

Diss. ETH No. 18229

**REAL-TIME CONTROL ALGORITHMS
FOR SEMI-AUTONOMOUS
PARKING ASSISTANTS**

A dissertation submitted to
ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by
Moritz Benjamin Oetiker

MSc ETH in Electrical Engineering and
Information Technology

born June 16, 1977

citizen of Rümlang and Männedorf, Zürich

accepted on the recommendation of
Prof. Lino Guzzella, examiner
Prof. Roland Siegwart, co-examiner

2009

Abstract

The goal of this thesis was the enhancement of an assistant-system for passenger vehicle parking maneuvers. The most automated class of parking assistants which are currently legal to implement in most countries are the so called semi-autonomous assistants. Such assistant systems are allowed to steer a vehicle by an actuator but the human driver must control the longitudinal vehicle acceleration.

The project objective was to find algorithmic solutions which allow for adaption to different vehicle velocities during a maneuver as well as to a time-varying environment.

A first project requirement resulted from the limited steering speed and the a priori unknown vehicle velocity. If the system cannot adapt to unexpected changes of the velocity, worst case scenarios have to become the basis of all parking paths. This either reduces the parking performance or the maximum allowed velocity. An adaptive system should increase the number of direction changes for excessive velocities and improve the performance at lower speeds.

A second requirement accounted for map updates due to measurement errors or environment variation. The project constraints were to use the hardware which is available in the existing prototype and to generate program code which is computationally efficient enough to be run directly in a modern automotive real-time micro-controller.

The solution was based on the navigation function method. Since the calculation of navigation functions is computationally difficult, a core element of this thesis is a specialization for the parking problem. The basic idea is to use pre-calculated navigation fields, which store reference values for the vehicle orientation. The constraints on the steering speed and steering smoothness however require a special steering controller which steers the vehicle to a reference orientation obtained from the fields. The applied controller avoids the effects of the system's nonlinearities by a time variant first order prediction of the vehicle position.

The navigation fields combined with the orientation control generate a control law for all admissible vehicle configurations. The assistant-system is however still allowed to overwrite this law in the case of an exceptional event which requires special handling, and to switch back as soon as this is safely possible. With this property it becomes possible to superimpose control strategies which handle fast reactions to sensor signals while the vehicle is in motion.

The thesis further treats an extension to the steering control which allows for adaption of the dominant controller parameter based on model prediction. A receding horizon controller increases the system's performance for high velocities and in the case of environment variations.

If the vehicle reaches a position inside a parking space which is not yet satisfying, the system further assists the driver in the parking process. This control problem inside a closely bounded environment is solved by a closed-loop iterative algorithm which is based on maneuvers composed from clothoid curves and circles.

The parking system was successfully implemented and tested in a passenger vehicle. It performed well in numerous real-world parking situations.

Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit war die Erweiterung und Verbesserung eines Einpark-Assistenz Systems für Personenfahrzeuge. In den meisten Ländern sind heutzutage sogenannte semi-autonome Einparkhilfen erlaubt, welche ein Fahrzeug zwar über einen Aktuator lenken dürfen, wobei aber die Längsbeschleunigung des Fahrzeugs zwingend durch den Fahrer kontrolliert werden muss.

Das Projektziel bestand in der Suche nach algorithmischen Lösungen zur Adaption eines solchen Assistenz Systems sowohl an unterschiedliche Geschwindigkeiten als auch an eine zeitvariante Umgebung.

Eine erste Projektanforderung ergibt sich aus der eingeschränkten Lenkgeschwindigkeit und dem a priori unbekanntem Geschwindigkeitsprofil des Fahrzeuges. Ein adaptives System soll bei überhöhten Geschwindigkeiten zusätzliche Richtungswechsel benötigen, bei geringen jedoch besser werden.

Eine zweite Projektanforderung betrifft Veränderungen der Umgebungskarte durch Messfehler oder tatsächliche Veränderungen. Das erweiterte System soll diese Situationen handhaben, ohne zusätzliche Hardware auskommen und so effizient programmiert sein, dass ein zeitgemässer Mikrokontroller, wie er in der Automobilindustrie eingesetzt wird, zur Ausführung ausreicht.

Die Lösung wurde auf Navigationsfunktionen aufgebaut. Weil solche jedoch aufwändig zu berechnen sind besteht ein Kernelement der aus der Spezialisierung dieser Technik für das Einparkproblem. Die Grundidee besteht in der Verwendung abgespeicherter Teilfelder, welche Fahrzeugausrichtungen enthalten.

Die Forderung nach sanften Lenkbewegungen und die Einschränkung der Lenkgeschwindigkeit verlangen nach einem spezialisierten Lenkregler, welcher das Fahrzeug auf eine solche Referenzausrichtung regelt. Der schliesslich eingesetzte Regler umgeht die Auswirkungen der systembedingten Nichtlinearitäten mittels einer zeitvarianten Fahrzeugpositionsprädiktion

erster Ordnung.

Aus der Kombination der Navigationsfelder mit dem Lenkregler ergibt sich ein Basisregelgesetz für jede zulässige Fahrzeugkonfiguration, welches jedoch jederzeit zwischenzeitlich überschrieben werden kann um Ausnahmesituationen zu behandeln. Aufgrund dieser Eigenschaft lassen sich dem Basisregelgesetz weitere Regler überlagern, die während der Fahrt schnelle, sensorgeführte Reaktionen ausführen können.

Die Arbeit stellt auch eine Erweiterung der Lenkregelung vor, welche den dominanten Reglerparameter anhand einer Echtzeitsimulation des Regelsystems optimiert. Dieser ‘Receding Horizon’ Regler erweitert das zulässige Geschwindigkeitsspektrum und verbessert das Reaktionsverhalten bei Umgebungsveränderungen.

Wenn die erreichte Position innerhalb einer Parklücke noch nicht zufriedenstellend ist, wird der Fahrer vom System weiterhin unterstützt. Dieses Regelungsproblem innerhalb der engen Grenzen der Parklücke wird durch einen iterativen Regelalgorithmus gelöst, der auf Manövern aus Klothoiden- und Kreissegmenten aufbaut.

Das erweiterte Einpark-Assistenz System wurde in einem Personenfahrzeug implementiert und erfolgreich in zahlreichen echten Parklücken getestet.