

Bericht zum Projektwettbewerb Konzepte der Regelungstechnik

Patrick Riedel, Iskandar Khemakhem

Zusammenfassung—Im folgenden Bericht wird die Regelung eines Einspurmodells auf einer vorgegebenen Rennstrecke erläutert. Das Ziel besteht darin, dass das Einspurmodell autonom die Rennstrecke in minimaler Zeit befährt, ohne die Streckenbegrenzung zu überschreiten. Hierfür wurde eine Solltrajektorie erstellt, die sich der "Ideallinie" der Rennstrecke annähert, und mit Hilfe eines Zustandsreglers verfolgt. Durch Simulationen wurde festgestellt, dass der Rundkurs unter dieser Regelung erfolgreich in einer Zeit von 83,81 Sekunden absolviert werden kann.

I. EINLEITUNG

Die Aufgabe besteht darin, einen Zustandsregler zu implementieren, der ein Fahrzeug auf einer vorgegebenen Strecke abfahren kann. Die Aufgabe soll simulativ auf Matlab gelöst werden. Dabei wird das Einspurmodell des Fahrzeugs verwendet, das eine vereinfachte Version des komplexeren Zweispurmodells darstellt. Beim Einspurmodell trägt jede Achse (vorne und hinten) nur ein Rad. Das Modell umfasst insgesamt zehn Zustände: die Längsposition x , die Querposition y , die Geschwindigkeit v , den Seitenrutschwinkel β , den Gierwinkel ψ , die Giergeschwindigkeit ω , die Längsgeschwindigkeit \dot{x} , die Quergeschwindigkeit \dot{y} , die Giergeschwindigkeit $\dot{\psi}$ (überflüssig) und die Raddrehfrequenz $\dot{\phi}$.

Zusätzlich verfügt das System über fünf Eingänge: den Lenkwinkel δ , die Gangwahl G , die Bremskraft F_b , die Bremsverteilung ζ und die Gaspedalposition ϕ . Das Modell wurde bereits vorgegeben, einschließlich der Stellgrößenbegrenzungen, und die gesamte Strecke ist von Anfang an bekannt. Der Regler wird so konfiguriert, dass das Fahrzeug die vorgegebene Strecke in der kürzestmöglichen Zeit t_f durchfährt, ohne die Begrenzungen der Strecke und der Stellgrößen zu überschreiten.

II. TRAJEKTORIENGENERIERUNG

Die Grundidee unseres Regelentwurfs besteht darin, das eingeschränkte Problem in ein Trajektorienverfolgungsproblem umzuwandeln. Eine Möglichkeit besteht darin, die Zentrallinie, die zwischen den Rändern verläuft, als Solltrajektorie zu verwenden. Diese Trajektorie gewährleistet zwar den größtmöglichen Abstand zu den Rändern, ist jedoch sehr langsam in den Kurven. Alternativ könnten wir die "Ideallinie" oder "Racing Line" verfolgen. Diese repräsentiert die optimale Route, die ein Rennfahrer wählen sollte, um die Strecke mit maximaler Geschwindigkeit und Effizienz zu befahren. Die Racing Line berücksichtigt Faktoren wie Kurvenradius, Bremspunkte, Scheitelpunkte und Ausgangspunkte, um den

schnellsten und flüssigsten Weg durch die Strecke zu bestimmen. Um das Problem einfach zu halten, verzichten wir auf komplexe Optimierungsverfahren und nutzen unser Wissen aus dem Motorsport.

Mithilfe der Matlab-App `curveFitter` interpolieren wir Abschnittsweise Kurven, die der Racing Line nahekommen, und fügen sie zusammen, um eine vollständige Strecke zu erhalten. Die Solltrajektorie definiert die Längs- und Querpositionen und legt zudem in jedem Abschnitt eine Sollgeschwindigkeit fest. Auf den Geraden kann das Auto mit maximaler Geschwindigkeit fahren, während in den Kurven stark abgebremst wird, um korrekt lenken zu können. Dabei berücksichtigen wir auch die Verzögerungsphasen. Die Abbildung 1 stellt die Solltrajektorie dar.

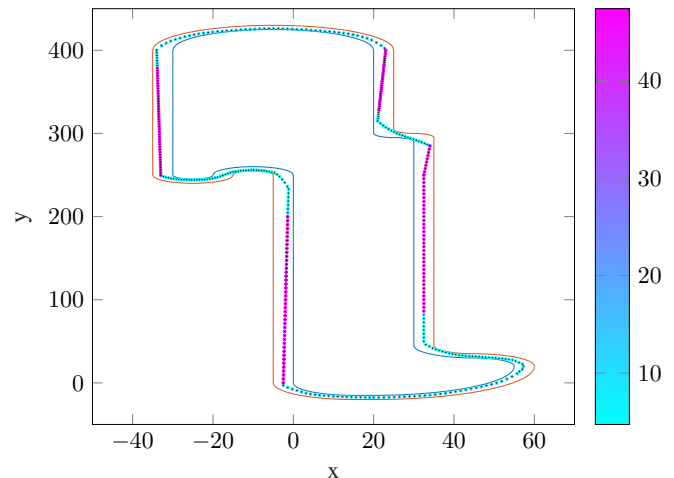


Abb. 1. Solltrajektorie für die Regelaufgabe. Die Farbe bezeichnet die Sollgeschwindigkeit.

