

Positionsbestimmung von Fahrzeugen



GPS II-R Satellit.

In der heutigen Gesellschaft ist eine Vielzahl von Handlungen und Entscheidungen an die aktuelle räumliche Position des Handelnden gebunden. Dies kann auf verschiedenen Ebenen eine Rolle spielen: zum Beispiel ist es entscheidend, ob man es sich leistet, eine Immobilie in Bremerhaven oder Stuttgart zu erwerben. Auf der anderen Seite sind natürlich die aktuelle Position und eventuell auch Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit von Bedeutung, wenn es darum geht, das nächstgelegene Kino aufzusuchen. Hier sind die aktuelle

Position der Nutzer und die gewünschte Zielposition mittels eines Routing-Algorithmus in Verbindung gebracht worden. Positionen und ergänzende geometrisch-temporale und damit als kinematisch zu bezeichnende Elemente haben eine elementare Bedeutung für Intelligente Automobile.

1. Einleitung

Seit langem bekannt sind Navigationssysteme, die die aktuelle Position und den navigierten Weg auf einem vorgegeben digitalen Straßennetz als Daten benötigen. Zurzeit werden die Forschungsarbeiten an Fahrerassistenzsystemen vorangetrieben. Hier werden die Position, die Geschwindigkeit, die Querneigung und vieles mehr eingesetzt, um den Fahrer zu informieren oder zu warnen. Die geometrischen oder kinematischen Informationen sind Grund-

lage der Warnung und sollen zukünftig auch für aktive Sicherheitssysteme und zum automatisierten Fahren herangezogen werden. In den letzten beiden Fällen werden die geometrischen Informationen in geschlossene Regelkreise integriert. Automatisiertes Fahren ist, neben der prototypischen Realisierung im Straßenverkehr, für langsame Bewegungen in abgegrenzten Bereichen bereits umgesetzt, z.B. für die Regelung von Asphaltfertigern auf Baustellen im Zentimeter-Bereich. Die genannten Anwendungen erfordern vor

allem Informationen bezüglich der eigenen Position und eventuell variabler Positionen benachbarter Fahrzeuge.

Eine völlig andere Anwendung ist eng mit den zu Beginn angesprochenen Navigationssystemen verknüpft. Momentan sind für Autofahrer Informationen bezüglich Staus und zählfließendem Verkehr besonders wichtig. Diese Hinweise können durch sich ändernde oder nicht ändernde Positionen von Fahrzeugclustern repräsentiert werden. Verkehrslagenerfassung und -vorhersage basieren folglich auch auf Positionsbestimmungen.

All diesen Anwendungen, auch der digitalen navigierbaren Verkehrskarte, ist es gemein, dass sie auf Koordinatensystemen aufbauen. Koordinatensysteme müssen definiert, in die Realität umgesetzt und durchgängig qualitätsgeprüft werden. Fachleute für diese Grundlagen sind die Geodäten, die sich seit Jahrhunderten mit widerspruchsfreien Systemdefinitionen, der messtechnischen Erfassung geometrischer und kinematischer Größen und deren anwendungsbezogener Auswertung befassen. In den letzten Jahren zählt hierzu auch die für intelligente Automobile an Bedeutung gewinnende Entwicklung und Bereitstellung hochgenauer, zum Teil aktiver Infrastruktur zur Positionsbestimmung.

2. Infrastruktur zur Positionsbestimmung

Infrastruktur – hierunter werden im Allgemeinen Basiseinrichtungen personeller, materieller oder *institutioneller* Art verstanden, die das Funktionieren einer arbeitsteiligen *Volkswirtschaft* beziehungsweise eines Staates garantieren. Dabei denkt man zunächst in der Regel an Verkehrsinfrastruktur wie Straßen und Schienen oder Kliniken, Schulen und vieles mehr. Auch die Positionsbestimmung setzt eine gewisse Infrastruktur voraus, zumindest, wenn die Positionen jederzeit für jedermann zur Verfügung stehen sollen. Die wesentlichste Neuerung war zweifelsohne die Einführung des satellitenbasierten Global Positioning System (GPS), das seit 1995 im Einsatz ist. Die weltweite Verfügbarkeit dreidimensionaler Koordinaten außerhalb von Gebäuden schuf neue Möglichkeiten der Navigation. Als weltweite Infrastruktur sind hier die nominell 24 Satelliten und die Kontrollzentren zu verstehen.

