

論文内容の要旨

博士論文題目 神経振動子に基づく四脚歩行ロボットの環境適応歩容に関する研究

氏名 竹村 裕

(論文内容の要旨)

本研究の目的は、路面環境の変化に柔軟に対応する歩容生成手法の構築である。歩行ロボットが様々な環境を移動するためには、環境やロボットの状態に応じた脚の運び方"歩容"を決定する必要がある。歩行を非線形の運動と捉え、ロボットと環境との厳密なモデルを利用し歩行を実現すると、想定された以外の環境には対応できない問題がある。この問題を解決するためにロボットはセンサ等から環境情報を獲得し、自ら歩容を環境に適応させる必要がある。一方、多くの生物の運動はその体内に張り巡らされた神経系により制御されており、神経振動子と呼ばれるリズム発生機構が生物の歩行などの周期的な活動に深くかかわっていることが知られている。本論文では、動的で非常に柔軟な歩行を行う生物の神経系に注目し、リズム発生機構と反射機構を組み合わせた CPG ベース型制御により、自律的に路面変化に対応する歩容生成手法について述べる。

歩行運動が矢状面内の運動と前頭面内の運動との協調運動であることから、安定した歩行運動の実現には矢状面内の運動と協調を保つように前頭面内の運動を制御することが必要である。神経振動子経由の左右揺動運動・姿勢反射を用いて、矢状面内の運動との協調を保つように前頭面内の運動を生成する三次元的な歩行生成手法を提案する。この手法により、ロボットと環境との厳密なモデルを用いることなく整地・斜面での動的適応歩行の実現が可能となった。

CPG を利用して歩容を生成する場合に CPG パラメータ決定問題がある。高速シミュレーション環境を利用し、歩行パターンとエネルギー効率の関係を検証することにより、高エネルギー効率な歩行を実現する CPG パラメータを決定する手法を提案する。ロボットの幾何学的条件により最適な歩容パターンの

存在が明らかとなり、速度に対する最適な CPG パラメータを決定することが可能となった。

脚による移動機構は脚が接地面に安定に接触している状態を前提に考える事が多いため、接地面において滑りが発生した場合には様々な問題が惹起する。路面摩擦が歩容およびエネルギー効率にどのような影響を与えるかを検証し、得られた知見に基づき二つの滑り適応歩容を提案する。一つは、CPG 経由の滑り反射を利用した歩行パターンそのものを変更する滑り適応歩容、もう一つは、力制御を用いた滑りに瞬時に対応する滑り適応歩容である。これらの手法により、路面摩擦の変化、滑りに適応する歩容を生成することが可能となった。

CPG の潜在的な適応能力は示唆されていたが、リズム発生機構と反射機構を用いた歩容生成・制御系を構築することで、CPG を用いて環境適応歩容を実現する一手法を確立することができた。また、従来外乱とみなされていた脚先の滑りに着目し滑り適応歩容を実現するにより、滑りの重要性を示唆することができた。この結果は、歩行ロボットが未知環境での歩容を実現する上で有効な指針となる。

(論文審査結果の要旨)

本論文は、路面環境の変化に柔軟に適応する歩容生成手法を提案し、シミュレーション及び実機モデルを用いて提案手法の有効性を示している。本論文の主な成果は以下に要約される。

1. 複数の神経振動子を相互に結合したリズム発生機構を中心とした神経振動子結合モデルを用い、各センサからのフィードバック入力を利用した反射運動による矢状面内の周期的な歩行パターンの生成と、前頭面内の左右揺動運動を積極的に取り入れ協調動作を行う三次元的な歩容生成手法を提案し、神経振動子経由の姿勢反射の導入による斜面への拡張性を示している。また、実機モデルに応用し整地・斜面動歩行を実現することにより提案手法の有効性を示している。

2. ロボットの制御アルゴリズムの開発環境として高速な三次元動力学シミュレーション環境の必要性について示しており、ゲーム開発用に開発された動力学演算ツールキットを利用することにより高速三次元動力学シミュレーション環境を開発している。開発したシミュレーション環境を用い歩容パターンとエネルギー効率との関係を明確にしており、ロボットの幾何学的条件により最適な歩容パターンが存在することを示している。さらに、エネルギー効率の観点から歩行速度に対する最適な CPG パラメータの決定手法を提案している。

3. 路面の摩擦条件が歩容およびエネルギー効率にどのような影響を与えるかを検証しており、摩擦が異なる環境では効率の良い歩容形態にも差があるという知見を示し、摩擦状態・歩行速度により歩行形態を変えることで効率の良い歩行が可能である事を示している。神経振動子経由の滑り反射を導入することにより、歩行周期と歩幅を路面摩擦に適応する CPG 経由の滑り適応歩容を提案し、摩擦が変化する環境への滑り適応歩容がエネルギー効率の向上につながることをシミュレーションにより示しており、さらに、実機モデルにより実現性も示している。

4. 脚先が滑る際の脚先加速度情報より脚が接地する路面の局所的な勾配を推定し、瞬間的に路面へ力を付加することにより滑りを抑える力制御による滑り

適応歩容を提案し、滑りの重要性を示し、砂地などのやわらかい路面・泥濘などの脆弱な路面への拡張性を示唆している。さらに、シミュレーションにより脚先滑りの低減と胴体の移動量向上に有効であることを示しており、実機モデルに応用することにより脚先の滑りの低減に効果があることを示している。

以上のように、本論文は、歩容生成問題に対し新たな手法を示すと同時の多くの有益な知見を得え、歩行ロボットの移動性能の向上に寄与しており、ロボット技術向上に大きく貢献している。

よって本論文は、博士（工学）の学位論文として価値があるものと認める。