HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Control of Oscillator Aggregation for Generating Homeostatic Behavior in Autonomous System [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	山内, 翔
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第11520号
Issue Date	2014-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/57147
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Sho_Yamauchi_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称　博士（情報科学）　氏名　山内 翔

学 位 論 文 題 名

Control of Oscillator Aggregation for Generating Homeostatic Behavior in Autonomous System
（自律システムにおける恒常的ふるまいの創発に向けた振動子群制御法）

生物には自身の構造や状態を安定に保つ恒常性が見られる. こうした生物では生物体の各器官が相互に連携し, 全体として統一した調整がなされている. こうした性質により, 環境の変化や外力に適応し,　多彩な生命活動を行っている. 本学位論文ではそのような恒常的ふるまいをロボット等自律システムにて実現することを対象とする. ロバストで柔軟な適応的ふるまいをロボットにて実現した例では Central pattern generator(CPG) などが挙げられる.CPG は脊椎動物に見られるリズム・パターンを発生させる神経系の特定の部分をさし, 周期的な運動を司っている. このメカニズムにより環境の変化に対してロバストなリズム運動の生成が可能となる. 実際に人工システムで利用する場合には, 神経振動子として設計される. 現状この設計は人の手により直接行われており, 多数存在するパラメータも同様に経験的に決定されている. 一方で, 生物による知見として, 粘菌など神経系を有していない生物においても恒常的・適応的なふるまいが見られることが知られている. こうした生物では各細胞が振動子としての性質を持ち, それらの相互作用による同期現象の結果としてそのような適応的なふるまいが創発されている.

そこで本学位論文では,CPG で対象としている神経系を有する生物のみならず, 神経系を有しない生物にも見られる同期現象的かつ適応的なふるまいをロボット等自律システムにて実現する手法の構築を目的とする. そのため環境・自律システム双方を振動子として捉える設計思想を提案する. また問題を,(A) 自律システムにとっての目標状態が自明な場合と (B) その目標状態を発見しなければならない場合の 2 つに分け,(A) 自律システムにとっての目標状態が自明な場合に Flocking アルゴリズムを用いた制御法によるアプローチ,(B) 自律システムの目標状態を発見しなければならない場合には振動子群による制御法でのアプローチを取る.Flocking アルゴリズムによるアプローチでは自律システムの構成要素をエージェントとみなし, 単一の自律システムを一つの群れとして制御するが, この際 Flocking アルゴリズムを任意の群れ構造が表現可能な形に拡張する. 更に Flocking アルゴリズムにおける同期現象的性質を分析し,Flocking アルゴリズムによる制御法が振動子群による制御とみなすことが可能であることを示す. また振動子群による制御法でのアプローチとして, 振動子集合として自律システムを捉え, 制御する手法を構築する.

本論文では, この課題に対するアプローチや検証実験の結果について次の構成で述べる.

第 1 章では実際に利用および研究されている知能ロボットの現状についてまとめる. 特に変化する環境において適応的なふるまいを創発することを目的としたロボットの構築手法について述べる.

第 2 章では生物における適応的ふるまいの事例を示し, それらの知見をもとに, 環境とロボット等自律システムの双方を振動子の集合として捉える設計思想について述べる. その際ロボット等自律システムの状態を振動子間の位相関係として記述することについて述べる.

第 3 章では自律システムを振動子の集合として制御する為の第一歩としてマルチエージェントシ

ステムに用いられている適応的なふるまいを生み出す自律分散制御則として知られている Flocking アルゴリズムを単一の自律システムへ適用する手法について提案する. 本来はマルチエージェントシステムにおける制御則である Flocking アルゴリズムの性質から, そのまま単一の自律システムへと適用することは困難であるため, 任意の群れ構造を表現可能な形に Flocking アルゴリズムを拡張する.

第 4 章では第 3 章にて構築した拡張 Flocking アルゴリズムを自律システムへ適用し適応的ふるまいを創発させるための実装方法を提案しその評価を行った. まずシミュレーションロボット及びヒューマノイド型の実ロボットに拡張 Flocking アルゴリズムを適用した. この時各ロボットは自身の直立姿勢を維持することを目的とし, 外力や外乱に対して適応的なふるまいを創発し, 指定された直立姿勢を維持し続けることが可能であった. また, 周囲の明るさが変化する環境において特定のマーカ位置をトラッキングするカメラシステムに拡張 Flocking アルゴリズムを適用した事例についても述べる. この場合も周囲の明るさが変化してもその変化に自ら追従し, マーカをトラッキングし続けることが可能であることを示した.

第 5 章では適応的ふるまいを創発することが可能であった拡張 Flocking アルゴリズムの性質を分析し, その同期現象的性質を示した. 拡張 Flocking アルゴリズムの各エージェントを振動子として見ると, それらエージェントの挙動は同一群れ内, 他の群れ間及び周期外力に対して同期状態を維持していることを示した. これにより, 適応的ふるまいの創発に同期現象が関与している可能性を示し, また適応的ふるまいの創発に寄与する同期現象的要素の抽出の可能性を示した.

第 6 章では自律システムを振動子の集合として制御する振動子群制御法について提案している. この手法では自律システムの状態を振動子間の位相関係として記述し, 状況に応じてその位相関係の再構築及び維持を誘発する仕組みを導入している. この手法の基本的性質をシミュレーション実験によって示した.

第 7 章では第 6 章で構築した手法を冗長アームロボットに適用した事例について述べる. この冗長アームロボットはその自由度の多さから, 解析的に制御することは困難になっている. そうした状況下においても提案する制御方法にて制御可能であることを示した. また外部環境を変化させることで, ロボットの内的変化および外的変化に適応可能であることを示した.

本論文で示した以上の成果によって, 自律システムに同期現象を利用した恒常的ふるまいを創発させるための第一歩として自律システムの振動子群制御法を提案した. この時, 問題を自律システムの目標状態が自明であるか, 発見しなければならないかの 2 パターンに分け, それぞれに対し Flocking アルゴリズムによる制御手法, 振動子群をもちいた制御手法を提案した. また, これらの制御法の性質を評価し,Flocking アルゴリズムによる制御法, 振動子群を用いた制御手法ともに複雑な環境下においても多自由度のロボットの制御が可能であり, 更に内的・外的変化に対して適応的ふるまいを創発させることが可能であることを明らかにした. 更に,Flocking アルゴリズムの同期現象的性質を分析することにより,Flocking アルゴリズムもまた振動子群の制御であるとみなすことが可能であることを示した.