

Kooperative Steuerung vernetzter Fahrzeuge

Alexander Schwab

Kurzfassung

Die vorliegende Dissertation beschäftigt sich mit der kooperativen Steuerung von vernetzten Fahrzeugen. Autonomes Fahren ist ein Thema, das derzeit mit großem Interesse von Forschern, Fahrzeugherstellern und entsprechenden Medien diskutiert wird. Zukünftige autonome Fahrzeuge sollen die Passagiere an ihr gewünschtes Ziel bringen und dabei sowohl die Sicherheit als auch die Effizienz im Vergleich zu heutigen von Menschen gesteuerten Fahrzeugen verbessern. Das grundsätzliche Problem aller Fahrzeugkoordinationsaufgaben ist die Gewährleistung der Kollisionsvermeidung in jeder Situation. Zu diesem Zweck müssen autonome Fahrzeuge Informationen untereinander austauschen, um Verkehrsmanöver durchführen zu können, die die Kooperation mehrerer Fahrzeuge erfordern.

Die Theorie der vernetzten Regelungssysteme liefert Analysewerkzeuge und Entwurfsmethoden, die zur Entwicklung von Fahrzeugsteuerungen genutzt werden können. Die allgemeine Idee, die in dieser Arbeit verfolgt wird, ist es, Anforderungen (z.B. Kollisionsvermeidung) an das Gesamtverhalten der Fahrzeuge zu stellen. Basierend auf diesen Anforderungen werden Eigenschaften der geregelten Fahrzeuge und Eigenschaften des Kommunikationsnetzes abgeleitet. Die lokale Steuerung jedes Fahrzeugs und die Struktur des Netzwerks müssen so gewählt werden, dass die Kombination der gesteuerten Fahrzeuge mit dem Kommunikationsnetz das gewünschte Gesamtverhalten erreicht.

Dieses Verfahren wird auf unterschiedliche Weise auf die Steuerung vernetzter Fahrzeuge angewandt. Zunächst werden Szenarien aus dem Straßenverkehr betrachtet. Als grundlegendes Problem wird die Kolonnenregelung eingehend untersucht, welches die Aufgabe beschreibt, eine Gruppe von Fahrzeugen so anzuordnen, dass sie mit der gleichen Geschwindigkeit und in einem vorgegebenen Abstand fahren. Mit Hilfe des oben beschriebenen Verfahrens werden lokale Güteforderungen abgeleitet, die von den Fahrzeugreglern erfüllt werden müssen. Insbesondere wird gezeigt, dass die Fahrzeuge extern positiv sein müssen, um Kollisionsvermeidung zu erreichen. Das Problem, einen Regelkreis extern positiv zu machen, war bisher ungelöst. In der vorliegenden Arbeit wird das Entwurfsproblem für eine allgemeine Klasse von linearen Fahrzeugmodellen auf der Grundlage einer Zustandsrückführung gelöst.

Als Abstraktion von realen Verkehrsszenarien werden Schwärme von Fahrzeugen betrachtet. Der Hauptunterschied im Vergleich zu realen Verkehrsproblemen ist die höhere Bewegungsfreiheit, da sich ein Schwarm mobiler Systeme nicht auf vorgegebenen Straßen bewegen muss. Daraus ergibt sich, dass eine anfangs geeignete Kommunikationsstruktur aufgrund der relativen Bewegung der mobilen Systeme für die Steuerungsaufgabe ungeeignet werden kann. Um dieses Problem zu lösen, wird in dieser Arbeit vorgeschlagen, die Delaunay-Triangulation als schaltende Kommunikationsstruktur eines vernetzten Systems zu verwenden. Zu diesem Zweck wird gezeigt, dass die Delaunay-Triangulation von den mobilen Systemen mit verteilten Algorithmen aufrechterhalten werden kann.

Die Aufgabe des Fahrzeugschwarms besteht darin, eine distanzbasierte Formation zu erreichen. Aufgrund der freien Bewegung der mobilen Systeme auf einer Fahrfläche werden nichtlineare Regler eingesetzt, die einen Gradientenabstieg entlang eines künstlichen Potentialfeldes durchführen, das aus relativen Potentialfunktionen zusammengesetzt ist. Es wird gezeigt, wie die relativen Potentialfunktionen gewählt und parametrisiert werden können, sodass die Kombination aus der Delaunay-Triangulation mit den lokalen Reglern die Steuerungsaufgabe löst und gleichzeitig die Kollisionsvermeidung gewährleistet.

Alle erarbeiteten Methoden werden mit der Versuchsanlage SAMS evaluiert. Die Experimente verifizieren die theoretischen Ergebnisse unter Berücksichtigung technischer Aspekte. Die Roboter haben Einschränkungen (z.B. Stellgrößenbeschränkungen, Totzone für kleine Stellgrößen, Radschlupf usw.), die in den Modellen nicht berücksichtigt werden. Dennoch wird gezeigt, dass die vorgeschlagenen Regelungskonzepte echtzeitfähig sind und in allen betrachteten Szenarien eine Kollisionsvermeidung erreichen.