Fusion, sowohl innerhalb des Fahrzeugs als auch über Fahrzeug- und Infrastrukturgrenzen hinweg.

Der F&E Ansatz von SADA ist, die Eigenschaften der Sensoren, der Einsatzumgebungen und der zu verwendenden Algorithmen explizit zu modellieren und diese Modelle mit den Daten zusammen zur Verfügung zu stellen. Dadurch ist es sinnvoll, neben Informationen auf höherer Ebene auch Sensordaten, aggregierte Sensordaten und interne Repräsentationen einzeln zu verteilen. Das Sensordatenfusionssystem, das diese Informationen zusammenfügt, kann aufgrund der Information auf der Bedeutungsebene aus den verfügbaren Ressourcen automatisch konfiguriert werden. Technisch gesehen bedeutet Sensordatenfusion meist probabilistische Inferenz.

Dieser Ansatz setzt auf einige Vorarbeiten auf, und parallel dazu werden teilweise ähnliche Ziele verfolgt.

In der Robotik sind einige Middleware-Systeme entwickelt worden, die den Entwurf von intelligenten Robotern unterstützen. Intelligenter Roboter meint dabei solche Roboter, die durch Sensoren und durch Zugriff auf generelle Modelle der Einsatzumgebung eine interne Darstellung der konkreten Umgebung erzeugen und aufgrund dieser Modelle und Herleitung von Aktionen in dieser Umgebung sinnvoll autonom agieren. Der aktuell bedeutendste Vertreter dieser Systeme ist ROS – es repräsentiert gut den Stand dieser Arbeiten. ROS hat eine Publisher-Subscriber Architektur, d.h. die Nachrichten werden als Topics verbreitet. Die Topics können von Sensor-Rohdaten über aggregierte Daten bis hin kompletten Darstellungen der Umgebung reichen. Die Datenstruktur der Topics ist explizit beschrieben auf der Grundlage von in ROS vereinbarten Typen. Auch Eigenschaften von Sensoren werden beschrieben, wie z.B. die Zahl der Pixel bei einer Kamera und ihre Kalibrierparameter. Auch wenn in den Namen der Topics Hinweise auf die Bedeutung der darin enthaltenen Information enthalten sein mögen - über diese Bedeutung wird keine Inferenz gebildet.

Dies ist vergleichbar mit dem Stand der Arbeiten zu „Functional Mock-Up Units“ und „Functional Mock-Up Interfaces“, wo ablauffähige Simulations-Teilmodelle von Systemen bereitgestellt werden und die Bedeutung der Variablen in einem xml-File beschrieben werden kann, aber nicht muss. Auch hier ist diese Bedeutungsebene nicht normiert und eine automatische Konfiguration des Gesamtsystems daher schlecht unterstützt.

In den bisherigen Projekten zur Cooperativen ITS entspricht der Abstraktionsgrad meist einzelnen Verkehrereignissen oder Verkehrssituationen. Die Standardisierung dieser für Sicherheit und Nachhaltigkeit relevanten Informationen ist unterwegs, viele entsprechende sind veröffentlicht und im Prozess der Abstimmung. Bisher wird die Beschreibungsebene darunter, also Umgebungsmodelle wie Objektlisten und Belegungsgitterkarten, nur von je einem Hersteller und innerhalb eines Fahrzeugs verwendet, nicht über-greifend. Entsprechend sind die Normierungsvorschläge für diese Ebene darunter derzeit noch in einer frühen Phase.

Die formale Beschreibung der Bedeutung von Informationen und ihrer Zusammenhänge ist Gegenstand der KI-Forschung, die Stichworte sind hier Vocabulary, Schema oder Ontologie, und logische Inferenz. Die Unterschiede der Formalismen bestehen darin, welche und wie tiefgehende Inferenz im jeweiligen System möglich ist. Schwerpunkt der Anwendung dieser Techniken ist das „semantic web“, wo die Bedeutung der Inhalte von Webseiten mittels vereinbarter Ontologien vermittelt wird.

Innerhalb von SADA wollen wir herausfinden, ob die Formalismen zur Beschreibung von Information, wie sie für das Semantik Web entwickelt wurden und dort verbreitet sind, eine Ergänzung, Unterstützung oder Alternative werden können für den Normierungsprozess.

Abgrenzung

Den Straßenverkehr durch den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnik sicherer und effizienter machen, ist eine wichtige Herausforderung. Daher wurden bisher schon einige Forschungsvorhaben mit diesem Ziel durchgeführt, wobei das vorgeschlagene Projekt SADA zwar darauf aufbaut, aber wesentliche Erweiterungen erreichen will. In diesem Abschnitt beschreiben wir schwerpunktmäßig deutsche Projekte und EU Projekte – in anderen Teilen der Welt findet ähnliche Forschung statt.

Im relativ breit angelegten Projekt Aktiv-Online, gefördert von BMWi und BMBF, wurden von 2007 bis 2010 Techniken entwickelt, mit denen sowohl auf der Verkehrsleitebene Informationen gesammelt und verbreitet wurden, als auch einzelne Techniken zur Verbesserung der aktiven Sicherheit innerhalb von Fahrzeugen und einige Ansätze zur Verbesserung der Ergebnisse durch Car2Car Kommunikation. Die ausgetauschte Information liegt in diesen Projekten eher auf der Ebene der Ereignisse im Verkehr und der Verkehrssituationen. Im Gegensatz dazu ist bei SADA das Ziel, Informationen bis hinunter zu Sensordaten sowohl innerhalb von Fahrzeugen als auch über Fahrzeuge und Infrastruktur hinweg verfügbar und verständlich zu machen.

Etwa zeitgleich fand auch das europäische Forschungsprojekt *coopers* (von 2006 bis 2010) statt. Hier war der Schwerpunkt ein kooperatives Verkehrsmanagement, insbesondere gestützt durch car-to-infrastructure Kommunikation. Wesentlicher Bestandteil des Projekts waren ausgedehnte Feldtests, mit denen die Eignung der drahtlosen Kommunikationswege nachgewiesen wurde. Weiteres Ergebnis war, dass die Fahrer die Leitung durch Verkehrsmanagement akzeptieren und durch die zusätzliche Information nicht abgelenkt werden. Austausch von Information auf unterer Ebene war nicht Gegenstand der Untersuchung.

Anders gelagert war das Projekt *Ko-FAS* von 2009 bis 2013, gefördert vom BMWi. Hier wurde untersucht, wie mittels kooperativer Komponenten (unter anderem aktive, intelligente RFID Tags bei allen Verkehrsteilnehmern wie Fahrzeugen, Radfahrern und Fußgängern) die Sicherheit des Straßenverkehrs verbessert werden kann. Hier lag der Fokus auf der technischen Machbarkeit solcher Sensoren und der damit erreichbaren Leistungsmerkmale wie Genauigkeit und Robustheit der Messung von Ort und Geschwindigkeit, sowie der Integration dieser Informationen zu einem Gesamtszenario. Für die Kommunikation wurde wie auch in anderen Projekten der Standard IEEE 802.11p eingesetzt. Die an andere Teilnehmer übertragenen Inhalte dieser Kommunikation waren aber nicht Daten auf niedriger Ebene oder gar Sensorrohdaten, sondern wiederum aggregierte Informationen.

Die Ansätze zur verbesserten Verkehrsführung wurden weiter entwickelt und vor allem im breiten praktischen Einsatz getestet in den Projekten *Drive2X*, *Testfeld Telematik* und *SimTD*.

Im europäischen Projekt *Drive2X* wurde von 2011 bis 2013 ein europaweiter Test der verbesserten Funktionen im Verkehr durchgeführt, auf der Basis der entstehenden Standards für die Übertragung von Informationen über Verkehrereignisse und über Situationen im Straßenverkehr.

Der Nachweis sowohl der technischen Funktion der Informationsinfrastruktur als auch der Wirksamkeit für effizienteren und sicheren Verkehr wurde ebenfalls im deutschen Projekt *SimTD* von 2008 bis 2013 geführt, gefördert von BMWi, BMBF und BMVI. Auch hier lag der Schwerpunkt auf der Car-to-X Kommunikation und dem Austausch von Verkehrssituationen und Verkehrereignissen.

Insgesamt haben diese Forschungsaktivitäten die Gewissheit erbracht, dass die sichere, robuste Kommunikation von Verkehrsinformationen zwischen Fahrzeugen sowie zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur technisch und organisatorisch machbar ist und zu einem sichereren und effizienteren Verkehr führt. Im Verlauf entstanden entsprechenden Normen und Standards für diese Kommunikation.

Ausgehend von diesem Stand sollen in *SADA* die Inhalte der zwischen Fahrzeugen und Umgebung ausgetauschten Information erweitert werden, damit auch solche Sensordaten zusammengeführt und mit einander fusioniert werden können, die verteilt bei verschiedenen Sensoren im Fahrzeug oder über Fahrzeuge und Infrastruktur verteilt entstehen. Die Bedeutung der Informationen soll explizit beschrieben und kommuniziert werden, so dass das Gesamtsystem sich automatisch situationsgerecht konfigurieren kann. Dies bietet das Potential von noch besserer Wahrnehmung der Verkehrssituation und der Situation der einzelnen Fahrzeuge, bei reduziertem Gesamtaufwand für die Sensorik und vereinfachtem Engineering. 28.08.2014 11

Aber nicht nur bei der Kommunikation zwischen Fahrzeug und Außenwelt sind Fortschritte erzielt worden. Auch fahrzeugintern ist schon ein Fundament für Vernetzung gelegt und wiederverwendbar. Der jüngst entwickelte Standard für Automotive Ethernet „*BroadReach*“ bringt einen Fortschritt in der Zuverlässigkeit der Übertragung der Daten, sowie ein kostengünstiges Übertragungsmedium (Zwei-drahtleitung). Der Standard für die physikalische Ebene wurde in der Industrieinteressengruppe www.opensig.org entwickelt. Bislang wurde *BroadReach* für die Übertragung von Bilddaten im Fahrzeug vorgesehen, die Darstellung eines Backbone Systems ist neu und Inhalt der architektonischen Arbeiten des Projektes *SADA*.

Das Thema generisch Datenfusion war Teil des Teilprojektes *ProFusion2* im EU-Projekt *PREVENT*. Dort lag der Schwerpunkt vor allem auf einem generischen Datenspeicher für Datenfusionsanwendungen

(„Perception Memory Object“), adaptive oder gar kontextsensitive Datenfusionsverfahren wurden hingegen nicht betrachtet. In nachfolgenden EU-Projekten zum Thema Verkehrssicherheit wurde vielfach an konkreten Datenfusionsalgorithmen gearbeitet, ohne jedoch die Themen Adaptivität und Kontextsensitivität aufzugreifen. Daher grenzt sich SADA vor allem durch seinen modularen Datenfusionsansatz deutlich von bisherigen Projekten ab.

5. Wesentliche Projektergebnisse

AP1- Anforderungen

Für die Erarbeitung der Anforderungen an das SADA System, wurden zunächst drei Szenarien beschrieben. Dies sind kurze Geschichten wie sie mit Hilfe des SADA Systems passieren könnten. Mit dem Szenario 1 „Schneller Entwurf von Datenfusionssystemen“ soll gezeigt werden wie mit SADA die die Entwicklung von Sensorfusionssystemen beschleunigt und vereinfacht werden kann. Mit dem Szenario 2 „Plug&Play“ soll gezeigt werden, wie vorhandene Sensoren adaptiv in die Datenfusion mit eingefügt werden, um genauere Echtzeitinformation über die Umgebung des Fahrers zu generieren. Das Szenario 3 "Kooperatives Lernen" zeigt, wie Fahrsicherheit und Fahrkomfort erhöht werden durch die Verknüpfung von über einen langen Zeitraum gesammelten Daten zahlreicher mobiler und stationärer Sensoren in einem zentralen Backend. Aus vielen einzelnen Daten werden kooperativ neue, hilfreiche Informationen gelernt zur Verbesserung der Datenfusion bei den SADA Teilnehmern.

Anhand dieser informellen Beschreibungen wurden für die verschiedenen Szenarien Use Cases erstellt, die konkret beschreiben welche Akteure notwendig sind, wie ein Ablauf angestoßen wird und welche Ausgabe erwartet wird. Im letzten Schritt wurden über eine Anforderungsanalyse aus den Use Cases dann die Anforderungen für die verschiedenen Komponenten des SADA Systems erstellt. Hierbei wurden funktionale und nicht-funktionale Anforderungen betrachtet um neben der reinen funktionalen Umsetzung auch Qualitätsanforderungen und ggf. Einschränkungen des Systems zu betrachten. Hierzu dienen ebenfalls die Use Cases und die Szenarien als Grundlage. Die Szenarien, Use Cases und Anforderungen sind im D1.1 Szenarien und Anforderungsanalyse dokumentiert.



Abbildung 4: Szenario 2 „Plug&Play“

Darüber hinaus Wesentliche Ergebnisse dieses Arbeitspakets waren die Erforschung der "State of the Art" Technologien, die weiter verwendet können, um unseren Use Case für adaptive Data Fusion Architektur zu stärken. Diese Technologien zeigen auch die Herausforderungen an die aktuelle Architektur. Insgesamt wurden etwa 50 Publikationen von Top-Konferenzen (z.B. ICRA, IV, ITSC, MFI) untersucht.

Im Rahmen von AP 1 wurde das Dokument D1.3 erstellt, wo das SADA Business Ecosystem definiert und untersucht wird. D1.3 ergänzt das aktuelle Dokument D1.1 mit Geschäftsmodellen, die auf die hier beschriebenen Szenarien und Use-Cases entwickelt werden. Sie betrachten die gesamte Wertschöpfungskette von den Zulieferern der Sensor- und Kommunikationstechnologie über die Betreiber von Backend-Plattformen bis zu den Anbietern von Endkundendienstleistungen auf der Basis veredelter Daten.

