

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2009

課題番号：18560445

研究課題名（和文）非線形 H 無限大制御を用いた複雑環境下におけるハイブリッド型適応学習システムの構築

研究課題名（英文）Design of Hybrid Adaptive and Learning Control Systems under Complex Environment via Nonlinear H-Infinity Control Scheme

研究代表者 宮里 義彦・統計数理研究所・数理・推論研究系・教授

（研究者番号：30174155）

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・制御工学

キーワード：制御理論

### 1. 研究計画の概要

本研究では、非線形 H 無限大制御（適応制御、非線形制御、ロバスト制御、H 無限大制御など）の方法論を発展させ、必要に応じて知的制御の分野の諸手法（ニューラルネット、ファジィ制御、遺伝的アルゴリズムを含む確率的算法、強化学習など）との融合をはかりつつ、複雑な環境の変動のもとで高い適応性を有する、ハイブリッド型適応学習制御システムの構築を行うことを目的とする。ここでの“ハイブリッド”とは、制御の要素として、連続時間の制御動作と離散時間の制御動作の混在、連続事象（時系列的に記述される事象）の制御動作と離散事象（特定の条件により駆動・生成される離散的な事象）の制御動作の混在、制御対象の有限次元の動特性と無限次元の動特性の混在、自由運動（拘束条件がない）と拘束条件下の運動の混在、軌道の制御と拘束力の制御の混在、拘束条件の切り替わりによるシステムの動特性の切り替わりなどを総合的に含むことを意味し、従来の制御構造を規定したロバスト制御や適応制御では対処できない範疇に属する。このような研究により、適応制御・制御科学・知的制御の従来の枠を拡げて、それらを含む新たな研究分野の創成とその理論体系の整備も行う。

### 2. 研究の進捗状況

(1) ニューラルネットなどの非線形パラメトリックモデルを含む系の非線形適応 H 無限大制御系の構成について研究を行った。非線形パラメトリックモデルの近似誤差と算法上の誤差を外乱と見なした H 無限大制御問題の形式で制御系を構成することにより、安定

性と性能の保証される非線形制御系が実現されることを示した。関連する研究が 1 編の論文として発表された。

(2) 逆最適化に基づく適応 H 無限大制御の手法を、無限次元系である分布定数系の有限次元制御問題に適用した。放物型分布定数系と双曲型分布定数系、さらに混合定数系である弾性アームに対して、スピルオーバー項を外乱と見なすことで、有限次元補償器で安定な適応制御系が実現されることを示した。関連する論文が 4 編の論文として発表された。

(3) ポリトープ型 LPV システムに対するモデル追従型の適応 H 無限大制御系の構成について研究を行った。端点システムに対応するオブザーバ表現を用いて、部分的情報を持つシステムのモデル追従制御方式を考案し、さらに未知パラメータが時間変化する時も、H 無限大制御問題の解として導出される安定化信号を用いて、良好な制御性能が実現されることを示した。関連する研究が 1 編の論文として発表された。

(4) 拘束条件下で軌道と力を同時に制御する方式（軌道と力のハイブリッド制御）の研究を行った。簡単な線形機械系とロボットマニピュレータに対して H 無限大の制御指標に基づく設計法の提案を行い、従来法よりも優れた過渡特性を有しながら軌道制御と力制御が達成されていることを確認した。関連する研究が 2 編の論文として発表された。

(5) 非ホロノミック車両型ロボットの適応型軌道追従 H 無限大制御方式について研究を行った。速度追従誤差とパラメータ推定誤差を等価的な外乱と見なした H 無限大制御問題に対して最適な軌道追従制御系が達成されることを確認した。関連する研究が 2 編の論

文として発表された。

(6) ポリトープ型 LPV システムに対する適応的な H 無限大ゲインスケジューリング制御の構成について研究を行った。制御出力のデータをもとにオンラインでスケジューリングパラメータを調整する方法を考案した。関連する研究が 1 編の論文として発表された。

