

論文 / 著書情報
Article / Book Information

| | |
|-------------------|--|
| 題目(和文) | 統計量に基づいた走行モード制御によるプラグインハイブリッド車の実時間燃費最適化 |
| Title(English) | Statistics-based Drive Mode Control on Real-Time Fuel Economy Optimization in Plug-in Hybrid Electric Vehicles |
| 著者(和文) | 渡辺隆之助 |
| Author(English) | Ryunosuke Watanabe |
| 出典(和文) | 学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11746号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:三平 満司,石崎 孝幸,倉林 大輔,早川 朋久,畑中 健志 |
| Citation(English) | Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11746号, Conferred date:2022/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,, |
| 学位種別(和文) | 博士論文 |
| Category(English) | Doctoral Thesis |
| 種別(和文) | 論文要旨 |
| Type(English) | Summary |

論文要旨

THESIS SUMMARY

| | | | | |
|--|------------------|----------|--|--------|
| 系・コース： Department of, Graduate major in | システム制御 システム制御 | 系 コース | 申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of | (工学) |
| 学生氏名： Student's Name | 渡辺 隆之助 | | 指導教員 (主)： Academic Supervisor(main) | 三平 満司 |
| | | | 指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub) | |

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文では、ガソリンと電気の異なるエネルギー源で駆動するプラグインハイブリッド車 (PHEV) の燃費最適化に取り組む。特に、事前に計画済みの走行経路上で取得された統計情報に基づいて、最適なエネルギー源切替をオンラインで行う手法を提案する。本論文は全 7 章から構成され、各章の概要は以下の通りである。第 1 章「序論」では、はじめに本論文の研究背景として、複数のエネルギーによって駆動するシステムを研究することの重要性を述べる。そのようなシステムの代表例として長年研究されている PHEV を対象として、先行研究の結果、本研究の目的および貢献を具体的に述べる。第 2 章「数学的準備」では、本論文にて必要となる数学的用語の定義や性質を紹介する。まず、凸集合の定義および凸最適化の用語を説明し、本論文で主に用いる最適化問題の定式化について説明する。また、不確定現象の数学的記述として確率変数・確率分布の定義および諸定理について述べ、確率変数の統計量から得られる不等式の性質を示す。第 3 章「問題設定・モデル化」では、走行経路および PHEV のモデル化について述べる。まず、事前に計画された走行経路上で発生する負荷を統計情報に基づいてモデル化し、PHEV が走行する場の定義を行う。具体的には、走行経路を一定距離区間ごとに分割し、各走行区間の道路勾配と車速を考える。本研究において、道路勾配は確定的、車速は確率的な値を持つものとする。PHEV のモデル化は、道路勾配・車速に対応してエネルギー消費量を与える静的マップとして表現する。本論文では、PHEV の選択可能な走行モードを EV モード・HV モードの 2 種類として定義し、それぞれの電気またはガソリンのエネルギー消費量マップを考える。第 4 章「統計量に基づいた走行モード制御手法および実機検証」では、第 3 章で定義したモデルに対して、統計量に基づいた走行モード制御による PHEV の実時間燃費最適化手法を提案する。走行経路モデルおよび PHEV のエネルギー消費量マップを用いて、走行モード $\{0, 1\}$ を決定変数とし、評価関数をガソリン消費量の期待値、バッテリーの充電残量に対する拘束条件も同様に期待値として設定する。この最適化問題は整数計画問題の一種である二値線形計画問題として定式化され、既存の効率的な数値最適化ソルバによって解くことができる。この提案手法の有用性を車両用の詳細シミュレーターを用いて検証する。さらに、提案手法の実機検証についても説明し、提案手法の最適化問題が実時間で実行可能であることを確認する。第 5 章「リスクを考慮した燃費最適化」では、第 4 章で導入した手法の設計自由度を確保するために、走行モード入力の拡張およびリスク評価をするための統計量を導入する。その上で、評価関数・拘束条件でリスクを考慮した燃費最適化問題を定式化する。まず、走行モード入力の定義を拡張し、車速に応じてモードを決定するように構成する。この拡張により、PHEV の内部システムは車速値に応じて走行モードを制御できる。また、リスク統計量として conditional value at risk (CVaR) と entropic value at risk (EVaR) を用いる最適化を考える。CVaR はガソリン消費量が大きく発生するリスクを定量化することができ、エネルギー消費分布の正方向に対する裾の広がりや抑制する制御を可能にする。他方の EVaR は、バッテリーの充電残量に対する確率制約に Chernoff の不等式を適用することで自然に導出される。これらの CVaR で定量化した評価関数と EVaR の境界値に基づく拘束条件は混合整数指数計画 (MIECP) 問題として定式化できることを述べる。この MIECP 問題は再帰的実行可能性を有していることについても言及する。最後に、数値シミュレーションにより提案手法の性能および設計について考察する。第 6 章「排出ガス抑制を考慮した燃費最適化」では、PHEV の燃費最適化と同時に排出ガス抑制を達成する手法について取り組む。この排出ガス抑制を達成するために、PHEV にも標準搭載されている三元触媒コンバーターの温度モデルを新たに導入する。三元触媒の温度モデルは 3 つの異なるダイナミクス (暖機機能による急速な加熱・EV モード走行による冷却・HV モード走行による加熱) が切り替わるスイッチドシステムとして表現される。さらに、この温度モデルは混合論理的システム表現によって拘束条件に含めることができる。暖機タイミングの入力に応じて実際に発生するガソリン消費量を評価関数、内燃機開始動を許容する触媒温度を温度モデルの拘束条件として設定する。これらの評価関数・拘束条件を走行モード制御による燃費最適化と同時に解くことで、排出ガス抑制を考慮した上での最適なモード切替制御を達成する。数値シミュレーションによる結果は、最も厳しいが現実的な許容触媒温度に対して提案手法が燃費改善を達成することを示す。第 7 章「結論」では、本論文の結論を述べ、今後の研究課題について論じる。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

