

氏 名	すぎ 杉 浦 孔 明
学位(専攻分野)	博 士 (情 報 学)
学 位 記 番 号	情 博 第 259 号
学位授与の日付	平 成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	情 報 学 研 究 科 シ ス テ ム 科 学 専 攻
学位論文題目	自律ロボットにおける身体に基づく解釈系の構築

論文調査委員	(主 査) 教 授 片 井 修 教 授 酒 井 英 昭 教 授 田 中 利 幸
--------	--

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、エージェント（ロボット）の形態の一部であるセンサと、制御系の一部である認識器を、環境や自己身体の解釈系として一つに扱うことにより、タスク遂行に与える情報学的効果を定量的に検討したものである。本論文では、従来独立に扱われてきたエージェントの形態と制御系の相互関係を利用する手法を提案し、実際の問題への適用によって有用性を検討している。本論文は7章からなる。

1章は序論であり、本研究の背景、意義、概要と目的および論文構成を示している。

2章では、人工生命システムにおける解釈系の進化的構築法を提案している。まず、生命システムの特徴であるオープンエンドな進化の人工的实现を目指す研究の現状を分析し、von Neumann にはじまる自己複製研究を整理している。次に、オープンエンドな進化を部分的に実現したことで注目されている人工生命システム Tierra と、Tierra の改良システムのもつ問題点、すなわち環境との相互作用法が固定されているため、徐々に振動状態に陥りオープンエンドな進化が見られないことを指摘している。この問題を解決する手法として、Tierra での機械語命令を正規表現による書き換え規則に翻訳し、書き換え規則を進化的手法により構築することにより、環境との相互作用を自律的に構築する手法を提案している。提案手法を実装した String-Based Tierra を用いてエージェントに自己複製を行なわせ、より自己複製に適した解釈系を持つエージェントが現れることを示している。

3章では、センサの分解能に着目して、移動ロボットのセンサ形態と制御系を、遺伝的アルゴリズム（GA）を用いてシミュレータ上で同時に設計する手法を提案している。GA を用いて制御系のみを設計する場合（コントローラ進化）と、センサ形態と制御系の双方を GA で設計する場合（センサ進化）を比較し、センサ進化の有効性を明らかにしている。

4章では、Q 学習と GA を組み合わせた手法により、移動ロボットのセンサ形態と制御系を同時設計する手法を提案している。提案手法をライントレースロボットに適用し、得られた設計解と人手による形態との学習結果を比較することにより、学習後のパフォーマンスがセンサ数よりセンサ配置に強く依存することを明らかにしている。さらに、シミュレーションで得られた設計解を実機に実装して実験を行ない、人手により制御系および形態を設計した場合に比べて、センサ数が少ないにも関わらず、より速く頑健にライントレースを行なうことができることを示している。

5章では、移動ロボットにおける学習に適したセンサ形態設計手法を提案している。提案手法の適用例として、多数のライントレースタスクを学習しやすいセンサ形態の設計を挙げ、設計解がセンサを集中的に配置してマルコフ性を回復するような状態空間を獲得していることを明らかにしている。

6章では、モジュラーロボットなど形態がタスク遂行と同じ時間スパンで変化し得るロボットの身体モデルを推定する方法として、未解釈のセンサデータから身体モデルを構築する手法を提案している。シミュレータ上で対向2輪型ロボットと4足歩行ロボットの2種類の形態に対して提案手法を適用し、本手法が、光センサの遮蔽によって生じる TDOA (Time Difference of Arrival) から逐次的に推定されたセンサ間距離を多次元尺度法を用いて低次元空間にマッピングすることで、

実用に十分な精度でセンサ位置を推定可能であることを明らかにしている。くわえて、位置推定誤差を低下させるために、相関に基づきセンサデータをクラスタリングする手法を提案し、仮想バネにより接続されたロボットにおける光センサデータのクラスタリングに適用することで、形態の変化に追従して、センサが短時間でクラスタリングされることを示している。7章は結論であり、本研究で得られた成果を総括し、今後の研究課題を展望している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、エージェント（ロボット）の形態の一部であるセンサと、制御系の一部である認識器を、環境や自己身体の解釈系として統一的に扱うことにより、タスク遂行に与える影響を定量的に検討したものであり、主な成果として以下のようなものを導いている。

1. 人工生命システム *Tierra* での機械語命令を正規表現による書き換え規則に翻訳し、書き換え規則を進化的手法を用いて構築することにより、機械語命令セットを改良する手法を提案した。提案手法を実装したシステムを用いてエージェントに自己複製を行なわせ、より自己複製に適した書き換え規則を持つエージェントが現れることを示した。
2. 移動ロボットのセンサ形態と制御系をシミュレータ上で同時に設計する手法を提案した。本手法は、強化学習により制御系の設計を行なうと同時に、設定した時間内にタスクの達成度が高い形態を遺伝的アルゴリズムにより設計するものである。本手法をライントレースロボットの設計に適用し、得られた設計解と人手による形態との学習結果を比較して、学習後のパフォーマンスがセンサ数よりセンサ配置に強く依存することを示した。
3. シミュレーションで得られた設計解を実機に実装して実験を行ない、人手により制御系および形態を設計した場合に比べて、センサ数が少ないにも関わらず、より速く頑健にライントレースを行なうことができることを示した。その際に設計解が、センサ配置を効果的に利用してライントレースを行なっていることを明らかにした。
4. 形態が変化し得るロボットの身体モデルを推定する方法として、未解釈のセンサデータから身体モデルを構築する手法を提案した。提案手法は、光センサが遮蔽されることによって生じる TDOA (Time Difference of Arrival) からセンサ間距離を逐次的に推定し、多次元尺度法を用いてセンサ位置を低次元空間にマッピングするものである。シミュレータ上で対向2輪型ロボットと4足歩行ロボットの2種類の形態に対して本手法を適用し、推定位置の相対誤差が実用に十分な範囲に収束することを実験的に示した。
5. モジュラーロボットなど、形態がタスク遂行と同じ時間スパンで変化するロボットの身体モデル構築の際に、推定誤差を低下させるセンサデータのクラスタリング手法を提案した。本手法を仮想バネにより接続されたロボットに適用し、形態の変化に追従して、センサが短時間でクラスタリングされることを示した。

以上要するに、本論文は従来独立に扱われてきたエージェント（ロボット）の形態と制御系の関係を利用する手法を提案し、実際の問題への適用によって有用性を検討したものである。よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成19年3月5日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。