

Masterarbeit

Adaptives Prädiktionsmodell zur Abschätzung des zukünftigen Aufenthaltsbereichs von Personenkraftwagen

Autor: Stefan Reisinger
Betreuer: Univ.-Prof. DI Dr. Luigi del Re
 DI Daniel Adelberger
Fertiggestellt: März 2021

Kurzfassung

Moderne Fahrerassistenzsysteme liegen in den letzten Jahren immer mehr im Trend und sind durch den zunehmenden Grad an Automatisierung immer öfter im Stande komplexe Aufgaben im Straßenverkehr zu übernehmen. Das Erkennen der statischen Umgebung mittels Kameras und weiterer Sensoren ist bereits Stand der Technik. Eine Erweiterung der Umgebungserfassung auf dynamische Objekte ermöglicht nicht nur die Fahrzeugerkennung, sondern auch die Option potenzielle Trajektorien dieser zu prognostizieren. Die Information des zukünftigen Aufenthaltsbereichs kann beispielsweise für die Kollisionsvermeidung oder für das *Eco-driving* herangezogen werden, um entsprechend frühzeitig reagieren zu können. Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung von Prädiktionsmodellen, um den zukünftigen Aufenthaltsbereich eines PKWs feststellen zu können. Das Ziel der Arbeit ist es, mithilfe von realen Messdaten die zukünftige Trajektorie bestmöglich abschätzen zu können. Hierfür werden grundsätzlich zwei verschiedene Szenarien in Betracht gezogen. Zuerst wird das entwickelte System auf Messdaten einer Autobahnstrecke mit geradem Verlauf, danach auf eine Kreuzung, angewendet, die im Vergleich eine viel komplexere Geometrie aufweist. Für die Berechnung der potenziellen Trajektorie werden drei physikalische Modelle verwendet. Da mehrere Zustände des Fahrzeuges wie z.B. Orientierung, Beschleunigung und Lenkwinkel nicht bekannt sind, werden diese mithilfe eines Zustandsschätzers (KF) approximiert. In der vorliegenden Arbeit werden mehrere Prädiktionsansätze verglichen und basierend auf erkennbaren Nachteilen weiterentwickelt. Um das Prädiktionsmodell adaptiv anpassen zu können, wird deshalb in der Folge eine fortlaufende Evaluierung der berechneten Trajektorien implementiert, um so das bestmögliche Modell für die nächste Zeitperiode bestimmen zu können. Diese Methode liefert gute Ergebnisse für einen kurzen Zeitraum. Um den Prädiktionszeitbereich zu verlängern und physikalische Beschränkungen besser einbeziehen zu können wird ein dritter Ansatz entwickelt. Diese komplexere Systematik berechnet anhand einer Optimierungsaufgabe die möglichen Ausgangstrajektorien einer Kreuzung – ausgehend von den aktuellen Zuständen. Durch die Berücksichtigung der physikalischen Limitierungen wie Beschleunigung, Lenkwinkel und Umgebung, können hier bereits vorab unmögliche Fahrmanöver ausgeschlossen werden. Zur Evaluierung der Modelle wurden reale Messwerte – sowohl für die Autobahn als auch für die Kreuzung – herangezogen. Es zeigt sich, dass die entwickelten Modelle mit zunehmendem Komplexitätsgrad immer bessere Ergebnisse liefern. Die entwickelte Methode ermöglicht es, bereits auf Basis einer geringen Anzahl an Messdaten, eine sehr gute Prognose zu liefern.

Fahrzeugmodelle & Physikalische Prädiktion

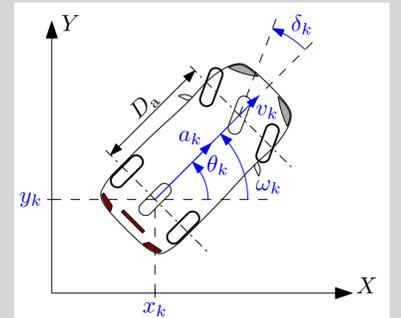
Ausgehend vom *Dubins Vehicle* werden, durch Annahmen während der Diskretisierung 3 Fahrzeugmodelle (CTRV-, CTRA- und Single-track model) hergeleitet. Die Zustandsvektoren bestehen aus den x - und y -Koordinaten, der Geschwindigkeit v , der Orientierung θ , der Beschleunigung a , dem Lenkwinkel δ und der Winkelgeschwindigkeit ω .