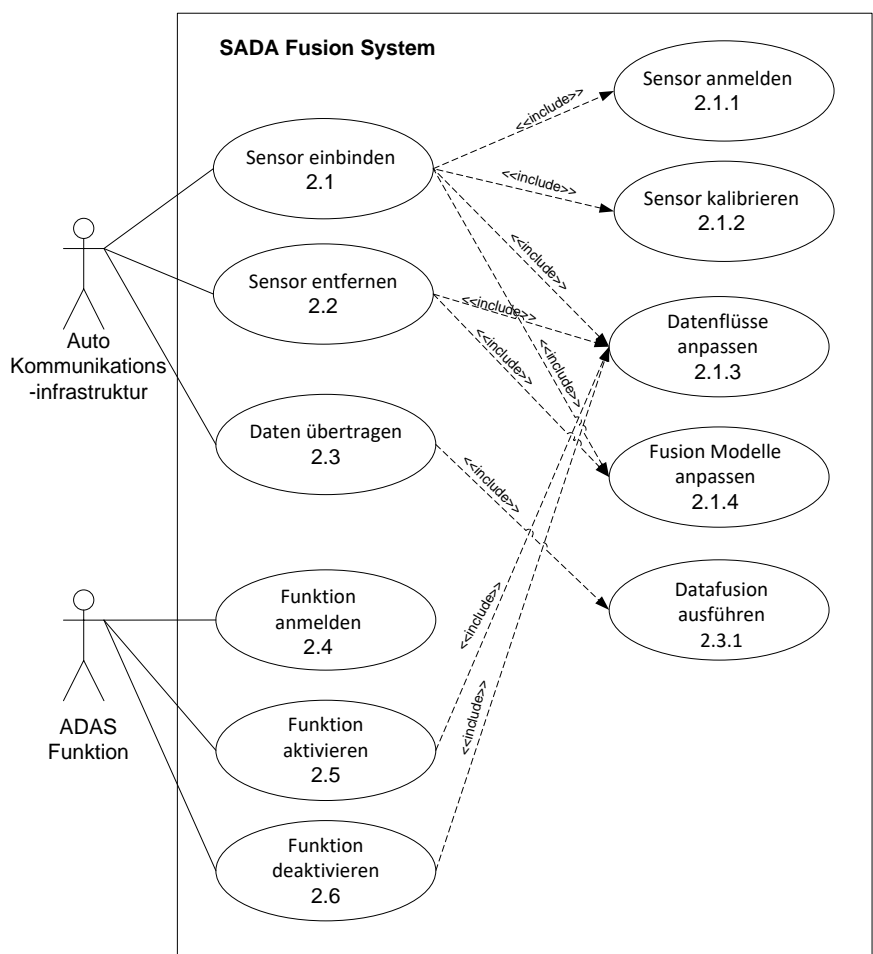


Abbildung 5: Use Cases Diagram Scenario 2

AP2 –Architektur

Die Arbeit am AP1 bildet die Grundlage für die SADA-System-Architektur (Abbildung 6). Die Definition der SADA-Architektur ist von der Siemens AG geleitet und wurde im Juli 2015 begonnen. Im Rahmen des AP2 ist ein Dokument entstanden, das die Arbeiten an AP2.1–Funktionale Systemarchitektur, an AP2.2–Kommunikation Architektur und an AP2.3-System Architektur Demonstrator beschreibt. Das Dokument wurde im 2017 weiter gepflegt und übergearbeitet. Auf Grund der bekannten Änderungen im Projekt (das RACE-Auto wurde nicht mehr als Demo-Plattform benutzt sondern das Konzept Auto

- EO2 von DFKI Bremen) sind die System- und Kommunikationsarchitektur angepasst worden. Die Ergebnisse wurden mittels des Software-Werkzeuges Enterprise Architekt modelliert.

In Rahmen des AP2 entwickelte der Siemens AG zusammen mit fortiss ein neues und innovatives Architektur-Konzept für Sensor Fusion Systemen. Abbildung 7 zeigt die grundsätzliche funktionale Architektur des Fusionssystems in SADA. Es sind drei wesentliche Komponenten zu sehen (Ovale): In der Mitte „Fusion“, der eigentliche Algorithmus zur Sensordatenfusion. Das kann z.B. ein Kalman-Filter sein, ein Faktor-Graph-Solver oder ein anderer Standard-Algorithmus der Datenfusion. Außerdem gemeint ist hier die ganze Kette an notwendigen Schritten der Vorverarbeitung, Feature-Berechnung, Daten-Assoziation, usw. Der Übersichtlichkeit wegen sind diese hier nicht explizit dargestellt. Diese ganze Pipeline an Berechnungsschritten wird im Folgenden als Operator-kette bezeichnet. Im Wesentlichen entspricht dieser mittlere Teil einem typischen heute üblichen Fusionssystem - mit einer großen Ausnahme: Alle wesentlichen Modelle und Parameter sind zur Laufzeit konfigurierbar.

Links sieht man „Konfiguration“, eine Komponente die nach aktueller Verfügbarkeit und Nützlichkeit entscheidet welche Sensorsignale einbezogen werden sollen und mit welcher Kette an Operatoren diese bearbeitet werden. Das hängt ab vom aktuellen Nutzen (in der Anwendung) und den Kosten (im Sinne von Bandbreite und CPU-Ressourcen). Als Ergebnis erhält man die „Fusions-Topologie“, mithilfe derer die Middleware die passenden Verbindungen schaltet.

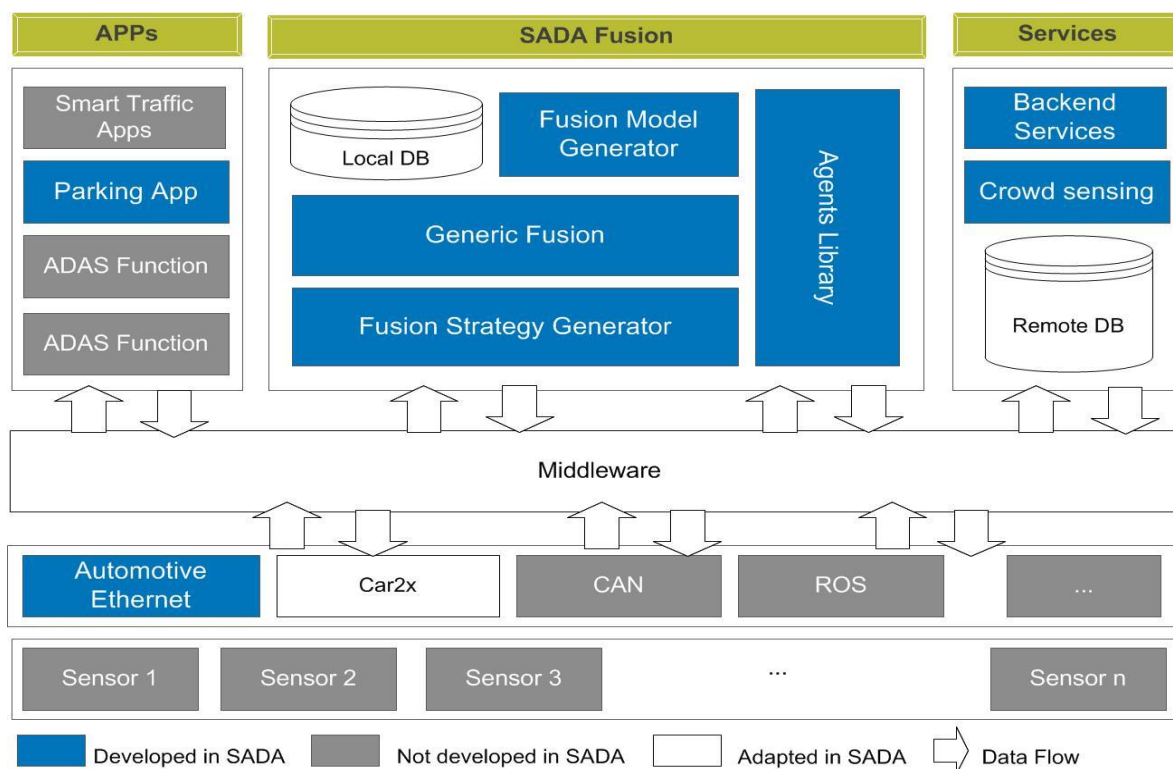


Abbildung 6: SADA Layer Architektur

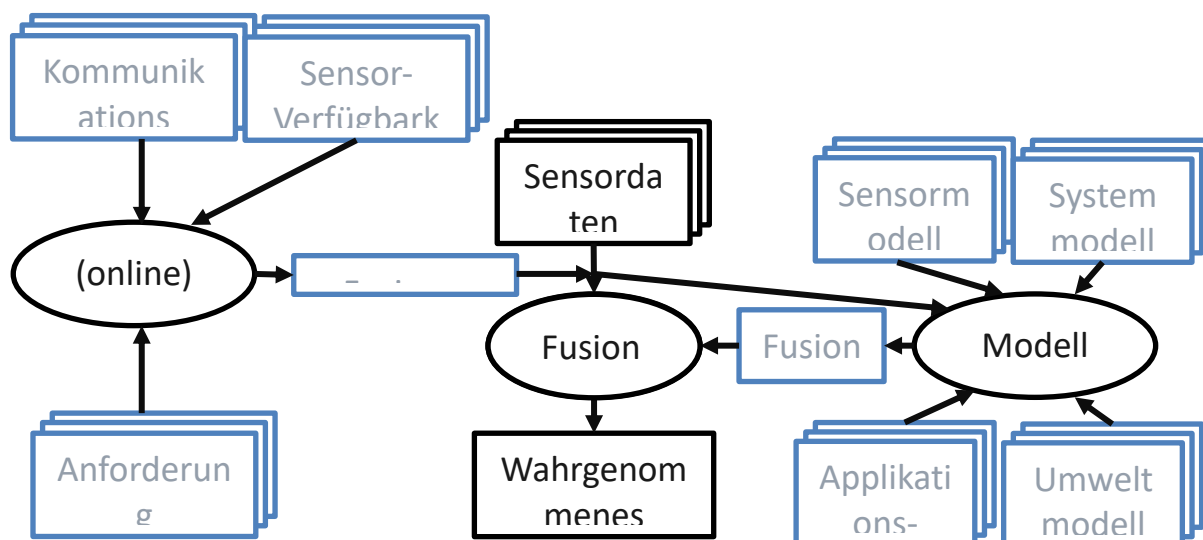


Abbildung 7: Funktionale Architektur des Fusionssystems

Rechts sieht man „Modell Synthese“, eine Komponente die alle zur Fusion nötigen Parameter berechnet. Idealerweise geschieht dies online, aber realistischer Weise muss man hier im ersten Schritt mindestens teilweise manuelle Hilfe oder längere Rechenzeiten einplanen. Es wird dann über die Zeit eine Sammlung an Fusionsmodellen entstehen, die bei Bedarf online abgerufen werden können. Unter Fusions-Modell wird hier ein Parametersatz verstanden, der von der Fusionskomponente direkt verstanden wird (z.B. Meß- und System-Matrizen für Kalman-Filter) und vollständig für die gesamte Operatorkette ist. Die Eingangsdaten kommen im Gegensatz dazu aus verschiedenen Quellen und müssen erst passend ausgewählt und in Form gebracht werden. Z.B. enthält eine Kalibriermatrix Kameraeigenschaften, die vom Sensorhersteller kommen, sowie den Montageort der vom Fahrzeughersteller oder der Stadtverwaltung kommt.

AP3–Kommunikation

Die Anforderungen an die Kommunikation im Fahrzeug, sowie zwischen Fahrzeug und außerhalb des Fahrzeuges angebrachter Sensoren bzw. dem Sensordatencenter (Backend) wurden im Rahmen des AP3 Arbeitspaket aufgenommen und bewertet. Zeitliche Anforderungen (Antwortzeiten) und die zu verarbeitende Datenmengen mit dem Ziel der Sensordatenfusion wurden im Besonderen betrachtet und sind ebenfalls in der Kommunikationsarchitektur (Abbildung 8) eingeflossen. Basierend auf der Spezifikation wurden geeignete Netzwerke zur Realisierung ausgewählt und auf ihre Eignung bezüglich des Einsatzes in dem SADA System überprüft.

AP 3 wurde von NXP Semiconductors geleitet.

Zunächst wurde die Anforderungen an die Kommunikationsarchitektur untersucht. Als Basis hierzu diente die RACE Architektur sowie die Erweiterung um externe Sensoren, wie Infrastrukturkameras oder Mobilgeräte. Ebenso wurden die Anforderungen zur Anbindung des Backends untersucht. Neben der RACE Architektur wurde von Beginn an auch die Erweiterung auf allgemeinere Architekturen berücksichtigt. Dies erwies sich als sehr hilfreich als das RACE Fahrzeug als Demonstrator nicht mehr zur Verfügung stand und durch den EO2 ersetzt wurde. Es musste zwar die Hardware für die Ausführungsplattform ungeplant werden (siehe AP4), allerdings konnten sowohl die grundlegende Kommunikationsarchitektur als auch die verwendeten Technologien beibehalten werden.

