



Local Dynamic Map als modulares Software Framework für Fahrerassistenzsysteme

P. Reisdorf, A. Auerswald, and G. Wanielik

Professur für Nachrichtentechnik, Technische Universität Chemnitz, Reichenhainer Straße 70, 09126 Chemnitz, Germany

Correspondence to: P. Reisdorf (pierre.reisdorf@etit.tu-chemnitz.de)

Received: 15 December 2014 – Revised: 6 March 2015 – Accepted: 16 March 2015 – Published: 3 November 2015

Kurzfassung. Moderne Fahrerassistenzsysteme basieren auf der Verarbeitung von Informationen, welche durch die Umfeldwahrnehmung mit unterschiedlicher Sensorik erfolgt. Neben den Informationen aus dem eigenen Fahrzeug ergeben sich durch unterschiedliche Kommunikationsmöglichkeiten (Car2Car, Car2X, ...) erweiterte Umfeldwahrnehmungen (siehe Abb. 1). Diese Daten gilt es aufbereitet und zielorientiert einer Anwendung zur Verfügung zu stellen, was mit Hilfe einer Local Dynamic Map (LDM) erfüllt werden kann. Die vorliegende Veröffentlichung beschreibt den Aufbau, Verwendungszweck und Eigenschaften einer entwickelten LDM und geht auf einige Applikationen ein, die mit Hilfe dieser realisiert wurden.

1 Einführung

Um die Sicherheit im Straßenverkehr zu erhöhen und die Anzahl an Unfällen zu verringern wird der Einsatz von zunehmend umfangreicheren Fahrerassistenzsystemen notwendig. Diese immer komplexeren Assistenzsysteme benötigen dafür ein immer genaueres Abbild der Umgebungssituation. Für eine möglichst umfassende Sicht auf die komplette Umgebung wird eine immer größere Anzahl von Sensoren benötigt. Aus ökonomischen Gründen ist der Einbezug bereits vorhandener Sensoren für neue Funktionen anzustreben. Neben dem Einsatz von Sensorik im eigenen Fahrzeug bietet die Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern die Möglichkeit die Sensorik jener Fahrzeuge und Verkehrsteilnehmer für eine umfassendere Sicht auf die Umgebung zu nutzen. Das Management dieser Sensordaten stellt eine Herausforderung dar, wobei die Konsistenz der Daten jederzeit gewährleistet sein muss. Dies ist speziell für die Daten relevant, die zwischen unterschiedlichen Verkehrsteilnehmern ausgetauscht werden. Mit Hilfe einer Local Dynamic Map können

diese Daten handhabbar und der Zugriff für jeden Teilnehmer vereinheitlicht werden.

In dieser Arbeit wird die Local Dynamic Map als ein Ansatz für das Datenmanagement betrachtet, was mögliche Fahrerassistenzsysteme bei der Bewältigung ihrer Aufgaben unterstützen soll.

Die Veröffentlichung ist wie folgt strukturiert: Nach der Einführung und Beschreibung der LDM wird im nächsten Kapitel der Aufbau der entwickelten LDM beschrieben. In diesem Kapitel wird zusätzlich auf wichtige Eigenschaften sowie die Implementierung eingegangen. Nachfolgend gibt es ein Abschnitt zur Reaktionszeit der implementierten LDM sowie die Beschreibung von zwei Anwendungen, welche mit Hilfe der LDM realisiert wurden. Am Ende wird die Veröffentlichung mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick auf mögliche Anwendungen abschließen.

2 Was ist eine LDM

Eine Local Dynamic Map ist ein Konzept zum Speichern von statischen und dynamischen Daten (im Folgenden auch als Layer bezeichnet), welche die Informationen zeitlich und räumlich begrenzt sowie einheitlich den beteiligten Kommunikationspartnern zur Verfügung stellt. Die LDM ist dabei für die Verarbeitung der Anfragen sowie der Bereitstellung der benötigten Informationen verantwortlich. Durch ein modulares Design stellt diese den Kern für verschiedene Software Frameworks für Fahrerassistenzsysteme dar. Dadurch ist die einfache Verwaltung von Daten aus miteinander kommunizierenden und kooperativen Systemen möglich. Die LDM stellt die benötigten Daten für die einzelnen Komponenten der Fahrerassistenzsysteme zur Verfügung und sorgt damit jederzeit für die Konsistenz der Daten. Das modulare Design erlaubt den Einsatz beliebiger Schnittstellen für die

