

Die Rolle digitaler Karten für Sicherheitsfunktionen im Straßenverkehr

Li Zhang, Jinyue Wang, Martin Wachsmuth, Marko Gasparac und Volker Schwieger

Zusammenfassung

Das europäische Projekt TransSec begann im Februar 2018 mit der Zielsetzung, zur Verhinderung von Terroranschlägen ein intelligentes System zur Positionsüberwachung und zum Manövrieren zu entwickeln und umzusetzen. Eine Aufgabe ist den Prototyp einer Karte unter Einbeziehung der statischen Umgebung zu entwickeln und umzusetzen, welche die Grundlage für einen Map-Aiding-Algorithmus darstellt. Abschließend soll eine sogenannte Local Dynamic Map (LDM) erstellt werden, die Informationen von Sensoren und Laserscannern über die aktuell erfasste Situation verwendet, um dynamische Objekte wie Fahrzeuge und Fußgänger in der Nähe von LKW zu erkennen. In diesem Beitrag wird über die Rolle von digitalen Karten für die Straßenverkehrssicherheit diskutiert und es werden erste Ergebnisse hinsichtlich der Analyse der Verfügbarkeit und Qualität der digitalen Straßenkarten präsentiert. Zuletzt werden einige zukünftige Arbeiten vorgestellt und diskutiert.

Summary

The European Project TransSec was started in February 2018 and its goal is to design and implement such an intelligent positional monitoring and manoeuvring system to prevent the terror attacks. One task is to design, develop and implement a prototype of map including the static environment for the vehicle based on a map aiding algorithm. Finally a local dynamic map will be created using the information of the current acquired situation from the sensors like cameras and laser scanners, so that the dynamic objects like vehicles, pedestrian around the trucks can be detected. In this paper, the role of digital maps in Road Transport Security will be discussed and also the first results of map data availability and quality analysis. At the end some future works will be introduced and discussed.

Schlüsselwörter: Intelligentes Transportsystem (ITS), digitale Straßenkarten, Local Dynamic Map (LDM)

Anmerkung: Dieser Beitrag wurde erstmalig in englischer Sprache bei der FIG Working Week, 22. bis 26. April 2019, in Hanoi, Vietnam unter dem Titel »Role of Digital Maps in Road Transport Security« (Zhang et al. 2019) veröffentlicht. Nach der Übersetzung durch Frau Ute Schinzel, der die Autoren herzlich danken, wurde der Artikel überarbeitet und aktualisiert.

1 Einleitung

Eine neue Form einer Sicherheitsfunktion ist erforderlich, um zu verhindern, dass Terroristen LKW als Waffen verwenden. Im Februar 2018 begann das europäische Projekt TransSec (Autonomous Emergency Manoeuvring and Movement Monitoring for Road Transport Security/Autonome Notfallenmanöver und Bewegungsüberwachung für die Straßensicherheit), welches von der EU-Kommission im Rahmen von Horizon H2020 drei Jahre lang finanziell gefördert wird. Um solche Terroranschläge zukünftig zu verhindern, zielt TransSec auf die Entwicklung eines Systems, welches den LKW permanent überwacht und im Falle kritischer Fahrmanöver automatisch Notfallroutinen startet, um die auftretende Gefahr zu minimieren. Da diese Notfallroutinen in aktuellen Systemen vom Fahrer deaktiviert werden können, ist es das Ziel von TransSec, ein System zu entwickeln, welches nicht außer Kraft gesetzt werden kann. Auf diese Weise kann der Missbrauch von LKW verhindert werden.

Im Projekt werden die folgenden Technologien miteinander kombiniert: GNSS (besonders Galileo), Multisensorsystem, digitale Straßenkarten, Umgebungserkennung und Risikoanalyse, autonome Fahrmanöver sowie Kommunikation des LKWs mit seiner Umgebung.

Ein Kernmerkmal dieses neuen Sicherheitssystems wird ein robustes und zuverlässiges Positionierungssystem sein. Die GNSS-Positionierung wird durch die neuesten Entwicklungen des Galileo-Navigationssatellitensystems verbessert wie z.B. durch die Signalauthentifizierung zur Erkennung von Spoofing, elektronischen Störmaßnahmen und anderen Manipulationen. Außerdem wird das Positionierungssystem um Trägheitssensoren ergänzt, um eine zuverlässige Positionsbestimmung sogar in schwierigen städtischen Bereichen wie beispielsweise in Häuserschluchten zu gewährleisten.

Um verbotene Fahrmanöver wie das Fahren in Fußgängerzonen oder verbotene Wendemanöver zu erkennen, werden die Informationen der digitalen Straßenkarte genutzt. Die Koordinaten des Positionierungssystems werden zur Ortung der LKW in der Karte mittels Map-Aiding-Algorithmus (z.B. Wang et al. 2018) verwendet. Kommen die LKWs in die Nähe eines sicherheitskritischen Bereichs oder fahren darauf zu, so werden anhand von Sensoren für die Umgebungserkennung wie Kameras und Laserscanner, die auf den LKWs montiert werden, die statischen Funktionen der Karte erweitert zu einer sogenannten lokalen dynamischen Karte (Local Dynamic Map) mit aktuellen dynamischen Objekten um den LKW herum, z. B. Fußgängern oder anderen Fahrzeugen. Auf der

Grundlage dieser erweiterten Kartendaten und der Bewegungsverfolgung der umgebenden Objekte und Personen wird eine Risikoanalyse durchgeführt. Wenn sicherheitskritische Fahrmanöver erkannt werden, greift das Sicherheitssystem ein, um die Gefahr zu reduzieren oder, wenn möglich, zu eliminieren. Außerdem wird die Umgebung vor der bevorstehenden Gefahrensituation durch eine Car-to-X-Kommunikation (V2X-Technologie) gewarnt.