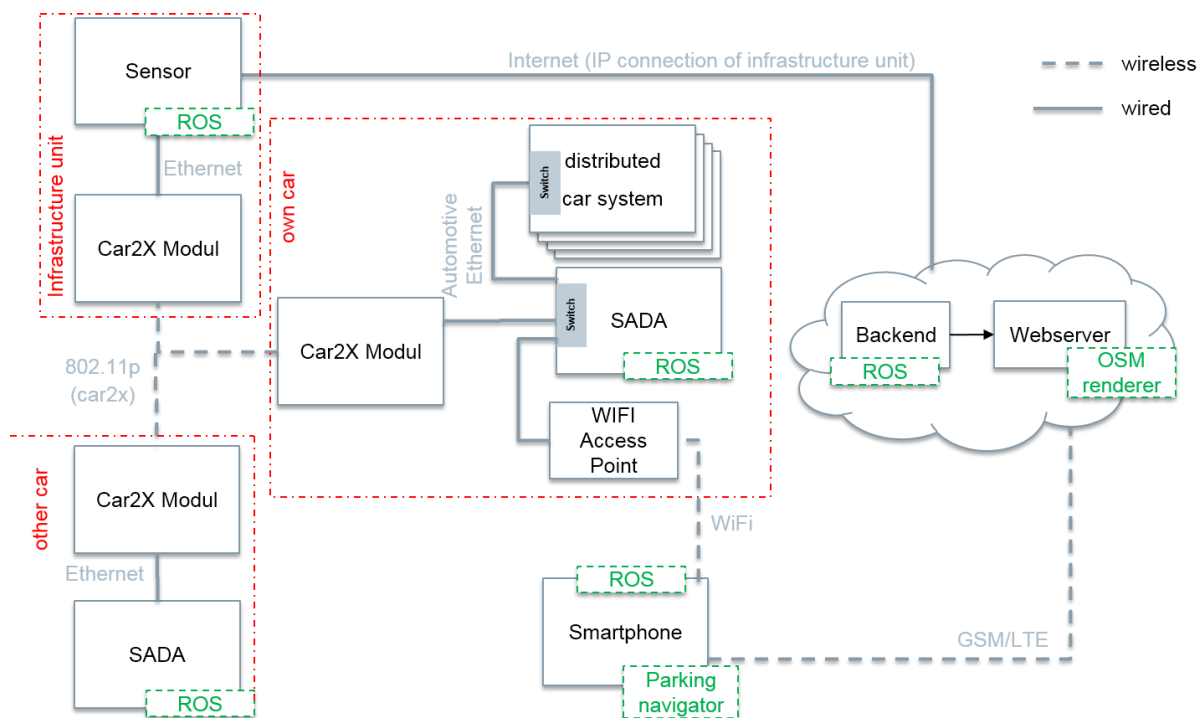


Abbildung 8: Kommunikationsarchitektur

Die Anforderungen und die Architektur wurden in D3.1/D3.2 Spezifikation der Kommunikationsarchitektur und Auswahl des Kommunikationsnetzwerkes“ diskutiert. Die Wahl für das Fahrzeugnetzwerk fiel auf Ethernet, aus vielerlei Gründen. Mit IEEE 100BASE-T1 gibt es inzwischen einen für automobile Anwendungen optimierten Physical Layer, der über eine ungeschirmte Zweidrahtleitung bis zu 100 Mbit/s überträgt. Auch eine Gigabit Variante ist bereits spezifiziert und erlaubt eine nahtlose Erweiterung ohne Änderung der darüber liegenden Protokollschichten. Die Modularität war ein weiterer Vorteil für Ethernet. Neben der Skalierbarkeit der Fahrzeugarchitektur, also dem Netzwerk innerhalb des Fahrzeuges, ermöglicht es die native Einbindung der externen Kommunikationspartner. Sowohl die Car-2-X Verbindung, als auch die Verbindung zu Mobilgeräten, erfolgt über WLAN Derivate. Somit findet die komplette Kommunikation innerhalb der „Ethernet Welt“ statt, eine Umwandlung in andere Protokolle ist nicht notwendig. Für Car-2-x wurde der bestehende Service-Kanal verwendet, um eine bi-direktionale IP-Verbindung aufzubauen. So können sowohl die Daten an das Fahrzeug gesendet werden, als auch über eine Netzverbindung der Infrastruktureinheit die Verbindung zum Backend erreicht werden. Die resultierenden Kommunikationskanäle und deren Eigenschaften sind in „D3.3 Beschreibung der Kommunikationskanäle“ diskutiert.

Ein Nachteil der offenen Kommunikationsarchitektur sind mögliche Cyberangriffe. Hierzu ließe sich ein eigenes Förderprojekt gestalten, die Betrachtung innerhalb des SADA Projektes begrenzte sich daher auf die Möglichkeiten in der ISO Schicht 1 und 2. Durch geeigneten Einsatz von statischen Routingtabellen, dem Einsatz von verschiedenen VLAN sowie die Nutzung von Authentifizierungsmaßnahmen nach IEEE 802.1x, erlaubt ein zuverlässiges Routing des externen Traffics auf die vorgesehenen Empfänger. Auch lässt sich die Ankopplung un-authentifizierter Teilnehmer, z.B. über die Koppelschnittstelle, erfolgreich unterbinden. Nicht abgedeckt im Rahmen des SADA Projektes ist allerdings die Frage nach der Authentifizierung von externen Sensoren um Angriffe über gefälschte Sensordaten zu unterbinden, sowie eine „Firewall“ um die Infiltrierung des SADA PC zu unterbinden.

Basierend auf den Anforderungen wurde eine Evaluationsplattform entwickelt. Zentrale Komponente der Plattform ist ein Automotive Switch (siehe **Abbildung 9**), der 4 Automotive Ethernet (100BASE-T1) Ports besitzt und an einen lokalen Host Prozessor angeschlossen ist. Der Host Prozessor übernimmt die Konfiguration sowie die Protokollumsetzung für die Zeitsynchronisierung, wobei der hauptsächliche Teil von dem Switch Baustein übernommen wird. Zu der Hardware gehört ebenfalls eine passende Treiber Software, mit der einfach entsprechende Testumgebungen aufgebaut werden können.

Ein weiteres Element der Testumgebung sind die Ethernet Mediaconverter, basierend auf der neuesten 100BASE-T1 PHY Generation. Neben der, für automobiler Anwendungen notwendigen, hohen Robustheit, unterstützt der PHY die Möglichkeit über das Ethernetkabel andere Teilnehmer in einen Ruhezustand mit geringem Stromverbrauch zu versetzen und bei Bedarf wieder aufzuwecken. Dieses, aus CAN Netzwerken bekannte, Verfahren erlaubt temporär nicht genutzte Module im Fahrzeug abzuschalten, mit weniger als 70µA Ruhestrom. Für die Anwendung im Ethernet Netzwerk bedurfte es einer speziellen Methodik, welche in die OPEN Alliance eingebracht und dort standardisiert wurde. Die Mediaconverter wurden verwendet um die verwendeten Sensoren, aber auch die Car-2-X Schnittstelle in das „Automotive Ethernet“ zu integrieren.

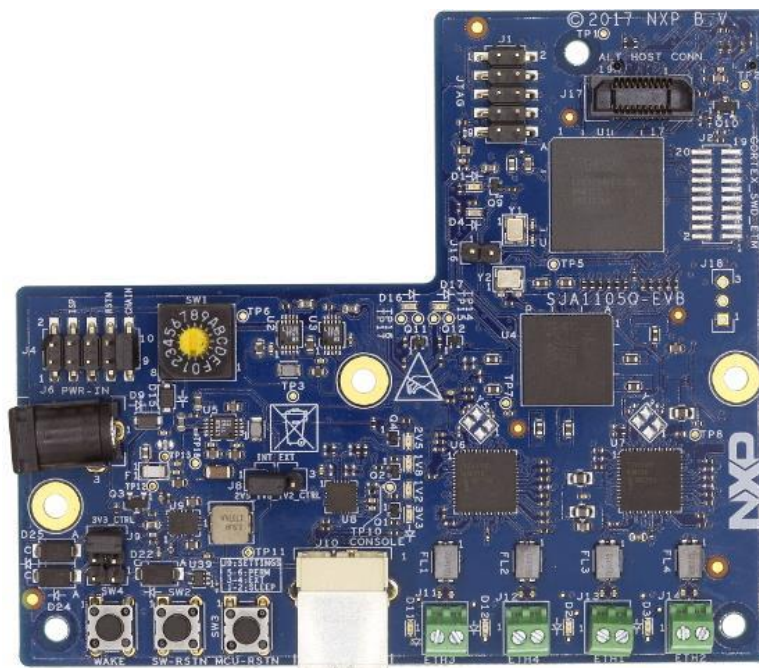


Abbildung 9: Evaluationsplattform – SJA1105Q Switchboard

Mit der Evaluationsplattform wurden umfangreiche Untersuchungen hinsichtlich der Performance und Robustheit durchgeführt. Hier wurde, anders als ursprünglich vorgesehen, ein größerer Teil der Untersuchungen im Labor durchgeführt und weniger am Demonstrator-Fahrzeug. Dies war dem Umstand des Wechsels von der RACE Plattform zum EO2 geschuldet, da letzter aufgrund der Fahrzeugarchitektur weniger Möglichkeiten zur Untersuchung bot. Die erwartete Testabdeckung und Systemerfahrung konnte aber durch erweiterte Testmöglichkeiten im Labor sogar übererfüllt werden. Unter anderem wurden mit einer Ethernet-Testumgebung die zu erwartenden Datenströme emuliert und hinsichtlich Durchsatz, Latenz und Fehlerwahrscheinlichkeit ausgewertet (**Abbildung 10**).

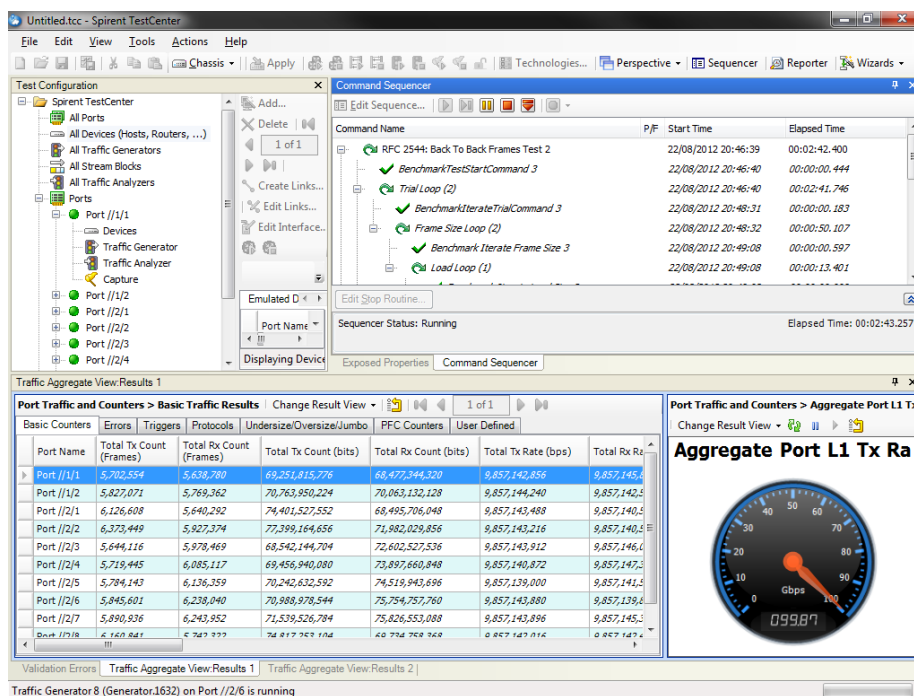


Abbildung 10: User Interface Ethernet-Testumgebung.

Zur Bewertung der Robustheit wurden die einschlägigen Standards für Datenübertragungssysteme im Fahrzeug herangezogen. Mit verschiedenen Methoden zur Untersuchung der HF- und Puls-Immunität, der Robustheit gegen elektrostatische Aufladung (ESD) sowie der HF-Emission (siehe Beispiel **Abbildung 11**) wurde die Konformität nachgewiesen. Somit ist sichergestellt, dass die Technologie und im Speziellen die verwendeten Komponenten für derartige Architekturen geeignet sind.

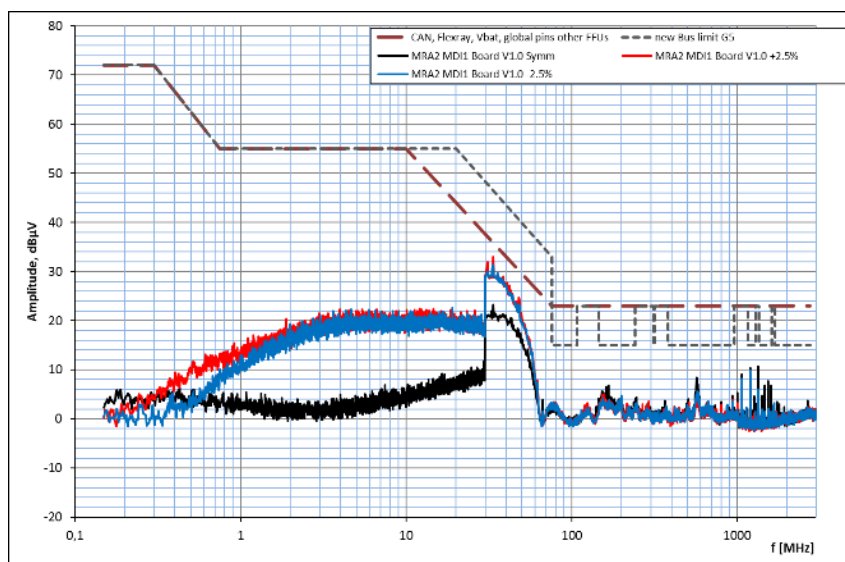


Abbildung 11: Emissionsmessergebnis 100BASE-T1

Des Weiteren wurde die Zeitsynchronisierung untersucht, die Plattform unterstützt das sogenannte gPTP (generic Precision Time Protocol) nach IEEE 802.1AS Standard. Hiermit wird eine Zeitsynchronisierung verschiedener Quellen ermöglicht, da die Durchlaufzeiten bekannt sind. Im SADA Projekt wurde dies jedoch mit der verwendeten Middleware nicht unterstützt und daher nur theoretisch betrachtet und in einem separaten Demonstrator implementiert (siehe AP8).

Neben der bereits beschriebenen Betrachtung der Security, wurde ebenfalls die funktionale Sicherheit betrachtet. Da es bei SADA um die Entwicklung einer Technologie und nicht um eine spezielle Anwendung ging, wurde in diesem Zusammenhang speziell auf die Kommunikationsarchitektur als Teilaspekt eingegangen. Es wurden hierbei Annahmen über die Anwendung getroffen und daraus Anforderungen abgeleitet, wie in Teil 10 der ISO26262 beschrieben. Der Systemintegrator kann dies bei dem Aufbau eines realen Systems verwenden um seine Sicherheitsanalyse durchzuführen. Der Verwendung auch in sicherheitsrelevanten Anwendungen ist damit vorbereitet.