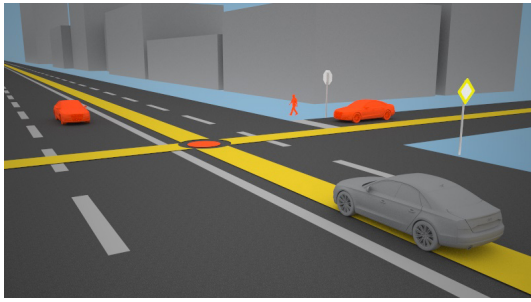


Abb. 1. Erweiterte Umfeldsicht einer Local Dynamic Map durch Zusammenführung der Informationen unterschiedlicher Sensoren. Durch die Integration der Informationen der eigenen Sensorik sowie der Sensorik anderer Verkehrsteilnehmer über verschiedene Kommunikationsmöglichkeiten ergibt sich eine erweiterte Sicht auf das aktuelle Verkehrsgeschehen.

einfache Anbindung von Kommunikationskanälen und Softwarekomponenten von Fahrerassistenzsystemen. Außerdem ist die Einbindung von neuen Daten problemlos möglich.

Anhand von Abb. 2 soll der Vorteil einer LDM durch Zusammenführung unterschiedlicher Informationen zu einer erweiterten Umfeldansicht gezeigt werden. Die Informationen können von unterschiedlichen Quellen kommen und für verschiedene Anwendungen verwendet werden.

3 Stand der Technik und ähnliche Arbeiten

Das Konzept einer Local Dynamic Map wurde in verschiedenen Projekten wie SAFESPOT¹, COVEL² oder CVIS³ in Ansätzen umgesetzt. Das Konzept ist also nicht komplett neu und wurde entsprechend schon in unterschiedlichen Projekten teilweise entwickelt und verwendet. Für das EU-Projekt GAIN (Streiter et al., 2013b) wurde eine LDM komplett neu konzipiert und mit in dem Projekt geforderten Funktionen versehen. Diese bildet die Grundlage für die in dieser Veröffentlichung verwendete LDM.

Auf der Standardisierungsebene wurde vom European Telecommunications Standards Institute (ETSI) ein Technical Report zur Beschreibung einer LDM herausgegeben (European Telecommunications Standards Institute, 2011). Von der International Organization for Standardization (ISO) wurde ebenfalls ein Vorschlag zur Standardisierung von LDMs vorgelegt (International Organization for Standardization, 2014). Dies sind beides wesentliche Schritte für eine einheitliche Definition des LDM-Konzepts, woran sich entsprechend bei der Umsetzung gehalten werden kann. In (Koenders et al., 2014) wird eine LDM vorgestellt, welche auf einer dedizierten Hardware läuft und einfach in ein Fahrzeug integriert werden kann. Diese wurde im Rahmen des

Projektes Compass4D⁴ entwickelt. Die entsprechende Veröffentlichung gibt keine Hinweise auf die Reaktionszeiten der Local Dynamic Map. Dadurch entzieht sich diese Implementierung der LDM einem Vergleich mit der vorliegenden Implementierung in dieser Veröffentlichung.

3.1 Aufbau

Die LDM nutzt eine interne Datenbank für die Verwaltung der Daten. Die Daten lassen sich in statische und dynamische Daten unterteilen. Dynamische Daten sind nicht a priori bekannt und besitzen nur eine kurzfristige Gültigkeit. Dabei kann es sich z.B. um Verkehrsdaten oder die Positionen von anderen Verkehrsteilnehmern handeln. Bei statischen Daten handelt es sich um a priori Wissen, welches eine langfristige Gültigkeit hat. Dabei kann es sich z.B. um Straßen-Karten handeln. Die Unterscheidung über Gültigkeit und damit die Art der Daten ist jedoch nicht immer ganz eindeutig. So unterliegen Straßen-Karten auch ständigen Veränderungen durch bspw. Erweiterung des Straßennetzes. Dadurch haben selbst statische Daten keine unbegrenzte Gültigkeit, wie am Beispiel der Straßen-Karten zu erkennen ist (Stichwort Kartenaktualisierung). Der Aufbau der entwickelten LDM wird in vier Abschnitte unterteilt (siehe Abb. 3), welche im Folgenden kurz beschrieben werden.

