

論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	NORZALILAH BINTI MOHAMAD NOR (のるざりら びんてい もはまど のあ)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 1001 号
○授与年月日	2014 年 9 月 25 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	CPG-based Locomotion Control of a Snake-like Robot (CPG に基づくヘビ型ロボットの運動制御)
○審査委員	(主査) 馬 書根 (立命館大学理工学部教授) 川村 貞夫 (立命館大学理工学部教授) 野方 誠 (立命館大学理工学部教授)

<論文の内容の要旨>

本研究では、生体内の神経系に存在する中枢パターン発生器 (CPG: Central Pattern Generator) に基づいたヘビ型ロボットの新しい制御方法を提案した。生物蛇特有の運動を機械システム“ロボット”で実現するための制御系が数多く考案されてきている中、本手法では、位相振動子で構成される動的システムを基に、連結非線形振動子や神経子ネットワーク等の単純な神経構造で周期的なパターンを作り出している。この周期的な動作パターンは、位相振動子の制御パラメータを変えることによって、ヘビ型ロボットの蛇行運動の制御にも応用することができる。これにより、ヘビ型ロボットの前進・後退のような動作や体形の S 形状数の変更などが可能になる。本論文では、CPG ネットワークの位相同期を行うために、安定性解析と振動子のフィードバック結合についても議論している。導入する CPG ネットワークは構造が単純で計算量が少なく、収束速度も早い、等の扱いやすい特徴を有しており、その挙動がリミットサイクルとなっている。その他にも、1つの制御変数のみに基づいて運動制御を行い、ヘビ型ロボットの蛇行運動を実現した。

本論文では、ヘビ型ロボットの体形状制御を行うために、CPG パラメータの変化を連続的な線形関数で補間する手法を考案した。これにより、不連続な CPG 出力が無くなり、オンラインで CPG パラメータを変更することができる。本手法の有用性を、計算機シミュレーション実験及びトルク解析を用いて検証した。

さらに本論文では、CPG モデルに基づいて、ヘビ型ロボットが障害物を回避する回転運

動制御法、及びヘビ型ロボットが狭隘環境を移動し続けても適切な進行方向を保つことのできる直線運動制御法を提案した。提案した方法の妥当性と有効性は計算機シミュレーション実験及び実機実験を用いて検証した。

<論文審査の結果の要旨>

本論文の貢献は以下の通りである。

- 位相振動子で構成される非線形振動子 (CPG: Central Pattern Generator) とその単純なネットワーク構造により、ヘビ型ロボットの蛇行運動に必要とされる周期的なパターン生成のための新しい運動制御法を提案した。この CPG に基づくヘビ型ロボットの運動制御法では、位相振動子の制御パラメータ、即ち、CPG 間の位相差を変えることによって、ヘビ型ロボットの前進・後退のような動作や体形の S 形状数の変更などが簡単に行える。提案した本制御手法は構造が単純で計算量が少なく、収束速度も早い、などの扱いやすい特徴を有する。
- ヘビ型ロボットの体形形状制御を行うために、CPG パラメータの変化を連続的な線形関数で補間する手法を考案した。これにより、不連続な CPG 出力が無くなり、オンラインで位相差を変更することが可能となる。本手法の有用性を、ODE を用いる計算機シミュレーション実験及びトルク解析を用いて検証した。
- 提案した CPG モデルに基づいて、ヘビ型ロボットが障害物を回避する回転運動制御法、及びヘビ型ロボットが狭隘環境を移動し続けても適切な進行方向を保つことのできる直線運動制御法を提案した。提案方法を用いると、ロボットが狭隘環境へ侵入してから脱出するまでの間、その進行方向が保たれる。提案方法の妥当性と有効性については計算機シミュレーション実験及び実機実験を用いて検証した。

本論文の審査に関して、2014年7月25日(金)9時00分~10時50分イーストウイング5階機械システム系第1会議室において公聴会を開催し、学位申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者 NORZALILAH BINTI MOHAMAD NOR に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、従来の手法と比較した際の CPG モデルに基づく手法の優位性、提案制御法の実ロボットシステムへの実装、実機実験による検証の目的、環境情報とロボットダイナミックスの CPG モデルへの融合などについての質問がなされたが、いずれの質問に対しても学位申請者の回答は適切なものであった。よって、以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は博士の学位に値する論文で

あると判断した。

<試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、学位申請者と本学大学院理工学研究科総合理工学専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じ、日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

学位申請者は、本学学位規程第 18 条第 1 項該当者であり、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有していることを確認した。また、学位申請者は、2013 年 12 月開催の国際会議 IEEE ROBIO2013 で研究発表した論文が最優秀論文賞にノミネートされたなど、学外からも評価されている。

以上の諸点を総合し、学位申請者に対し、本学学位規程第 18 条第 1 項に基づいて、「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。