Die Evaluationsplattform ist verfügbar und wird bereits für Untersuchungen bei verschiedenen OEMs verwendet. Basierend auf den Ergebnissen aus dem Projekt, wurde eine Erweiterung entwickelt, optimiert für die Evaluierung der Sleep/Wakeup Konzeptes. Diese ist bei 2 deutschen Automobilherstellern im Einsatz um die Einführung vorzubereiten.

AP4–Hardware

In Arbeitspaket AP 4 sollte die Ausführungsplattform bereitgestellt werden, bestehend aus Hardware und Kommunikationskanälen. Darüber hinaus sollte ein Backend für die Datenhaltung und Vermittlung entwickelt werden, sowie eine Kommunikation zwischen Backend, mobilen Einheiten und dem Fahrzeug erarbeitet werden.

Ab Mitte 2016 stellte das DFKI sein Konzeptfahrzeug EOsc2 als neue Demonstrationsplattform zur Verfügung. Diese wurde im Rahmen des ersten Meilensteintreffens mit Projektreview im Oktober 2016 in Bremen vorgeführt.

Mit dem Wechsel der Demonstrationsplattform übernahm das DFKI zusätzliche Aufgaben unter anderem in AP 4.1 (Automotive Hardware). Nach dem Wechsel der Demonstrationsplattform bestand das neue Ziel von AP 4.1. statt in der Weiterentwicklung der RACE-Plattform nun in der Weiterentwicklung der EOsc2-Plattform. Wie ursprüngliche geplant, sollte die SADA-Plattform im EOsc2 über Car2X dynamisch Verbindung zu anderen Fahrzeugen, zu Verkehrsinfrastruktur oder zum Backend aufbauen können. Darüber hinaus sollte die SADA-Plattform im EOsc2 auch eine Variabilität der Ausstattung und Konfiguration des Fahrzeugs erlauben, etwa indem der Extender eine Rückfahrkamera oder einen Parksensoren zur Verfügung stellte. Da diese Sensoren nicht im EOsc2-Fahrzeug verbaut waren, musste sich die SADA-Plattform dynamisch an beide Konfigurationen anpassen können. Die Kombination eines kleinen Elektro-Stadtfahrzeugs mit einem Extender (etwa zur Ladeflächenerweiterung oder als Range-Extender zur Reichweitensteigerung) traf dabei die typischen Probleme der aktuellen Elektromobilität. Das DFKI realisierte die notwendigen Erweiterungen am EOsc2 und übernahm Entwicklung und Aufbau des Range-Extenders sowie der Dockingschnittstelle.

Für die Kommunikationsarchitektur hatte diese Änderung zwei hauptsächliche Auswirkungen. Zum einen musste die Kommunikationsstruktur an die neue Fahrzeugarchitektur angepasst werden. Hier war es auch notwendig Standard-Komponenten, wie den SADA PC, in das Fahrzeug Netzwerk zu integrieren. Hierzu wurden Umsetzer entwickelt, die Standard Ethernet auf Automotive Ethernet umwandeln. Des Weiteren wurde eine CAN-Ethernet-Bridge entworfen, die es erlaubte CAN Subsysteme an das Ethernet Netzwerk anzubinden. Die Bridge wurde auf Basis eines NXP MPC5748G Evaluationsboards (siehe **Abbildung 12**)



Abbildung 12: CAN-Ethernet Bridge – basierend auf MPC5748G

Middleware

Die dem System zu Grunde liegende Middleware spielt eine wesentliche Rolle um dessen Adaptivität zu gewährleisten. Zuerst erfolgte eine Identifikation der Anforderungen an eine Middleware-Lösung, welche als Liste niedergeschrieben wurde. Dann wurden die drei möglichen Middleware-Kandidaten gegenübergestellt: Chromosome, ROS und ROCK. Aufgrund eines Vergleichs wurde die Entscheidung gefällt ROS als Middleware zu verwenden.

- Für das EO2 Fahrzeug wurden „off-the-shelf“ Sensoren verwendet. Es wurden Schnittstellen entwickelt, um Daten von den Sensoren zur Fusion zu leiten.
- Zur Kommunikation zwischen der Middleware und dem SADA Knowledge Management Tool (SKM) wurden „Broadcast“ Nachrichten definiert, um Infrastruktursensoren zu identifizieren.
- Die Cohda Boxen zur Car2X Kommunikation wurden konfiguriert und getestet. Die Cohda Boxen verwenden ein Linux Betriebssystem und müssen korrekt konfiguriert werden, damit die Infrastruktur Sensorik mit dem Fusionssystem, das im Fahrzeug läuft, kommunizieren kann und Daten ausgetauscht werden können. Die Architektur der Konfiguration ist in Abbildung 13 zu sehen.
- Die Konfiguration der Fusionsparameter für adaptive Fusion erfolgt nun über sogenannte ROS Launchfiles. Dadurch lassen sich ROS Knoten konfigurieren und starten. Alle erforderlichen Parameter des Fusionssystems wurden identifiziert und durch das Launchfile konfiguriert. Dies ist für die template-basierte Fusion und für die Integration des SKM notwendig.
- Durch die Parameter des Launchfiles kann einfach spezifiziert werden, wie Sensordaten interpretiert und verknüpft werden. Beispielsweise kann spezifiziert werden, ob Sensormessungen relative oder absolute Positionsmessungen darstellen. Es lassen sich auch einfach neue Faktortypen integrieren, um dem Fusionssystem neue Funktionalitäten hinzuzufügen. Die Parameter können auch zur Laufzeit aktualisiert werden, z.B. nachdem neue Konfigurationen der Fusionstopologie durch das SKM verfügbar werden.
- Die Architektur der ROS Middleware sieht das Vorhandensein eines zentralen ROS Masters vor, durch welchen Datenverbindungen hergestellt werden. Alle Endpunkte, die in das System eingebunden werden sollen, wie beispielsweise Fahrzeuge oder Infrastruktur Sensorik, müssten so ständig mit dem zentralen ROS Master über ein Netzwerk verbunden sein. Das ist für ein System wie SADA nicht zweckmäßig. Um dieses Problem zu lösen wurde das ROS Paket multimaster_fkie eingesetzt, das die Verbindung von mehreren ROS Mastern erlaubt. So kann

auf jedem Endpunkt ein eigener ROS Master laufen, alle Endpunkte können jedoch im gleichen ROS System kommunizieren, solange sie verbunden sind.

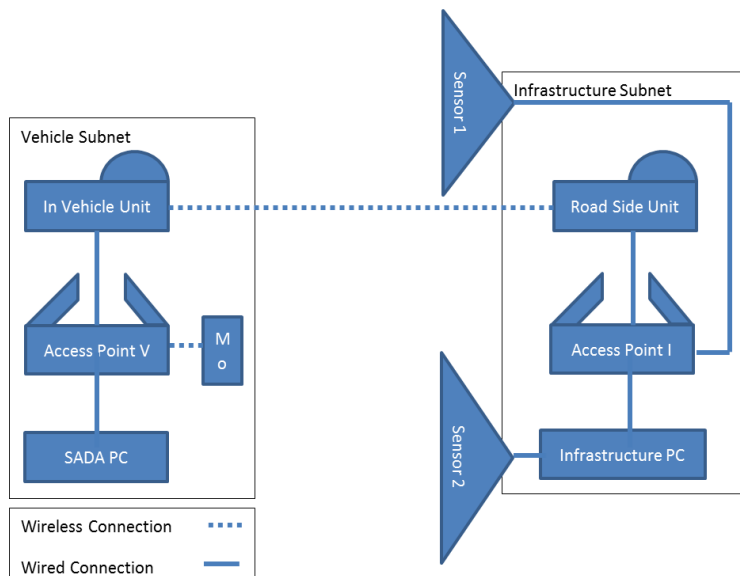


Abbildung 13: Kommunikationskonfiguration mit Cohda Boxen.

AP5–Beschreibung auf der Bedeutungsebene

Im Rahmen des AP5 wurden die Ressourcen, aus denen ein System zur Sensordatenfusion automatisch konfiguriert wird, formal beschrieben und die entsprechenden Inferenz-Methoden bereitgestellt. Siemens AG leitet AP5 und war für den Inhalt der vier Teilarbeitspakete zuständig: AP5.1-Formalismen zur Beschreibung auf Bedeutungsebene, AP5.2-Festlegung der Struktur der verschiedenen Wissensrepräsentationen, AP-5.3-Beschreibung der im Demonstrator relevanten Komponenten und AP-5.4-Abgeleitete Teilbeschreibungen. Die Arbeit an den vier Teilarbeitspaketen hat bereits im Jahr 2015 angefangen.



Abbildung 14: Anwendung Gefahren Erkennung

Die für die Anwendung relevanten Aspekte (siehe Abbildung 14) der insgesamt verfügbaren Ressourcen sollen in einem für alle beteiligten Partner gemeinsamen Format auf Bedeutungsebene beschrieben werden. Diese Aspekte umfassen die physikalischen Eigenschaften der Sensoren (z.B. bei einem Laser-Scanner Anzahl, Richtung, Reichweite und Form der Strahlen, Messrate bzw. Reihenfolge, probabilistische Eigenschaften der Signale), Eigenschaften der Umgebung (geometrische Form der Objekte, Reflexionseigenschaften der Oberflächen, Position und Orientierung der Objekte im Raum, Beschreibung von in der Umgebung angebrachten Sensoren inkl. ihrer Position und Orientierung), Anforderungen aus der gewünschten Funktion des Fahrzeugs (z.B. eine Belegungsgitterkarte, charakterisiert durch Größe, Auflösung und Darstellung des Belegungszustandes), Eigenschaften der Kommunikationskanäle (Bandbreite, Latenzzeit, Integrität der Daten gegeben durch die Wahrscheinlichkeit, dass Daten fehlen oder gefälscht sind), Schnittstellen der Fusionsalgorithmen (z.B. Positionsschätzung durch einen Faktorgraphen, in den Messungen als Faktoren eingehen) und so weiter.

Für die formale Beschreibung auf der Bedeutungs-Ebene würde in Rahmen des AP5 das SKM- SADA Knowledge Management Tool V1.0 entwickelt worden (siehe Abbildung 16). Das SKM wurde in September 2016 im Bremen präsentiert. Insbesondere unterstützt die graphische Bedienschnittstelle des SKM die Erfassung von Modellen auch durch Experten aus Anwendungsdomänen, die nicht Experten in Semantik und Ontologien sind. Wesentliches Merkmal sowohl der Modellierung als auch der Inferenz ist die durchgängige Hierarchie. Ein Beispiel wie man ein „pose2D“ Konzept mit dem SKM Toll modelliert kann, ist im Abbildung 17 zu sehen.

