

論文の内容の要旨

論文題目 身体図式の逐次学習機能を有する知能ロボットシステムの研究

氏 名 河原塚 健人

本論文は、ロボットが自律的な学習により、身体-道具-動作環境の相関複雑性と時間的変容に適応する環境適応能力を向上可能な知能ロボットシステムを開発するものである。感覚と運動の関係を身体という構造をもって表現した身体図式を逐次的に学習することでロボットのモデル化困難性と逐次的モデル変化を攻略すると同時に、一般化により様々なロボットへの適用を試みる。本身体図式学習に必要な柔軟性と冗長性を持つハードウェア・身体図式学習を支える反射制御、身体図式学習の基礎と応用について述べ、軸駆動型・台車型・低剛性樹脂製・筋骨格型などの様々なロボットにおいてその有用性を確認する。

第1章「序論」では、本論文の背景と目的について述べた。ロボット身体におけるモデル化困難性と逐次的モデル変化、様々なロボットに適用可能な一般性を考慮可能な知能ロボットシステム開発の重要性と本論文の方針を示した。

第2章「身体図式の逐次学習機能を有する知能ロボットシステム」では、本論文で提案する知能ロボットシステムの位置づけを述べ、身体図式の要件を多感覚性、汎用性、自律獲得性、変化適応性の4つと定めたうえで、これまで提案されてきた身体モデルとの比較、柔軟性と冗長性に基づくロボットの分類と身体図式の適用について論じた。また、身体設計・反射制御・身体図式学習について概要と先行研究を述べ、身体図式の逐次学習機能を有する知能ロボットシステムの環境適応能力向上について考察した。

第3章「身体図式の逐次学習システム」では、本論文の中核である身体図式の逐次学習機能の定式化と基礎システム、本ネットワーク構造の入出力自動決定による自律的モデル化について詳細を述べた。身体図式の4つの要件をすべて満たすモデルとして、相関関係を表すマスク表現と暗黙的状态変化を埋め込むパラメトリックバイアスを導入し、潜在空間を通して感覚と運動を相互に予測し合う一般化多感覚相関モデルを提案し、これを使った学習・状態推定・制御・シミュレーション・異常検知・逐次適応に

について述べた。

第4章「身体図式学習に向けたハードウェア構成」では、身体図式学習に用いる軸駆動型・台車型・低剛性樹脂製軸駆動型・筋骨格型ロボットの詳細について述べた。特に、柔軟性と冗長性の利点を最大限有する筋骨格ヒューマノイドの学習制御プラットフォーム設計について、構成・再構成の容易化戦略、冗長なセンサ・アクチュエータ配置のためのモジュール化戦略、冗長性最大化のための設計最適化等について述べた。本論文では、PR2, Fetch, KXR等の既存の軸駆動型・台車型ロボットに加え、Musashi, MusashiLarm, MusashiOLegs, TWIMP, Musashi-W等の筋骨格型ロボットを統一的に扱う。

第5章「身体図式学習を支える反射制御」では、ロボットのモータへの負荷を即座に考慮し、身体図式を長期的に学習するための反射制御を開発した。長期学習を可能とするモータコアの温度推定と制御、筋骨格ヒューマノイドに特有な柔軟性と冗長性の欠点を克服する拮抗筋抑制制御・筋弛緩制御・関節速度最大化反射戦略・伸長反射制御について述べた。

第6章「身体図式学習の基礎実験」では、第3章で述べた身体図式学習の基本的なネットワーク構成を確認可能なタスクについて実験を行った。具体的には、筋骨格ヒューマノイドの静的身体制御、筋骨格ハンドの動的制御、軸駆動型・筋骨格型における静的道具操作と動的模倣学習に適用することで、その有効性を確認した。

第7章「身体図式の応用実験」では、第6章で述べた基本的なネットワーク構成に追加可能な機能として、ネットワーク入出力の減少と増加を伴う身体変化適応、身体図式の自動分割、ネットワーク出力への確率表現と平均分散表現の導入、ネットワークの展開による高速化について述べた。具体的には、筋骨格ヒューマノイドにおける冗長な筋肉の破断と追加による身体図式変化に適応する再学習手法の提案、筋骨格構造における筋と関節の部位ごとにおける機能分割、身体間干渉による危険回避学習、高速なペダル操作学習、分散最小化に基づく安定した台車制御について述べた。

第8章「身体図式の逐次学習機能を有する知能ロボットシステムによる環境適応能力の向上」では、第3—7章で開発した手法を統合した筋骨格ヒューマノイドによる自動車運転システムの実現、柔軟布を扱うテーブルセッティングシステムの実現、低剛性樹脂製ヒューマノイドによる適応的道具操作の実現、全身筋骨格ヒューマノイドにおけるバランス制御の実現を行い、多様なロボットにおける身体図式学習に基づく環境適応能力の向上について考察し、その有効性と限界について述べた。

第9章「結論」では、本論文の結論をまとめ、今後の課題と展望について述べた。

以上、身体-道具-動作環境の相関複雑性と時間的変容に適応するために、モデル化困難性と逐次的モデル変化が考慮可能であり入出力が一般化された身体図式の逐次学習システムを開発し、ハードウェア・反射制御を含めた知能ロボットシステムを構築することで、筋骨格ヒューマノイドを始めとする多様なロボットの柔軟性と冗長性の攻略による、環境適応能力向上を実現した。