1. Datenbank (MongoDB)

Zum Verwalten und Speichern der Daten wird die open-source Datenbank mongoDB⁵ verwendet. Diese Datenbank besitzt verschiedene Eigenschaften wie JavaScript Object Notation (JSON), Umgebungsabfragen zu einer Position sowie schnelle Reaktionszeiten bei Abfragen. Diese und weitere Eigenschaften waren wichtig bei der Entscheidung für diese Datenbank.

2. Datenbankmanagementsystem (DBMS)

Zusätzlich zum DBMS des mongoDB wurde noch ein eigenes in C# geschrieben, welches die Funktionalität des mongoDB kapselt. Damit können eigene Anforderungen und Abhängigkeiten in der entsprechenden Umgebung definiert werden.

3. Programmierschnittstelle (API)

Für die Kommunikation mit anderen Teilnehmern wird ein RESTful-konformer Webserver mit der Repräsentierung in JSON (Crockford, 2006) verwendet. Webanfragen und die Datenrepräsentierung in JSON wird in vielen Programmiersprachen unterstützt und bietet daher eine gute Anbindung unterschiedlicher Applikationen. Die Repräsentierung in JSON bietet zum einen ein kompaktes Format und zum anderen ist es jedoch noch menschenlesbar.

4. Applikationen

Die Applikationen, welche die Informationen aus der

¹<http://www.safespot-eu.org>

²<http://www.covel-project.eu>

³<http://www.cvisproject.org>

⁴<http://www.compass4d.eu>

⁵<http://www.mongodb.org/>

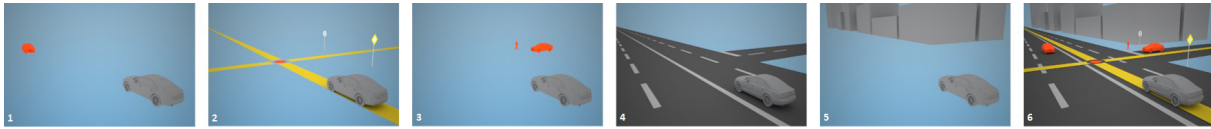


Abb. 2. Darstellung unterschiedlicher Layer mit verschiedenen Daten aus mehreren Quellen in einer LDM. Die Informationen werden in der LDM zu einer erweiterten Umfoldsicht zusammengefasst (6). Die unterschiedlichen Quellen können 1: Fahrzeugdetektion mit Frontkamera, 2: Statische Daten von einem Map-Provider, 3: Positionen anderer Verkehrsteilnehmer über C2C(X) Kommunikation, 4: Spurgenaue statische Straßendaten oder 5: 3-D-Gebäudemodelle sein.

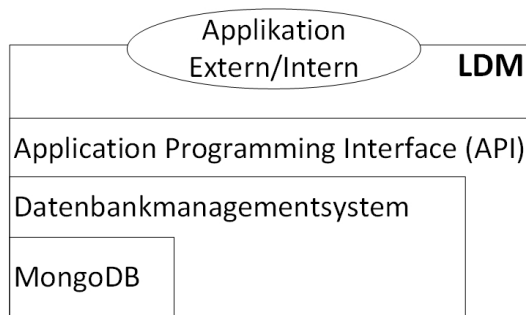


Abb. 3. Aufbau der LDM in vier unterschiedliche Bereiche. Die MongoDB realisiert die Datenbankfunktionalität zum Speichern der Daten, das Datenbankmanagementsystem regelt die Zugriffsmöglichkeiten und die Konsistenz der Daten, das Application Programming Interface realisiert den Zugriff und die Kommunikation mit anderen Teilnehmern. Die Applikationsebene bildet die eigentlichen Anwendungen aufbauend auf den Daten aus der LDM ab.

LDM weiterverarbeiten und entsprechende Aufgaben erledigen, lassen sich in interne und externe Applikationen unterscheiden. Interne Applikationen sind innerhalb der LDM implementiert (sind Teil der LDM) und bieten direkt einen Mehrwert aus der LDM heraus. Im Gegenteil dazu werden externe Applikationen bei anderen Kommunikationspartnern ausgeführt und müssen sich die Informationen von der LDM erfragen.