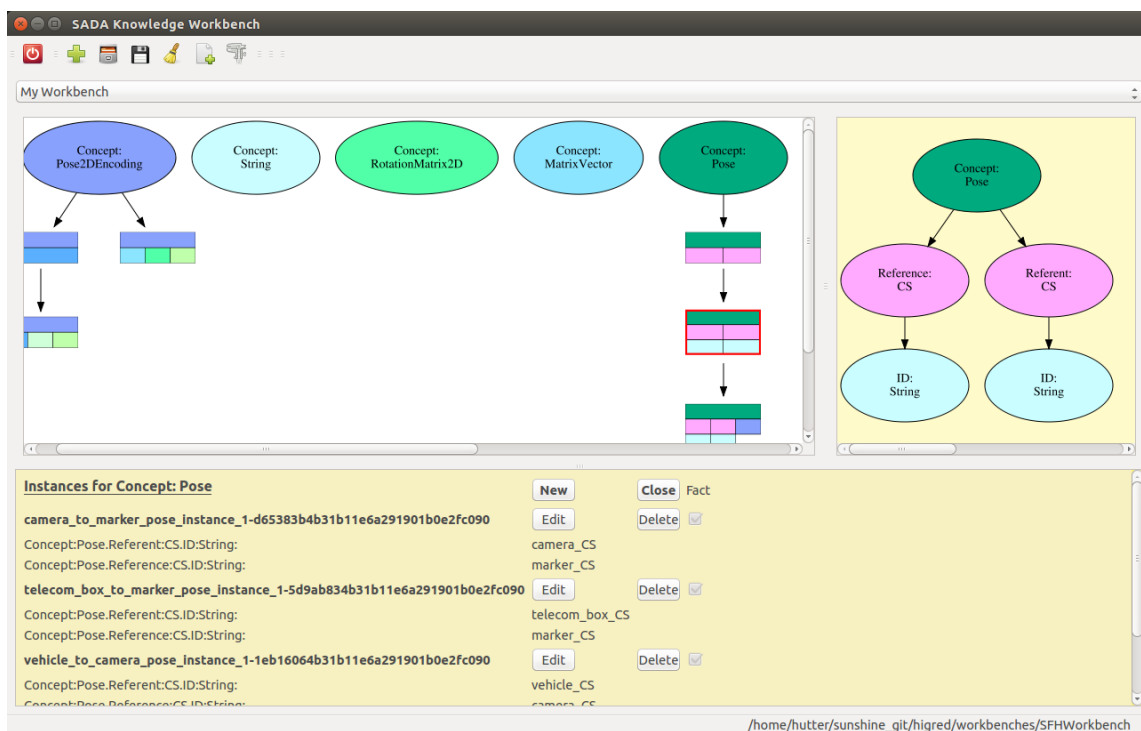


Abbildung 15: SKM Version 0.5

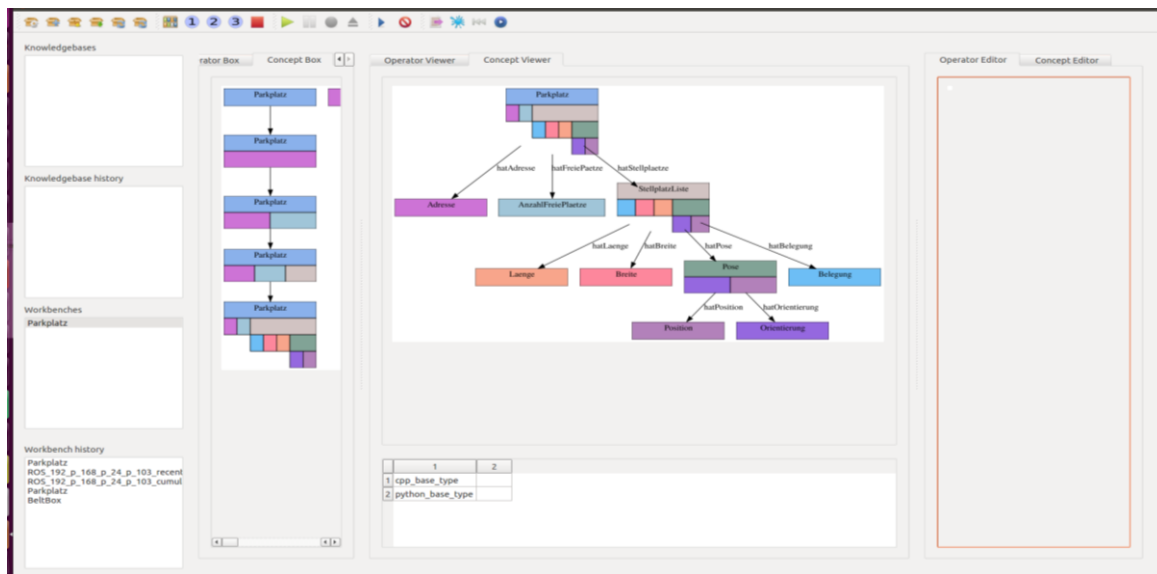


Abbildung 16: SKM Version 1.0

Die Beschreibungen der Komponenten sollen dazu dienen, die Konfiguration des Gesamtsystems durch logische und probabilistische Inferenz weitgehend automatisch zu ermitteln. Ende 2016 wurde ein Dokument mit dem Titel: „D5-Semantic Modelling and Inference in SADA“ entstanden. Das Dokument erfasst alle die Konzepten um die Topologie ein Fusionsystem dynamisch anzupassen basiert auf die Anwendung Anforderungen. Darüber hinaus ist ein Hierarchischer Planer konzipiert und implementiert. Damit sind komplexerer Planungsaufgaben in Echtzeit lösbar. Der Planer zusammen mit dem SKM Tool sind in Industrie 4.0 UseCases getestet worden. (<https://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/industry-and-automation/the-future-of-manufacturing-autonomous-assembly.html>). Damit ist D5.5 Meilensteine „Vervollständigte abgeleitete Teilbeschreibungen, verbesserte Inferenzmethoden“ erreicht. Zudem sind die benötigten Operatoren und Konzepte (Semantikbeschreibung von Funktionen/Services und Daten) erstellt worden. Damit ist auch D5.6 Meilensteine erreicht.

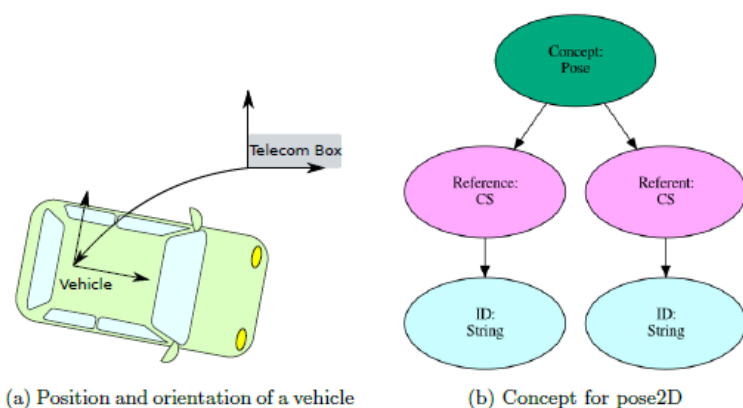


Abbildung 17: „pose2D“ Konzept mit dem SKM Tool

AP6 – Fusion Modelle

Das „Fusionsmodell“ eines Fusionssystems beschreibt Eigenschaften des betrachteten System und der verwendeten Sensorik, um eine Anpassung an verschiedene Eingangs/Ausgangsdaten zu ermöglichen. Es beschreibt sowohl die Eigenschaften des Messvorgangs (und damit den Zusammenhang zwischen einem Sensor bzw. einer Datenquelle und der Repräsentation des betrachteten Systems) als auch Repräsentation und das dynamische Verhalten des Systems selbst. Zielstellung dieses Arbeitspaketes war die weitgehende Automatisierung bei der Erstellung von Fusionsmodellen und die Schaffung von Schnittstellen auf Grundlage der Beschreibungssprache aus AP5 zur Ermöglichung einer größeren Modularität und Unabhängigkeit. Für eine adaptive und flexible Datenfusion ist es erforderlich, die Erstellung derartiger Fusionsmodelle zu automatisieren, um eine vielfältige Verknüpfung von Sensoren und System zu realisieren, deren Entwickler zum Entwurfszeitpunkt nichts voneinander wussten.

Im Rahmen des Arbeitspakets AP6.1-Untersuchung der Fusionsstrategie wurde im 2015 das Deliverable „D6.1 SADA Fusionstrategie“ standen (Siemens AG war hauptverantwortlicher für D6.1). Das Ziel des AP6.1 war ein gemeinsames Verständnis über die konkreten Aspekte der Modularisierung der Fusion zwischen den Partnern BASELABS, Siemens und fortiss zu bekommen.

Basierend auf den Ergebnissen von AP 6.1 und der darin beschriebenen Generalisierungsstufen sowie einem intensiven Austausch innerhalb des Konsortiums wurde innerhalb von AP 6.2 im 2016 ein prototypisches Design-Tool (Engineering Tool V0.5) bei BASELABS entwickelt worden, mit dessen Hilfe sich ein Datenfusionssystem vollständig beschreiben lässt. In AP 6.2 - Kompilieren des Fusionsmodell, konnte gezeigt werden, dass sich Datenfusionssysteme vollständig konfigurativ erzeugen lassen und dabei weiterhin hinreichend große Flexibilität bieten. Dies stellt ggü. bisher verfügbaren Entwurfsstrategien einen deutlichen Mehrwert dar.

Im Rahmen von AP6.3 - Kompilieren des Fusionsmodell bei unvollständiger Information, wurde wie sich die Datenfusionsbeschreibung aus AP6.1 und 6.2 erweitern lässt, um Teile der Beschreibung aus anderen Teilen schlussfolgern zu können. Dazu wurden insbesondere verschiedene Sensormodelle untersucht und generalisiert, um den Wechsel zwischen unterschiedlichem Bezugssystem wiederverwenden zu können. Standen ist eine neue Release-Version des Engineering Tool V1.0 (siehe Abbildung 18: Engineering Tool)

BASELABS leitet AP6.2-Kompilieren des Fusionsmodells und AP6.3- Kompilieren des Fusionsmodells bei unvollständiger Information. Siemens AG hat sich an den beiden APs wie folgt beteiligt:

- Mitentwicklung des Beschreibungsformats der neuen Systembeschreibung.
- Installation und Inbetriebnahme der BASELABS Tools und Demo.
- Test und Rückmeldung von Fehlern.

Darüber hinaus leitet Siemens das AP6.4- Lernen eines Fusionsmodells. AP 6.4 untersucht inwieweit unvollständige Beschreibungen von Fusionsmodellen anhand von Daten durch maschinelles Lernen vervollständigt werden können. Ziel dieses Arbeitspaketes war zu untersuchen inwieweit sich ein Teil der für Fusion immer benötigten Modelle automatisch erstellen lässt. Insbesondere ist das Messmodell als Teil des Fusionsmodells für den Erfolg sehr wesentlich. Ein sehr wichtiges und für jeden Sensortyp jeweils neu benötigtes Modell ist das Messmodell. Schon heute ist dieses auch vom Experten nur schwer zu erstellen.



Abbildung 18: Engineering Tool

Exemplarisch wurde daher dieses untersucht.

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurden zwei exploratorische Implementierungen angefertigt (ROS, Gazebo, pyro, python; threejs, webpp) die eine Fusionsaufgabe (Parkplatz-Szene gesehen aus verschiedenen Perspektiven) lösen ohne dieses Messmodell explizit zu bekommen. Stattdessen wurden Sensormodell und Umgebungsmodell vorgegeben, und auch diese nur unvollständig (mit groben Schätzungen für Parameter). Diese beiden Modelltypen sind in der Praxis viel leichter zu bekommen, das Sensormodell aus den Datenblättern der Sensorhersteller und das Umweltmodell aus Domänenwissen über die Anwendung (hier Muster, wie Autos auf Parkplätzen typischerweise stehen).

Vorgegangen wurde nach dem in AP5 entwickelten Konzept, das in „D 5 - Semantic Modeling and Inference“ Kapitel 3.9 S.32 beschrieben ist.

Die Experimente haben die Funktionstüchtigkeit dieses Verfahrens gezeigt, ebenso wie die Nützlichkeit der gerade entstehenden Werkzeuge zum „probabilistischen programmieren“, die sich grundsätzlich als gute Grundlage erwiesen haben.

Einfachere Aufgaben ließen sich so lösen, für komplexere ist noch der Eingriff des Experten nötig. Es ist aber abzusehen dass diese Komplexitätsgrenze sich verschieben lässt, schon alleine durch das zu erwartende einbeziehen fortgeschrittener Inferenz-Algorithmen in die Probabilistic Programming Sprachen aber auch durch verstärktes lernen von sampling priors.

Im Rahmen des AP6 hat Siemens für 9 Wochen eine Praktikantin eingestellt. Die Arbeit mit dem Titel „Rule based data fusion in probabilistic graphical models“ untersuchte, wie man unterschiedliche Sensorinformationen flexibel und mit wenig Zeitaufwand (Engineering) fusionieren kann.

AP7 –Datenfusion

Ziel dieses Arbeitspaketes war die Entwicklung und Implementierung der Methoden welche die Verbindung von Sensorrohdaten und zugehöriger Metadaten im System erlauben. Im Arbeitspaket waren eine Reihe generischer Fusionsmethoden entworfen, die den Übergang von einer datendichten Umgebung, d.h. auf Sensorebene, zu einer informationsdichten Umgebung, d.h. auf Zustandsebene ermöglichen (Abbildung 19).

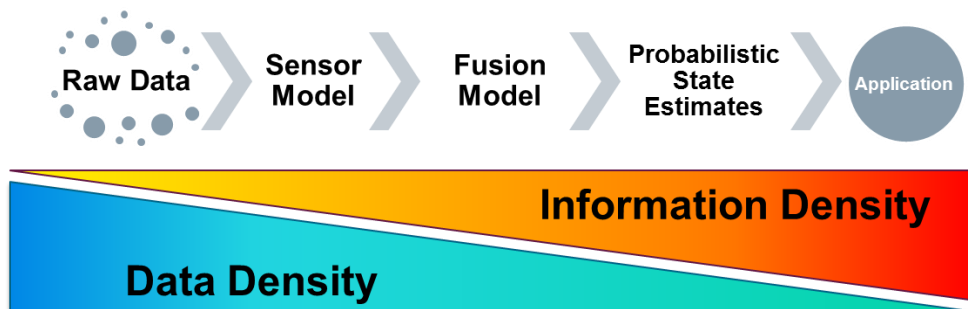


Abbildung 19: Datadichten zu Informationsdichten

Hierarchisches Modell aus intelligenten Agenten

Im Rahmen des AP 7 wurde eines ersten Demonstrators für die hierarchische Datenfusion auf der Basis von intelligenten Agenten für simulierte und reale Szenarien (vgl. Abbildung 20) entwickelt. Die hierarchische Kommunikation der Agenten wurde prototypisch implementiert und auf dem Segway Fahrzeugs der Siemens AG als Evaluierungsplattform zu Demonstrationszwecken getestet (Abbildung 22). Als Testcase wurde ein SLAM Szenario gewählt, in dem das Fahrzeug seine eigene Position in einer unbekanntem Umgebung mittels Sensormessungen bestimmt. Eine Skizze dieses Szenarios befindet sich in Abbildung 21.

