

[別紙2]

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 サイヤディ ハサン

自律型海中ロボットは、近年、海中観測の新しいプラットフォームとして注目を浴びている。しかし、海中の厳しい環境は、ロボットが人間の思うように自由に動かすことを阻んでいる。これを可能にするには、ハードウェアおよびソフトウェアの両面からの研究が必要である。本論文では、ニューラルネットワークの柔軟性に着目して、最下層レベルの制御、中層レベルの運動軌跡の制御、および上層レベルの航路の決定、の3つの制御の層の全般においてニューラルネットワークで構成し、学習のみからなる総合的なソフトウェア系を確立しようとするものである。

第1章では、自律型海中ロボットの制御について広く概観し、その問題点を摘出している。

第2章では、ニューラルネットワークの基本機能について述べ、それを自律型ロボットのソフトウェアの根幹として構築するための学習法についての検討をおこなっている。システム同定の為には従来型のError-Back Propagation法による学習、制御系の為には適応的な学習、また、航路の決定については強化型の学習を提案している。

第3章では、ロボットのシステム同定について扱っており、従来困難だった複数入力複数出力のロボットダイナミクスを、ニューラルネットワークで表現することに成功している。一自由度の運動の同定を第一歩として、複数入力複数出力の同定へと段階的に展開する手法を提案した。各運動成分の間に強い相互影響がある場合についても、明快なアルゴリズムにより学習が進むことが示された。これを自律型海中ロボットのテストベッドロボット「ツインバーガー2号」の4自由度の運動に適用して良好な結果を得ている。ネットワークは、Recurrent Connectionを持ち、これによって時系列データの取り扱いを容易にしているところに特徴がある。

第4章では、第3章で導いたダイナミクスを利用して、ニューラルネットワークで制御系を構成し、複数入力複数出力の制御系を構築し、精度のよい運動制御を可能としている。さらに、ニューラルネットワークで構成されている同定モデルを利用して適応的な制御を可能にしている。このシステムも、同じテストベッドロボットを用いて実験的に成果を示していて、これまで困難だったSway-Yawの運動のCouplingを容易に扱うことができることを示した。

第5章では、障害物がある場合に、それを避けて目的地に到達する航路を決定するアルゴリズムの構築をおこなっている。上記2つの章では、教示型の学習方法と適応的な学習方法が採られているが、ここでは、強化学習法が提案されている。ニューラルネットワークのシナプス荷重を強化学習により調整することに成功している。すなわち、第3章および第4章で構築されたダイナミクスモデルと制御系を使って、障害物への異常接近と目標地点からの乖離の2つの評価値を用いて、航路計画の最適化を図っている。その結果、平面問題において、予め障害物があることがわかっている海域にロボットを展開したときに、その航路計画を自動的に作り上げるアルゴリズムができあがった。これは、Genetic Algorithmで低自由度の場合に試みられていた例があるが、本格的な航路決定に使える実用的な方法を初めて示したとあってよい。

以上のようにして、自律型海中ロボットのような移動体に対して、システム同定系、制御系、および航路決定系の3つの系を全てニューラルネットワークで構築し、学習によりその重みを決定する手法を確立し、テストベッドロボットに適用することによって、その有用性を示した。自律型海中ロボットのソフトウェアを全てにわたってニューラルネットワークで構築した例はなく、また、この構造を利用してロボットの自律機能を高める方法論の一つが確立したとあってよい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。