Die Projektpartner kommen aus vier europäischen Ländern: die Daimler AG (DAI) aus Deutschland ist der Projektkoordinator; die anderen Projektpartner sind die TeleConsult Austria GmbH (TCA, Österreich), Vicomtech (VICOM, Spanien), das Waterford Institute of Technology (WIT, Irland) sowie die Universität Stuttgart, Institut für Ingenieurgeodäsie (IIGS). Weitere Informationen finden sich auf der offiziellen Projektwebseite TransSec (2019). Das IIGS arbeitet zusammen mit TCA an der Multisensorintegration für das Positionierungssystem und mit DAI an der digitalen Straßenkarte. Das IIGS leitet das letztgenannte Arbeitspaket. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse hinsichtlich der Kartenqualität basierend auf relevanten Anwendungsfällen aufgezeigt. Am Ende wird die konzeptionelle Umsetzung der lokalen dynamischen Karte vorgestellt.

2 Digitale Straßenkarte

2.1 Einführung

Die digitale Straßenkarte ist eine wesentliche Komponente für Navigationssysteme und Fahrerassistenzsysteme. Sie enthält geometrische, topologische und semantische Informationen im Straßenverkehrsnetz. Eine Straßenkreuzung in der realen Welt wird zum Beispiel in einer digitalen Straßenkarte mit Knoten und Verbindungslinien dargestellt, die miteinander verbunden sind und die Straßen-Mittellinien des Straßenverkehrsnetzes bilden (Eskandarian 2012).

Für die Interoperabilität von digitalen Straßenkarten werden standardisierte Formate von verschiedenen Anbietern definiert (Ehmke 2012). Einer davon ist der ISO Geographic Data Files Standard (GDF), welcher zu Beginn der 1990er Jahre normiert wurde. Heute ist der GDF weiterentwickelt und wird von den kommerziellen Kartenanbietern für Navigationszwecke und für die Entwicklung intelligenter Verkehrssysteme (ITS) verwendet.

Der seit dem Jahr 2004 entwickelte Navigation Data Standard (NDS) ist ein neuer weltweiter Kartenstandard, der den Qualitätsanforderungen der Automobilindustrie gerecht wird. NDS ist ein standardisiertes binäres Datenbankformat und ermöglicht den Austausch von Navigationsdaten zwischen verschiedenen Systemen sowie das flexible Zusammenstellen von Karten und deren Aktualisierung (NDS 2019). Seit 2012 sind NDS Produkte auf dem Markt verfügbar und werden überwiegend in

Fahrzeugen von BMW, Daimler und Volkswagen (z.B. Schützle 2016) verwendet. Die NDS-Daten sind in einer SQLite-Datenbank gespeichert, welche aufgrund der Verwendung von standardisierten Parametern inkrementelle Kartenaktualisierungen unterstützt und die Suche innerhalb der funktionalen Module ermöglicht (Kleine-Besten et al. 2016).

Für TransSec wird die kommerzielle digitale Straßenkarte im NDS-Format verwendet. In der ersten Projektphase werden die Verfügbarkeit von Kartenmaterial und Qualität (besonders die geometrische Genauigkeit) der digitalen Straßenkarten untersucht. Da die meisten Terroranschläge typischerweise in belebten Bereichen mit vielen Personen stattfanden, z.B. Terroranschläge mit LKW in Nizza, Berlin und New York City, werden verschiedene Anwendungsfälle definiert und das Kartenmaterial wird auf Basis von vier konkreten Anwendungsfällen untersucht: »Fußgängerzone«, »Einkaufsstraße«, »Marktplatz« sowie »Touristenpromenade«. Die Verfügbarkeit von Merkmalen und Attributen dieser Anwendungsfälle wurde detailliert analysiert und die Ergebnisse werden im Folgenden aufgezeigt.

2.2 Verfügbarkeitsanalyse der digitalen Kartenmaterialien

2.2.1 Kartenmerkmale

Es gibt drei Typen von Kartenmerkmalen: Punkt, Linie und Fläche. Anhand dieser Merkmale können verschiedene Objekte dargestellt werden.

Punktmerkmale

Um Merkmale wie Einkaufszentren und Gebäude darzustellen, werden normalerweise einzelne Punkte zur Basiskartendarstellung verwendet. Auch die Formpunkte und Kreuzungen könnten mit Punkten dargestellt werden. Auch POI wie Regierungsgebäude, Museen, Touristenattraktionen und Parks werden als Punkte digitalisiert. Die Basisstationen der Mobilfunkbetreiber, die für die Kommunikation von Nutzen wären, werden nicht in der Kartendatenbank aufgeführt. Sonderziele für LKWs (wie LKW-Raststätten und Wiegestationen) sind in Standard-Kartendatenbanken nicht aufgeführt.

Linienmerkmale

Linienmerkmale werden in der Regel verwendet, um Straßen, Fährverbindungen, Eisenbahnlinien und andere darzustellen. Die Straßen sind vollständig in der Linien-schicht der »Straßen« in NDS-Daten enthalten. Wichtiger sind die Attribute der Straßen, diese werden in Abschnitt 2.2.2 beschrieben.

Flächenmerkmale

Das NDS-Format bietet drei verschiedene Flächentypen. Zwei davon sind für die Positionierung von Fahrzeugen

und den Kartenabgleich von sehr großer Bedeutung: Flächennutzung (z.B. bebaute Flächen) und Gebäude (z.B. Krankenhäuser oder Industriegebäude).

Es gibt verschiedene Typen von Flächenmerkmalen in den Schichten Landnutzung (wie Vergnügungsparks, Krankenhaus, Universität, Einkaufszentrum) und Landmark (wie Bücherei, Moschee). Darüber hinaus sind in der Kartendatenbank keine Fußgängerbereiche definiert. Ob ein Bereich nur für Fußgänger erlaubt ist, wird durch die Verwendung entsprechender Kartenattribute beschrieben (siehe Abschnitt 2.2.2).

2.2.2 Kartenattribute

Die Kartenmerkmale haben Attribute, die ihre Eigenschaften beschreiben.