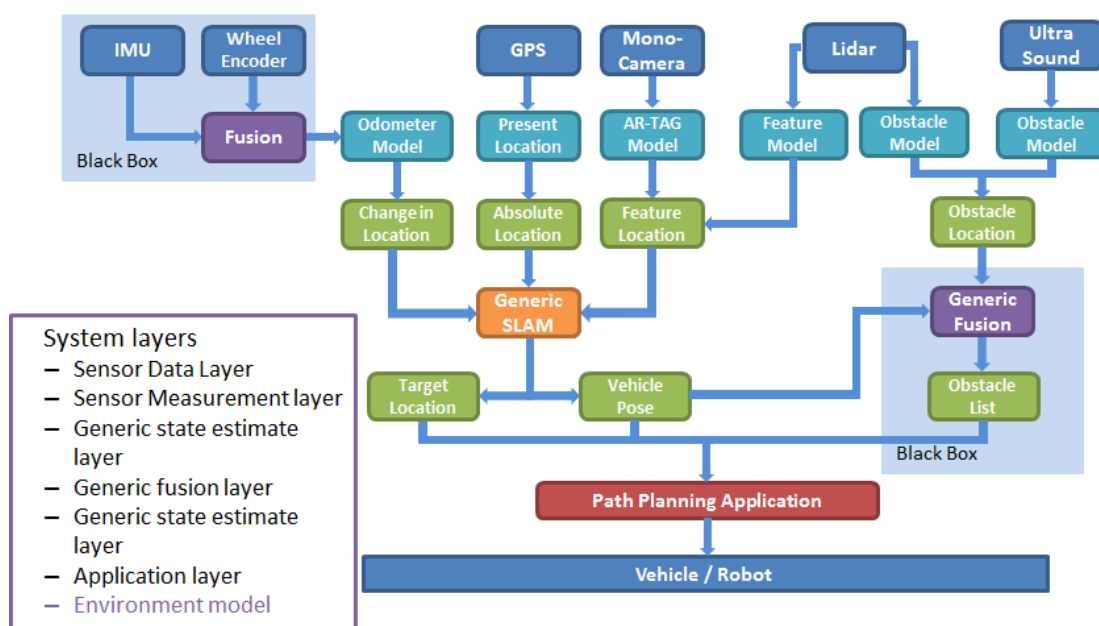


Abbildung 20: Hierarchische Kommunikation der Agenten

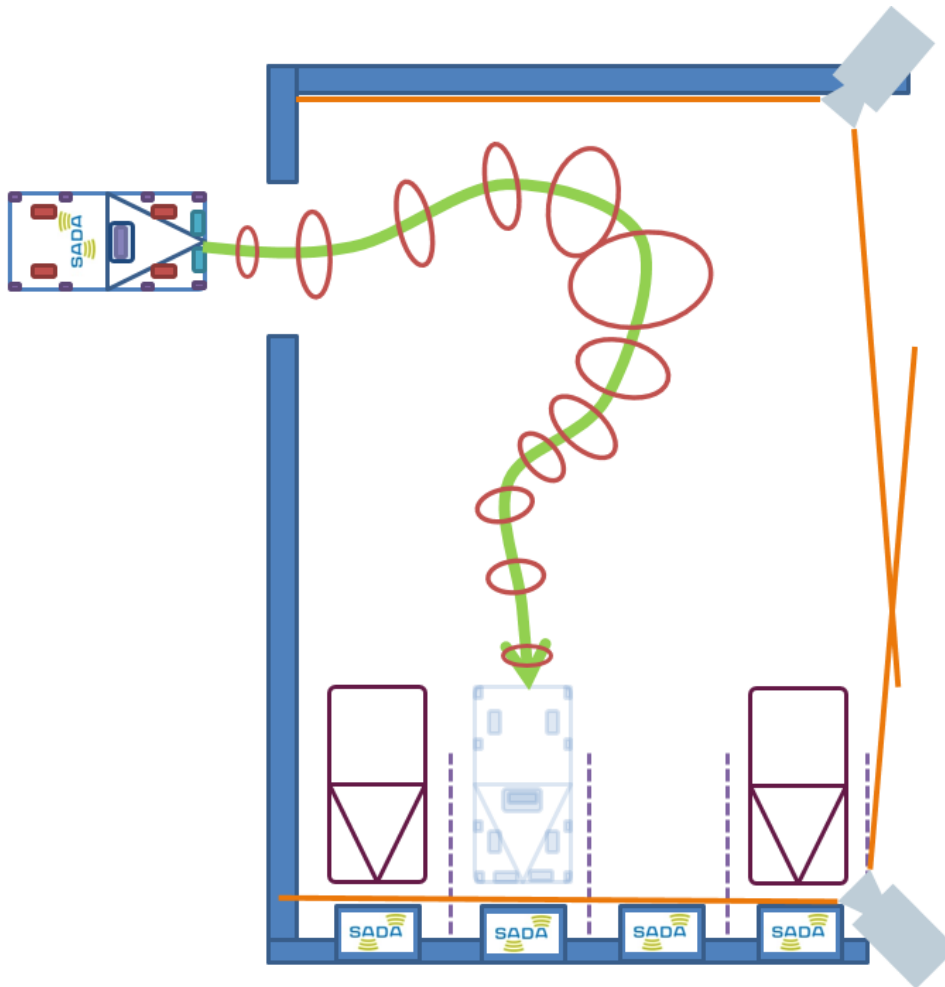


Abbildung 21: Skizze des getesteten Szenarios



Abbildung 22: Segway als Entwicklungsplattform

Für die Demonstration wurden exemplarisch folgende Sensordaten verwendet:

- Odometrie und IMU des Segways
- Kameradaten der Kamera die auf dem Segway angebracht ist
- Kameradaten von zwei Kameras in der Infrastruktur

Die Segway Kamera wurde verwendet, um einen AR Marker zu erkennen, der in der Umgebung platziert war. Die absolute Position des AR Markers war dem System vorher nicht bekannt, durch die

Fusion wurde diese jedoch bestimmt und konnte somit positiv auf den relativen Fehler der Odometrie Einfluss nehmen.

Die Infrastruktur-Kameras wurden verwendet, um einen AR Marker zu erkennen, der auf dem Segway platziert war. Die Kameras konnten damit die Position des Segways messen. Auch hier war die absolute Position der Kameras dem System vorher nicht bekannt, wieder konnte die Position der Kameras durch die Fusion bestimmt werden und den relativen Fehler der Odometrie ausgleichen.

Die Modularität der Architektur konnte gezeigt werden, da keine Programmier-technischen Änderungen am System notwendig waren, um die Messungen der verschiedenen Kameras einzubeziehen (Abbildung 23).

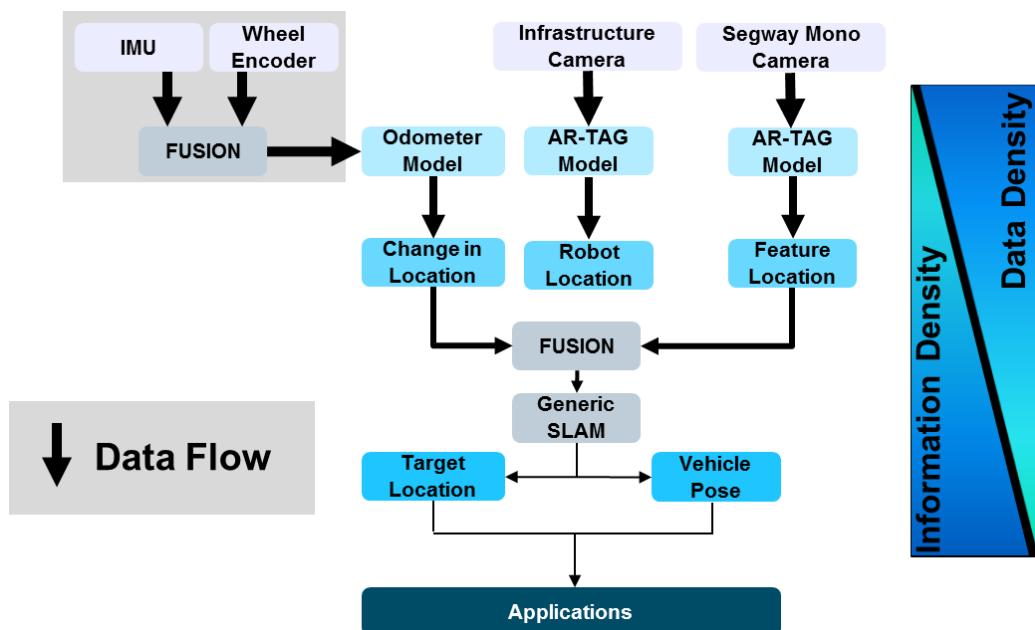


Abbildung 23: Architektur des Demoszenarios des Segway

Die obige hierarchische Architektur wurde auf das EO2 Fahrzeug erweitert (Abbildung 24), was auf der Abschlussdemonstration auf der HMI 2018 gezeigt wurde.

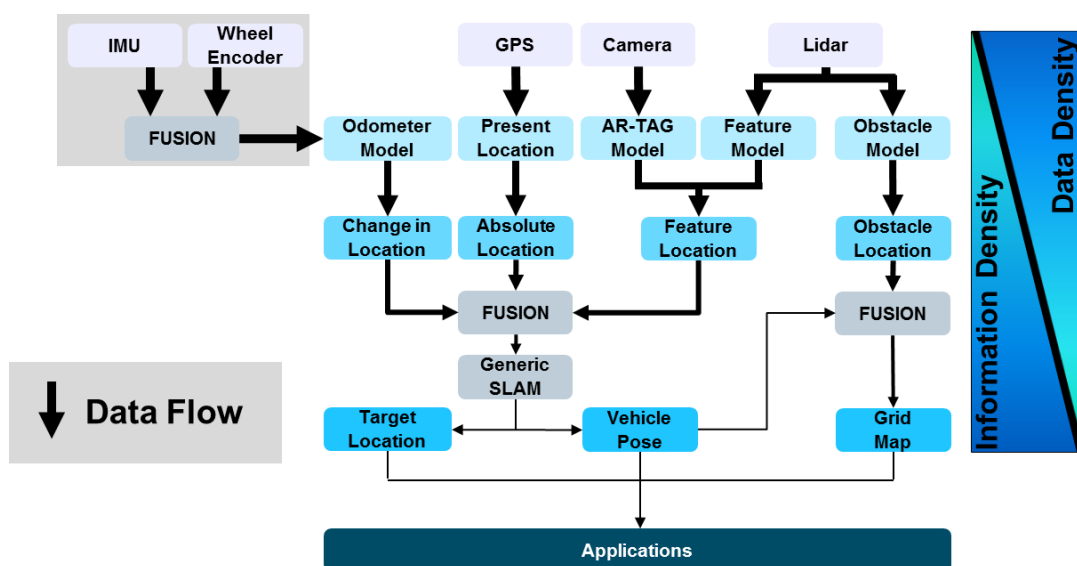


Abbildung 24: Architektur des Demoszenarios des EO2

Generische Zustandsebene

Ziel von AP 7.3 war es intelligente Agenten bzw. Operatoren zu entwickeln, die Informationen auf der Zustandsebene erzeugen. Es wurden Operatoren zur Erkennung und Lagebestimmung des SADA Logos entwickelt bzw. verbessert, welche die AR Tag Erkennung ersetzen. Hierzu werden zuerst SIFT-artige Features aus dem Kamerabild der Infrastrukturkameras berechnet. Diese Features werden mit denen des bekannten SADA Logos verglichen, wodurch die Lage des SADA Logos im Bild bestimmt werden kann (Abbildung 25). Durch den „Perspective-n-Point“ Algorithmus (PnP) wird nun die metrische Position und Orientierung des Logos relativ zur Kamera berechnet.

Über weitere Operatoren, denen die Lage des Ursprungs des Fahrzeugkoordinatensystems relativ zum SADA Logo auf dem Fahrzeug bekannt ist, werden die Relativkoordinaten des SADA Logos zu Relativkoordinaten des Fahrzeugs transformiert. So lassen sich aus dem SADA Logo im Kamerabild Rückschlüsse auf den Zustand des Fahrzeugs ziehen, speziell auf die Position und Orientierung im Kamerakoordinatensystem.

Diese Messung können im Fusionssystem beispielsweise verwendet werden, um die Fahrzeugposition im globalen Koordinatensystem zu schätzen, im Falle dass die globale Position der Kamera selbst zuvor bekannt ist. Oder um die Kameraposition selbst zu schätzen, sowie den relativen Fehler der Positionsschätzung des Fahrzeugs zwischen zwei Messungen zu begrenzen, im Falle dass die Position der Kamera zuvor unbekannt ist.

Weiterhin wurden Operatoren zur Berechnung einer Odometrie-artigen Messung von Relativpositionen zwischen aufeinanderfolgenden Velodyne Laserscans entwickelt, genannt Velodyne Odometrie. Hierbei werden die inkrementellen Transformationen zwischen je zwei Velodyne Punktwolken mittels des ICP (Iterative Closest Point) Algorithmus berechnet, welche aneinandergereiht die Velodyne Odometrie ergeben.

Diese Messungen können im Fusionssystem beispielsweise verwendet werden, um eine zweite Odometriemessung zu erhalten, die unabhängig (gegeben die Fahrzeugposition) zur normalen Odometrie ist, so dass beide Odometriearten fusioniert werden können. Alternativ kann die klassische Odometrie komplett durch die Velodyne Odometrie ersetzt werden.

Es wurde auch ein Partikel Filter basierter Ansatz integriert, um aus einer Gridmap der Umgebung und den Velodyne Punktwolken (Abbildung 26) eine Schätzung der Position und Lage des Fahrzeuges in eben jener Gridmap zu erzeugen. Zunächst wird eine Gridmap der Umgebung erzeugt, beispielsweise aus den Velodyne Punktwolken. Nach jedem neuen Laserscan findet ein Abgleich der Punktwolke und der Gridmap statt, um die wahrscheinlichste Position des Fahrzeugs zu schätzen. Hierbei werden zu den vorherigen Schätzungen zufällig permutierte neue Fahrzeugpositionen gesampelt und diesen werden je nach Übereinstimmung der Punktwolken-Daten Wahrscheinlichkeiten zugeordnet. Samples mit niedrigen Wahrscheinlichkeiten werden aussortiert, solche mit hohen Wahrscheinlichkeiten werden weiter verwendet. Der Vorteil dieser Methode ist, dass sie eine Messung der Absolutposition des Fahrzeugs in der Gridmap der Umgebung erzeugen kann. Da sich die Gridmap zwischen mehreren Fahrten im Normalfall nicht wesentlich ändert, kann die geschätzte Position als globale Absolutposition angesehen werden. Diese Messungen können im Fusionssystem beispielsweise verarbeitet werden, um die Schätzung der Fahrzeugposition zu verbessern und relative Fehler zu verringern.

Zuletzt wurden Operatoren entwickelt, die Messungen des GPS Sensors des EO2 Fahrzeugs zu Zustandsmessungen konvertieren. GPS Sensoren liefern eine absolute Positionsbestimmung des Fahrzeugs im Geokoordinatensystem. Die Position wird dabei in Polarkoordinaten ausgegeben, als Longitude und Latitude (Längen- und Breitengrad). Damit diese Koordinaten im Fusionssystem weiterverwendet werden können, müssen sie mittels eines Referenzpunktes in lokale kartesische Koordinaten transformiert werden. Die transformierten Daten können dann im Fusionssystem als Messung der Absolutposition des Fahrzeugs verwendet werden.

Nicht alle entwickelten Operatoren finden in der Abschlussdemo Anwendung, sie können im Fusionssystem jedoch beliebig kombiniert werden.



