

論文の内容の要旨

Representation, State Estimation, and Control for Hierarchical Dynamical Systems (階層化動的システムの数理表現, 状態推定, および制御に関する研究)

氏名 椿 野 大 輔

本論文では, マルチエージェントシステム, および放物型分布定数系に対して, 対象を高解像度な状態レベルと集約化された入出力レベルで表される階層化システムとして捉え, そのための数理表現, 状態推定, およびそれらを用いた制御手法を考察する. 主な内容は以下の三つに分けられる.

一つは, マルチエージェントシステムの静的な制御器, つまり静的な接続構造の効率的な設計法である. マルチエージェントシステムの全体の挙動を制御するためには, 各エージェントの動特性によって決まる領域に, 接続構造を表す行列の固有値を適切に配置する必要がある. ここでは, エージェントをいくつかのグループに分割し, グループ内の相互作用と, グループ間の相互作用からなる階層的な接続構造を導入する. グループ間の相互作用は各グループの集約情報を交換することで行われる. まず, グループ内の相互作用を表す行列の固有ベクトルを用いた情報集約の数理表現を導入し, 固有接続の概念を定義する. さらに, この固有接続を用いた階層的接続構造の固有値の解析的な表現を示す. これにより, 全体の階層構造の固有値を選択的に配置することが可能となり, 効率的な接続構造の設計法が得られる. 実際の設計法は数値例を用いて示される.

次に, 中心対称性に基づくシステム解析と制御について考察する. 階層的に空間離散化された1次元放物型分布定数系はある特殊な構造をもつ. ここでは, その構造を中心対称システムとその縦列接続として数理的に表現する. この中心対称性の概念は, 離散化された分布定数系だけではなく, センサやアクチュエータなどの実際のシステムの構成要素が幾何学的に対称であるようなシステムにおいても見ることができるものである. まずは, 縦列接続された中心対称システムを記述する行列の固有値がいくつかの低

次の行列の固有値の和集合で表せることを示す。その後、その性質を用いた、静的な分散制御器、および分布制御器の設計法を考察する。そして、そのような縦列接続された中心対称システムの制御器設計問題が、各要素から中心対称な情報を取得し、中心対称な入力を加えることで、より低次ないくつかシステムの同時安定化問題に帰着できることを示す。これは、効率的な分散、分布制御のためのセンサ、アクチュエータの設計指針を与える。

最後は、動的制御器設計に向けた集約情報を用いた1次元放物型分布定数系の状態推定問題である。まず、出力が全区間の重み付き平均とし、それに基づくオブザーバの設計法を考察する。具体的なオブザーバの設計法として実用性の高いバックステッピングを用いたものに注目する。一方、バックステッピングは境界に出力を持つものに対して提案されたものであるため、対象とするシステムに直接適用することはできない。そこで、ある積分変換によって、出力が新たな状態変数の境界値となるようにシステムを変換することを考える。そして、重みがシステムの作用素に関連したある微分作用素の固有関数であれば、そのような変換が可能であり、バックステッピングに基づくオブザーバが構成できることを示す。これは、推定器の設計法を与えるだけでなく、重みの設計、つまりセンサの設計に具体的な指針を与えるものとなっている。得られたオブザーバの推定誤差は、指数的な収束性をもっており、ある特殊な場合には閉じた形で書くことができる。