

論文 / 著書情報
Article / Book Information

| | |
|-------------------|---|
| 題目(和文) | 統計的モデルを用いた自動車ガソリンエンジンの制御モデル同定 |
| Title(English) | |
| 著者(和文) | 大山博之 |
| Author(English) | Hiroyuki Oyama |
| 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10787号, 授与年月日:2018年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:山北 昌毅,藤田 政之,三平 満司,早川 朋久,畑中 健志 |
| Citation(English) | Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10787号, Conferred date:2018/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,, |
| 学位種別(和文) | 博士論文 |
| Category(English) | Doctoral Thesis |
| 種別(和文) | 審査の要旨 |
| Type(English) | Exam Summary |

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

| | | | | | | |
|-------------|-----|----------|-----|---------|------|-----|
| 報告番号 | 甲第 | 15D11044 | 号 | 学位申請者氏名 | 大山博之 | |
| 論文審査 審査員 | | 氏名 | 職名 | | 氏名 | 職名 |
| | 主査 | 山北昌毅 | 准教授 | 審査員 | 畑中健志 | 准教授 |
| | 審査員 | 藤田政之 | 教授 | | | |
| | | 三平満司 | 教授 | | | |
| 早川朋久 | | 准教授 | | | | |

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「統計的モデルを用いた自動車ガソリンエンジンの制御モデル同定」と題し、全7章よりなっている。

第1章「序論」では、自動車システムが省エネや環境負荷の低減及びシステム化の要求から非常に複雑化しており、モデルベースのシステム開発が急務となっている研究背景と関連する先行研究の説明をしている。その上で、本論文の目的が次世代型自動車エンジンの効率的な統計的モデル構築を実現する、ガウス過程などの機械学習の手法を応用した制御モデル同定手法を提案することであるとしている。

第2章「準備」では、本論文で扱うガウス過程及びそれを用いた関数近似手法の概要を説明した後、提案手法の有効性検証で用いる自動車技術会と計測自動制御学会から提供されているノッキングと失火のモデルを含むエンジンベンチマーク問題について説明している。

第3章「静的境界モデルの同定と静的実験計画法」では、ガウス過程を用いた新たな静的実験計画法を提案している。自動車エンジンの境界モデル同定では、十分時間の経った定常状態での動作について考えられることが多く、モデルを効率的に獲得するための入力列設計手法である実験計画法が重要であることを述べている。その上で、まず確率的モデルである期待値伝播法を用いたガウス過程分類器を応用することで、静的境界モデルを作成する手法を提案している。更に生成モデルを用いて逐次的にシステムへの入力列を設計する、効率的な入力列設計法を提案している。この手法は運転可能領域が非凸な場合でも適用可能であり、入力候補の値を直接与えることができるため、同定時間の大幅な短縮が期待できるとしている。提案手法の有用性はエンジンシミュレータを用いて示している。

第4章「動的モデルの同定」では、エンジンの制御モデルとしてNARXモデルをベースとした、観測出力の動的モデルと、トルクと境界推定モデルを統合するシステムモデルを考え、そのモデルを深層学習とガウス過程及びその近似手法を用いて学習する手法を議論している。その中で、学習データ数と予測・推定精度及び学習時間の関係を数値シミュレーションにより明確にすることで、モデル構築手法選択の指針を示している。更に大量の学習データを持たない場合のモデル更新手法として、ガウ

ス過程の高速近似計算手法である完全独立学習条件近似とオンライン更新アルゴリズムである逐次ガウス過程を併用する手法を提案している。また、数値シミュレーションの結果を踏まえ、深層学習の制御系応用に関して考察を行っている。提案する手法の有効性をエンジンシミュレータを用いて示している。

第5章「ガウス過程を用いた動的実験計画法」では、NARXモデルでエンジンの動的制御モデルを表現した上で、異常運転の発生を抑えた入力列設計手法について述べている。前章で、データ点数が少ない場合においてガウス過程及びその近似手法が良い予測性能を持つことを示しているが、一方で自動車エンジンのモデル同定では安全性を担保した上での効率的な入力列設計手法が求められるとしている。特にガウス過程モデルの性能は学習データ点によって決定されるため、その性能は入力列設計法に大きく依存するものになることを指摘している。その上で、異常運転の発生をおさえる入力列設計手法について、静的境界モデルを入力制約とした上で予測ホライズン内の予測分散の重み付き和が最大となるような入力を計算しつつ、ガウス過程モデルをオンラインで更新していく手法を提案している。提案手法の有効性の検証はエンジンシミュレータを用いて行っている。

第6章「ロバスト逐次ガウス過程を用いたオンライン学習」では、観測値に外れ値が混入するような場合にも有効なガウス過程のオンライン学習手法として、ロバスト逐次ガウス過程の適用を提案している。ガウス過程は、カーネル関数としてガウスカーネルなどを選択した場合には、一般に学習による過学習が起りにくく、学習データが少ない場合には、深層学習に比べ汎化性能に優れることを指摘している。一方で、ガウス過程や深層学習といった統計的なモデルを用いてオンライン学習を行う場合、外れ値がモデルの学習に大きな影響を及ぼすことを指摘している。自動車エンジンのオンライン学習を考えた場合、外れ値の混入は避けることができないため、ロバストかつ高速なオンライン学習手法として、逐次ガウス過程にロバストカルマンフィルターの考え方を適用するロバスト逐次ガウス過程について述べた後、その手法をエンジンの制御モデル同定に適用する手法を提案し、その有効性をエンジンシミュレータにて検証している。

第7章「結論」では、本研究で得られた成果の総括と、本研究の今後の発展と課題などについて述べている。

以上を要するに、本論文は、次世代のエンジン開発のためにエンジンの動特性を効率良く正確に同定する手法を機械学習の手法をベースに提案しその有効性を示したもので、工学上・工業上寄与するところ大である。よって本論文は、博士（工学）論文として十分価値あるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」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。