Diese bereits sehr erfolgreiche Infrastruktur wird durch neue oder reaktivierte zusätzliche Global Navigation Satellite Systems (GNSS) weiter in ihrer Verfügbarkeit gestärkt: Das russische Glonass wird 2011 erneut operabel werden, das europäische Galileo und noch stärker das chinesische Compass System sind im Aufbau. Die Anzahl der vorhandenen Navigationssatelliten wird in etwa drei bis fünf Jahren bei über 100 liegen. Trotz erhöhter Verfügbarkeit wird bei der Bestimmung absoluter Koordinaten nur eine Genauigkeit von einigen Metern mittels ausgleichendem dreidimensionalem Bogenschnitt erreicht. Möglichkeiten zur Verbesserung liefern zum einen die Nutzung relativer Messungen und zum anderen die erheblich genaueren Trägerphasen zur Positionsbestimmung. Relatives GPS oder GNSS, das so genannte DGPS/DGNSS, wird zukünftig in den Sub-Meter-Bereich vordringen können. Dessen Kombination mit der Trägerphasenmessung – man spricht dann von präzisiertem DGPS oder DGNSS, abgekürzt PDGPS oder PDGNSS – erlaubt prinzipiell eine Genauigkeit im Zentimeter- bis Millimeter-Bereich, setzt aber auch ungestörten Empfang der Satellitensignale voraus. Zur weltweiten oder zumindest landesweiten Sicherstellung der beiden relativen GNSS-Moden sind Diensteanbieter einzubinden, die die notwendigen Referenzstationen vorhalten sowie die Messungen zur Verfügung stellen. Zum einen existieren weltweite Anbieter wie beispielsweise OmniSTAR der Fugro-Gruppe, die DGNSS-

SUMMARY

Die Positionsbestimmung spielt für das Intelligente Automobil eine essentielle Rolle. Sowohl für die Navigation als auch für Fahrerassistenzsysteme, aktive Sicherheitssysteme und das automatisierte Fahren sind die aktuelle Position sowie zum Teil weitere geometrisch-temporale Informationen des Fahrzeugs unverzichtbar. Für die Erfassung der Verkehrslage dagegen muss eine Vielzahl von Fahrzeugen mit ihren Positionen erfasst werden. In diesem Beitrag wird eine Übersicht über die Positionsbestimmungsmethoden auf unterschiedlichen Genauigkeitsniveaus, die hierfür notwendige Sensorik und Positionsinfrastruktur sowie deren Potenzial für verschiedene Applikationen gegeben.

Positioning plays an important part for the intelligent automobile. For navigation, advanced driver assistance systems and automated driving, the current position and partly additional geometry-temporal information regarding the vehicle are absolutely essential. For the acquisition of the traffic state, however, a huge number of vehicles has to be positioned. In this article an overview will be given on the positioning methods on different accuracy levels, the required sensors and position infrastructure as well as the potential for various applications.

Dienste standardmäßig zur Verfügung stellen, zum anderen gibt es nationale Anbieter, die zusätzlich PDGNSS anbieten. In Deutschland – und das ist tatsächlich einmalig – konkurrieren drei Anbieter um die Gunst des Kunden: die deutschen Landesvermessungen mit SAPOS, die AXIO-Net GmbH mit ASCOS und die Trimble GmbH mit Trimble VRS Now. Weltweit stehen diese Referenzstationenetze im Fokus von Forschung und Entwicklung. Die hochgenauen dreidimensionalen virtuellen Festpunkte ersetzen zunehmend die Grundlagenpunkte der Landesvermessung in den Ländern der entwickelten Staaten. Sie bilden somit auch die neue Grundlage für alle Karten eines Landes und damit auch einer immer enger zusammenrückenden mobilen Welt.

Von besonderer Bedeutung sind für Autofahrer darüber hinaus naturgemäß die digitalen Straßenkarten. Bezogen auf ein absolutes Koordinatensystem kann die Genauigkeit dieser Karten heutzutage häufig nur mit wenigen Zehner-Metern angegeben werden. Die entscheidende Eigenschaft dieser Karten ist ihre Fähigkeit, ein Routing zuzulassen und somit ihre Navigierbarkeit. Karten dieser Genauigkeitsklasse stehen heute standardmäßig zur Verfügung. Die Forschung beschäftigt sich zur Zeit mit der spurgenaue Modellierung digitaler Karten und ihrer Verbesserung hinsichtlich Genauigkeit und Korrektheit. Damit können die Karten dann tatsächlich als Grundlage von Warnhinweisen bei Fahrerassistenzsystemen oder sogar bei aktiven Sicherheitssystemen zuverlässig eingesetzt werden.

