

Nutzung von prädiktiven Geodaten für Fahrerassistenzsysteme

Schönherr, Kristin, Dipl.-Ing.

Audi Electronics Venture GmbH
Sachsstraße 18
85080 Gaimersheim

Tel.: +49 (0)841 89 31978
Fax: +49 (0)841 89 84 31978
E-Mail: kristin.schoenherr@audi.de



Gackstatter, Christina, Dipl.-Inf.

Audi Electronics Venture GmbH
Sachsstraße 18
85080 Gaimersheim

Tel.: +49 (0)841 89 39483
E-Mail: christina.gackstatter@audi.de



Funk, Christian, Dipl.-Ing. (FH)

AUDI AG
August-Horch-Strasse
85045 Ingolstadt

Tel.: +49 (0)841 89 572804
Fax: +49 (0)841 89 84 572804
E-Mail: christian1.funk@audi.de



Navigationssysteme sind heutzutage aus einem Fahrzeug nicht mehr wegzudenken. Besonders beim Befahren einer unbekannt Route liefern sie einen hohen Beitrag zur besseren Orientierung und tragen damit indirekt zu einer höheren Sicherheit im Straßenverkehr bei.

Das Navigationssystem selbst nutzt grundsätzlich drei Informationsquellen, das GPS-Signal zur groben Positionierung, ergänzend Fahrzeugdaten zur Positionsschätzung und das Kartenmaterial als Bezugsgrundlage. Auch wenn die Kartendaten sich in der Abarbeitungsfolge als letzte Informationsquelle einreihen, so stellen sie doch den wichtigsten Baustein dar. Ist das Kartenmaterial veraltet, d.h. sind neu gebaute Straßen nicht erfasst, dann versagt der Routenplaner des Navigationssystems und die Funktionsweise ist nicht mehr gewährleistet.

Aber nicht nur Navigationssysteme verwenden Kartendaten. Zunehmend wird diese Informationsquelle auch von Fahrerassistenz- und Sicherheitssystemen genutzt. Der Grund dafür ist, dass diese Daten eine gewisse Vorausschau im Bezug auf den Straßenverlauf und der Umgebung liefern. Mit dem erweiterten Anwendungsbereich wächst natürlich auch der Anspruch an die Kartendaten hinsichtlich Genauigkeit und Datenumfang. So ist es längst nicht mehr ausreichend, Straßenzüge nur mit Hilfe von Vektoren nachzubilden. Die korrekte Abbildung von mehrspurigen Straßen, die Integration von zusätzlichen Informationen wie Geschwindigkeitsbegrenzungen und sogar 3D-Gebäudemodelle haben längst Einzug in die Kartendatenbanken gehalten.

Bei diesem Beitrag werden insbesondere die Funktionsweise des Navigationssystems mit Hauptaugenmerk auf das Kartenmaterial, das erweiterte Anwendungspotential dieser Informationsquelle insbesondere im Bereich der Lichtsteuerung und mögliche Defizite dargestellt.

1 Positionsschätzung in Kombination mit Kartendaten

Grundsätzlich unterliegt die Arbeitsweise von Fahrerassistenzsystemen folgendem vereinfachten Ablaufschema, siehe Abbildung 1.