(7) ロボットマニピュレータに対してハイブリッド型適応機構を用いて反復学習制御系を構成する手法を研究した。パラメータの推定誤差を外乱と見なす H 無限大制御手法を用いてシステムを安定化し、反復動作の入出力データに基づいて制御パラメータを離散時間的に更新するハイブリッド型適応則を考案して、未知のシステムに適用できる学習制御方式を提案した。さらにオンライン適応則を併用する 2 次元適応制御方式を適用して、高度の学習性能を実現する方法を提案した。関連する研究が 2 編の論文として発表された。

(8) ハイゲインオブザーバを用いた非線形適応制御系の簡易設計法に関する研究を行った。ニューラルネットなどの非線形パラメトリックモデルを含む非線形系や双曲型分布定数系に適用し、その有効性を検証した。関連する研究が 3 編の論文として発表された。

### 3. 現在までの達成度

非線形パラメトリックモデル、無限次元系、ポリトープ型 LPV システム、拘束条件と拘束力、非ホロノミック拘束、ハイブリッド型適応機構、ハイゲインオブザーバなど様々なシステムモデルや動作条件に対応する適応学習制御システムについて研究結果を得ることができ、設計方式として非線形 H 無限大制御とハイブリッド型適応機構を構築できたという点で、おおむね順調に進展していると見なせる。関連する論文 15 件、学会発表 23 件がある。

### 4. 今後の研究の推進方策

より複雑な環境の変動におけるハイブリッド形式の適応学習制御系の構築を目指すという観点から、以下の研究の方向性が考えられる。

(1) 拘束条件下の制御の発展系としてのフォーメーション制御に対する非線形 H 無限大制御系の構築。拘束条件を表すポテンシャル関数を導入することで、フォーメーションを自動的に生成する制御方式を、非線形 H 無限大制御に基づき構築する。

(2) 制御ポートに未知の非線形特性（不感帯やバックラッシュ（ヒステリシス）など）が含まれる場合の逆モデルを用いた非線形適応制御方式の構築。制御入力端に未知の不感帯やバックラッシュなどの非線形特性を有する場合について、非線形特性の逆特性を推定する適応モデルを導入して、入力特性の改

善を行う制御系を非線形 H 無限大制御に基づき構築する。

(3) 離散事象を含むハイブリッド制御系に対する有効な適応学習制御方式の開発。特定の条件により駆動・生成される離散的な事象を含むシステムに対して、高度の適応学習制御系を構築する研究を行う。あわせて特定の条件下でシステムの特徴が切り替わるハイブリッドシステムに対する非線形 H 無限大制御系の設計理論を構築する。

### 5. 代表的な研究成果

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 15 件）

(1) 宮里義彦，ハイブリッド型適応機構を用いたロボットマニピュレータの反復学習制御-2 次元適応制御の応用-，計測自動制御学会論文集，査読有，44，2008，735-742.

(2) Yoshihiko Miyasato，Nonlinear Adaptive  $H_{\infty}$  Control of Robotic Manipulators under Constraint, Proceedings of the 17th IFAC World Congress, 査読有，2008，4090-4095.

(3) 宮里義彦，ハイブリッド型適応機構を用いたロボットマニピュレータの反復学習制御，計測自動制御学会論文集，査読有，43，2007，1111-1119.

(4) 宮里義彦，LPV システムの適応型ゲインスケジューリング  $H_{\infty}$  制御，システム制御情報学会論文誌，査読有，20，2007，195-204.

(5) Yoshihiko Miyasato，Model reference adaptive  $H_{\infty}$  control for distributed parameter systems of hyperbolic type by finite dimensional controllers, Proceedings of the 45th IEEE Conference on Decision and Control, 査読有，2006，459-464.

(6) Yoshihiko Miyasato，Adaptive Nonlinear  $H_{\infty}$  Control Systems via Neural Network Approximators, Proceedings of the 2006 IEEE CCA/CACSD/ISIC, 査読有，2006，2349-2354.

〔学会発表〕（計 23 件）

〔図書〕（計 1 件）

(7) 宮里義彦，機械工学便覧・デザイン編・制御システム，担当部分：第 4 章 4.4.1. バックステッピング，日本機械学会・丸善，2006，125-126

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）