$$\mathbf{x}_{k+1}^{\text{STM}} = \begin{bmatrix} x_k + v_k \cdot \cos(\theta_k) \cdot T_s \\ y_k + v_k \cdot \sin(\theta_k) \cdot T_s \\ v_k + a_k \cdot T_s \\ \theta_k + \frac{v_k}{D_a} \cdot \tan(\delta_k) \cdot T_s \\ a_k \\ \delta_k \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{x}_k^{\text{STM}} = [x_k \ y_k \ \theta_k \ v_k \ a_k \ \delta_k]^T$$

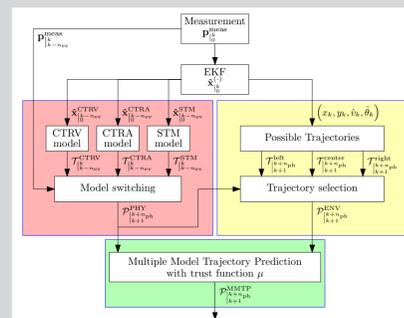
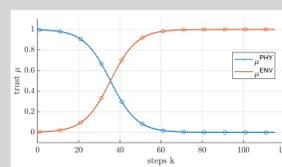
$$\mathbf{x}_k^{\text{CTRV}} = [x_k \ y_k \ \theta_k \ v_k \ \omega_k]^T$$

$$\mathbf{x}_k^{\text{CTRA}} = [x_k \ y_k \ \theta_k \ v_k \ a_k \ \omega_k]^T$$



Für unterschiedliche Trajektorien bzw. bestimmte Abschnitte liefern einige Modelle bessere Ergebnisse als andere. Die Idee bei dieser physikalischen Prädiktion ist es, immer das aktuell beste Modell heranzuziehen. Dazu wird der Fehlervektor und die euklidische Norm berechnet. Jenes Modell mit dem geringsten Fehler, $\mathcal{E}_k^{\text{PHY}} = \min\{\mathcal{E}_k^{\text{CTRV}}, \mathcal{E}_k^{\text{CTRA}}, \mathcal{E}_k^{\text{STM}}\}$, wird für die weitere Prädiktion verwendet.

MMTP – Multiple Model Trajectory Prediction

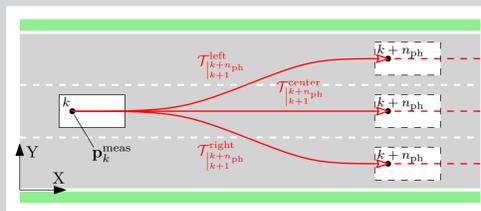


Die Aufgabe dieses Prädiktionsansatzes besteht darin, die gewonnenen Informationen bzgl. dem zukünftigen Fahrverhalten bestmöglich zu vereinen. Dazu werden die physikalische Prädiktion und die Umgebungsprädiktion kombiniert, da Trajektorien grundsätzlich addiert werden dürfen. Mithilfe von Vertrauensfunktionen $\mu^{(\cdot)}(k)$, welche das Vertrauen über den Prädiktionschritten widerspiegelt, werden sowohl die physikalische Lösung $\mathcal{P}^{\text{PHY}}_{k+1:n_{\text{ph}}}$, als auch die Umgebungsprädiktion $\mathcal{P}^{\text{ENV}}_{k+1:n_{\text{ph}}}$ gewichtet. Anschließend werden die beiden gewichteten Trajektorien kombiniert um die Lösung der MMTP zu erhalten.

$$\mathcal{P}_{k+1:n_{\text{ph}}}^{\text{MMTP}} = \mu^{\text{PHY}} \cdot \mathcal{P}_{k+1:n_{\text{ph}}}^{\text{PHY}} + \mu^{\text{ENV}} \cdot \mathcal{P}_{k+1:n_{\text{ph}}}^{\text{ENV}}$$

Umgebungsprädiktion

Die Grundidee dieser Prädiktionsmethode ist es, anhand von Messdaten (Position des Fahrzeuges) alle Möglichkeiten zu berechnen, um eine Fahrstrategie – allgemein Kreuzung oder vereinfacht Fahrspurwechsel auf der Autobahn – wieder zu verlassen. Es wird angenommen, dass das Fahrzeug nicht in der Position, oder in deren näherer Umgebung, verharrt. Mithilfe der geometrischen Daten der Kreuzungssituation, kann die Anzahl der in Betracht kommenden Fahrbahnen leicht ermittelt werden. Der Vorteil dieser Methode ist, dass die Geometrie, sowie die Anzahl der Kreuzungsausgänge, variieren können. In den unterschiedlichen Kreuzungen kann die Methode ohne Adaption einfach angewendet werden. Im Falle eines Spurwechsels auf der Autobahn wird der allgemeine Fall von 3 Fahrspuren angenommen, da ein direkter Spurwechsel über 2 Fahrbahnen nur selten vorkommt. Dieser kann durch zweimaliges serielles Anwenden dieser Methode realisiert werden. Ziel ist es nun, die wahrscheinlichste Lösung, unter den möglichen Ausgangstrajektorien, zu finden. Dazu werden schrittweise mögliche Trajektorien, mit unterschiedlichen Bewertungskriterien ausgeschlossen, um als Ergebnis die wahrscheinlichste zu finden. Die Fahrzeugtrajektorie ist die Lösung einer nichtlinearen Optimierung mit Nebenbedingungen.