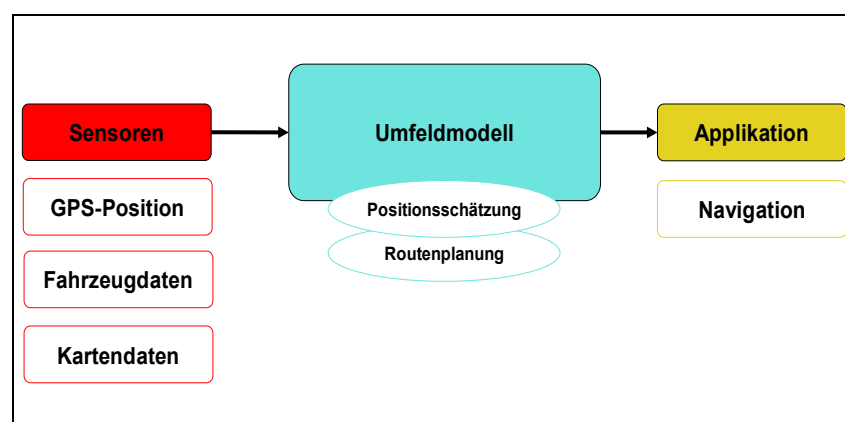


Abbildung 1: Verarbeitungsabfolge

Die Applikation allein, welche die Umfelddaten anfordert, bestimmt die benötigte Sensorik. Aufgrund der steigenden Anforderungen und immer komplexere Anwendungen ist eine bilaterale Kommunikation zwischen Sensor und Anwendung längst überholt. Aus geeigneter Kopplung und Bündelung von verschiedenen Sensorinformationen lässt sich erst der immer weiter steigende Anforderungsgrad erfüllen.

Gleichzeitig bedeutet dies, dass die zentrale Komponente, das Umfeldmodell, mehrere Bearbeitungsschritte in sich vereint. Für die meisten Fahrerassistenzsysteme lässt sich dies in Objektbildung, Situationsanalyse und Auswertung unterteilen. Neben dem hohen Anspruch an die Algorithmen erhöht der Einsatz von zusätzlicher Sensorik ebenfalls das Anwendungspotential.

Wird in dem beschriebenen Ablaufschema das Navigationssystem als Anwendung eingliedert, dann lassen sich die Elemente wie folgt konkret bestimmen. Eingangsseitig als Sensoren stehen dem Navigationssystem der GPS-Sensor, die Fahrzeug-Egdaten und nicht zuletzt das Kartenmaterial zur Verfügung. Das Umfeldmodell bezieht sich algorithmisch hauptsächlich auf die Positionsbestimmung und der Routenplanung, welche ausgangseitig als Navigation dem Fahrer zur Verfügung gestellt wird.

Die Positionsbestimmung allein anhand der GPS-Koordinaten weist jedoch eine Ungenauigkeit von bis zu 20 Metern auf. Aufgrund dieser Abweichung ist es erforderlich unter Hinzunahme zusätzlicher Sensorinformationen die Position zu schätzen. Die Fahrzeug-Egdaten wie beispielsweise Geschwindigkeit und Beschleunigung leisten dazu einen wichtigen Beitrag und ermöglichen eine Interpolation der Position auch dann, wenn im Tunnel der Empfang des GPS-Signals nicht gewährleistet ist.

Zur weiteren Positionsverbesserung wird mit dem sich anschließendem Mapmatching-Verfahren die Fahrzeugposition auf das vorhandene Kartenmaterial adaptiert. Bei einem Navigationssystem im Fahrzeug ist davon auszugehen, dass sich die Position auf einem Straßensegment befinden sollte. Mittels GPS kann aufgrund seiner Ungenauigkeit auch in Kombination mit den Fahrzeugdaten die Position nicht ausreichend genau bestimmt werden. Mit Hilfe des Mapmatching-Verfahrens wird daher die geschätzte Position immer auf ein in der Nähe befindliches Straßensegment gezogen. Erst dann ist eine Routenberechnung im Bezug auf die aktuelle Fahrzeugposition gewährleistet.

Eine Verbesserung des Ergebnisses der Positionsschätzung ist aber erst dann effektiv gegeben, wenn das zu Grunde liegende Material eine hohe Genauigkeit aufweist. Da in den Navigationsdatenbanken hauptsächlich Straßenzüge vektoriell nachgebildet sind (Abbildung 2), lässt sich unter Verwendung des Mapmatching-Verfahrens und bei vorausgesetzter hoher Genauigkeit die Unsicherheit der Positionsschätzung in der lateralen Ausrichtung verringern. Die zusätzlichen groben Polygonstrukturen von Umgebungsflächen wie Stadtgebiete und Waldflächen bieten keine Möglichkeit, einen Beitrag zur Reduzierung der Unsicherheit im Bezug auf die Positionsschätzung zu leisten.