Neben den GNSS-Referenzstationen rücken zurzeit weitere Positions-Infrastrukturen in den Mittelpunkt des Interesses. Hier sind, wie später noch näher diskutiert werden wird, vor allem die Mobilfunksysteme inklusive der kompletten mobil- und hardwareseitigen Hard- und Software zu nennen. Zukunftsweisend sind außerdem Ortungsverfahren, die sich beispielsweise der W-LAN- oder Bluetooth-„Infrastruktur“ zur Positionsbestimmung für Verkehrsanwendungen bedienen.

3. Positionsbestimmung zur Navigation

Die Navigationssysteme sind heutzutage sowohl im Fahrzeug als auch bei der Nutzung anderer Verkehrsmittel bereits als

Standardanwendung anzusehen. Um den Weg zum geographischen Ziel auf einer digitalen Karte bestimmen zu können, ist selbstverständlich die Ermittlung der aktuellen Position eines Fahrzeuges erforderlich. Hierzu werden heute in der Regel zwei Verfahren eingesetzt: Das eine nutzt nur das GPS bzw. die GNSS; das zweite, aufwändigere und zuverlässigere, nutzt zusätzliche Sensoren, die die Richtungsänderung und die gefahrene Strecke messtechnisch erfassen. Auf diese Weise werden die GNSS-Messungen durch unabhängige relative Sensoren gestützt. Das ist insbesondere bei GNSS-Ausfällen und bei starker Verfälschung der Signale durch Reflektionen an Gebäuden, den Mehrwegeeffekten in so genannten Urban Canyons, von Bedeutung. Um die gemessenen Koordinatenfolgen auf die digitale Karte zu referenzieren, sind Map-Matching-Algorithmen erforderlich. Diese Algorithmen vergleichen die absoluten Koordinaten oder die relativen Koordinaten der Positionsfolgen mit der digitalen Karte. Die relativen Koordinaten können als Formbeschreibung der Trajektorie aufgefasst werden. Der Formvergleich mittels Korrelationsanalyse führt dann zur Identifikation des korrekten, aktuell befahrenen Straßenabschnitts.

Die Forschung im Navigationsbereich konzentriert sich zurzeit auf die spurgenaue Kartenmodellierung und Positionsbestimmung sowie auf die dynamische Navigation, die zeitlich variable Hindernisse wie Baustellen oder Staus bei der Routenberechnung berücksichtigt. Die spurgenaue Positionsbestimmung erfordert die Integration verschiedener Sensoren in Filteralgorithmen, wie beispielsweise erweiterte Kalman-Filter, die die Kinematik und eventuell auch die Dynamik des Fahrzeugs berücksichtigen. Die Adaption deterministischer und stochastischer Modelle, um zuverlässig Genauigkeiten im Meter- oder Sub-Meter-Bereich zu erreichen, befindet sich zum Teil in der Entwicklung.

4. Positionsbestimmung für Fahrerassistenzsysteme

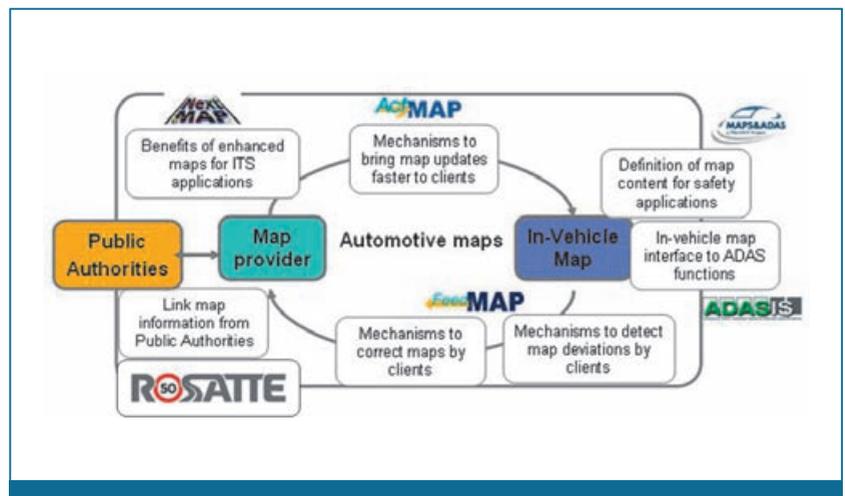
Völlig andere Anforderungen an die Positionsbestimmung stellt ihre Nutzung in Fahrerassistenzsystemen: und zwar hinsichtlich der Genauigkeit, aber auch hinsichtlich der Zuverlässigkeit und der Verfügbarkeit der Positionen. Während eine

ungenau, inkorrekte oder nicht verfügbare Position bei der Navigation natürlich unangenehm, aber keine schwerwiegenden oder gar katastrophalen Folgen hat, sieht das in der Fahrerassistenz schon ganz anders aus. Insbesondere für aktive Sicherheitsfunktionen wie z.B. der Active Break Assist (ABS) kann eine nicht verfügbare oder inkorrekte Position katastrophale und sogar tödliche Folgen haben. Daher liegt hier der Schwerpunkt auf einer zuverlässig und korrekt bekannten Geometrie. Das gilt sowohl für die Positionsbestimmung, die durchgängig mit redundanter Sensorik arbeitet, als auch für die Kartengrundlage.