Standardattribute

Die Attribute eines digitalen Straßennetzes sind semantische Daten, die in Bezug gesetzt werden zu Verbindungen, Knoten und Formpunkten. Standardkartenattribute für die Routenberechnung und Navigationsanwendungen sind zum Beispiel Straßename und Fahrtrichtung. Es sind die folgenden, für dieses Projekt wichtigen Attribute verfügbar: vorgeschriebene Fahrtrichtung, Fahrspurzahl, Fahrrestriktionen, Höchstgeschwindigkeit sowie Verkehrszeichen.

Es ist zu beachten, dass die verwendeten kommerziellen digitalen Kartendaten keine fahrspurgenauen Informationen beinhalten. Es handelt sich um eine Navigationskarte, die nicht die geometrischen Informationen (Koordinaten) der Mittellinien von Fahrspuren enthält, sondern nur die geometrischen Informationen der Mittellinie der Straße. Für solche Navigationskarten werden keine geometrischen Informationen für jede Fahrbahnspur hinterlegt, aber Attribute auf Fahrbahnebene sind verfügbar (z.B. Fahrtrichtung, Anzahl der Fahrspuren).

Laut Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA 2008) kann die Fahrbahnbreite in Deutschland zwischen 2,75 m und 3,75 m variieren. Auf Autobahnen beträgt die allgemeine Fahrbahnbreite ungefähr 3,50 m, in ländlichen oder städtischen Bereichen hingegen zwischen 3,00 m und 3,75 m.

LKW-bezogene Attribute

Innerhalb des Projekts TransSec liegt der Fokus auf der Sicherheitsanwendung für LKW, die sich hinsichtlich Größe, Leistung und Konfiguration stark unterscheiden. Die Fahrbeschränkungen für LKW sind ein wichtiger Aspekt bei der Entwicklung des TransSec Systems. Alle Kartenattribute, die auf LKW bezogen sind, werden in diesem Artikel LKW-bezogene Attribute genannt.

Die verfügbaren LKW-bezogenen Attribute in der digitalen Kartendatenbank sind: Fahrrestriktionen und -verbote für bestimmte Bereiche (z.B. Baugebiet, Teile des Stadtgebietes), zeitliche Fahrrestriktionen, erlaubte Fahrtrichtung zu bestimmten Uhrzeiten, Gewichts- und/oder

Maßbeschränkung, Geschwindigkeitsbegrenzung mit/ ohne eingeschränktem Zeitbereich, spezifische Schilder für LKW (z.B. für LKW nicht zugänglich), Zusatzschilder für LKW über 7,5 Tonnen, Verkehrsschilder in Bereichen Bahnübergang, Schulzone, Straßenbahnübergang, Fußgängerübergang, etc. Es sei darauf hingewiesen, dass eine Attributschicht für LKW-Attribute im NDS extra definiert ist, die Verkehrsbeschränkungen für LKW-Fahrzeuge wie Höhen-/Breiten-/Längenbegrenzung und Straßenbreite beschreibt.

2.3 Kartendatenqualitätsanalyse

Die meisten autonomen Fahrzeuge und hochautomatisierten Fahrzeugsysteme benötigen hochgenaue Straßenkarten, die eine präzise Fahrzeugpositionierung ermöglichen. Für die Entwicklung eines Straßenverkehrssicherheitssystems für LKW im Rahmen des TransSec-Projekts müssen zunächst die Genauigkeiten der digitalen Straßenkartendaten ausgewertet werden, damit die Verbesserungspotenziale für eine verbesserte statische Karte genutzt werden können.

Die Unsicherheiten einer digitalen Straßenkarte sind im Allgemeinen auf Fehler bei der Datenerfassung, Kartenerstellung und Digitalisierung zurückzuführen (Eskandarian 2012). Knoten und Formpunkte des digitalen Straßennetzes werden im globalen Koordinatensystem WGS84 (Breiten- und Längengrad) dargestellt. Um die Genauigkeit digitaler Straßenkarten zu bestimmen, wurden Referenztrajektorien auf Basis der GNSS-Technologie generiert. Die überprüften Qualitätskriterien werden in diesem Abschnitt beschrieben.

2.3.1 Erzeugung von Referenztrajektorien

Basierend auf der GNSS-Technologie werden präzise kinematische Referenztrajektorien zur Auswertung der geometrischen Genauigkeit digitaler Straßenkarten erzeugt, die auch mit Trägheitssensoren wie Gyroskopen und Odometer kombiniert werden können, um die Positionierungsgenauigkeit zu erhöhen. Das Messfahrzeug von IIGS war mit einem hochwertigen geodätischen GNSS-Zweifrequenzempfänger (Leica Viva GS15) ausgestattet, der auf dem Autodach montiert war (Wang et al. 2017a). Für hochgenaue GNSS-Lösungen wurden die finalen Koordinaten der kinematischen GNSS-Spuren basierend auf den aufgezeichneten GNSS-Rohdaten mit der GNSS-Verarbeitungssoftware Wa1 (Wa1 2013) berechnet. Die Koordinaten der Referenztrajektorien werden im Universal Transverse Mercator (UTM)-System dargestellt. Die Koordinatengenauigkeiten sind besser als 10 cm. Die zur Kartenevaluierung verwendeten GNSS-Trajektorien werden so ausgewählt, dass sie die reale Straßengeometrie gut repräsentieren können. Dabei werden die Fahrzeugtrajektorien beim Durchfahren von Baustellen oder Spurwechseln nicht berücksichtigt.