| | | | | | |
|--|------------------|----------|--|-----------------|--------|
| 系・コース： Department of, Graduate major in | システム制御 システム制御 | 系 コース | 申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested | 博士 Doctor of | (工学) |
| 学生氏名： Student's Name | 渡辺 隆之助 | | 指導教員（主）： Academic Supervisor(main) | 三平 満司 | |
| | | | 指導教員（副）： Academic Supervisor(sub) | | |

要旨（英文 300 語程度）

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This dissertation presents statistics-based drive mode control on real-time fuel economy optimization in plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs). This study focuses on reducing fuel usage in situations where energy demands along a planned route are stochastically estimated by driving data.

First, a driving-route model and PHEV energy consumption maps are newly developed for real-time fuel economy optimization in PHEVs. The driving-route model allows us to predict fuel and electricity demands on the planned route by applying the energy consumption maps relating to the drive modes. These models lead to formulate an integer linear programming problem deciding the drive modes for reducing fuel consumption. In addition, this dissertation provides an experiment system for validation. The experimental validation indicates that this approach can improve fuel efficiency compared with that of a conventional method.

Secondly, a risk-aware drive mode control method is proposed. The risk-aware method evaluates the risk of high energy consumption based on the conditional value at risk (CVaR) and the entropic value at risk (EVaR) derived from Chernoff's inequality. The CVaR quantifies the high fuel consumption expected in the tail of probability distributions as a cost function. The EVaR bound constraint gives stochastic constraints of electricity capacity based on the cumulant-generating function. Each risk evaluation is formulated as a mixed-integer exponential cone programming problem. The proposed method is also demonstrated via numerical simulations with real-world driving cycles.

Finally, an emissions reduction framework is studied. The drive mode control of PHEVs practically requires a catalyst converter to have a high temperature before starting the engine for the emissions reduction. To address the issue, this work proposes an optimization framework of the drive mode control embracing a catalyst model. The newly developed temperature model employs a mixed logical dynamical system representation to lessen the computational burden. The proposed framework is verified by numerical simulations with real-world datasets. The simulation results exhibit that the framework improves fuel efficiency than that of a commercial strategy even under a strict but realistic requirement.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).