Zukünftig wird daher der Schwerpunkt auf der Erstellung genauer, korrekter und vor allem aktueller Karten liegen. In diesem Zusammenhang wird sowohl auf europäischer Ebene als auch innerhalb deutscher Förderprogramme intensiv geforscht.

02 zeigt die unterschiedlichen Projekte in einer Zusammenstellung auf. Im EU-Projekt ROSATTE (ROad Safety ATTributes exchange infrastructure in Europe) wird die Schnittstelle zwischen der originalen Datenerfassung – in der Regel geleistet durch die Straßenbehörden – und den Kartenanbietern entwickelt und standardisiert. Der Fokus liegt dabei auf der Übertragung von Karten-Updates der Straßenbehörden zu den Kartenanbietern und der Integration dieser Updates in die Datenbanken der Kartenanbieter. Da alle Beteiligten auf unterschiedlichen Kartengrundlagen arbeiten, ist der Austausch schwieriger als man gemeinhin denken würde. Besondere Schwierigkeiten macht, trotz vorhandener Standards wie Agora-C, die Geo-Referenzierung der Updates in der aufnehmenden digitalen Karte. Hier setzt die aktuelle Forschung gegenwärtig auch an und muss dies zukünftig noch intensivieren.

Im genannten Projekt besteht eine der wichtigsten Aufgaben in der Beurteilung der Qualität der integrierten Updates. Insbesondere ist es natürlich von größter Bedeutung, dass beispielsweise eine Geschwindigkeitsbegrenzung (z.B. **03**) dem richtigen Straßenabschnitt zugeordnet ist. Bei inkorrekt Zuordnung werden z.B. überraschende Bremsmanöver ausgelöst oder es wird, im entgegengesetzten Fall, eine überhöhte Geschwindigkeit gefahren. Die qualitative Evaluierung dieser Integration steht zurzeit im Fokus der Forschung.



02

Digitale Straßenkarte für Fahrerassistenzsysteme – Schnittstellen und Projekte (Quelle: <http://www.ertico.com/about-rosatte/>).

Fast jedem sind heutzutage die zuvor angesprochenen Fahrerassistenzsysteme bekannt, zum Teil werden sie bereits von einer Vielzahl von Fahrern selbst genutzt. Weniger bekannt sind dagegen Fahrerassistenzsysteme für fahrende Maschinen in der Landwirtschaft oder im Bauwesen. Diese Systeme werden nur anders bezeichnet: Man spricht hier von Maschinensteuerung. Im Bauwesen werden dabei häufig so genannte Anzeige- oder Indikatorsysteme eingesetzt, die, wie auch viele Assistenzsysteme, dem Maschinenführer Informationen zur Verfügung stellen, an denen er sein Fahr- beziehungsweise Bauverhalten ausrichtet. Soll beispielsweise ein Bagger (**04**) eine Grube mit vorgegebener Tiefe ausheben, so wird die aktuell erreichte Tiefe inklusive Informationen zur Korrektur dem Maschinenführer an die Hand gegeben. Er selbst fällt aber die Entscheidungen und führt eigenverantwortlich die Maschine.

Im Gegensatz zu Fahrerassistenzsystemen werden hier weit geringere Geschwindigkeiten gefahren (bspw. 0,6 km/h für einen Asphaltfertiger). Auf der anderen Seite ist die zu erreichende Genauigkeit auch deutlich höher. Für Baumaschinen gehen die Anforderungen bis in den Sub-Zentimeter-Bereich. Zu beachten ist dabei, dass sich die Genauigkeitsangaben nicht auf die gemessene Position, sondern auf das bewegte oder eingebaute Material beziehen.



03

Exemplarische Geschwindigkeitsbegrenzung (Quelle: „Projekt-ergebnisse EuroRoadS und Ausblick ROSATTE“, OBB München, 16.04.2008).



04

Bagger mit GNSS gestütztem Maschinensteuerungssystem.

