

論文内容の要旨

博士論文題目

線形化マルコフゲーム理論によるロバスト制御

氏名 金城 健

(論文内容の要旨)

ロボットなどの自律システムが周囲の環境に合わせて適切に振る舞うための制御則を求めるための手法として、最適制御理やロバスト制御がある。最適制御では Hamilton-Jacobi-Bellman (HJB) 方程式、ロバスト制御理論では Hamilton-Jacobi-Isaacs (HJI) 方程式を解くことで制御則が得られるが、これらは非線形偏微分方程式であり、解析解を求めることが一般に困難である。これに対し、線形可解 Markov 決定過程 (Linearly solvable Markov Decision Process; LMDP) と呼ばれる HJB 方程式を線形微分方程式に変換する問題のクラスが提案され、HJI 方程式を同様に線形化する線形可解 Markov ゲーム (Linearly solvable Markov Game; LMG) に拡張された。この線形化によりあるクラスの非線形問題に対しても解を求めることができるようになった。しかし従来の研究では環境のダイナミクスは既知であることを仮定しているが、実際にはこれらは未知の場合が多く、ロボットは環境との相互作用を通して学習する必要がある。また LMDP や LMG は低次元の問題でのみ検証され、実ロボットへ適用した例はほとんどない。

そこで本研究では LMDP や LMG を実システムに適用する際の問題点を明確にするために、モデルの近似誤差が制御則の制御性能に与える影響を調査する。まず LMDP と環境モデルを学習するモジュールを組み合わせたシステムを提案し、環境モデルの近似誤差が LMDP の学習に及ぼす影響を調査する。車輪型の移動ロボットを用いた視覚誘導課題を通して、提案したシステムは実システムに対して有効であることを示す。次に LMG の外乱の強さを調整するパラメータと近似誤差の関係を明らかにするために様々な学習環境とテスト環境のもとで、振り子の振り上げや格子環境のシミュレーションを実施し、制御性能がどのように変化するかを調査する。実験結果より、格子環境のような離散問題では外乱の強さを単に最大に設定することでロバストな制御器が獲得されるのに対し、振り子のような連続問題では、外乱の強さに対するパラメータは適切に調整しなければならないことが示す。

氏名	金城 健
----	------

(論文審査結果の要旨)

ロボットの最適制御では Hamilton-Jacobi-Bellman (HJB) 方程式や Hamilton-Jacobi-Isaacs (HJI) 方程式などの非線形方程式を解く必要があるが、近年、これらは一定の条件下では線形化できることが示された。しかし線形化には環境のダイナミクスが既知である必要があるため、実問題への応用には環境のモデルを学習を通して作成する必要がある。

本研究は、環境モデルの学習に付随する問題を明らかにし、その解決法を提案するとともに、提案手法の有効性を移動ロボットで確認したものである。

本研究ではまず、HJB 方程式が線形化できる線形可解マルコフ決定過程 (LMDP) 環境において、環境のモデルを学習するモジュールを組み合わせ、環境モデルの近似誤差が制御則の性能に与える影響を明らかにした。具体的には、移動ロボットを視覚誘導するタスクにおいて、提案手法が有効であることを確認した。さらに、HJI 方程式が線形化できる線形可解マルコフゲーム (LMG) 環境において、外乱の強さを調整するパラメータと近似誤差の関係を、さまざまなシミュレーション環境で明らかにした。

以上をまとめると、本論文は、実環境で LMDP あるいは LMG を利用するために必要な環境モデルの学習の方法を提案し、その有効性を示した実験研究であり、博士 (工学) の学位に値するものと認められる。