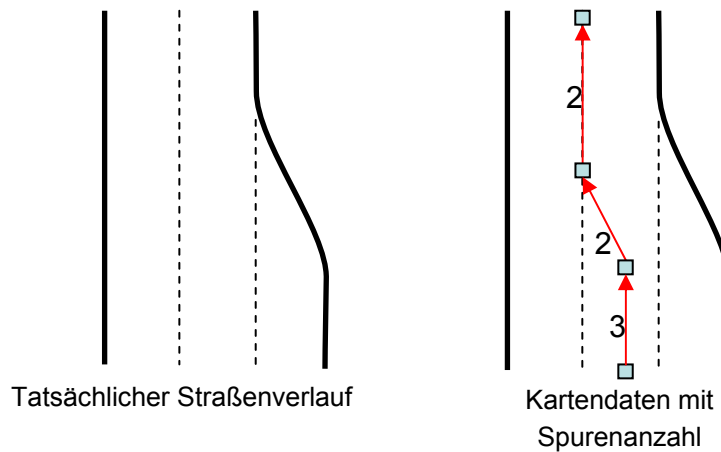


Abbildung 2: Vektorielle Nachbildung eines Straßensegmentes

Im Hinblick auf die Positionsschätzung ist damit die Anforderung an das Kartenmaterial erhöht. Nicht nur die Abbildung der Straßensegmente sollte realitätstreu und mit hoher Genauigkeit erfolgen, sondern auch Informationen wie Gebäudemodelle oder Grundrissinformationen liefern zusätzlich einen hohen und wichtigen Beitrag zur Positionsschätzung. Erst mit diesen zusätzlichen Informationen lässt sich auch die Unsicherheit der Positionsschätzung in der Längsrichtung reduzieren.

Wie eingangs erwähnt lässt sich mit der Erweiterung der Sensorikseite, worunter das Kartenmaterial zu zählen ist, die Anwendungsvielfalt erhöhen. Im Speziellen würden zusätzliche Objektinformationen und die Erhöhung der Genauigkeit des Kartenmaterials zusätzliches Anwendungspotential für Fahrerassistenz- und Sicherheitssysteme generieren.



Abbildung 3: 3D-Szene

Konkret steigern beispielsweise 3D-Gebäudemodelle nicht nur die Attraktivität von Navigationssystemen, sondern ermöglichen die Nutzung als Referenzsystem, siehe Abbildung 3.

Kristin Schönherr

2 Lichtsteuerung mittels Karteninformationen

Bisher existiert bei Fahrzeugen im Straßenverkehr zur Beleuchtung der Fahrbahn nur eine Lichtverteilung. Diese ist asymmetrisch ausgeführt, bei Rechtsverkehr auf der linken Hälfte um 1% vertikal beschnitten und stellt einen Kompromiss für alle unterschiedliche Straßenklassen dar.

Eine Erweiterung dieser Lichtverteilung stellt das dynamische Kurvenlicht dar, welches Lenkwinkelbasiert die Lichtverteilung in die Kurveninnenseite schwenkt. Ein Nachteil dieser Anordnung ist jedoch das die herkömmliche asymmetrische Lichtverteilung nur einen Kompromiss für alle im Straßenverkehr auftretende Situationen darstellt. Demnach besitzt diese Lichtverteilung gewisse Schwächen wie eine zu geringe Reichweite auf Autobahnen und eine zu geringe horizontale Ausleuchtung auf Stadtstraßen. Weiterhin besteht bei Nacht bisher ein erhöhtes Defizit was eine angemessene Ausleuchtung in Kreuzungsbereichen anbelangt.

Aufgrund der immer höheren Einbaurrate von Navigationssystemen lässt sich deren Funktionalität nicht nur zur Routenberechnung nutzen, sondern auch als Sensor für Fahrerassistenzsysteme. Mit Geoinformationsdaten ist es nun möglich die jeweilig befahrene Straßenklasse eindeutig bestimmen und situationspezifisch die Lichtverteilung der jeweiligen Fahrsituation anzupassen. So ist es möglich auf einer innerstädtischen Strasse eine andere Lichtverteilung einzustellen als beispielsweise auf einer Autobahn.