3.2 Implementierung

Für die Entwicklung wurde das Framework der Professur Nachrichtentechnik der TU Chemnitz verwendet und erweitert. Dieses basiert auf der Programmiersprache C# und ermöglicht eine komponentenbasierte Entwicklung von Algorithmen. Dieses Framework bietet funktional die Möglichkeit der rapid prototyp Entwicklung von Advanced Driver Assistance Systems (ADASs) und setzt auf dem Framework der Firma BASELABS (Schubert et al., 2012) auf.

3.3 Eigenschaften

Datenkonsistenz Die Gewährleistung der Konsistenz der Daten von verschiedenen Verkehrsteilnehmern ist von zentraler Bedeutung. Der Zeitpunkt der Gültigkeit von Daten ist speziell für kurzfristig gültige Daten wie

z.B. Position, Geschwindigkeit und Beschleunigung eines Fahrzeuges wesentlich um die korrekte Verarbeitung und Interpretation zu gewährleisten. Die Probleme dabei sind eine nicht zwangsläufig synchronisierte Zeitbasis der Verkehrsteilnehmer und die Latenz der Kommunikationskanäle. Speziell beim Einsatz verschiedener Kommunikationskanäle mit unterschiedlicher und schwankender Latenz stellt dies ein Problem für die Konsistenz der Daten dar.

Robustheit Durch das Zusammenspiel von unterschiedlichen Verkehrsteilnehmern mit unterschiedlichen Daten muss stets gewährleistet sein, dass die LDM ihren Betrieb aufrechterhält. Dementsprechend wurde die LDM so robust wie möglich gegen Ausfälle konzipiert und umgesetzt. Dies bedeutet die ankommenden Daten stets auf Plausibilität zu prüfen und bestimmte Informationen nur durch bestimmte Teilnehmer schreibbar zu machen (z.B. Ego-Position des Fahrzeuges in der LDM).

Generische Anbindung Ein wichtiger Punkt ist die möglichst einfache Anbindung der LDM an unterschiedliche Applikationen und Verkehrsteilnehmer. Aus diesem Grund wird für die Kommunikation der LDM ein RESTful-konformer Webserver mit der Datenrepräsentation in JSON verwendet. Dadurch sollen die Hürden zur Anbindung unterschiedlicher Applikationen möglichst niedrig gelegt werden. Zur Integration von statischen Daten wurden Interfaces zur Anbindung unterschiedlicher Map-Provider wie HERE Maps oder OpenStreetMap geschaffen.

Latenz Im ITS-Umfeld haben Latenzen und Reaktionszeiten für die Aktualität von Daten eine hohe Priorität. Um die Reaktionszeit der LDM minimal zu halten wird deshalb ein Cache verwendet. In diesem Cache werden kurzzeitig die wichtigen Daten gehalten, damit schneller auf Anfragen reagieren werden kann. Im nächsten Kapitel wird näher auf die Reaktionszeiten der LDM eingegangen.

4 Reaktionszeit der LDM

Im ITS-Bereich sowie zur Verarbeitung dynamischer Fahrzeugdaten sind Reaktionszeiten ein wichtiges Kriterium für

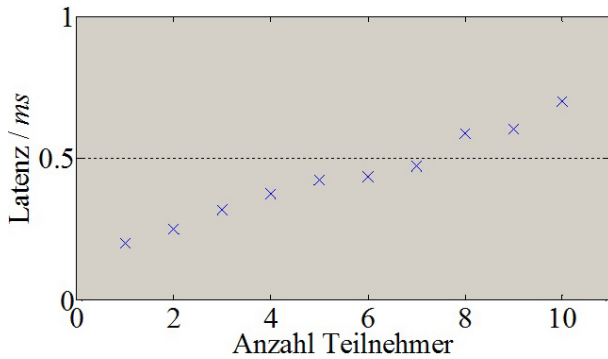


Abb. 4. Die Reaktionszeit der LDM in Abhängigkeit der simulierten Verkehrsteilnehmer. Pro Teilnehmer wurden 10k Anfragen asynchron und ohne Warten auf eine Antwort auf die Local Dynamic Map abgesetzt.