Die Genauigkeitsbewertung der digitalen Straßenkartendaten erfolgt für die folgenden Bereiche: städtische und ländliche Räume, Autobahnauf- und -abfahrt, Autobahn. Für dieses Projekt ist der Bereich Stadtgebiet von wesentlicher Bedeutung. Die ausgewählten Stadtgebiete liegen in verschiedenen Stadtteilen Stuttgarts (Testgebiet 1-5). Die untersuchten Autobahnbereiche setzen sich aus den Auf- und Abfahrten einer deutschen Autobahn und der Autobahn selbst zusammen. Es ist zu erwähnen, dass die Autobahn, ihre Autobahnauf- und -abfahrten sowie die Straßen in städtischen Gebieten meist mehrspurige Straßen sind. Für die Qualitätsanalyse der kommerziellen digitalen Kartendaten wurde eine Gesamtlänge von 147 km (mit rund 9000 GNSS-Bezugspunkten) bewertet.

Zur Beurteilung der Positionskartengenauigkeit ist der Wert des berechneten senkrechten Abstandes von jedem GNSS-(Referenz-)Punkt zur korrekt identifizierten Straßenverbindung stark von der Straßenbreite abhängig. Wie in Abb. 1 dargestellt, enthält der senkrechte Abstand

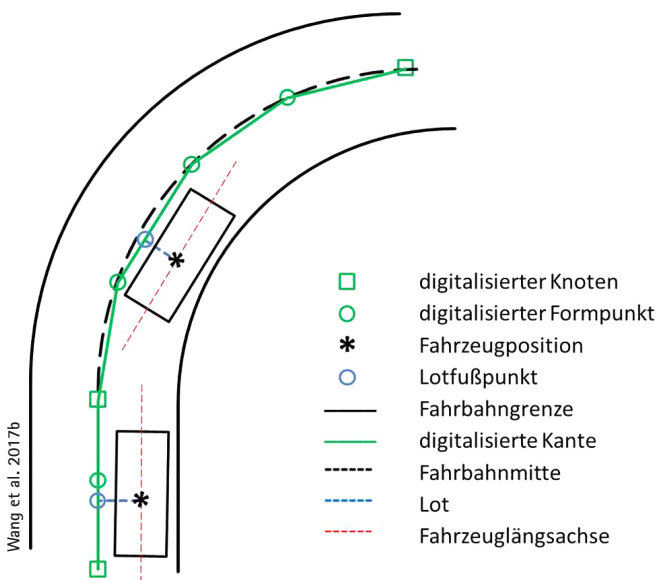


Abb. 1: Darstellung der Fahrzeugposition in Bezug auf die Straßenmittelachse

von der gemessenen Fahrzeugposition (Referenzpunkt) zur angepassten Straßenverbindung (siehe grüne Linien in Abb. 1), einer zweispurigen Straße, einen Versatz von einer halben Fahrbahnbreite: 1,75 m. Die Fahrbahnbreite wird mit 3,5 m angenommen. Bestehen die Straßen aus drei oder mehr Fahrspuren, sollte dieser Versatz von 1,75 m mit $(n-1)$ multipliziert werden, während n die Anzahl der Fahrspuren ist.

2.3.2 Absolute und relative Genauigkeit

Die absolute Genauigkeit

Meistens ist die Form einer Straßenverbindung keine gerade Linie, sondern ein Polygonzug. Sie wird durch den Start- und Endknoten und die Formpunkte dargestellt.

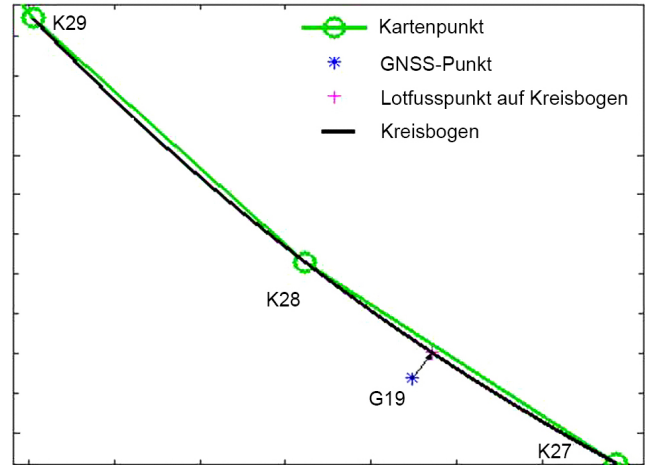


Abb. 2: Beziehung zwischen Kartenpunkten, GNSS-Punkten und Fußpunkten der GNSS-Punkte

Die Formpunkte werden zwischen den Knoten platziert, meist nicht in äquidistanten Abständen (Eskandarian 2012). Die absolute Genauigkeit beschreibt die Positionsabweichung der Kartenpunkte (Knoten und Formpunkte) im Verhältnis zu ihrer tatsächlichen Position auf der Erde. Um realistischere Bewertungsergebnisse zu erzielen, wird die kürzeste Entfernung zwischen jedem GNSS-Punkt und dem Kreisbogen, der aus drei aufeinanderfolgenden Kartenpunkten bestimmt wird (siehe Abb. 2, K27–K29), von denen zwei (K27 und K28) die Start- und Endknoten der angepassten Straßenverbindung sind, verwendet, um die Genauigkeit der absoluten Positionen der Kartenpunkte zu messen. Die Lageabweichung jedes Kartenpunktes kann berechnet werden. Anschließend werden die RMS-Werte der Trajektorien bestimmt und als Ergebnis der absoluten Genauigkeit der Karte dargestellt. Die Formeln der Berechnung sind in Wang et al. (2017a) aufgeführt.

