

審査の結果の要旨

氏名 寺田 耕志

本論文は、「身体力学構造に基づく運動スキル構成法」と題し、ヒューマノイドロボットなどの複雑な系においてロバストに目的を達成する運動を自動生成するために、身体力学の大域的構造をノードとアークからなるグラフ構造で表現し、ノードを人間の運動の計測や力学系の相空間上の探索に基づき決定する方法、アークに沿った運動を解析的ならびに探索的に求める方法を提案し、これらを利用して、ヒューマノイドの床面上での全身運動タスクのシミュレーション実験において、数個の経由姿勢を指定するのみで、目的に到達する様々な経路に対応する運動を自動生成し、それにより状況ごとに適切な経路を選択することによるロバストな運動生成が可能となることを示した研究をまとめたものであり、8章からなる。

第1章「序論」では、研究の背景と目的について述べている。ヒューマノイドロボットの特性と従来の運動生成・制御の研究の概観を踏まえ、運動スキルの原理は身体力学構造の理解と利用にあることを主張し、その方法を明らかにすることを本研究の目的としている。

第2章「身体力学構造に基づく運動スキル構成法」では、ヒューマノイドロボットのような複雑な系は、非線形性が強い高次元の力学構造を有し、このような対象を把握するため、運動の節目とも言うべきノードとその間の遷移経路を表すアークとによって大域構造を表す、グローバルダイナミクス概念を提示した。これに基づく運動生成法を構成すれば、重要な点のみに着目することで運動生成の簡略化がなされ、また、目的状態に至る複数の遷移経路を扱うことでロバストな運動生成が可能となるとした。

第3章「運動スキルの計測」では、グローバルダイナミクスアプローチが人間の運動スキルに当てはまるかを検証している。両脚を振り上げ、振り下ろして一気に起き上がる運動を計測・解析し、多試行の運動軌道が収束する点を発見し、力学的解析や運動認識実験も併用し、目的到達上重要な点であることを示し、これがノードに相当することを明らかにした。また、人体ダミーを抱え上げる運動の計測・解析により、同じ運動目的に対して定性的に異なる二つの戦略を見出し、人間が複数の経路を含む構造を利用して運動生成している根拠とした。

第4章「身体力学の構造化」では、低次元の自励力学系において、有限時間到達性の概念に基づく探索により、全てのノードとアークを自動的に発見する手法を提示している。可能なあらゆる運動を自動生成し、状況に応じ即座に別の目的到達経路に切り替えてロバスト性を達成できる。コンパス状の2足歩行モデルで有効性を検証しているが、全身運動など、系の次元が高くなると計算量が膨大となるため、以後の各章において、より実用的な手法に取り組んでいる。

第5章「身体力学の解析的扱い」では、解析的に扱える場合の全身運動生成法を提示している。ZMP（ゼロ・モーメント・ポイント）方程式は従来、重心高さ一定のもとでの解しか知られていなかったが、微分方程式拘束に従う重心運動のもとでの解析解を提示し、これにより、歩行、走行、しゃがみ込みなど多様な全身運動を含むアークの運動生成を自動的に行えることを示した。

第6章「身体力学の探索的扱い」では、転がりやすべり等を含み、ZMP方程式で扱えない多様な運動を生成するために、制御目標値とその切り替え時刻による運動表現を新たに工夫し、その空間を確率的山登り法で探索する、仮想目標切替えパターンによる運動生成法を提示し、投球、起き上がり、跳躍等の運動の完全自動生成実験により有効性を示している。また、2章での到達領域概念を確率分布で表現し、パーティクルフィルタ法による探索として実現した力学的平滑化による運動生成を提案し、急停止などを含む歩行動作の生成実験で検証している。

第7章「統合システム」では、第5章～第6章で提示した手法を統合し、ヒューマノイドロボットの全身運動に対して、身体力学構造に基づく運動スキル構成法を提示している。シミュレーション環境内の床面上で、等身大ヒューマノイドロボットが、腹臥位、仰臥位、座位、匍匐位、立位、歩行等を含む多様な全身運動を、数個の経由姿勢を与えるのみで自動生成できることを示し、その有効性を検証している。

第8章「結論」では、以上を総括した上で、複雑な身体力学構造をノードとアークにより粗く大域的に表すことで、実用的な運動生成とロバストな目的達成に有効な枠組みが成立したと結論づけている。

以上、これを要するに本論文は、ヒューマノイドロボット等の複雑な身体を目的に向けてロバストに運動させる問題に関して、その身体力学構造をノードとアークにより大域的に表現し、ノードの決定法ならびにアークに対応する多様な運動を自動生成する手法を提示し、これらをシミュレーション環境中のヒューマノイドロボットの多様な全身運動の自動生成に適用してその有効性を検証したものであり、知能機械情報学上貢献するところ少なくない。よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。