

Title: Control of Nonlinear Systems via Reduced-Order Koopman Models and an Improved Equivalent-Input-Disturbance Estimator (低次元クーパンモデルと修正等価入力外乱推定器による非線形システム制御)

Authors: Qicheng Mei, Jinhua She, Yanjun Shen, Fei Long, and Qing Chen

(梅啓程 (中国三峡大学), 余錦華 (東京工科大 工学部 教授), 沈艶軍 (中国三峡大学), 龍飛 (中国三峡大学), 陳清 (中国三峡大学))

Journal: IEEE Transactions on Industrial Informatics, DOI: 10.1109/TII.2025.3624377

掲載年月: 2025年11月

研究概要: 本研究は、クーパン演算子を用いて非線形システムを線形的に表現した上、バランス型打ち切り法を用いて低次元クーパンモデルを導出し、モデリング誤差と外乱が除去できる修正型等価入力外乱 (IEID) 推定器を提案した。

研究背景: 制御実践において、多くのシステムは非線形である。しかし、非線形システムにおける外乱抑制は分離定理が成り立たないため、非常に難しい制御問題として多方面から検討されてきたが、実用に耐えられるものはまだないのが現状である。

研究成果: 本稿では、非線形システムに対して、クーパン演算子を用いてその線形的表現を導出し、さらに、実用可能にするために、低次元クーパンモデル（図1）を導く。線形モデルには分離定理が成立するという特徴を生かし、等価入力外乱手法を融合した制御系（図2）の外乱抑制性能と制御系の安定性が独立に設計できる設計法を提案した。

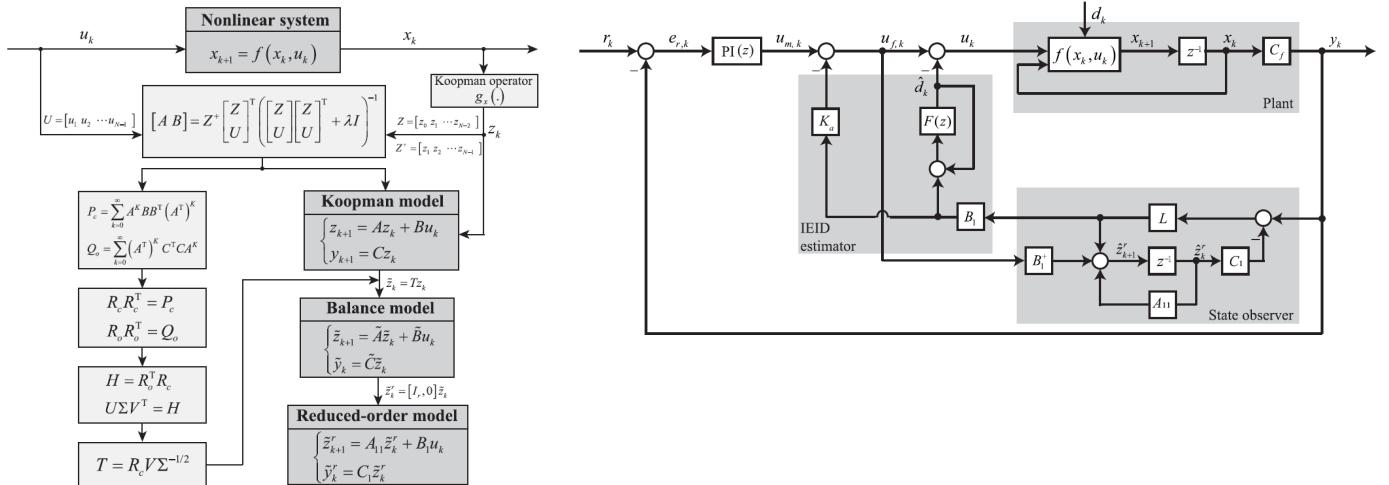


図1 クーパンモデルの導出プロセス

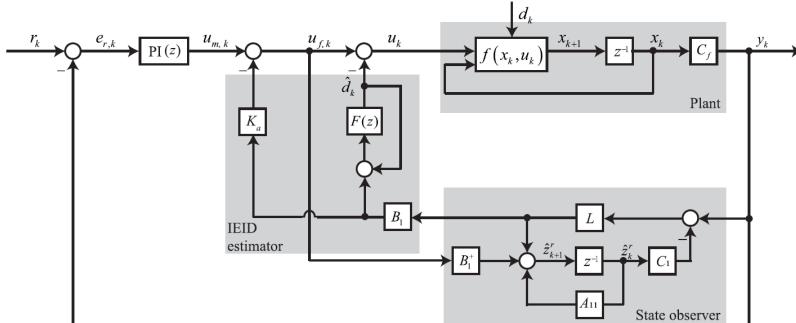


図2 低次元クーパンモデルを用いた修正等価入力外乱制御系

社会への影響: 福祉ロボット、リハビリ医学、ヒューマンインザループ系などのシステムは、典型的な非線形システムであり、各種外乱の影響を受けている。これらの制御系の高精度制御は難しい問題である。本研究で提案した手法は、まったく違う発想からこの種のシステム制御理論を提案し、非線形システムの制御精度を大きく向上する実用的な手法として、非線形制御系の高性能に大きく寄与する。

専門用語:

クーパン演算子: クーパン演算子は、複雑な非線形システムの状態を、観測可能な関数を通してより扱いやすい線形空間に変換する数学的なツールである。

バランス切上 (Balanced Truncation, BT) 法: バランス切上法は、システムの制御性と可観測性の両方を考慮して、状態空間の重要度の低い部分を特定し、それらを削除することによりモデルの次数を削減する手法である。