$$\mathcal{T}_{k+1:n_{\text{ph}}}^{(\cdot)} = \arg \min_{\mathbf{x}_k \in \mathbb{R}^n} \sum_{l=k+1}^{k+n_{\text{ph}}} \mathcal{W}^T \cdot \begin{bmatrix} \mathcal{J}^{\text{SMO}}(l) \\ \mathcal{J}^{\text{REF}}(l) \end{bmatrix}$$

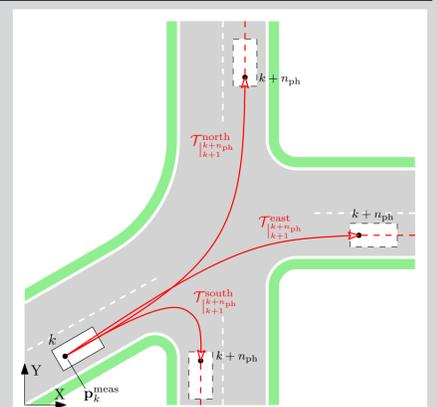
s.t.

$$\mathbf{x}_{k+1} = f^{\text{STM}}(\mathbf{x}_k)$$

$$a_k \in \mathcal{A}(k)$$

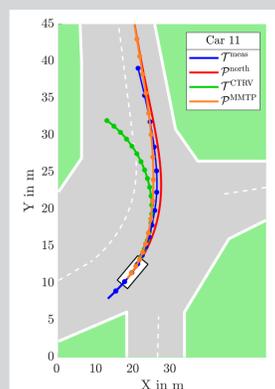
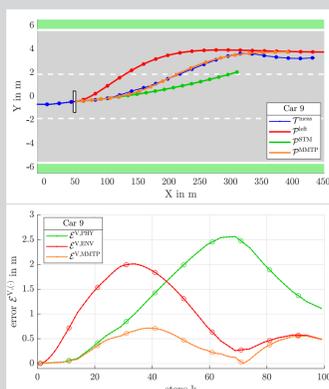
$$\delta_k \in \mathcal{D}(k)$$

$$v_k \in \mathcal{V}(k)$$



Ergebnisse

Die Prädiktionsmethode wurde anhand zweier Datensätze, nämlich einer Kreuzung (Freistädterstraße-Hauptstraße) und Spurwechsel auf einem Autobahnabschnitt (Österreich-Italien) evaluiert. In beiden Szenarien erzielt die MMTP sehr gute Ergebnisse. Die grün dargestellte Linie bezeichnet die physikalische Prädiktion, wohingegen die rote Linie die wahrscheinlichste Umgebungsprädiktion angibt. Nach der gewichteten Trajektorienaddition erhält man die MMTP, welche in beiden Szenarien orange dargestellt wird. Das Diagramm stellt die Abweichungen der jeweiligen Modellprädiktionen bezogen auf die Messdaten dar, wobei der Fehler des MMTP über den gesamten Bereich sehr gering gehalten werden kann.



Zusammenfassung

Die vorgestellte MMTP-Methode ist in der Lage eine präzise Prädiktion einer Fahrzeugtrajektorie, für die betrachteten Szenarien Kreuzung und Autobahn, durchzuführen. Die Vorhersage stützt sich dabei auf zwei unterschiedliche Prädiktionen, die kombiniert werden. Auf der einen Seite wird die physikalische Prädiktion mit verschiedenen Fahrzeugmodellen – wobei immer das aktuell beste ausgewählt wird – herangezogen. Auf der anderen Seite wird eine Trajektorie berechnet, die die Umgebung berücksichtigt. Durch das Gewichten beider Prädiktionen mit einer Vertrauensfunktion ergibt sich bei Kombination eine sehr gute und robuste Vorhersage der Fahrzeugtrajektorie. Die Methode besitzt eine sehr breite Anwendbarkeit, da sowohl komplexe Kreuzungen, als auch Spurwechsel auf Autobahnen analysiert werden können.