

Diss. ETH No. 17742

Multi-Object Adaptive Cruise Control

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY (ETH) ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

Rainer Möbus
Dipl. El.-Ing. ETH Zürich
born 01.03.1975
citizen of Stuttgart, Germany

accepted at the recommendation of

Prof. Dr. Manfred Morari, examiner
Prof. Dr. Lino Guzzella, co-examiner

2008

Abstract

In this thesis the development and implementation of a multi-object adaptive cruise control (ACC) system is presented. A sensor fusion configuration as well as object tracking and sensor fusion algorithms are presented to obtain a thorough representation of the traffic scene ahead of an ACC-controlled vehicle. The sensor fusion configuration includes a 77GHz radar sensor and an IR laser sensor for object detection. A monocular CCD camera system is employed for lane recognition and the lane assignment of the detected objects. Experimental results of all presented algorithms are given.

The control model and the control objectives of a multi-object ACC system are presented. The multi-object ACC problem is looked at as a constrained optimal control problem incorporating the dynamics of the traffic scene, the driver's desire to cruise at a certain velocity, the lane assignment of the other road users, the objective of respecting certain minimum distances to other road users and to adapt the velocity to the flow of the other road users. Additionally, overtaking a preceding vehicle on the right can be avoided. The choice of the relevant object is implicitly determined by the cost function and the optimization criteria. Constraints imposed by physical limitations as well as by comfort and safety considerations can be included and a receding horizon control strategy is applied.

In a first step the constrained finite time optimal control (CFTOC) problem with a piecewise affine (PWA) system description is solved via dynamic programming. The resulting explicit solution is tested in a research vehicle and it is shown that real-time operation and most control objectives of the multi-object ACC problem can be achieved.

In a second step, the multi-object ACC problem is looked at as a CFTOC problem with a mixed logical dynamical (MLD) system description. With an efficient way

to represent and evaluate the explicit solution to the corresponding multi-parametric mixed integer quadratic program, it is possible to include all desired control objectives in the problem formulation and still obtain an explicit solution suitable for real-time operation. Simulation results of this multi-object ACC control approach are presented and the controller is compared to a reference ACC controller. With the efficient controller representation the multi-object ACC controller is implemented on the ECU of a standard production platform vehicle to confirm the simulation results in real traffic.

Zusammenfassung

Gegenstand dieser Arbeit ist das Design und die Umsetzung eines Mehrobjekt-ACC Systems (ACC, Adaptive Cruise Control = Abstandsregeltempomat). Zur vollständigen Umgebungserfassung im vorderen Bereich des geregelten Fahrzeugs werden sowohl eine geeignete Sensorkonfiguration als auch Algorithmen für das Objekttracking und die Sensordatenfusion präsentiert. Die Sensorkonfiguration besteht aus einem 77GHz Radarsensor und einem Infrarot Laserscanner zur Objekterkennung, sowie einer monokularen CCD Videokamera zur optischen Fahrspurerkennung bzw. zur Spuruordnung von vorausfahrenden Fahrzeugen. Alle vorgestellten Algorithmen werden mit Versuchsergebnissen belegt.

Im Weiteren werden das Systemmodell und die Regelziele eines Mehrobjekt-ACC Systems vorgestellt und erläutert. Das Mehrobjekt-ACC Regelungsproblem wird betrachtet als ein Optimierungsproblem mit Randbedingungen. Mitbetrachtete Randbedingungen sind die Dynamik der Verkehrssituation, die Wunschgeschwindigkeit des Fahrers, die Spuruordnung der anderen Verkehrsteilnehmer und das Gebot, einen gewissen Mindestabstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen einzuhalten. Das Ziel, die Eigengeschwindigkeit dem gesamten Verkehrsfluss anzupassen wird ebenfalls berücksichtigt. Das Rechtsüberholen von vorausfahrenden Fahrzeugen kann verhindert werden. Eine Vorauswahl des sogenannten *relevanten Objekts* ist nicht nötig, sie erfolgt implizit durch die Modellierung der Kostenfunktion des Optimierungsproblems. Ebenfalls Berücksichtigung finden die physikalischen Randbedingungen des Fahrzeugs, Komfort- und Sicherheitsbetrachtungen und eine vorausschauende Regelstrategie.

In einem ersten Schritt wird das Optimierungsproblem mit Randbedingungen und PWA (PieceWise Affine) Systembeschreibung mit dem sogenannten *dynamic programming* Algorithmus gelöst. Die resultierende explizite Lösung des Problems wird in einem Testfahrzeug getestet und es kann gezeigt werden, dass die wichtigsten Systemanforderung an das Mehrobjekt-ACC System auch im Echtzeitbetrieb umgesetzt

werden können.

In einem zweiten Schritt wird das Mehrobjekt-ACC Regelungsproblem ebenfalls als Optimierungsproblem mit Randbedingungen betrachtet, allerdings mit einer MLD (Mixed Logical Dynamical) Systembeschreibung. Durch eine effizient Art und Weise, die explizite Lösung des Optimierungsproblems zu speichern und in Echtzeit wieder auszuwerten, können alle gewünschten Regelziele inklusive Echtzeitanforderungen umgesetzt werden. Simulationsergebnisse dieser Mehrobjektregelung werden dargelegt, erläutert und mit einem Referenzlängsregler verglichen. Mit der effizienten Reglerauswertung kann der Mehrobjektregler in einem Standardsteuergerät eines Serienfahrzeugs dargestellt werden, um die Simulationsergebnisse im realen Strassenverkehr zu überprüfen.