5. Positionsbestimmung zum automatisierten Fahren

Die letzte Ausbaustufe der Fahrerassistenzsysteme ist das automatisierte Fahren. In diesem Bereich wurde in den letzten Jahren eine Vielzahl von Projekten angestoßen und umgesetzt. Aktuell wird am ersten automatisierten Fahren im realen Stadtverkehr im Forschungsprojekt „Stadtpilot“ gearbeitet. Die meisten Realisierungen verblieben bisher jedoch im Prototyp-Status. Zwar wurde prinzipiell die technische Machbarkeit immer wieder aufgezeigt, es verblieben jedoch rechtliche Probleme wie die Klärung der Schuldfrage bei einem Unfall. Außerdem muss eine extrem hohe Sicherheit und damit Zuverlässigkeit und Integrität des Gesamtsystems gewährleistet werden, so dass die zukünftig realisierten Lösungen sich zunächst nicht mit dem komplett automatisierten Fahren beschäftigen. Es werden zunächst kombinierte Lösungen angestrebt, wie z.B. im Projekt KONVOI ein Lastwagenkonvoi, bei dem der vorderste Lastwagen wie üblich manuell gelenkt wird, und die nachfolgenden LKWs vollständig automatisiert folgen. Zwar ist auch hier nur ein Prototyp realisiert, aber die Projektidee könnte in näherer Zukunft konkrete Gestalt annehmen.

Vollständig anders sieht es dagegen bei der zuvor angesprochenen Maschinensteue-

rung aus. Hier gibt es sowohl in der Landwirtschaft als auch im Bauwesen bereits vollautomatisierte Systeme, die die Maschinen auf vorgegebenen Trajektorien führen und den Fahrer nur noch aus Sicherheits- und Haftungsgründen mitfahren lassen. Häufig werden zur Positionsbestimmung dabei GNSS-Systeme eingesetzt. Diese können bei freier Sicht zu den Satelliten unter Nutzung der Positionsinfrastruktur der PDGNSS-Dienste dreidimensionale Koordinaten im Genauigkeitsniveau einiger Zentimeter liefern. Für eine Vielzahl von Anwendungen, insbesondere in der Landwirtschaft, reicht dies völlig aus. Forschungspotenzial ergibt sich hier durch die Kombination mit ergänzender Sensorik wie z.B. Kreiseln, Korrelationsgeschwindigkeitsmessern oder Inertialmesssystemen, um zuverlässige und hochgenaue Positionen zur Verfügung zu stellen. Dies ist z.B. bei der Parallelsaart von Zuckerrüben von Bedeutung, da die Pflanzen hier mit einer Genauigkeit von zwei Zentimetern eingesät und bearbeitet werden müssen. Grund hierfür ist die mechanische Unkrautbekämpfung, die den Einsatz der mechanischen Hacke in zwei zueinander senkrechten Fahrtrichtungen auf dem Feld bedingt.

Große Bedeutung hat aber auch die vollautomatische Baumaschinensteuerung, die beispielsweise im Verkehrswegebau für Asphalt- und Gleitschalungsfertiger dreidimensional realisiert ist. Im Gegensatz zur landwirtschaftlichen Anwendung spielen neben der Position auch andere Parameter wie die Quer- und Längsneigung eine entscheidende Rolle. Ein GNSS-Empfänger ist daher fast durchgängig durch weitere GNSS-Empfänger oder zusätzliche Sensoren wie Kreisel, Neigungsmesser und Ultraschall-Sensoren zu ergänzen, damit die jeweilige Fahrbahnoberfläche direkt eingebaut werden kann. Auch hier müssen die Satellitenempfänger grundsätzlich im PDGNSS-Modus eingesetzt werden. Die aktive Positionsinfrastruktur kann wiederum gewinnbringend angewandt werden. Im Gegensatz zu agrartechnischen Anwendungen sind zum Teil die Genauigkeitsanforderungen mit bis zu fünf Millimetern höher und außerdem die Messbedingungen auf einer Baustelle weniger ideal als beispielsweise auf einem Feld. Diese beiden Restriktionen führen dazu, dass GNSS nicht für alle Aufgaben eingesetzt werden kann. Häufig werden elektronische Tachy-

meter zur Positionsbestimmung verwendet. Hier liegt das Genauigkeitspotenzial bei einigen Millimetern und eine Sichtverbindung zu den Satelliten ist naturgemäß nicht erforderlich. Der zweite Vorteil wird insbesondere in urbanen Baustellen oder bewaldeten Gebieten oder Alleen bedeutsam, da GNSS in diesen Fällen keine oder in ihrer Zuverlässigkeit deutlich reduzierte Ergebnisse liefert.

