

学位論文題名

Behavior Emergence of Virtual Creature with Neuro-Evolution and Central Pattern Generator for Animation

(アニメーションへの利用を目的としたArtificial Neural Network 及び Central Pattern Generator による人工生物の行動創発)

学位論文内容の要旨

コンピュータグラフィクス技術は計算機性能の向上に伴いめざましく発展し、今日では映画、ビデオゲーム等に代表される娯楽分野において必要不可欠な技術となっている。この中で物体の挙動にリアリティを与える物理アニメーション技術への関心が高まり、物理法則に準じた挙動をシミュレートすることにより、剛体や流体に対し現実に近い動きを与える方法が提案されている。しかしながら、生物の様に自らの意思決定により自律的に行動するアクターに対する物理アニメーションの生成技術は研究段階にあり、現在ではキーフレーム法及びモーショキャプチャ法との併用が主流となっている。更に、これらの手法を用いたアニメーション生成には高価な機材、高度な専門知識、莫大な時間が必要とされる。

本論文ではこれらの問題を解消するため、人工知能、人工生物の観点から、自律的に挙動する人工生物を対象とした物理アニメーションを自動生成する方法を提案し、この方法を適用したアニメーション製作ソフトウェアを開発することを目的とした。

これを実現する具体的な解決策として、生物の感覚器官に相当するセンサ、筋肉に相当するアクチュエータ、神経系に相当する意思決定機能を持つ3次元の人工生物に対する様々な仮想物理環境における自律行動獲得を実施し、この結果をアニメーションとして利用する方法を採用した。意思決定機能には環境変化に対する高い汎化性を有する人工ニューラルネットワーク(ANN)を採用した。意思決定機能の学習を行う際に教師信号を定義することが困難であるため、この学習には最適化アルゴリズムを採用した。最適化の戦略として、「現実を模倣した環境、生物のモデル化し、生物の行動原理に基づく意思決定機能の最適化を実施した場合、獲得される行動が自ずと現実世界の生物の行動に漸近する」ことを仮定し、最適化の評価に生物の基本的な行動原理を採用した。これにより人工生物の形状に依存しない移動行動獲得方法を提案した。

研究の第一段階として、研究の基盤を整えるため、様々な物理情報を持つ物理モデルの製作、及び、製作したモデルを用いたリアルタイムな物理シミュレーションを実現するソフトウェアを開発し、このソフトウェアを用いたモデル製作実験、及び簡易的な行動獲得実験により、ソフトウェアの有用性を明らかにした。第二段階として、開発したソフトウェアを用いた様々な行動獲得実験を実施し、獲得されたアニメーションからソフトウェアの有効性及び改良点を明らかにした。

本論文は下記の通り構成される。第1章は本論文の序論であり、研究背景、目的、関連研究について述べ、本研究の位置づけを明らかにした。第2章では、本研究の基盤となる物理アニメーション製作ソフトウェア「TIPS-PM」の開発とその応用について述べた。本ソフトウェアは、GUIを用いたモデル製作、及びリアルタイムな物理シミュレーションを可能としており、ソフトウェアを用いた複雑な形状を持つ物理モデルの生成実験、および簡易的な自律行動アニメーション生成実験により開発

したソフトウェアの有用性を明らかにした。第3章以降では、開発した物理アニメーション製作ソフトウェアを用いた様々な自律行動アニメーション生成実験について述べている。第3章では、ANNを意思決定機能に持つ両生類型人工生物に対する複数の環境中(地上、水中)に於ける自律行動アニメーション生成実験について述べており、生成された自律行動の検証により行動獲得方法の有用性を明らかにした。第4章では、生物の意思決定機能への生物学的知見の導入による自律行動獲得の効率化について述べた。本章では、生物の脊髄等、比較的下位の神経系に於いて観察される「リズム」の生成モデルとして知られる Central Pattern Generator (CPG) を意思決定機能として採用し、最適化アルゴリズムを用いた CPG の最適化により、様々な形態的特徴を持つ人工生物に対する自律移動行動の獲得実験を実施した。獲得された自律行動の解析により、CPG 導入の有用性を明らかにした。第5章では、環境や人工生物同士の相互作用を考慮した高度なタスクの達成を目的とした自律行動獲得実験について述べた。本章では、第4章で獲得した CPG に上位の意思決定機能として ANN を組み合わせることで、高度なタスクを達成可能な意思決定機能のアーキテクチャを提案し、最適化アルゴリズムを用いた複合行動(目標追尾、障害物回避等)の獲得実験を実施した。獲得された自律行動の検証により、本手法の有用性を明らかにした。

最後に、第6章ではこれまでの結果を取りまとめ、結論を述べた。

学位論文審査の要旨

主査	教授	古川正志
副査	教授	栗原正仁
副査	教授	鈴木恵二
副査	教授	小野哲雄
副査	准教授	山本雅人

学位論文題名

Behavior Emergence of Virtual Creature with Neuro-Evolution and Central Pattern Generator for Animation

(アニメーションへの利用を目的としたArtificial Neural Network 及び Central Pattern Generator による人工生物の行動創発)