Die relative Genauigkeit

Die relative Genauigkeit wird definiert, um die korrekte relative Position der Kartenpunkte zueinander zu beschreiben. Sie wird als Formgenauigkeit der Straßenmittelachsen in der Karte beschrieben. Zur Beurteilung der relativen Genauigkeit digitaler Kartendaten werden zwei verschiedene Größen, die Orientierungsänderung $\Delta\alpha$ und die Krümmung κ , bestimmt, um zuverlässige Ergebnisse zu erzielen (Wang et al. 2017a). Zur Beurteilung der relativen Positionsgenauigkeit können die Differenz der Orientierungsänderungen $\Delta\Delta\alpha$ am beliebigen Punkt i sowie deren RMS-Wert herangezogen werden. Für einen einfacheren und besseren Vergleich werden die RMS-Werte von $\Delta\Delta\alpha$ von Grad in metrische Einheiten umgerechnet. Diese werden dann mit $rms\Delta\Delta\alpha^* = rms\Delta\Delta\alpha \cdot \pi/180 \Delta l$ der (Querabweichung durch die $\Delta\Delta\alpha$ auf der Entfernung Δl) bezeichnet, während Δl die durchschnittliche Entfernung zwischen zwei aufeinanderfolgenden GNSS-Punkten bzw. die Fahrstrecke des Fahrzeugs in einer Sekunde ist unter der Annahme, dass die Fahrzeuggeschwindigkeit etwa 50 km/h beträgt (Wang et al. 2017a).

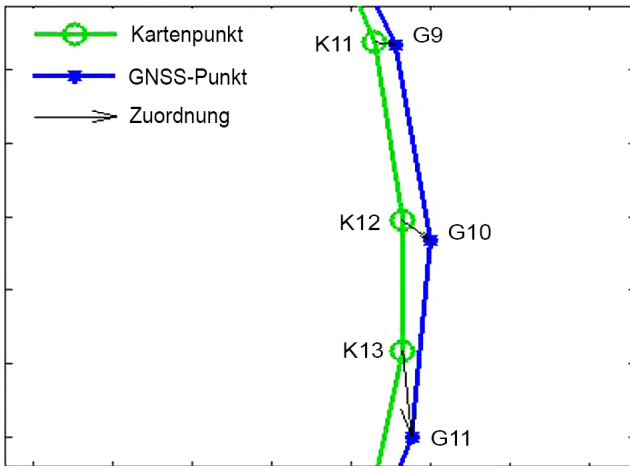


Abb. 3: Drei aufeinanderfolgende Kartenpunkte K11–K13 und die korrespondierenden GNSS-Punkte

Wie in Abb. 3 dargestellt, wird, ähnlich wie bei der Messung der absoluten Genauigkeit, jedem Kartenpunkt der nächste GNSS-Punkt zugeordnet. Für die Berechnung der Werte $\Delta\Delta\alpha$, $\Delta\kappa$ und ihrer RMS-Werte werden drei aufeinanderfolgende Punkte benötigt. In dem Beispiel in Abb. 3 wird die aus den Punkten K11 bis K13 bestehende Kartentrajektorie mit G9 bis G11 mit der GNSS-Trajektorie verglichen. Die RMS-Werte von $\Delta\Delta\alpha$ und $\Delta\kappa$ an den Punkten G10 und K12 werden jeweils berechnet. Alle Formeln der Berechnung sind in Wang et al. (2017a) aufgeführt.

Ergebnisse

Aus den Auswertungsergebnissen (Tab. 1) ist ersichtlich, dass die endgültigen durchschnittlichen RMS-Werte des absoluten geometrischen Fehlers aller drei Straßentypen Stadtgebiete, Autobahnauffahrt und -abfahrt sowie Autobahn selbst) weniger als 2 m betragen. Die Kategorie Autobahn weist die höchste absolute Genauigkeit von 1,33 m auf. In Bezug auf die relative Genauigkeit hat die Autobahn einen durchschnittlichen RMS-Wert von 0,29 m erreicht, der sich aus den berechneten Differenzen von Orientierungsänderungen $\Delta\Delta\alpha$ und $2,8 \text{ 1/km}$ unter Verwendung der Krümmungsdifferenzen $\Delta\kappa$ als Kriterium ergibt (siehe Tab. 1). Darüber hinaus ist zu beachten, dass die digitalen Kartendaten in bestimmten Autobahnabschnitten eine recht zufriedenstellende absolute Genauigkeit von 0,68 m erreicht haben. Gemäß der auf dem INTERGEO-Kongress 2018 vorgestellten aktuell spezifizierten Kartengenauigkeit weisen die von TomTom gelieferten kommerziellen digitalen Straßenkartendaten eine absolute 2D-Positionsgenauigkeit von 0,7 m auf und die relative Positionsgenauigkeit liegt bei 100 m zwischen 15 cm und 20 cm (Claus 2018), was gut mit den in Tab. 1 zusammengefassten empirischen Kartengenauigkeiten übereinstimmt.

Da die Hauptanwendungsfälle in Stadtgebieten liegen, sind die Auswertungsergebnisse der empirischen Genauigkeit digitaler Kartendaten in ausgewählten Stadtgebieten in Tab. 2 zu Analyse Zwecken aufgeführt. Im Vergleich zu digitalen Straßenkartendaten in Autobahnbereichen

Tab. 1: Bewertungsergebnisse der absoluten und relativen Genauigkeiten von Kartendaten

Genauigkeit	Stadtgebiet	Autobahnauf- und -abfahrten	Autobahn
rms_{ds} (abs.)	1,51 m	1,45 m	1,33 m
$rms_{\Delta\Delta\alpha}$ (rel.)	2,54°	4,32°	1,28°
$rms_{\Delta\Delta\alpha}^*$ (rel.)	0,58 m	0,98 m	0,29 m
$rms_{\Delta\Delta\kappa}$ (rel.)	6,6 $\frac{1}{\text{km}}$	5,8 $\frac{1}{\text{km}}$	2,8 $\frac{1}{\text{km}}$
Anzahl an GNSS-Referenzpunkten	4340	4022	733
Gesamtlänge der Straßenverbindungen	79,5 km	50,2 km	17,3 km

Tab. 2: Auswertungsergebnisse der absoluten und relativen Genauigkeit von Kartendaten in ausgewählten Stadtgebieten