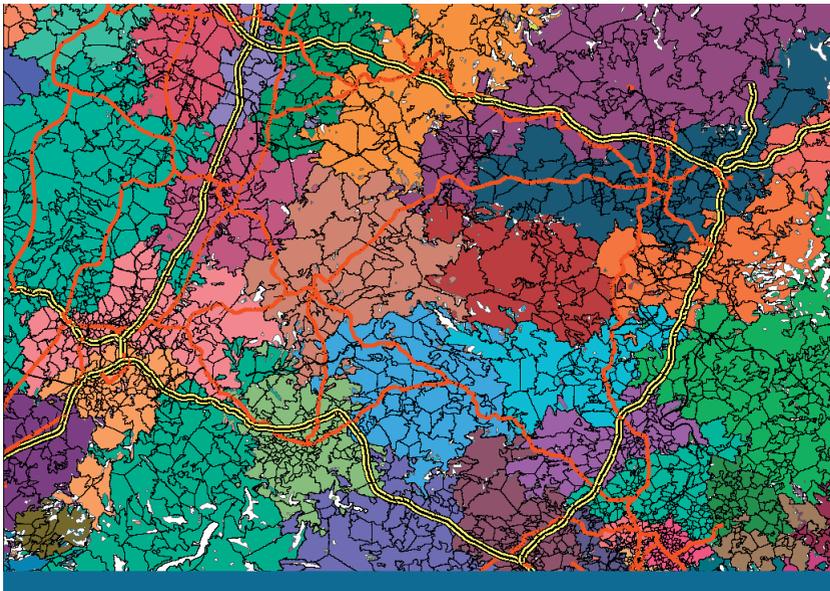
Ein relevantes Beispiel für den Einbau mit 5-Millimeter-Genauigkeit sind Bordsteinfertiger, die in Nordamerika eine erhebliche Bedeutung haben und auch in Europa zunehmend eingesetzt werden. Charakteristisch für diese Anwendung sind eine Geschwindigkeit von 0,3 km/h und sehr enge Radien im Sub-Meter-Bereich. Prinzipiell können hier nur Tachymeter zur Positionsbestimmung und damit auch zur dreidimensionalen Regelung eingesetzt werden. Die Forschungen konzentrieren sich auf das Zusammenspiel von Messtechnik, Filtertechnik und Regelungstechnik, um das anvisierte Genauigkeitsniveau zu erreichen. Mess- und filtertechnisch sind Ausreißerpositionen des Tachymeters zu eliminieren und eine Glättung der streuenden Rohpositionen durchzuführen. Diese Glättung kann gemeinsam mit der Prädiktion in einem Filter erfolgen. Dabei wird das Fahrzeugmodell in die Prädiktion eingespeist und diese dann mit den jeweils aktuellen Messwerten kombiniert. Das hierfür entwickelte, erweiterte nicht-lineare Kalman-Filter führt die Integration von Modell- und Messgrößen in optimaler Weise aus.

Ein verbleibendes Problem, insbesondere für die Regelung in Echtzeit, stellen die Latenzzeiten der ermittelten Positionen dar. Während die Positionen gemessen, übertragen und weiterverarbeitet werden, fährt der Fertiger weiter. Das ist bei Geradeausfahrten zumindest für die Querregelung ohne Bedeutung. Bei Kurvenfahrten stellt sich jedoch standardmäßig ein verzögerter Lenkeinschlag ein. Aus diesem Grund konzentrieren sich aktuelle Forschungen auf die Integration der vorgegebenen Einbautrajektorie in die Auswertung. Zum einen wird dabei die Trajektorieninformation in das Filter integriert, zum anderen muss dafür Sorge getragen werden, dass diese Information dem Regelalgorithmus zur Verfügung steht, bevor die Maschine die Kurve beziehungsweise die Richtungsänderung erreicht. Man

spricht von antizipatorischer Vorsteuerung: Die Information zur Richtungsänderung wird in Abhängigkeit von vorab bestimmter Latenzzeit und aktueller Geschwindigkeit neben der Regelabweichung in den Algorithmus eingespeist.