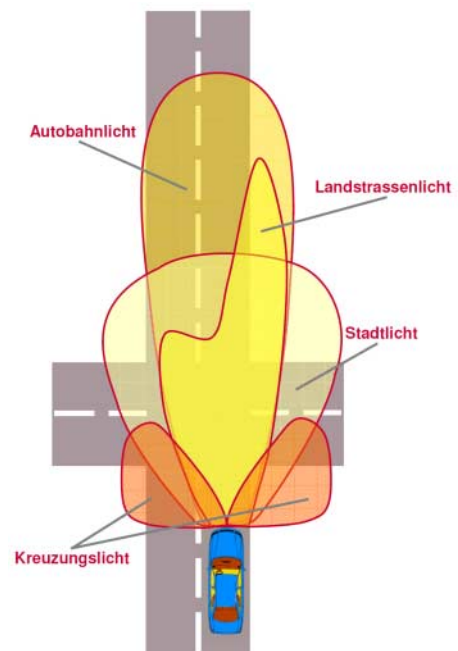


Abbildung 4: Lichtverteilungen

Stadtlicht:
Das Stadtlicht besitzt eine breite horizontale Lichtverteilung, um in Ortschaften oder Städten laterale Gefahrenmomente besser erkennen zu können. Die Lichtverteilung wird durch eine Weiterentwicklung der bisherigen Schwenkscheinwerfer gebildet.
Autobahnlicht:
Durch Geodaten lässt sich die Fahrt auf einer Autobahn lokalisieren. Dazu wird für eine höhere Sichtweite die Hell-Dunkel-Grenze der Scheinwerfer etwas angehoben.
Landstraßenlicht:
Das Landstraßenlicht ist das Licht, das für alle anderen Fälle, die durch Stadt- oder Autobahnlicht nicht abgedeckt werden, eingestellt ist. Es besitzt eine asymmetrische, wie durch das normale Abblendlicht bekannte Lichtverteilung.

Ein weiterer Punkt ist die Detektion von Kreuzungen, die sich auch mit den Navigationsdaten bestimmen lässt. Somit kann dort zur besseren Ausleuchtung ein Kreuzungslicht eingeschaltet werden.

Kreuzungslicht:

Die Lichtverteilung des Kreuzungslichtes wird durch das Einschalten beider Abbiegelichter realisiert, um auch die an Kreuzungen seitlich gelegenen Gefahren frühzeitig zu erkennen. Es wird bei langsamer Annäherung an eine Kreuzung in einem definierbaren Abstand zur Kreuzung eingeschaltet. Um ein ständiges Ein- und Ausschalten zu verhindern, werden hier geeignete Hysteresen zwischen Ein- und Ausschaltbedingung vorgesehen.

Resultierend kann man sagen, dass eine dem Straßentyp angepasste Lichtverteilung mehr Sicht bei Nacht ermöglicht und somit dazu beiträgt, den Sicherheitsgewinn bei Nacht zu erhöhen.

Christian Funk

3 Probleme der exakten Straßenmodellierung

Der Bau von Straßen unterliegt bestimmten Richtlinien. Diese legen unter anderem die Krümmungsradien in Kurven fest, um beim rechtmäßigen Befahren der Straße nicht die Kontrolle über das Fahrzeug zu verlieren. Bei der Digitalisierung der Straßenzüge gilt es ebenso diese Kriterien einzuhalten.

Bei der Kartengenerierung für Navigationssysteme stellen GPS-Punkte, die anhand von Vektoren verbunden sind, den Straßenverlauf dar. Diese werden in Knotenpunkte (Nodes) und Stützpunkte (Shape-Points) unterschieden. Knotenpunkte stellen feste Punkte wie Kreuzungen, Gültigkeitsbereiche von Geschwindigkeitsbegrenzungen oder Wechsel von Straßenklassen dar. Stützpunkte approximieren die Strecke zwischen den Knotenpunkten. Bei geraden Strecken, wie Autobahnen, werden weniger Stützpunkte als bei Kurvenverläufen benötigt. Dabei lässt sich der reale Straßenverlauf mittels Vektoren als Verbindung der Punkte annähern.

Diese Approximation reicht bei vielen Fahrerassistanzanwendungen, die eine Streckenvorausschau nutzen, nicht aus. Eine exakte Vorausschau anhand der künstlichen Straßendaten mit einem exakten Krümmungsverlauf ist hierbei erforderlich.

Im Straßenbau wird der Straßenverlauf anhand von Geraden, Kurven und Übergangsbögen geplant. Diese lassen sich wie folgt mathematisch beschreiben. Geraden besitzen einen unendlichen Radius, d.h. die Krümmung ist Null. Kurven dagegen sind als Kreisbögen definiert und haben einen gleichbleibenden Radius R . Die Übergangsbögen stellen das Verbindungsglied dar und besitzen einen variablen Radius.