Genauigkeit	Testgebiet 1	Testgebiet 2	Testgebiet 3	Testgebiet 4	Testgebiet 5
rms_{ds} (abs.)	1,45 m	1,47 m	1,54 m	1,57 m	1,53 m
$rms_{\Delta\Delta\alpha}$ (rel.)	2,7°	2,6°	2,6°	2,2°	2,6°
$rms_{\Delta\Delta\alpha}^*$ (rel.)	0,62 m	0,59 m	0,59 m	0,49 m	0,58 m
$rms_{\Delta\Delta\kappa}$ (rel.)	7,9 $\frac{1}{\text{km}}$	5,2 $\frac{1}{\text{km}}$	5,7 $\frac{1}{\text{km}}$	7,4 $\frac{1}{\text{km}}$	6,7 $\frac{1}{\text{km}}$
Anzahl an GNSS-Referenzpunkten	1048	225	559	1963	545
Gesamtlänge der Straßenverbindungen	19,6 km	2,6 km	10,7 km	34,5 km	12,1 km

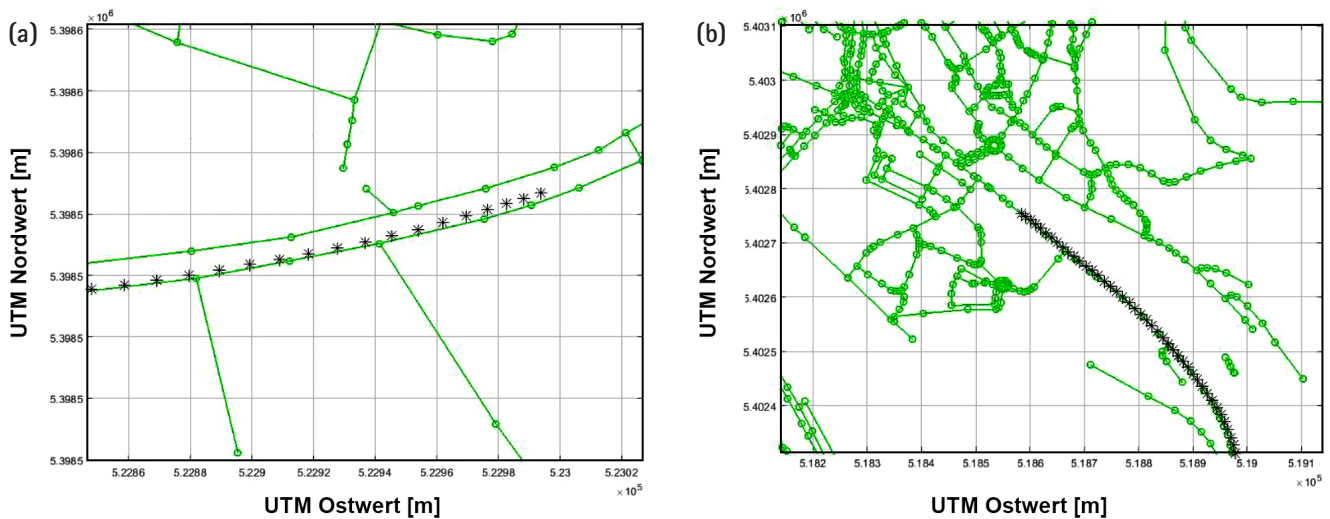


Abb. 4: Kartendarstellung mit einem höheren (a) und niedrigeren (b) Zoomfaktor

werden die Straßen in städtischen Gebieten mit einer etwas geringeren absoluten Genauigkeit von 1,45 m bis 1,57 m und einer ähnlichen relativen Genauigkeit von 0,49 m bis 0,62 m abgebildet.

2.4 Kartenvorschau in der Demonstration

Das GNSS-Positionierungssystem wurde im Januar 2019 bei Stuttgart getestet. In der Demonstration wurde die Fahrzeugposition mittels Echtzeit-PPP-Software (Precise Point Positioning) des Projektpartners TCA berechnet und in einem Echtzeit-Kartenvorschau-MATLAB-Programm vom IIGS dargestellt. Die Schnittstelle zwischen dem Ortungssystem und der Kartensoftware wurde definiert und implementiert. Das IIGS erhielt die Koordinaten des Fahrzeugs vom GNSS-Positionierungssystem über eine serielle Verbindung als NMEA-Strings. Sobald eine neue Koordinate vom GNSS-Positionierungssystem bereitgestellt wird, kann die Fahrzeugposition vom MATLAB-Programm in Echtzeit in der Karte dargestellt werden. Bisher wurde noch kein Map-Aiding realisiert. Dieses ist bis Ende des Jahres geplant.

In Abb. 4 ist das Straßennetz mit seinen Linien und Knoten in grün dargestellt und die Fahrzeugpositionen mit kleinen schwarzen Sternchen. Weitere Details zur Demonstration finden Sie in TransSec (2019).

3 Local Dynamic Map

Das IIGS hat innerhalb des Arbeitspakets der digitalen Straßenkarte das Ziel, eine Local Dynamic Map (LDM) zu erstellen, damit eine Karte die Informationen zum aktuellen Umgebungsverkehr enthält und Fahrzeugführern helfen kann, in kritischen Fahrsituationen Entscheidungen zu treffen.