Am Institut für Ingenieurgeodäsie (IIG) wird ein solcher Algorithmus im Zusammenspiel mit PI, PD und PID-Reglern eingehend untersucht. Hierfür wurde ein In-Door-Simulator (05) mit einem Lastwagenmodell im Maßstab 1:14 im Messkeller des Instituts aufgebaut. Bestandteile sind neben dem fernsteuerbaren Modell-LKW ein Steuerrechner und ein Tachymeter als positionsgebender Sensor. Auf den Modell-LKW wurde zusätzlich ein 360°-Prisma aufgesetzt, damit das Modell aus jeder Richtung anzielbar ist. Das Modell kann zurzeit auf verschiedenen gegebenen Trajektorien mit einer Regelgüte von unter zwei Millimetern gehalten werden; jedoch bisher nur unter „Laborbedingungen“. Um die Umgebungsbedingungen der Realität anzunähern, wird für den Modell-LKW ein Out-Door-Simulator erstellt, der die Baustellenrealität durch den Einsatz von Beton oder Sand andeutet





Location-Areas (eingefärbt) und Zellen (mit Linien gekennzeichnet) des Mobilfunknetzes sowie Hauptstraßennetz für das Viereck Stuttgart-Heilbronn-Mannheim-Karlsruhe.

und zum anderen auch den direkten Vergleich mit GNSS-Positionen erlaubt, da die Sichtbarkeit zu den Satelliten gewährleistet sein wird.

6. Positionsbestimmungen zur Vorhersage der Verkehrslage

Wer im Stau steht oder nur im Schnecken-tempo vorwärtskommt, interessiert sich nicht für die Position und Geschwindigkeit des eigenen Fahrzeugs – dazu hat man häufig nahezu unbegrenzt Zeit – sondern von Interesse sind hier, insbesondere im Vorfeld, die Positionen und Geschwindigkeiten anderer Verkehrsteilnehmer. Wenn diese bedarfsgerecht zur Verfügung gestellt werden, kann die Navigation eventuelle Hindernisse umgehen und somit eine störungsfreie oder zumindest störungsreduzierte Verkehrsführung erlauben.

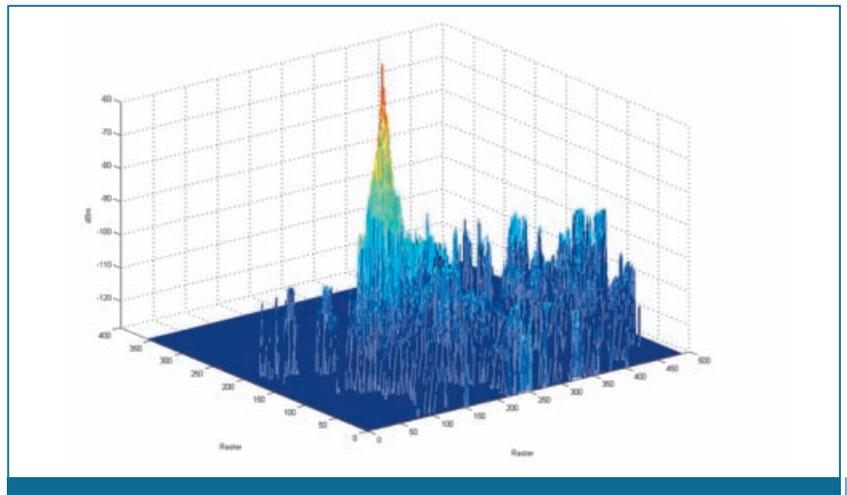
Aus diesem Grund spielt hier ein völlig anderer Ansatz zur Positionsbestimmung eine Rolle. Die geometrischen Informationen sind massenhaft zu erfassen, zu aggregieren und dann zu präzisieren. Endgültige Informationen sind die durchschnittliche Reisegeschwindigkeit und der Verkehrsfluss oder, noch stärker aggregiert, der Level-of-Service. Bekannt sind Verkehrsnachrichten über die jeweiligen Radiosender oder durch Verkehrsdiensteanbieter, die bei der dynamischen Navigation in das Routing integriert werden. Da diese Informationen nicht immer aktuell und zuverlässig sind, wird insbesondere auf nationaler Ebene die Forschung vorangetrieben,

um durch den integrativen Einsatz verschiedener verteilter Sensorensysteme die Verkehrslage zu erfassen. Die Nutzung stationärer Sensoren wie z.B. Infrarot-Kameras oder Induktionsschleifen ist am weitesten verbreitet, aber aus Kostengründen nicht beliebig in der Fläche verdichtbar. Aus diesem Grund wird neben der Verkehrslageerfassung aus der Luft oder dem All vor allem an der massenhaften kinematischen Erfassung der fahrenden Automobile geforscht. Hier liegt das Augenmerk zurzeit auf zwei Positionsbestimmungsmethoden: dem bereits erwähnten GNSS sowie der Ortung mittels Mobiltelefonen. Das erste Verfahren wird Floating Car Data (FCD) genannt und hat den Vorteil der Genauigkeit im Mehrere-Meter-Bereich, weist aber das Problem der geringen Durchdringung in der Fahrzeugflotte auf. In der Regel scheuen nur Autobesitzer der Komfortklasse nicht die hohen Kommunikationskosten. Die stationären Sensoren erfassen folglich nahezu alle Verkehrsteilnehmer an ausgewiesenen geographischen Orten. Die FCD-Methode erfasst im Gegensatz dazu in guter räumlicher Verteilung nur ausgewiesene Fahrzeugklassen.