本学位論文では、人工知能および人工生物の観点から、自律的に挙動する人工生物を対象とした物理アニメーションを自動生成する方法を提案し、この有効性を検証すると共に、この方法を適用したシンセテック(統合型)アクターを実現するアニメーション技術の開発を目的としている。

コンピュータグラフィクス技術は計算機性能の向上に伴いめざましく発展し、今日では映画、ビデオゲーム等に代表される娯楽分野において必要不可欠な技術となっている。この中で物体の挙動にリアリティを与える物理アニメーション技術への関心が高まり、物理法則に準じた挙動をシミュレートすることにより、剛体や流体に対し現実に近い動きを与える方法が提案されている。しかしながら、生物の様に自らの意思決定により自律的に行動するシンセテックアクターに対する物理アニメーションの生成技術は研究段階にあり、現在ではキーフレーム法及びモーショキャプチャ法との併用が主流となっている。更に、これらの手法を用いたアニメーション生成には高価な機材、高度な専門知識、莫大な時間が必要とされる。

これを実現する具体的な解決策として、生物の感覚器官に相当するセンサ、筋肉に相当するアクチュエータ、神経系に相当する意思決定機能を持つ3次元の人工生物に対する様々な仮想物理環境中における自律行動獲得を実施し、この結果をアニメーションのシンセテックアクターの行動生成として利用する方法を提案している。意思決定機能には環境変化に対する高い汎化性を有する人工ニューラルネットワーク(ANN)を採用している。意思決定機能の学習を行う際に教師信号を定義することが困難であるため、この学習には最適化アルゴリズムを採用した。最適化の戦略として、「現実を模倣した環境、生物のモデル化し、生物の行動原理に基づく意思決定機能の最適化を実施した場合、獲得される行動が自ずと現実世界の生物の行動に漸近する」ことを仮定し、最適化の評価に生物の基本的な行動原理を採用した。これにより人工生物の形状に依存しない移動行動獲得方法を提案し、検証している。

研究の第一段階では、研究の基盤を整えるため、様々な物理情報を持つ物理モデルの製作、及び、製作したモデルを用いたリアルタイムな物理シミュレーションを実現するソフトウェアを開発し、このソフトウェアを用いたモデル製作実験、及び簡易的な行動獲得実験により、ソフトウェアの有用性

を明らかにしている。第二段階では、開発したソフトウェアを用いた様々な行動獲得実験を実施し、獲得されたアニメーションからソフトウェアの有効性及び改良点を明らかにしている。

本論文は下記の通り構成されている。第1章は本論文の序論であり、研究背景、目的、関連研究について述べ、本研究の位置づけを明らかにしている。第2章では、本研究の基盤となる物理アニメーション製作ソフトウェア「TIPS-PM」の開発とその応用について述べている。本ソフトウェアは、GUIを用いたモデル製作、及びリアルタイムな物理シミュレーションを可能としており、ソフトウェアを用いた複雑な形状を持つ物理モデルの生成実験、および簡易的な自律行動アニメーション生成実験により開発したソフトウェアの有用性を示している。第3章以降では、開発した物理アニメーション製作ソフトウェアを用いた様々な自律行動アニメーション生成実験について述べている。第3章では、ANNを意思決定機能に持つ両生類型人工生物に対する複数の環境中(地上、水中)に於ける自律行動アニメーション生成実験について述べ、生成された自律行動の検証により行動獲得方法の有用性を検証している。第4章では、生物の意思決定機能への生物学的知見の導入による自律行動獲得の効率化について述べている。本章では、生物の脊髄等、比較的下位の神経系に於いて観察される「リズム」の生成モデルとして知られる Central Pattern Generator (CPG) を意思決定機能として採用し、最適化アルゴリズムを用いた CPG の最適化により、様々な形態の特徴を持つ人工生物に対する自律移動行動の獲得実験を実施した。こうして獲得された自律行動の解析を実施し、CPG 導入によって「リズム」の生成が可能なこと、およびその有用性を明らかにしている。第5章では、環境や人工生物同士の相互作用を考慮した高度なタスクの達成を目的とした群行動の自律行動獲得実験について述べている。本章では、第4章で獲得した CPG に上位の意思決定機能として ANN を組み合わせることで、高度なタスクを達成可能な意思決定機能のアーキテクチャを提案し、最適化アルゴリズムを用いた複合行動(目標追尾、障害物回避等)の獲得実験を実施している。獲得された自律行動の検証に基づいて、本提案方法の有用性を明らかにしている。最後に、第6章ではこれまでの結果を取りまとめ、結論を述べている。

これを要するに、本学位論文ではアニメーションにおけるシンセテックアクターの行動獲得に対して、物理モデラーの GUI ソフトウェアを開発しモデル作成を簡易にすると共に、アクターに ANN と CPG を組合せた行動獲得制御方法をニューロエヴォリューションで学習させた行動獲得を提案し、それらの有効性を検証している。従って、本学位論文はアニメーション技術学および複雑系工学に寄与するところ大であり、博士(情報科学)の学位を授与するに値するものと認める。