Abbildung 25: : Bestimmung der Lage des SADA Logos auf dem EO2

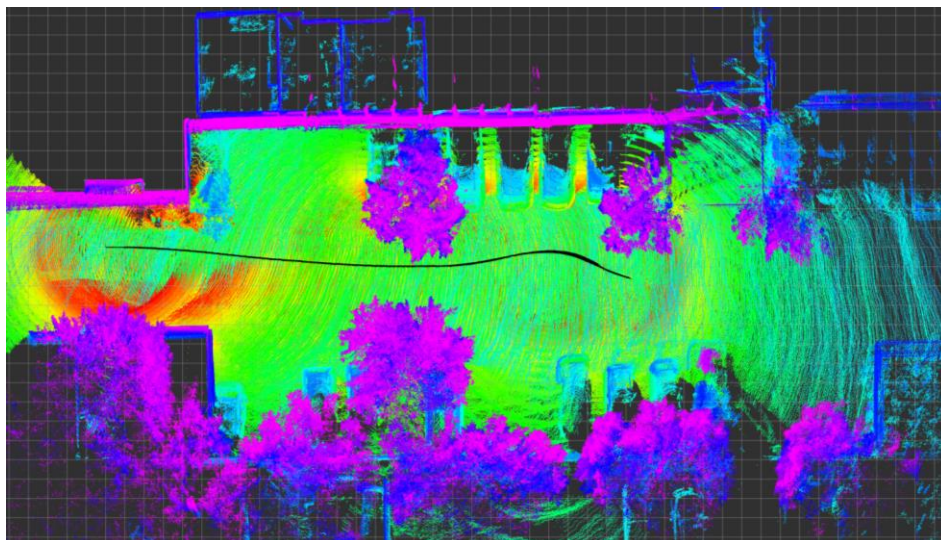


Abbildung 26: Punktwolken des DFKI Parkplatzes, über die Velodyne Odometrie gelegt

Generische Fusion

Ziel von AP 7.4 war die Erstellung einer generischen Darstellung der Umgebung und des Fahrzeuges mittels generischer Datenfusionskonzepte und Datenassoziation. Die template-basierte Fusion ermöglicht die genaue Spezifikation der unterschiedlichen Zustandsinformationen, damit diese optimal fusioniert werden können. Die Konfiguration kann durch ein Launchfile wie in AP 4 geschildert

spezifiziert werden, wobei die Parameter auch zur Laufzeit angepasst werden können. Die Konfiguration wird durch das Fusionssystem eingelesen und der Fusionsalgorithmus verknüpft die Informationen gemäß der jeweiligen Konfiguration.

Das template-basierte war Fusionssystem entwickelt. Es war benötigt, weil verschiedene Sensortypen unterschiedliche Arten von Sensormessungen und dadurch unterschiedliche Zustandsinformationen erzeugen. Die erzeugten Informationen lassen sich in unterschiedliche Gruppen einteilen, beispielsweise in die Art der Zustandsinformation (z.B. Messung einer Absolutposition, Relativposition, Abstand, Geschwindigkeit). Andere Unterteilungen beziehen sich auf den zeitlichen Ablauf der Messung, also wird die Messung als augenblicklich angesehen oder hat sie einen Start- und einen Endpunkt. Auch können die Messungen von bereits bekannten und identifizierten oder von unbekanntem Objekten erzeugt werden, welche zunächst assoziiert werden müssen. Auch kann es nötig sein, verschiedene Messungen durch unterschiedliche Strategien zu fusionieren, beispielsweise direkte Verknüpfung nur von gleichzeitigen Messungen oder Interpolation von Messungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten.

Des Weiteren wurde das Faktor Graph-basierte Fusionssystem um robuste Faktoren erweitert. In einem Faktor Graphen werden Zustandsmessungen als mathematische Gleichungen durch Faktoren implementiert, die Zustandsvariablen in Form von Knoten verknüpfen. Durch das Auflösen der Gleichungen lässt sich die A posteriori Wahrscheinlichkeit der Knoten schätzen, welche der optimalen Belegung der Zustandsvariablen entspricht. Wenn inkonsistente Daten als Faktoren in den Graphen integriert werden kann das zu extremen Fehlern in der Zustandsschätzung führen, bis hin zum völligen Versagen der Fusion. Inkonsistente Daten können beispielsweise durch fehlerhafte Datenassoziation, ungenaue Sensormodelle oder „False Positive“ Sensormessungen erzeugt werden.

Durch die Verwendung von robusten Faktoren wird die Möglichkeit von inkonsistenten Faktoren bewusst modelliert. Hierzu wurden zwei Ansätze recherchiert und implementiert:

- [1] Sunderhauf, N., & Protzel, P. (2012). **Switchable constraints for robust pose graph SLAM.** *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems.*
- [2] Olson, E., & Agarwal, P. (2013). **Inference on networks of mixtures for robust robot mapping.** *International Journal of Robotics Research.*

Die robusten Faktoren wurden so in das Fusionssystem integriert, dass sie bei Bedarf für korrekt oder falsche Informationen zu oder abgeschaltet werden können.

Da wir die anderen Ergebnisse benutzen können zeigt sich auch die Adaptivität der gesamten Architektur.

Um weiterhin die Adaptivität des Ansatzes zu zeigen wurde ein alternativer Fusionsalgorithmus implementiert, der auf den Gleichungen des Kalman Filters basiert. Der Algorithmus wurde in das gleiche Framework eingebettet und kann alternativ zur Lokalisierung eines Fahrzeugs verwendet werden.

Umgebungs- und Applikationsebene

Ziel von AP 7.5 war die Repräsentation des Systemwissens und des Wissens der Umwelt in geeigneter Darstellung. Hier, wurde der Algorithmus zur Gridmap (Abbildung 27) Erstellung verbessert um die Sensorik des EO2 Fahrzeugs besser zu nutzen. Es ist nun auch möglich eine Gridmap abzuspeichern, um sie bei einer erneuten Fahrt durch eine Umgebung zur verbesserten Lokalisierung zu verwenden.

Der Structure from Motion (SfM) Ansatz war erforscht. Bei diesem Ansatz geht es darum, aus einem Stream von Kamerabildern die Bewegung der Kamera zu berechnen und gleichzeitig eine Karte der Umgebung aus SIFT-ähnlichen Features zu generieren. Die aus dem Kamerabild extrahierten Features sind dabei als Landmarken zu betrachten, die Position der Landmarken und die Kamerabewegung werden dann iterativ durch „Bundle Adjustment“ berechnet. Ziel des Ansatzes war es, Informationen über die Bewegung von beispielsweise Systemen ohne eigenen Odometriesensor oder Personen mit

Handykameras zu erlangen, diese in einer Karte aus SIFT-ähnlichen Features zu lokalisieren und die Informationen im Fusionssystem zu fusionieren.

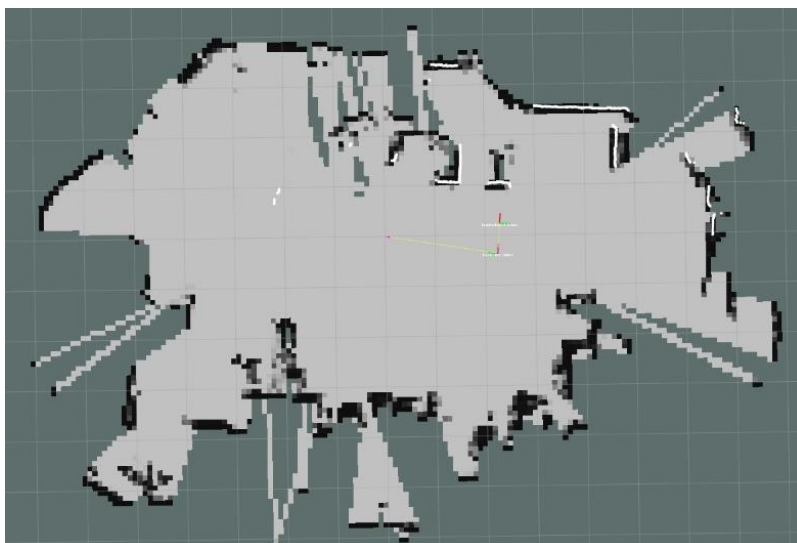


Abbildung 27: Gridmap des DFKI Parkplatzes in Bremen.

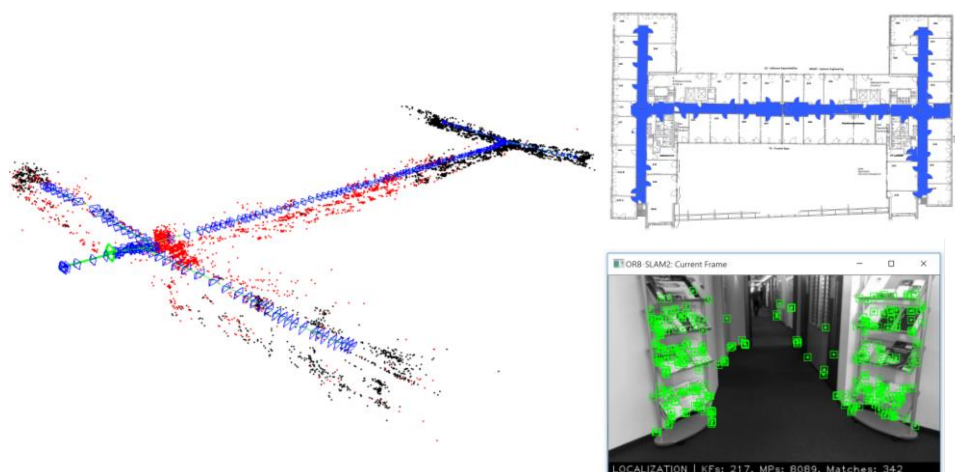


Abbildung 28: SfM Karte des fortiss (links), original Grundriss (rechts oben), extrahierte Feature aus Kamerabild (rechts unten).

Das Hauptproblem und die Limitierung von Mono SfM Ansätzen ist, dass die Feature Karte und Lokalisierung nur bis zu einem unbekanntem Skalierungsfaktor berechnet werden können. Nicht nur ist dieser Skalierungsfaktor unbekannt, er verändert sich auch mit der Zeit („Scale Drift“), was die Zusammenführung der Daten mit den restlichen Daten des Fusionssystems erheblich erschwert. Eine Möglichkeit den Skalierungsfaktor kontinuierlich zu bestimmen, so dass die Daten eine metrische Repräsentation der Umgebung darstellen, ist eine IMU zu verwenden, die Informationen über Linear- und Winkelbeschleunigung der Kamera gibt, und die Daten vorab zu fusionieren. Dies ist jedoch Teil aktueller Forschungsarbeiten und war im Rahmen des Projekts nicht zu implementieren. Deswegen hat fortiss die Entscheidung getroffen, den SfM Ansatz nicht mehr weiter zu verfolgen.

Eine Demonstration des SfM Ansatzes ist in Abbildung 28 zu sehen, in der die Bewegung einer Person durch die Räumlichkeiten des fortiss Instituts kartographiert wird. Deutlich ist hier auch das Problem

des „Scale Drift“ zu erkennen, da im linken Teil der Karte die einzelnen Schritte wesentlich weiter auseinanderliegen als im rechten Teil, obwohl die Korridore in Realität gleich lang sind.

AP8 –Demonstrator

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wird auf Basis vorhandener Fahrzeuge ein Demonstrator für die Projektergebnisse erarbeitet. Hierzu werden zu Projektbeginn geeignete Demonstrationsszenarien definiert sowie im Rahmen dieses Arbeitspakets Applikationen entwickelt und auf einem Versuchsträger integriert. Zur Evaluierung der Zielerreichung werden geeignete Kriterien festgelegt, deren Erreichung während der Projektlaufzeit kontinuierlich verfolgt wird.

Demonstrationsszenarien

Je zwei Nutzer- und SADA-Sichten wurden identifiziert:

Nutzer-Sichten:

- Nutzer als Informationsempfänger: Eine mobile App zeigt dem Fahrer die nächsten freien Stellplätze, sowie einen Weg dorthin. Beim Einparkvorgang unterstützt die App den Fahrer mit einer Visualisierung des Fahrzeugs im Stellplatz.
- Nutzer als Datenlieferant: Die Sensoren SADA-kompatibler Fahrzeuge stehen (nach expliziter oder impliziter Zustimmung des Nutzers) für andere SADA-Teilnehmer zur Verfügung. So kann ein Fahrzeug ohne Einparksensorik die Sensoren eines nebenstehenden SADA-kompatiblen Fahrzeugs für den Einparkvorgang nutzen.

SADA-Sichten:

- Auswahl Stellplatz und Routing: Auf dem Backend läuft eine Datenfusionsapplikation, welche die Belegung von Stellplätzen über ein gitterbasiertes Schätzverfahren ermittelt. Für die Fusion werden adaptiv Infrastruktursensoren sowie Sensoren vorbeifahrender Fahrzeuge genutzt (z.B. stationäre Parksensoren, Ultraschall-/Radarsensoren, Laserscanner oder Kamera im Fahrzeug). Das Backend sendet die freien Stellplätze (eventuell mit Zusatzinformationen wie Parktarifen) auf einer Karte des Parkplatzes / der Straße an die App, welche die besten Optionen für den Fahrer berechnet und das Routing übernimmt.
- Visuelle Einparkhilfe: Die Visuelle Einparkhilfe nutzt eine hochgenaue Position des Fahrzeugs, welche dezentral in jedem Fahrzeug ermittelt wird. Grundlage sind mobile Sensoren (z.B. Kamera, Laserscanner, Ultraschall, Radar, Odometrie, Lenkwinkel) des einparkenden Fahrzeugs oder von benachbarten Fahrzeugen sowie Daten von stationären Parksensoren in der Infrastruktur und Marker. Die Genauigkeit hängt von den verfügbaren Sensoren ab. Während der Demonstration werden die Infrastruktursensoren bzw. Marker und/oder die Sensoren von benachbarten Fahrzeugen an- und abgeschaltet, um den Unterschied in der Genauigkeit einer entsprechenden Visualisierung zu demonstrieren.

Wechsel des Demonstrators und Demonstrationsortes

In Q2/2016 gab der Konsortialführer Siemens bekannt, dass die Ausführungsplattform RACE aufgrund einer Unternehmensumstrukturierung nicht mehr zur Verfügung stehe. Als Alternative stellte das DFKI seine Plattform EO smart connecting car 2 (EOscc2) zur Verfügung. Ein entsprechender

Aufstockungsantrag wurde in Q4/2016 vom Projektträger bewilligt. Eine zusätzliche Beauftragung durch Siemens erfolgte in Q1/2017.