Für den Übergang zwischen Geraden und Kreisen ist es wichtig, dass es zu keinen Unstetigkeiten in der Krümmungsänderung kommt. Eine solche Realisierung im Straßenbau würde beim Befahren der Straße unter Einhaltung der Spur zu starken Lenkkorrekturen und somit zu einem Ruck in der Querschleunigung im Fahrzeug führen. Um Abhilfe hierfür zu schaffen, ist ein Übergangsbogen wichtig, dessen Krümmung von 0 bis $1/R$ mit der Bogenlänge L linear anwächst.

Diese Bedingungen erfüllen Klothoiden. Sie sind durch eine Anfangs- (KA) und Endkrümmung (KE) und durch ihre Länge definiert.

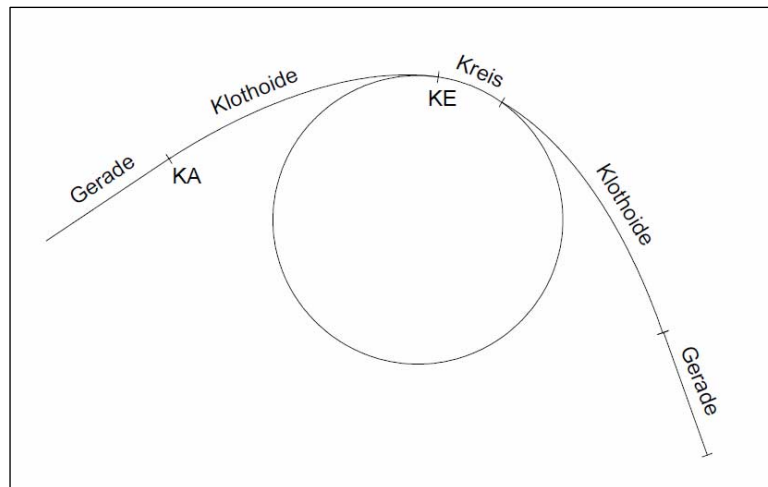


Abbildung 5: Nachbild eines Streckenverlaufes¹

Für eine Streckenvorausschau ist eine exakte Nachbildung wie in Abbildung 5 dargestellt, notwendig.

Die Überführung der vektoriellen Beschreibung von Straßen in Navigationsdatenbanken in eine krümmungsbezogene Darstellung ist mit einigen Hindernissen verbunden:

Beim Erzeugungsprozess einer exakten digitalen Streckenvorausschau sind die Übergangsstellen zwischen den Segmenten (Geraden, Kreisen und Klothoiden) nicht bekannt. Diese müssen somit selbst berechnet werden. Es ist äußerst komplex aus Knoten- und Stützpunkten die Übergänge zu den einzelnen Segmenten zu bestimmen. Es lässt sich nur eine Annäherung erzeugen. Zudem treffen die Übergänge nicht immer auf die Knotenpunkte, was eine erneute Teilung der Segmente durch Einführung eines neuen Knotens zur Folge hat. Diese neue Einteilung muss wieder in die Klothoidendefinition passen. Hierzu muss die Krümmungsstetigkeit an den Grenzstellen eingehalten werden. Dies wird dadurch erschwert, dass der Verlauf der Krümmungsänderung einer Klothoide laut Definition linear verlaufen muss.

Zudem treten im Straßennetz viele Sonderfälle auf, die getrennt zu behandeln sind:

Bei Autobahnauf- und -abfahrten besteht die Herausforderung darin, diese ohne Krümmungssprünge auf die Autobahn zu führen. Die Beschleunigungsspur trifft wie in einer Kreuzungssituation auf die Autobahn, da die Anschlussstelle in der Karte nicht digitalisiert wurde. In der Streckenvorausschau entsteht somit ein Knick, der im realen Streckverlauf nicht vorhanden ist, siehe Abbildung 6.