III. REGLERENTWURF

Um die optimale Trajektorie in möglichst kurzer Zeit abzufahren, wurden in einem ersten Schritt die zu regelnden Größen identifiziert. Diese ergeben sich zu der aktuellen Position des Fahrzeugs auf der Strecke (x, y) , der Geschwindigkeit v , sowie der Orientierung bezüglich der x-Achse ψ . Diese Größen sind zu jedem Takt gegeben und können somit für die Berechnung der Eingänge herangezogen werden. Der Reglerentwurf wird in zwei Kernfelder untergliedert, die Geschwindigkeits- und die Lenkwinkelregelung. Darüber hinaus wird die Auswahl des Ganges kurz beschrieben.

A. Geschwindigkeitsregelung

Für die Regelung der durch die Trajektorie vorgegebenen Geschwindigkeit wurde der optimale Bang-Bang Regler angewendet. Dies bedeutet, dass entweder Vollgas gegeben oder maximal gebremst wird. Daraus ergeben sich die Gaspedalposition (siehe Gleichung (1))

$$\phi = \begin{cases} 1 & \text{falls } v \leq v_{des} \\ 0 & \text{sonst,} \end{cases} \quad (1)$$

und die Bremskraft (siehe Gleichung (2))

$$F_b = \begin{cases} 0 & \text{falls } v \leq v_{des} \\ 15000 & \text{sonst.} \end{cases} \quad (2)$$

Demnach kann sich auch keine Gleitphase des Fahrzeugs ergeben.

B. Lenkwinkelregelung

Für die Querregelung wurde ein Proportional (P-) Regler eingesetzt. Anhand eines einfachen Regelgesetzes berechnet dieser die Lenkwinkelposition mit einem Lookahead von drei Ausführungsschritten. Es wird demnach nicht die aktuell gewünschte, sondern die in drei vorausliegenden Taktzyklen zu erreichende Position angesteuert. Das Regelgesetz für die Bestimmung des Lenkwinkels ergibt sich dann zu

$$\delta = K_{lat}(\psi_{des} - \psi), \quad (3)$$

wobei der aktuelle Winkel ψ von dem gewünschten Winkel ψ_{des} gegenüber der x-Achse abgezogen wird. Der Regelparameter K_{lat} wurde durch Tuning zu $K_{lat} = 1.5$ festgelegt. Der gewünschte Winkel gegenüber der Horizontalen ψ_{des} kann über den inversen Tangens

$$\psi_{des} = \text{atan2}(x_{des} - x, y_{des} - y),$$

gewonnen werden.

C. Gangwahl

Zuletzt muss noch die Gangwahl definiert werden. Hier wurde ein geschwindigkeitsabhängiger Ansatz gewählt. Das Ziel ist, das Drehmoment durch die jeweilige Gangwahl zu maximieren. Der Zusammenhang ergibt sich zu

$$G = \begin{cases} 1 & \text{falls } v < 8.6334 \\ 2 & \text{falls } 8.6334 \leq v < 15.8718 \\ 3 & \text{falls } 15.8718 \leq v < 22.98 \\ 4 & \text{falls } 22.98 \leq v < 29.83 \\ 5 & \text{sonst.} \end{cases} \quad (4)$$

IV. ERGEBNIS

Das Fahrzeugmodell durchfährt die Strecke mit der generierten Trajektorie und dem beschriebenen Regleransatz erfolgreich in 83,81 Sekunden. Die zugehörige Trajektorie ist in Abbildung 2 zu sehen. Im Besonderen werden auch sämtliche Streckenbegrenzungen eingehalten.

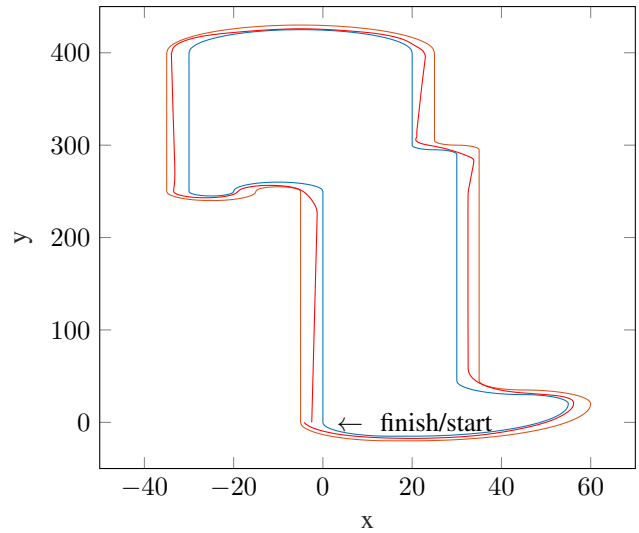


Abb. 2. Trajektorie des Fahrzeugs bei erfolgreichem Durchlauf.