Aus diesem Grund wird die Mobilfunkortung als Verfahren der reduzierten Positionsgenauigkeit von einigen 100 Metern mit dem Vorteil der Einsparung einer expliziten Positionsinfrastruktur sowie zusätzlicher Kommunikationskosten vorangetrieben. Der an der Universität Stuttgart entwickelte Ansatz greift dabei auf Mobilfunkdaten zurück, die im Mobilfunknetz des Anbieters vorhanden sind. Für eine grobe Auflösung können Zell-Kennnummern (Cell-ID) oder so genannte Location-Area-Codes, die jeweils mehrere Zellen umfassen, herangezogen werden, wenn das Mobiltelefon inaktiv ist (06). Erfolgversprechender, weil detaillierter auflösbar, sind Informationen während des Gesprächs. Mit zwei Hertz stehen die Cell-ID, eine auf etwa 500 Meter auflösbare Entfernungsinformation, und gemessene Signalstärken von bis zu sieben empfangbaren Mobilfunkantennen im Mobilfunknetz zur Verfügung.

Zur Bestimmung der sich verändernden Positionen werden die gemessenen Signalstärken mit Referenzwerten verglichen. Die maximale Übereinstimmung zwischen Messung und Planung (07) als Referenz liefert die Position in 0,5-Sekunden-Abtastung. Die Kinematik der Fahrzeuge wird in

einem Kalman-Filter berücksichtigt, so dass die gefilterte Positionsfolge genauere und zuverlässigere Messwerte enthält. Abschließend sind die Positionsfolgen auf die digitale Karte zu referenzieren. Da die Positionsbestimmungsgenauigkeit im Gegensatz etwa zur Navigation deutlich herabgesetzt ist, kann kein strenger Map-Matching-Algorithmus implementiert werden, da die Form der möglichen Straßenabschnitte nicht ausreichend genau gemessen werden kann. Aus diesem Grund kommt ein neu entwickeltes Map-Aiding-Verfahren zum Einsatz, das von den möglichen Fahrstrecken die wahrscheinlichste auswählt. Das Kriterium ist dabei die Standardabweichung auf Basis der Querabweichungen. Mit diesem Algorithmus können bei etwa zwei bis drei Minuten langen Telefonaten etwa 90 Prozent der Fahrten korrekt zugeordnet werden. Schwierigkeiten gibt es auch hier mit der Durchdringung, weil eine Vielzahl von Messungen auf Grund von Kurztelefonaten und der damit bedingten geringen Länge der Positions-



Signalstärkenkarte des GSM-Netzes.

folge nicht ausgewertet werden kann. Hier besteht zurzeit weiterer Forschungsbedarf. Neuere Entwicklungen arbeiten außerdem auf Basis von W-LAN oder Bluetooth. Auch hier spielen fast durchgängig Signalstärkenmessungen eine große Rolle. •

Volker Schwieger

DER AUTOR

PROF. DR.-ING. HABIL. VOLKER SCHWIEGER

hat an der Universität Hannover Geodäsie studiert und am Geodätischen Institut Hannover zum Thema „GPS – Überwachungsmessungen“ promoviert. Nach einer zweijährigen Forschungstätigkeit am GeoForschungsZentrum Potsdam wechselte er an das Institut für Anwendungen der Geodäsie im Bauwesen der Universität Stuttgart. Dort leitete er die Arbeitsgruppe Geodätische Messtechnik und habilitierte sich mit einem Thema zur „Nicht-linearen Sensitivitätsanalyse“. Zum 1. April 2010 wurde er auf die Professur „Ingenieurgeodäsie und Geodätische Messtechnik“ an die Universität Stuttgart berufen. Das Institut für Anwendungen der Geodäsie im Bauwesen wurde in der Folge in „Institut für Ingenieurgeodäsie“ umbenannt.



Kontakt

Institut für Ingenieurgeodäsie (IIG)

Universität Stuttgart, Geschwister-Scholl-Straße 24D, 70174 Stuttgart

Tel. 0711/685-84041, Fax 0711/685-84044, E-Mail: sekretariat@ingeo.uni-stuttgart.de, Internet: www.uni-stuttgart.de/ingeo