¹ Fachhochschule Bochum – Fachbereich Vermessungswesen und Geoinformatik – Kapitel 1, Seite 3

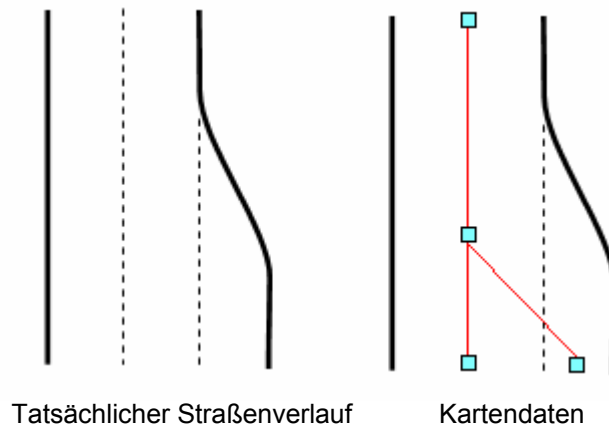


Abbildung 6: Unterschied zwischen tatsächlichem Straßenverlauf und Kartendaten bei einer Autobahnauffahrt

Ein anderes Beispiel für einen solchen Sonderfall ist eine Straße mit einer baulichen Trennung. Hierbei wurde der Straßenteil ohne bauliche Trennung als eine Straße digitalisiert und der Teil mit baulicher Trennung als zwei Straßen. In den Daten entsteht eine Gabelung, wie sie in Abbildung 7 gezeigt ist. Dieser Straßenverlauf verfälscht die Streckenvorausschau erheblich.

Beim Zufahren auf eine solche Streckenvorausschau würde diese nach rechts abschweifen, obwohl die Straße geradeaus führt.

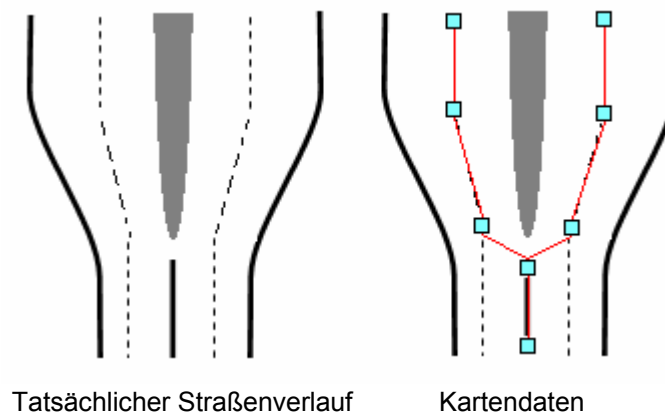


Abbildung 7: Unterschied zwischen tatsächlichem Straßenverlauf und Kartendaten bei einer Gabelung

Eine exakte Straßennachbildung ist wünschenswert, aber mathematisch schwierig zu realisieren. Zusätzlich ist die Speicherkapazität im Fahrzeug, speziell in Navigationssystemen begrenzt, so dass ein Kompromiss zwischen Genauigkeit und Datenmenge akzeptiert werden muss. Die Genauigkeit ist damit unmittelbar abhängig vom verfügbaren Speicherplatz im Navigationsgerät. Ferner haben die Daten der Vorausschau nur eine begrenzte Bandbreite zur Verfügung um über Bussysteme an das jeweilige Steuergerät übertragen zu werden. Dieses beeinflusst die Exaktheit der Werte weiter negativ.

Um eine exakte Streckenvorausschau zu erreichen ist es somit sinnvoll, zusätzliche Informationen zum Straßenverlauf mit den vorhandenen Streckendaten zu fusionieren. Ein Ansatz hierfür ist, Daten anderer Sensoren zu nutzen, um hieraus den Verlauf der Straße nachzubilden. Durch einen Vergleich der Streckenvorausschau aus den Kartendaten und der errechneten aus den Sensoren lassen sich Fehler in der Streckenvorausschau aus den Kartendaten erkennen und somit ausgleichen.

Eine Streckenvorausschau, die aus Kartendaten realisierbar ist, liefert einen guten Ansatz um den Straßenverlauf nachzubilden. Derzeit erreichen diese aufbereiteten Daten vom Navigationssystem nicht die Genauigkeit, die für Fahrerassistenzsysteme benötigt werden. Das Hinzufügen zusätzlicher Informationen ist daher zwingend erforderlich, um eine exakte Vorausschau der Straße zu gewährleisten.

Christina Gackstatter