die Gültigkeit der Daten. Nur bei ausreichend kleinen Reaktionszeiten sind die Daten aus der LDM aktuell genug um verwendet werden zu können. Im Folgenden wurden daher eine Fülle von unterschiedlichen Anfragen an die LDM von mehreren Teilnehmern simuliert. Die Anfragen beinhalteten Datenanfragen nach Fahrzeugen, Positionen, Roadpolygone usw., um eine möglichst breite Auslastung der Datenabdeckung zu erhalten. Die Anzahl der Anfragen wurde auf 10k pro Teilnehmer gesetzt. Die Anfragen wurden pro Teilnehmer asynchron und ohne Warten auf eine Antwort von der LDM gesendet. Die Anfragen wurden auf demselben System gestartet, wo auch die LDM ausgeführt wurde. Dadurch sollte der Einfluss von Kommunikationskanälen wie Wifi mit dem entsprechenden Overhead an Zeit unterbunden werden. Diese Ausprägung der Anfragen sollte im regulären Betrieb bei einem Teilnehmer selten passieren. Gemessen wurde die Reaktionszeit der LDM vom Eintreffen der Anfrage bis zur Beantwortung.

Die Ergebnisse der Simulation zeigt Abb. 4. Aufgetragen ist die mittlere Reaktionszeit (y-Achse) der LDM pro Anzahl der Teilnehmer (x-Achse). Die Reaktionszeit der LDM steigt stetig mit steigender Teilnehmeranzahl an, jedoch bleibt sie immer unter 1 ms. Während der Simulation gab es bei einzelnen Anfragen auch keine Ausreißer in den Reaktionszeiten, so dass alle Anfragen im Mittel in der gleichen Reaktionszeit bedient werden konnten. Diese Reaktionszeit erfüllt die Anforderungen für die bisherigen Anwendungen auf die im nächsten Abschnitt weiter eingegangen wird.

5 Applikation

Die LDM kann unterschiedlichen Applikationen in einem Fahrzeug Daten zur Verfügung stellen. In diesem Abschnitt soll auf einige Anwendungen (auch Layer genannt), wie genaue Verkehrszeichenkarten und Map Matching, eingegangen werden. Weitere implementierte Layer wie Gebäude-

karten, spurgenaue Umgebungskarten, Wetterdaten oder Verkehrsdaten sollen hier nur erwähnt werden.

5.1 Genaue Verkehrszeichenkarten

Eine Verkehrszeichenerkennung die in der Lage ist die relative Position des Verkehrsschildes zum Fahrzeug zu bestimmen, bietet bei der Anbindung an die LDM verschiedene Möglichkeiten. Zum einen kann die Position des Verkehrsschildes aus der Position des Fahrzeuges und der Relativposition des Verkehrsschildes zum Fahrzeug bestimmt werden. Dies ermöglicht das Erstellen von dynamischen Karten für Verkehrszeichen. Diese dynamische Karte kann beim Hinzufügen und Entfernen von Verkehrszeichen sich selbst aktualisieren. Das mehrmalige Abfahren der Verkehrszeichen sowie die Synchronisierung mit den dynamischen Karten anderer Verkehrsteilnehmer verbessern den Datenstand dieser Karte immer weiter. Vorhandene Karten mit genauer Position von Verkehrszeichen können für die Verbesserung der Eigenlokalisierung genutzt werden. Die Position des Verkehrsschildes relativ zum Fahrzeug und die aus der Karte bekannte absolute Position des Verkehrsschildes ermöglichen einem an die LDM angebotenen Lokalisierungsalgorithmus die Eigenposition mit diesen Informationen zu verbessern (Welzel et al., 2014).

5.2 Vehicle in Front

Neben den rohen Umgebungsinformationen um das Ego-Fahrzeug ist es manchmal auch wichtig bereits vorverarbeitete Daten zu erhalten, anhand dessen sich schon explizite Handlungsanweisungen ablesen lassen. Genau an diesem Punkt setzt die Anwendung *Vehicle in Front* an und leitet anhand von der eigenen Position und der Position von anderen Fahrzeugen ab, ob diese auf dem eigenen Weg ein Gefährdungspotenzial darstellen. Für die Extraktion dieser Information muss jeweils ein *Map Matching* der Verkehrsteilnehmer in einem bestimmten Umkreis um das Ego-Fahrzeug gemacht werden. Darauf aufbauend wird diese Information in einem nächsten Schritt genutzt um mittels der *spurgenaue Umgebungskarten* zu prüfen, ob die vorderen Fahrzeuge von der aktuellen Position aus erreicht werden können. Ist dies der Fall, so besteht ein Gefahrenpotenzial aus der Perspektive des Ego-Fahrzeuges. Mit dieser Information können nachgeschaltete Anwendungen weiter verfahren.

