HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	同時摂動確率近似による制御系設計手法に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	石塚, 真一
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12303号
Issue Date	2016-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/61664
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Shinichi_Ishizuka_review.pdf, 要旨の審査

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　氏名　石塚 真一

審査担当者　主　査　教　授　梶原 逸朗
副　査　教　授　小林 幸徳
副　査　特任教授　成田 吉弘
副　査　教　授　佐々木 克彦

学位論文題名

同時摂動確率近似による制御系設計手法に関する研究
(A Study of Control Design Method Using Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation)

制御系設計は,1960 年に発表された最適制御に関する Kalman の論文をきっかけに, 制御対象の数理モデルを状態方程式で記述し, そのモデル情報を基に制御器を求める, 今日, いわゆる「モデルベース (制御) 設計」と呼ばれる手法が誕生した.Kalman は, モデルの不確かさは考慮していなかったが,1979 年に Zames によって, 制御対象の不確かさを陽に含む拡張した状態空間モデルを定義し, その H∞ ノルムを最小化する H∞ 制御が示され, その解法が Doyle らによって整備され, 以降, 様々な応用研究が進んだ. これらはロバスト制御と呼ばれ,1980 年代後半頃に体系化された. これらの設計法は, コンピュータ技術とツールの進化により, 今日, 誰でも簡便に利用できる環境が整っている. しかしながら, 産業界の実システムは, 制御対象の数理モデル導出が困難な場合が多く, モデルベース設計が十分に活用できない場合も少なくない.

制御対象のモデル情報を積極的に利用することができない場合, 実験データを直接用いて, モデルを介することなく制御系を設計するモデルフリー制御, あるいはデータ駆動制御と呼ばれるアプローチが近年, 活発に研究されるようになってきた. 実験データを基に制御系を設計する一つの方法として, 数理計画法による制御パラメータの最適化が考えられる. しかし, 最適化手法の導入は, 一般に多くの繰り返し計算を必要とするため, オンラインでの実時間最適化は困難である. この傾向は, 非定常システムや, 最適化するパラメータの数が増えるほどに顕著になる.

1987 年に Spall は, 確率近似法の枠組みで計算効率を飛躍的に向上させる, 同時摂動確率近似 (SPSA: Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation) と呼ばれるアルゴリズムを提唱した.SPSA は, パラメータの数に依存せず, 評価関数に相当する損失関数を, 僅か 2 回計算しただけで, 全てのパラメータを更新するアルゴリズムである.SPSA は, 状態空間モデルや大規模なニューラルネットワークなど, システムのパラメータ推定問題へ応用されている. 制御系においては, 定常システムの場合に, オフラインでコントローラのパラメータを調製する問題へ適用した研究が報告されている.

本研究は､産業界の実システムに適用可能な制御系構築を目的に,SPSA を用いた, モデルフリーで, かつオンラインで非定常システムに追従する適応制御系の構成法を提案している. 提案手法を, ディーゼルエンジンの「エアパス制御」と「適応 NOx ソフトセンサ」に適用し, その効果と実用性が検証されている.

エアパス制御は, 強い干渉のある 2 入力 2 出力系で, 非線形かつ運転状態によって大きく特性

が変動する非定常システムである. この系に対し,2 つの PID 制御系を配置した Dual コントローラ構成と, 干渉項を補償する 2 つの PID 制御器を追加した Quadruple コントローラ構成を比較し,Quadruple コントローラが Dual コントローラより制御偏差が少なく, また従来手法と比較しても, 同等以上の性能を示すことをエンジンベンチ・テストで確認し, 提案手法の有効性を示した.

適応 NOx ソフトセンサは,NOx ソフトセンサの精度を向上させる技術である. エンジンにおいて計測される各状態から NOx 値を推定するソフトセンサは, ハードセンサより応答性が速く制御に好都合であるが, 偏差を持つなど精度に問題がある. そこで, ハードセンサと比較しながら,SPSA でソフトセンサのパラメータを適応させる, 適応 NOx ソフトセンサを提案し, エンジンベンチ・テストで有効性を確認した.

制御系設計において, 制御対象のモデル化が可能な場合, 積極的にモデル情報を用いることは, 見通しの良い設計が可能となり望ましい. そこで, 先の提案手法を応用し, モデルベースで設計された制御器の極を SPSA で効率良くチューニングする, セルフチューニング制御系の構成法を提案した. 提案手法を,H∞ 制御器を用いた片持ち平板の制振問題に適用し, シミュレーションでその効果を確認している. 制御対象の動特性を変動させた場合, ノミナルの制御器では応答が発散してしまうのに対し, 提案手法は制御器の極を制御対象の極に同調するように調整し, 制振効果が維持できることを示した.

これを要するに, 本研究は,SPSA による適応アルゴリズムをベースに, モデルフリー制御, モデルベース制御, およびソフトセンサについて体系的に検討し, 制御系設計における新たな方法論を構築したと同時に, 提案手法がディーゼルエンジンの諸問題に適用され, その有効性と実用性が確認されていることから, 大規模かつ複雑なシステムに対する実制御の問題解決に寄与すると考えられ, 産業界の発展に対して貢献するところ大なるものがある. よって著者は, 北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める.