

Abstract

Governments promote the production and use of electric and hybrid vehicles to address increased air pollution and high crude oil prices. This thesis attempts to develop a model predictive speed and headway control that aims to optimize driving energy for range extended electric vehicles while preserving the advantages of safety and comfort and without consuming extra journey time. In addition, as the power distribution in the powertrain of a range extended electric vehicle can optimize driving energy, optimal powertrain control is also discussed. This thesis engages in an initial investigation of the feasibility and achievable economic potential for the proposed model predictive speed and headway control applied on range extended electric vehicles.

Within the scope of these investigation, the model predictive speed and headway control as well as optimal powertrain control are implemented with two separate controllers to attain a compromise between high optimization quality and real-time capability. On the one hand, a model predictive control is adopted to manage the influence of dynamic traffic conditions for speed and headway control. In order to use a numeric solver and acquire a real-time capable and robust solution, vehicle longitudinal dynamics are linearized with the help of state transformation. The allocated cost function used to evaluate the consumed electrical energy is modeled in a convex form. Furthermore, the optimal speed trajectory is determined within an admissible bandwidth. On the other hand, a two-scale framework is employed for optimal powertrain control. Pontryagin's minimum principle is utilized to solve this nonlinear global optimal control problem. An adaptive equivalent consumption minimization strategy serves as an instantaneous optimal powertrain control to compensate for prediction error and disturbance.

The simulation results using the theoretical and real model reveal that driving energy can be significantly optimized using model predictive speed and headway control with optimal powertrain control compared to adaptive cruise control with charge-depleting and charge-sustaining powertrain control strategy. Moreover, speed limits and a safe distance to the preceding vehicle can constantly be maintained while driving.

Kurzfassung

Infolge der zunehmenden Luftverschmutzung und der hohen Erdölpreise fördern Regierungen die Produktion sowie die Nutzung von Elektro- und Hybridfahrzeugen. Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, eine modellprädiktive Geschwindigkeits- und Abstandsregelung zu entwickeln, um die Fahrenergie von Range-Extender-Hybridfahrzeugen zu optimieren. In diesem Kontext sollen Vorteile bezüglich der Sicherheit und des Komforts ohne zeitliche Aufschläge aufrechterhalten werden. Des Weiteren wird eine optimale Antriebsstrangsteuerung vorgestellt, da diese in Bezug auf die Leistungsverteilung im Antriebsstrang des Range-Extender-Hybridfahrzeugs für die Optimierung der Antriebsenergie effektiv genutzt werden kann. In dieser Arbeit wird eine Untersuchung zur Machbarkeit und zum Nutzenpotenzial für die vorgeschlagene modellprädiktive Geschwindigkeits- und Abstandsregelung durchgeführt, die in Range-Extender-Hybridfahrzeugen angewendet werden soll.

In diesem Rahmen werden die modellprädiktive Geschwindigkeits- und Abstandsregelung sowie die optimale Antriebsstrangsteuerung mit zwei separaten Controllern implementiert, um einen Kompromiss zwischen der Optimierungsqualität und der Echtzeitfähigkeit zu erzielen. Dazu wird eine modellprädiktive Regelung befolgt, um den Einfluss dynamischer Verkehrsdaten auf die Geschwindigkeits- und Abstandsregelung nachzuvollziehen. Die Fahrzeuglängsdynamik wird mithilfe einer Zustandstransformation linearisiert, um sowohl einen numerischen Solver zu nutzen als auch eine echtzeitfähige, robuste Lösung zu erhalten. Die zugeordnete Kostenfunktion für die Bewertung der verbrauchten elektrischen Energie wird in konvexer Form modelliert. Außerdem wird die optimale Geschwindigkeitstrajektorie innerhalb einer zulässigen Bandbreite ermittelt. Darüber wird ein zweistufiges Bezugssystem für die optimale Antriebsstrangsteuerung erstellt. Um das Problem der nichtlinearen globalen Optimalsteuerung zu lösen, wird das Maximalprinzip von Pontryagin angewendet. Daneben hinaus wird online eine adaptive, äquivalente Verbrauchsminimierungsstrategie als momentane, optimale Antriebsstrangsteuerung genutzt. Auf diese Weise werden Prädiktionsfehler und Störungen kompensiert.

Die Simulationsergebnisse im theoretischen und realen Modell haben gezeigt, dass die Fahrenergie durch die modellprädiktive Geschwindigkeits- und Abstandsregelung mit einer optimalen Antriebsstrangsteuerung im Vergleich zum Abstandsregeltempomat mit der Antriebsstrangsteuerung der Ladungsverringerungs- bzw. Ladungserhaltungsstrategie signifikant optimiert werden kann. Zudem wurden die Tempolimits und der Sicherheitsabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug kontinuierlich gehalten.