6 Zusammenfassung

In dieser Veröffentlichung wurde die Local Dynamic Map mit ihren wesentlichen Parametern für eine zuverlässige Verwendung im ITS-Umfeld beschrieben. Neben dem realen Aufbau wurde auch auf die auf den Daten aufbauenden Anwendungen eingegangen. Die LDM bietet durch ihr Konzept die Möglichkeiten Daten zu speichern und anderen Teilnehmern zur Verfügung zu stellen. Ebenso sind den

Anwendungen, welche auf die Daten der LDM aufbauen, kaum Grenzen gesetzt.

Edited by: M. Chandra

Reviewed by: two anonymous referees

7 Ausblick

Die Local Dynamic Map muss immer im globalen Maßstab gesehen werden und sollte sich deshalb vorwiegend an zu implementierenden Standards orientieren. Im ITS-Umfeld existieren bereits Technical Reports für LDMs (European Telecommunications Standards Institute, 2011) sowie für den Austausch von Daten über Car2Car bzw. Car2X (European Telecommunications Standards Institute, 2014). Die *Cooperative Awareness Message (CAM)* nach ETSI, welche in den oberen Standardisierungsdokumenten genauer spezifiziert ist, bietet bei einer Implementierung der CAM in die LDM einen ersten Schritt für eine leichtere Anbindung externer Anwendungen.

Im Bereich der GNSS-Lokalisierung gibt es zur Reduzierung der Einflüsse der Ionosphäre auf die Funksignale der Satelliten den Service EGNOS/EDAS. Der European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS) ist direkt mit einem normalen GPS-Receiver empfangbar, der EGNOS Data Access Service (EDAS) ist der äquivalente Dienst nur über das Internet. Beide Services senden Parameter für ein Korrekturmodell, welches eine Art Korrekturgrid aufbaut und mit der Ego-Position die Einflüsse der Ionosphäre abmildert. Diese Aufgabe übernimmt bei EGNOS ein Empfänger und bei EDAS eine dedizierte Anwendung. Genau hier kann eine LDM ansetzen. Diese kann das Korrekturgrid aufbauen und auf Anfrage die entsprechenden Korrekturen zu einer Position bereitstellen.

An der Professur für Nachrichtentechnik der TU Chemnitz existiert bereits eine ITS-Station (Streiter et al., 2013a). An dieser können gezielt Anwendungen und Funktionalitäten der LDM erweitert und unter realen Bedingungen im Zusammenspiel mit unterschiedlichen Verkehrsteilnehmern (Fahrzeugen, Fußgängern, ...) getestet werden.

Literatur

- Crockford, D.: JavaScript Object Notation (JSON), 2006.
- European Telecommunications Standards Institute: Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Local Dynamic Map (LDM); Rationale for and guidance on standardization, Tech. Rep. V1.1.1, ETSI, 2011.
- European Telecommunications Standards Institute: Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service, Tech. Rep. V1.3.1, ETSI, 2014.
- International Organization for Standardization: Intelligent transport systems – Cooperative systems – Definition of a global concept for Local Dynamic Maps, 2014.
- Koenders, E., Oort, D., and Rozema, K.: An open Local Dynamic Map, 2014.
- Schubert, R., Richter, E., Mattern, N., and Löbel, H.: Rapid Prototyping of ADAS und ITS Applications on the Example of a Vision-based Vehicle Tracking System, in: 20th ITS World Congress, Tokyo, 2013: Proceedings, 2012.
- Streiter, R., Adam, C., Bauer, S., Obst, M., Pech, T., Reisdorf, P., Schubert, R., Thomanek, J., Welzel, A., and Wanielik, G.: A Prototyping ITS Station for Advanced Driver Assistance Systems and Pedestrian Safety, in: Advanced Microsystems for Automotive Applications 2013, Herausgeber: Fischer-Wolfarth, J. and Meyer, G., Lecture Notes in Mobility, pp. 89–99, Springer International Publishing, 2013a.
- Streiter, R., Obst, M., and Liberto, C.: Prototype Implementation and Positioning Performance Results of the GAIN Enhanced Active Green Driving Assistant, 2013b.
- Welzel, A., Auerswald, A., and Wanielik, G.: Accurate camera-based traffic sign localization, in: Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2014 IEEE 17th International Conference on, pp. 445–450, 2014.