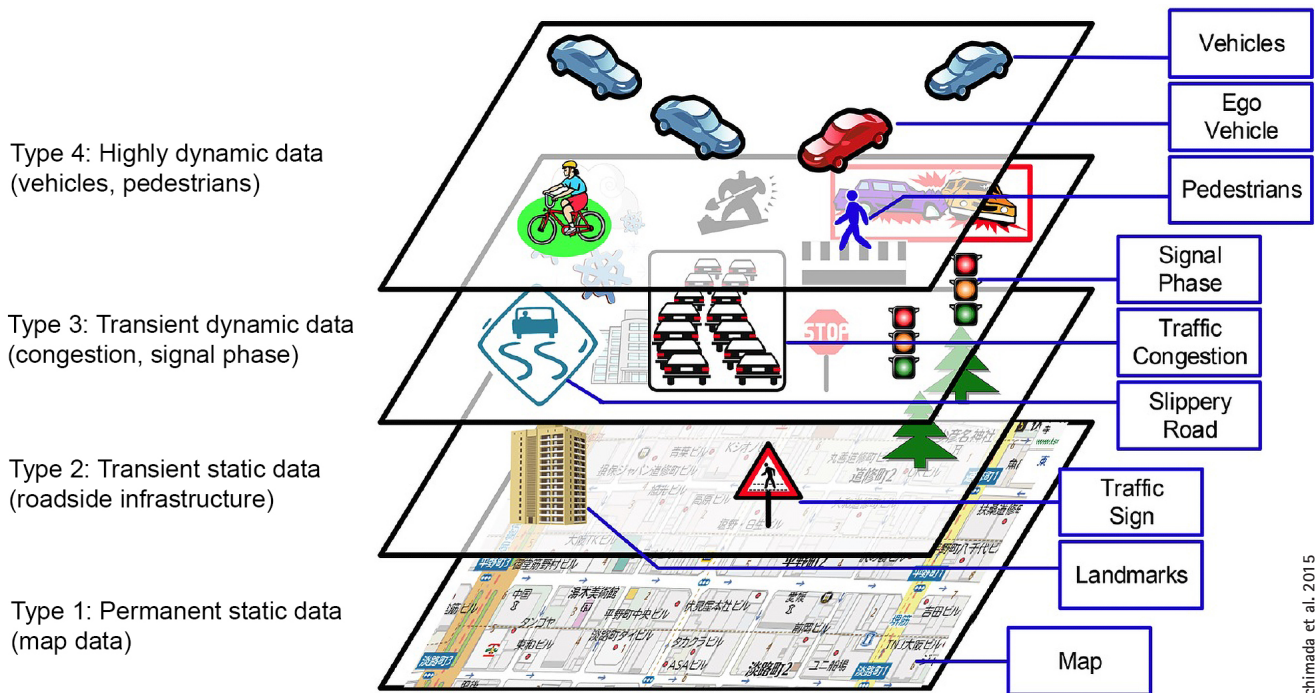
Die LDM besteht aus vier Ebenen, die jeweils das Folgende beinhalten (siehe Abb. 5, SP3-SINTECH 2008, Schimada et al. 2015):

- Ebene 1: die statische (semi-permanente) digitale Kartendatenbank;
- Ebene 2: zusätzliche statische Informationen, die nicht in der ersten Ebene enthalten sind;
- Ebene 3: temporäre und dynamische Informationen wie Wetter- und Verkehrsbedingungen;
- Ebene 4: dynamische und hochdynamische Informationen über bewegte Objekte (Fahrzeuge, Fußgänger, Tiere usw.).

Die zweidimensionalen digitalen Straßenkartendaten bilden Ebene 1 mit statischen Informationen bezüglich Geometrie, Topologie und Attributen des Straßennetzes. Orientierungspunkte (Landmarke) wie Gebäude und Plätze werden in dieser Ebene als Punkt- oder Flächenmerkmale dargestellt. Für fortgeschrittene Fahrzeuganwendungen wie das TransSec-System sollten jedoch statische Informationen verbessert und Informationen zur Straßenumgebung ergänzt werden.

Potenzielle Objekte zur Erweiterung der statischen Karte wurden untersucht, z.B. Elemente aus 3D-Stadtmodellen, die in LDM Ebene 2 integriert werden können.

Die Positionsdaten von Verkehrszeichen sind relevante Informationen für das TransSec Projekt. Bis jetzt haben die Autoren keine Positionsdaten von Ampeln und Straßenschildern in der NDS-Datenbank gefunden, obwohl diese in der NDS Formatbeschreibung definiert sind. Es ist allerdings möglich, ihre Positionen aus GNSS-RTK-Messungen zu gewinnen. Eine andere Möglichkeit ist, dass Verkehrszeichen und Straßenschilder auf Kamerabildern erkannt und dann z.B. mit einem triangulationsbasierten Verfahren rekonstruiert werden, bei dem eine sub-dezimeter 3D-Genauigkeit erreicht werden kann (Soheilian et al. 2013). Es handelt sich um die LDM Ebene 2.



Schimada et al. 2015

Abb. 5: Die mehrschichtige Architektur des LDM

Außerdem liegen bis jetzt keine geometrischen Informationen bezüglich der Fahrbahnmarkierungen in den NDS-Daten vor. Fahrbahnmarkierungen können vom Projektpartner VICOM mit Kameras erkannt und in die LDM integriert werden. Es ist auch möglich die Fahrbahnmarkierungen anhand der Fahrspurzahl und angenommenen Fahrbahnbreite von 3,5 m näherungsweise zu berechnen. Auch dabei handelt es sich um die LDM Ebene 2.

Außerdem können die dynamischen Objekte wie z. B. Fahrzeuge und Fußgänger um LKWs herum mit Kameras und/oder Laserscannern erfasst werden. Für diese Aufgabe wird das IIGS eng mit dem Projektpartner VICOM zusammenarbeiten, um die LDM Ebene 4 zu füllen.

4 Fazit und Ausblick

In diesem Beitrag wurde das TransSec-Projekt zunächst kurz vorgestellt. Es wurden vor allem die Ergebnisse der Kartendatenverfügbarkeits- und Qualitätsanalyse, die sich auf die Stadt Stuttgart und ihre Stadtteile beziehen, präsentiert.

Die Analyse wurde mit den Kategorien Stadtgebiete, Autobahnauf- und -abfahrten und Autobahn durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen im Testgebiet, dass die absolute Genauigkeit der Karte bei etwa 1,5 m liegt und die relative Genauigkeit bei etwa 0,5 m.

