

Kinodynamische Wegplanung

Unter kinodynamischer Wegplanung versteht man Verfahren zur Wegplanung autonomer unbemannter Systeme. Gegenüber klassischen Methoden ermitteln sie nicht alleine einen kollisionsfreien Weg durch eine Umgebung mit Hindernissen (kinematische Randbedingung), sondern berücksichtigen entlang dieses Weges auch die physikalisch maximal möglichen Geschwindigkeiten und Beschleunigungen (dynamische Randbedingungen). Damit soll insbesondere die Aufgabe gelöst werden, für welche Kombination aus Geschwindigkeit und Bahnkurve sich die minimal mögliche Fahrzeit ergibt, bei der das Fahrzeug gerade noch nicht unkontrolliert ausbricht. Die kinodynamische Wegplanung ist heute noch Gegenstand grundlagenorientierter Forschung. Langfristig soll sie dazu führen, dass autonome Systeme hinsichtlich ihrer Mobilität den von Menschen gesteuerten Fahrzeugen gleichwertig oder sogar überlegen sein können.

Allgemein ist die Wegplanung ein Bestandteil der Navigationsaufgabe jedes autonomen Fahrzeugs. Dazu gehören zunächst die Erfassung und Nutzung von Umgebungsdaten sowie die Selbstlokalisierung des Fahrzeugs in der Umgebung, die mit Hilfe der bordeigenen Sensorik erfolgen müssen. Anschließend folgen die eigentliche Wegplanung vom aktuellen Ort zu einem Zielpunkt mit Hilfe geeigneter Rechenprogramme und schließlich die Ausführung und Überwachung der Bewegung. Für einen kontinuierlichen autonomen Fahrbetrieb müssen diese Schritte in einem Echtzeitzyklus permanent durchlaufen werden. Dies setzt neben leistungsfähiger Sensorik auch eine entsprechende bordeigene Rechenkapazität voraus. Verfahren der kinodynamischen Wegplanung gehen darüber noch einmal hinaus und berücksichtigen auch dynamische Randbedingungen von Geschwindigkeit und Beschleunigung. Dies erlaubt äußerst komplexe Fahr-, Lauf- oder Flugmanöver, die mit herkömmlichen Wegplanungsmethoden nicht zu erreichen sind.

Kinodynamische Wegplanung beinhaltet eine planerische Komponente – die vorausschauende Wegplanung („offline“) – und

eine reaktive Komponente („online“) zur Kontrolle der Stabilität der Fahrzeugbewegung während der Ausführung. Sie stellt in Summe hohe Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der eingesetzten Algorithmen und Bordrechner, denn die ermittelte Route muss kollisionsfrei sein und die Trajektorie des Fahrzeugs entlang der Route muss den dynamischen Randbedingungen genügen. Außerdem soll die ermittelte Route optimal sein (z.B. kürzeste Strecke zum Ziel). Dafür müssen die Berechnungen zuverlässig und in Echtzeit erfolgen.

Kinodynamische Wegplanung ist für eine Vielzahl mobiler autonomer Systeme von Bedeutung. Für den Einsatz von kleinen unbemannten Flugsystemen bei Rettungseinsätzen oder anderen sicherheitsrelevanten Einsätzen kann sie eine Rolle spielen, wenn es darum geht, Zugang zu Räumen durch ansonsten unpassierbare Engstellen zu erhalten. Auch für allgemeine robotische Systeme mit Manipulatoren (Industrierobotik, Servicerobotik) ist sie von Bedeutung.

Das herausragende Einsatzgebiet kinodynamischer Wegplanung sind jedoch die zukünftigen autonomen Straßenfahrzeuge. Hier besteht eine Kernaufgabe darin, eine konfliktfreie Fahrt im regulären Straßenverkehr so zu gewährleisten, dass autonome Fahrzeuge bezüglich ihrer Bewegungsprofile nicht mehr von bemannten Fahrzeugen zu unterscheiden sind. Das bedeutet, sie sollten sich bezüglich ihrer Trajektorie, also der gewählten Wegstrecke auf der Fahrbahn, und der Geschwindigkeit, mit der sie diese Wegstrecke entlang fahren, so verhalten, als würde ein Mensch am Steuer sitzen. Die oftmals unbewusste Entscheidung eines Menschen, in der einen oder anderen Weise auf das Fahrzeug einzuwirken, basiert auf teils sehr subtilen Informationen, die in einer komplexen Prozesskette verarbeitet werden. Unter Berücksichtigung einer Fülle von visuellen, akustischen und vestibulären Sinneseindrücken wird kontinuierlich eine für die aktuelle Situation in der Umgebung und die Absichten des Fahrers zu präferierende Verhaltensweise abgeleitet und nahezu verzugslos aktorisch umgesetzt. Diese humanen Fertigkeiten und Fähigkeiten in einem elektronischen

System nachzubilden, ist die gegenwärtige ultimative Herausforderung für den Bau autonomer Fahrzeuge.

Insbesondere müssen Informationen über die Beschaffenheit der vorausliegenden Fahrfläche ermittelt werden, um etwa eine Abschätzung des Reibungskoeffizienten einer Fahrbahn vornehmen zu können. Eine Kurve ist jeweils anders zu durchfahren, wenn die Fahrbahn trocken, nass, verschneit oder gar vereist ist. Ein kleiner Streifen Laub oder etwas Split auf der Fahrbahn sind ebenso von Bedeutung. Aber auch Bodenwellen, Schlaglöcher oder ein den effektiven Kurvenradius beschränkendes Hindernis, zum Beispiel ein entgegenkommender Motorradfahrer, der sich schräg in die Kurve legt, sind Parameter, die Einfluss auf die kinodynamischen Randbedingungen nehmen. Die Klassifikation des vorausliegenden Terrains mittels Sensorik und Algorithmen ist die zentrale Voraussetzung für die Lösung der damit zusammenhängenden Probleme.

Die in den letzten Jahren zunehmende Zahl an Fahrerassistenzsystemen zur vorausschauenden Gefahrenerkennung in bemannten Fahrzeugen adressiert bereits viele Teiltechnologien, die für kinodynamische Wegplanung benötigt werden. Was heutige Serienfahrzeuge nicht leisten können, ist eine Vorausplanung des Weges auf Basis bordeigener Sensorik. Ebenfalls fehlt die Fähigkeit, Grenzsituationen, in denen das Fahrzeug den sicheren Kontakt zur Fahrbahn verlieren könnte, rechtzeitig vorzusehen. Aufgrund der vielfältigen diesbezüglichen Bemühungen der Automobilindustrie kann hier mit der Entwicklung entsprechender Methoden und Sensortechnologien gerechnet werden.

Erste Prototypen, die Rennstrecken in den USA absolviert haben, reichen unter den hier herrschenden kontrollierten Bedingungen schon an dem Menschen vergleichbare Fahrleistungen heran. In handelsüblichen Fahrzeugen werden diese Fähigkeiten aber wohl erst ab Mitte des nächsten Jahrzehnts verfügbar werden, zunächst dann beschränkt auf gewisse Einsatzumgebungen, wie zum Beispiel Autobahnen.

Dr.-Ing. Guido Huppertz