Sinnvollerweise wurde der Demonstrationsstandort vom Siemens-Campus in München an den Sitz des DFKI RIC in Bremen verlegt. Zur Vorbereitung der Parkplatzdetektionsdemonstration wurden die Parkplätze auf dem DFKI-Gelände vermessen und die Vermessungsdaten im Backend hinterlegt. Die Schnittstelle zwischen Backend und App wurde eingerichtet und erfolgreich getestet.

Parkplatzdetektion und -App, inklusive Backend-Anbindung, wurden im Rahmen des ersten Meilensteintreffens mit Projektreview im Oktober 2016 in Bremen demonstriert. Ferner demonstrierte das DFKI zu diesem Anlass die neue Ausführungsplattform EOsc2 sowie die bestehenden Pläne zum Aufbau des EOsc2-Range-Extenders.

Integration

Es wurden Arbeiten zur Integration der entwickelten Software in die Demonstrationsplattform EO2 der DFKI GmbH unternommen.

Applikationen

In AP8 beteiligte sich ALL4IP TECHNOLOGIES an der Integration der generischen Fusionsplattform in der Weise, dass das ROS-System auf einem Linux-Rechner mit ROS-Simulationsdaten betrieben wurde. Dadurch konnte eine Entwicklungs- und Test-basis für die erforderlichen Schnittstellen und App-Entwicklung an sich geschaffen werden. Der Hauptschwerpunkt von ALL4IP TECHNOLOGIES im Projekt SADA lag im Bereich des Arbeitspakets 8.3, in dem es um die Realisierung der Applikationen ging.

Aufgabe von ALL4IP TECHNOLOGIES war es, die Positionierbarkeit des Fahrzeugs mit Consumer Electronic Devices so zu unterstützen, dass der Fahrer das Fahrzeug zunächst über Straßen navigieren und dann auf einem Parkplatz über einer induktiven Ladeeinrichtung positionieren kann.



Abbildung 29: Micro und Micro-App

Auf dem Konsortialtreffen am 20.-21. Mai 2015 einigte man sich auf eine Unterteilung in eine grob auflösende Navigation auf einem CED, die mit bis zu +/-1 m Präzision arbeitet (Macro App) und einer zweiten App, die bei der Feinpositionierung des Fahrzeugs unterstützt und das Fahrzeug als visuelle Einparkhilfe bis etwa +/-2,5 cm ans Ziel führen kann (Micro App).

Während die Macro App GPS als Positionierungsreferenz verwenden soll und über GSM als Kommunikationsmedium arbeitet, interagiert die Micro App mit den ROS-Kommunikationsmethoden und kommuniziert über WLAN.

Abschlussdemonstration

Die Abschlussdemonstration des SADA Projekts wurde im Rahmen eines Films realisiert, der auf der Hannover Messe 2018 gezeigt wurde.

- SADA Smart Adaptive Data Aggregation: Szenario 1 (Parkplatzerkennung)
(<https://www.youtube.com/watch?v=drmlRm0U7Ps>)
- SADA Smart Adaptive Data Aggregation: Szenario 2 (Unterstütztes Einparken)
(<https://www.youtube.com/watch?v=To43nogdRo8>)

Für den Messestand auf der HMI 2018 wurden neben dem EO2 als Hauptdemonstrator noch 3 eigenständige Demonstratoren gezeigt, da die Funktionalität nicht in dem Hauptdemonstrator gezeigt werden konnte. Der erste Demonstrator zeigte die Sleep/Wakeup Funktionalität, die im Rahmen des Projektes entwickelt wurde. Module können hierbei über die Ethernetverbindung in einen low power mode gebracht und wieder aufgeweckt werden (Abbildung 30).



Abbildung 30: Sleep/Wakeup Demonstrator

Der zweite Demonstrator zeigte eine Surround-View Aufbau (Abbildung 31: Surround-View DemonstratorAbbildung 31). Vier Kameramodule sind über Automotive Ethernet verbunden und über die Zeitsynchronität kann der angeschlossene Mikroprozessor hieraus eine virtuelle Rundumansicht erzeugen. Dies demonstriert die Möglichkeit im Fahrzeug verschiedene Quellen zu synchronisieren, welches für die Sensordatenfusion sehr wichtig ist. Nur wenn die zeitliche Zusammengehörigkeit verschiedene Daten bekannt ist, kann eine korrekte Fusion stattfinden.

Der Dritte Demonstrator bestehend aus einem handelsüblichen Smartphone und einem Hokuyo 2D Laserscanner erstellt. Der 2D Laserscanner selbst „kennt“ seine Lage im Raum nicht, deswegen sind die Rohdaten wenig aussagekräftig, wenn der Laserscanner rotiert wird. Durch befestigen des Laserscanners am Smartphone und durch die Fusion der Laser Rohdaten mit den Daten der IMU des Smartphones können die einzelnen Laserscans auf die jeweilige Orientierung des Scanners registriert werden, wodurch sich durch Rotation des Gerätes eine Laserkarte der Umgebung aufbaut. Die Software und GUI dafür wurden von fortiss geschrieben und konnten auf der HMI 2018 eindrucksvoll demonstriert werden. Der Demonstrator diente dazu, den Besuchern deutlich zu machen, wofür Sensordatenfusion gebraucht wird.

Zusätzlich wurde der bereits für den Innovations(t)raum 2017 erstellten VR Demonstrator überarbeitet und für die SADA Abschlussveranstaltung auf der HMI 2018 zum Test zur Verfügung gestellt.

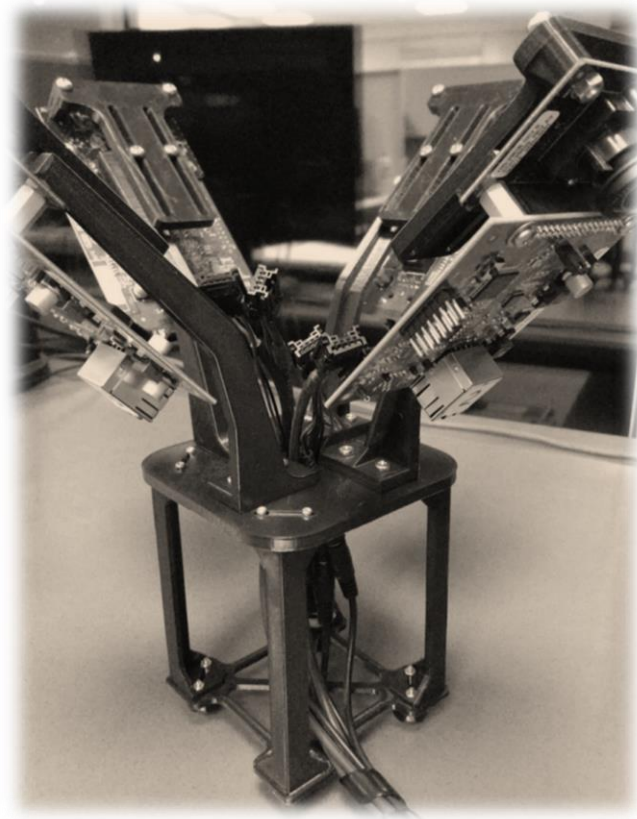


Abbildung 31: Surround-View Demonstrator



Abbildung 32: Demonstrator Präsentation auf Hannover Messe

6. Veröffentlichungen des Ergebnisses

Wissenschaftliche Veröffentlichungen

- [Conference Paper] D. Gulati, V. Aravantinos, N. Somani and A. Knoll, "Vehicle Infrastructure Cooperative Localization in Presence of Clutter", 21 International Conference on Information Fusion (Fusion), 2018.
- [Congres Presentation] T. Tiedemann, C. Backe, T. Vögele, P. Conradi: Automotive Ad Hoc Sensor Networks in the Project SADA: Concept and Current State. Poster presentation at the "Fachgespräche Sensornetze 2017", HAW Hamburg
- [Conference Paper] D. Gulati, U. Sharif, F. Zhang, D. Clarke and A. Knoll, "Data association — solution or avoidance: Evaluation of a filter based on RFS framework and factor graphs with SME," 2017 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI), Daegu, 2017, pp. 372-377.
- [Conference Paper] D. Gulati, F. Zhang, D. Malovetz, D. Clarke, G. Hinz and A. Knoll, "Graph based vehicle infrastructure cooperative localization," 2017 20th International Conference on Information Fusion (Fusion), Xi'an, 2017, pp. 1-6.
- [Conference Paper] D. Gulati, F. Zhang, D. Malovetz, D. Clarke and A. Knoll, "Robust cooperative localization in a dynamic environment using factor graphs and probability data association filter," 2017 20th International Conference on Information Fusion (Fusion), Xi'an, 2017, pp. 1-6.
- [Conference Paper] D. Gulati, F. Zhang, D. Clarke and A. Knoll, "Graph based cooperative localization using symmetric measurement equations and dedicated short range communication," 2017 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI), Daegu, 2017, pp. 644-649.
- [Congres Presentation] "High Performance Compute Architecture Supporting Revolutionary Requirements" Stefan Singer (NXP Semiconductors). IEEE Ethernet & IP Technology Day in San Jose, CA
- [Conference Paper] Vincent Dietrich et al., "Configuration of Perception Systems via Planning over Factor Graphs", International Conference on Robotics and Automation, Mai 2017
- [Conference Paper] S. Alcalde Bagüés et al., "Towards Dynamic and Flexible Sensor Fusion for Automotive Applications," AMAA 2016, 20th International Forum on Advanced Microsystems for Automotive Applications, Brussels, September 2016.
- [Conference Paper] Wendelin Feiten, Susana Alcalde Baguees, Michael Fiegert, Feihu Zhang, Dhiraj Gulati, and Tim Tiedemann. "A new concept for a cooperative fusion platform". In Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Information Integration (MFI 2016), September 2016.
- [Workshop Paper] Wend Feiten. „Sensor Integration 4.0“. !CESIS Global Internet of Things Kongress, Berlin, 13.-14. Dezember 2016
- [Conference Paper] Feihu Zhang, Daniel Malovetz, Dhiraj Gulati, Daniel Clarke and Alois Knoll. "Joint Bias Estimation and Localization in Factor Graph". 2016 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI). Baden-Baden, Germany, 19-21 Sept. 2016.

- [Conference Paper] Daniel Clarke, Daniel Andre and Feihu Zhang. "Synthetic Aperture Radar for Lane Boundary Detection in Driver Assistance Systems". 2016 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI). Baden-Baden, Germany, 19-21 Sept. 2016.
- [Conference Paper] Dhiraj Gulati, Feihu Zhang, Daniel Clarke and Alois Knoll. "Vehicle infrastructure cooperative localization using factor graphs". Intelligent Vehicle Symposium (IV) Gothenburg, Sweden, 19-22, June 2016.
- [Conference Paper] Feihu Zhang ; Gereon Hinz ; Daniel Clarke ; Alois Knoll. "Vehicle-infrastructure localization based on the SME filter". 2015 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). pages 225-230. Gran Canaria, Spain, 15-18 Sept. 2015.
- [Journal Paper] Feihu Zhang, Gereon Hinz, Dhiraj Gulati, Daniel Clarke, Alois Knoll. "Cooperative vehicle-infrastructure localization based on the symmetric measurement equation filter". Geoinformatica 2016, Volume 20, Issue 2, pp 159-178.

Ausstellungen und Messen

- Präsentation von SADA mit interaktiven Live-Demonstrationen beim Innovations(T)Raum Elektromobilität im Juni 2017 in Berlin
- Präsentation von SADA mit Vorträgen, Demonstratoren (DFKI: EOsc2 mit Range-Extender) und Videos der Nutzungsszenarien auf dem BMWi-Stand der Hannover Messe im April 2018

Videos

- SADA Smart Adaptive Data Aggregation: Szenario 1 (Parkplatzerkennung) (<https://www.youtube.com/watch?v=drmIRm0U7Ps>)
- SADA Smart Adaptive Data Aggregation: Szenario 2 (Unterstütztes Einparken) (<https://www.youtube.com/watch?v=To43nogdRo8>)
- Der Planer zusammen mit dem SKM Tool sind in Industrie 4.0 UseCases getestet worden. (<https://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/industry-and-automation/the-future-of-manufacturing-autonomous-assembly.html>)
- SADA Erklärt Video. Präsentiert auf der Hannover Messer 2018.

Medienberichte

- 2015-06-02: EOsc2 - Mikro-Auto in den Städten der Zukunft (Original auf Serbisch) (vesti.mojauto.rs)
- 2017-10-26: SADA: Kurzvorstellung des IKT EM III-Projekts (electrive.net)
- 2018-03-29: SADA mit „Smart Connecting Car“ auf der Hannover Messe (IKT Newsletter)
- 2018-04-10: Hannover Messe: DFKI präsentiert innovative Lösungen für Industrie 4.0 und Mobilität von morgen (juraforum.de, innovations-report.de)
- 2018-04-11: SADA auf der Hannover Messe 2018 (electrive.net)
- 2018-04-11: Hannover Messe: DFKI präsentiert Lösungen für Industrie 4.0 und Mobilität (i2b Newsletter)
- 2018-04-11: Hannover Messe: DFKI präsentiert Lösungen für Industrie 4.0 und Mobilität (automotive-nordwest.de)

- 2018-04-19: Forschungskonsortium ermöglicht Auswertung von Sensordaten aus dem Verkehrsbereich (i2b Newsletter)
- 2018-04-19: Besser fahren dank intelligenter Sensordaten-Fusion (transforming-cities.de)
- 2018-04-19: Verbundprojekt SADA für die intelligente Sensordatenfusion (hanser-automotive.de)
- 2018-04-21: IKT EM III-Projekt SADA auf der Hannover Messe 2018 (digitale-technologien.de)
- 2018-04-21: ETS-Forum: Vorträge auf der Hannover Messe (electrive.net)
- 2018-04-23: SADA a project consortium works on sensor fusion for autonomous driving (safecarnews.com)
- 2018-04-23: On-board, off-board sensor data fused for better traffic flow (eenewsautomotive.com)
- 2018-04-25: When your car talks with the road! (twitter - Hannover Messe)
- 2018-05-22: DFKI: innovative Lösungen für Industrie 4.0 und Mobilität von morgen (saaris.de)