Im Hinblick auf das Verbesserungspotenzial der digitalen 2D-Straßenkarten-Daten könnten 3D-Stadtmodelle mit visuellen Orientierungspunkten (z. B. Gebäude) eine Verbesserung der statischen Karte ermöglichen und dem

Fahrer eine realistischere Darstellung in dichten Stadtgebieten bieten. Im Rahmen des TransSec-Projekts zur Entwicklung einer Sicherheitsfunktion für LKW können 3D-Stadtmodelle angereichert mit zusätzlichen semantischen Daten einen Mehrwert für die statische Karte bieten und den angezeigten elektronischen Horizont für den Fahrer verbessern. Orientierungspunkte wie Gebäude bieten einen intuitiveren Zugang als 2D-Karten.

Abhängig von den Datengenauigkeiten der 3D-Stadtmodelle wird im Detail untersucht, ob die 3D-Stadtmodelle die Fahrzeugpositionierung oder die Leistung des Map-Aiding in Zukunft in städtischen Gebieten verbessern können.

Im Rahmen von autonomen Fahrmanövern sind auch Koordinaten von Verkehrszeichen für Kreuzungen, Fahrbahnmarkierungen, Fahrzeuge und Fußgänger um LKW herum hilfreich. Diese Objekte könnten mit Kameras oder Laserscannern erkannt werden; das Projektziel ist es hierbei, eine LDM zu erzeugen, die Umgebung des Fahrzeugs besser zu erfassen und zu interpretieren, sicherheitskritische Fahrmanöver zu erkennen und LKW-basierte Terroranschläge zu verhindern. Darüber hinaus könnte der entwickelte Algorithmus auch zukünftig angepasst werden, um PKW-basierte Terroranschläge zu verhindern.

Dank

Die in diesem Artikel veröffentlichten Untersuchungen werden von der GSA (European GNSS Agency) im Rahmen des H2020-GALILEO-GSA-2017 Innovation Action unter der Fördervertragsnummer 776355 finanziell gefördert. Der Förderagentur sei daher im Namen der Autoren herzlich gedankt.

Literatur

- Clauss, H. (2018): HD maps to enable Autonomous Driving. INTER-GEO-Kongress, 16.–18. Oktober 2018, Frankfurt, Deutschland (unveröffentlicht).
- Ehmke, J. (2012): Integration of Information and Optimization Models for Routing in City Logistics. Springer Science+Business Media, New York.
- Eskandarian, A. (2012): Handbook of Intelligent Vehicles. Band 2, Springer-Verlag, London.
- Kleine-Besten, T., Behres, R., Pöchmüller, W., Engelsberg, A. (2016): Digital Maps for ADAS. Handbook of Driver Assistance Systems. Springer International Publishing, Schweiz. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-319-12352-3_27.pdf.
- Kolbe, T.H., Gröger, G. (2004) Towards Unified 3D City Models. In: Proceedings of the ISPRS Comm. IV Joint Workshop on Challenges in Geospatial Analysis, Integration and Visualization II in Stuttgart, 2003. In einer revidierten und erweiterten Version auch veröffentlicht im Geoinformation Science Journal, Vol. 4, No. 1, 2004.
- NDS (2019): www.nds-association.org, letzter Zugriff 01/2019.
- RAA (2008): Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA)., Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Arbeitsgruppe Straßenentwurf. Köln, Germany.
- Schimada, H., Yamaguchi, A., Takada, H., Sato, K. (2015): Implementation and Evaluation of Local Dynamic Map in Safety Driving Systems. Journal of Transportation Technologies, 2015, 5, 102–112.
- Schützle, R. (2016): Entwicklung und Evaluierung eines formgestützten Location Referencing Verfahrens. Dissertation. Bayerische Akademie der Wissenschaften, Verlag C.H. Beck, DGK, Reihe C, Nr. 776.
- Soheilian, B., Tournaire, O., Paparoditis, N., Vallet, B., Papelard, J. (2013): Generation of an integrated 3D city model with visual landmarks for autonomous navigation in dense urban areas. In: Proceedings of 2013 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) in City of Gold Coast, Australien, 23.–26. Juni 2013.
- SP3 – SINTECH (2008): SAFESPOT Innovative Technologies, Local dynamic map specification. www.safespot-eu.org/documents/D3.3.4_VANET_Specs.pdf.
- TransSec (2019): www.transsec.eu, letzter Zugriff 01/2019.
- Wa1 (2013): GNSS Baseline Processing Engine Wa1.
- Wang, J., Metzner, M., Schwieger, V. (2017a): Accuracy and Quality Assessment of Various Digital Road Maps for Wrong-Way Driving Detection on the German Autobahn. In: Proceedings of FIG Working Week, 29. Mai – 2. Juni 2017, Helsinki, Finnland.
- Wang, J., Metzner, M., Schwieger, V. (2017b): Weighting-function based map-matching algorithm for a reliable wrong-way driving detection. In: Proceedings of 12th ITS European Congress, 19.–22. Juni 2017, Straßburg, Frankreich.
- Wang, J., Wachsmuth, M., Metzner, M., Schwieger, V. (2018): Die digitale Straßenkarte als Sensor. In: DVW e.V. (Hrsg.): MST 2018 – Multi-sensortechnologie: Low-Cost Sensoren im Verbund. DVW-Schriftenreihe, Band 92, Augsburg.
- Zhang, L., Wang, J., Wachsmuth, M., Gasparac, M., Trauter, R., Schwieger, V. (2019): Role of Digital Maps in Road Transport Security. In: Proceedings of FIG Working Week, 22. – 26. April 2019, Hanoi, Vietnam.

Kontakt

Dr.-Ing. Li Zhang | M.Sc. Jinyue Wang | M.Sc. Martin Wachsmuth
M.Sc. Marko Gasparac | Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schwieger
Institut für Ingenieurgeodäsie, Universität Stuttgart
Geschwister-Scholl-Straße 24D, 70174 Stuttgart
li.zhang@iigs.uni-stuttgart.de
jinyue.wang@iigs.uni-stuttgart.de
martin.wachsmuth@iigs.uni-stuttgart.de
marko.gasparac@iigs.uni-stuttgart.de
volker.schwieger@iigs.uni-stuttgart.de

Dieser Beitrag ist auch digital verfügbar unter www.geodaesie.info.