



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Animated Robotの研究 : 紡錘型人工生物の遊泳獲得
Author(s)	中村, 啓太; Nakamura, Keita; 鈴木, 育男 他
Citation	精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 2009, 993-994
Issue Date	2009-08-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/51234
Type	journal article
File Information	N31_993994.pdf



Animated Robot の研究 -紡錘型人工生物の遊泳獲得-

北海道大学 大学院情報科学研究科 ○中村啓太, 鈴木育男, 山本雅人, 古川正志

A Study on Animated Robot -Acquisition of Swimming Behavior on Spindle Artificial Creature-

Hokkaido University Keita NAKAMURA, Ikuo SUZUKI, Masahito YAMAMOTO, Masashi Furukawa

We have studied an acquisition experiment for artificial creatures swimming in consideration of buoyancy and water drags as a virtual under-water environment based on the physics modeling. This enables the artificial creature like a rowing type of fish to acquired swimming behaviors. This study propose a simulation method for artificial creature like a spindle type of fish to acquire swimming behaviors. As a result of simulation, we verify that it is possible for the artificial creature like a spindle type of fish to acquire the swimming behavior in the under-water environment. Additionally we analyze the acquired swimming behavior.

1. はじめに

現在, 人工生物の行動を獲得するための研究が, 人工生命やロボティクスなどの分野をはじめとして, 様々な方法を用いて行われている [1][2]. これらの行動には, 水や空気などの環境に大きく影響される. しかしながら, これらの従来研究では, 水や空気などの抵抗による影響を考慮していない環境下で, 人工生物の行動獲得シミュレーションを行っていることが多い.

これまで著者らは, 視覚的によりリアルな人工生物の行動獲得を目的として, 水中環境の影響(浮力, 抗力)をモデル化して構築した計算量が小さい仮想水中環境を構築し, 構築した環境内で, 物理モデリングに基づく流体の影響を考慮した漕艇型の人工生物の遊泳獲得シミュレーションを行ってきた [3].

そこで本研究では, 紡錘型の人工生物の遊泳獲得を目的とし, これまで行ってきた計算量が小さい仮想水中環境下で, 進化計算を利用した, 流体の影響を考慮した人工生物の遊泳獲得シミュレーション方法を提案する. また, シミュレーション結果で獲得した遊泳の解析を行い, どのような方法で遊泳を行っているかを明らかにすることを旨とする.

2. 仮想水中環境の構築

本研究では, 特定の力を物体に作用させることによって, 直方体, 球, 三角メッシュで作られる剛体に作用する, 水による影響力である浮力と抗力(圧力抗力と摩擦抗力の和)のモデル化を行うことで, 計算量が小さい仮想水中環境を構築した. シミュレーションは, 各時間における物理法則に従った物体の移動量を計算して実施する. 構築した仮想水中環境は, 水の密度 $\rho[\text{kg}/\text{m}^3]$ を 998.203, 重力加速度 $g[\text{m}/\text{s}^2]$ を 9.80665 と設定している. 物理計算には, NVIDIA 社で提供している物理エンジン PhysX を利用した. PhysX は, 重力, 摩擦力, 衝突検出などの物理法則に従う, 剛性体, 弾性体などの物体のリアルタイムシミュレーションを可能にするが, 水による影響力をサポートしていないため, 浮力と抗力のモデル化の実装を独自で行った.

水による影響力は, 他にも, 揚力, せん断力, 及びうず抵抗などがあるが, 本研究で扱う人工生物に対して, 粒子との相互作用を考慮する必要があるため, これらの影響力は十分に小さいと仮定し, 本研究では, これらの力をモデル化する対象にしていない.

アルキメデスの法則に基づき, 水中にある物体に対して, 物体が排除した水の重量に等しい大きさの力を物体の質量中心に重力と逆向きに加えることで, 浮力のモデル化を行った. 浮力の大き

さ $F_B[\text{N}]$ は式 (1) で定式化した.

$$F_B = \rho V g \quad (1)$$

ここで, $\rho[\text{kg}/\text{m}^3]$ は水の密度, $V[\text{m}^3]$ は物体の体積, $g[\text{m}/\text{s}^2]$ は重力加速度を表す.

一方, 圧力抗力と摩擦抗力を求める方法で, 抗力を厳密にモデル化する方法は, 物体表面の圧力分布を求める必要があるため, 多大な計算時間を要する. そこで本研究では, 流体力学の分野で解析的に求められた流れの動圧 $\frac{1}{2}\rho U^2[\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}^2]$ と, 物体の基準面積 $S[\text{m}^2]$ を利用して, 抗力の大きさ $F_D[\text{N}]$ を式 (2) で定式化し [5], 物体の表面に均一に分布した求めた抗力を加えることでモデル化を行った.

$$F_D = C_D \frac{1}{2} \rho U^2 S \quad (2)$$

ここで, C_D は, 抗力係数とよばれるスカラー量であり, 物体の形状によって異なる. 本研究では, 文献 [4][5] から, 球の抗力係数を 0.47, 直方体の抗力係数を 1.50, 三角メッシュで作られる剛体の抗力係数を 2.10 とした. 基準面積 S は流れに垂直な平面への物体の投影面積を用いる.

3. 紡錘型モデルの遊泳獲得実験

前章で記述した方法で構築した仮想水中環境下で, 人工ニューラルネットワーク (ANN) と実数型遺伝的アルゴリズム (GA) を利用して, 紡錘型の人工生物の遊泳獲得実験を行い, 水中の影響力を受ける紡錘型モデルが光源に向かう遊泳が獲得できるかどうかを検証した.

3.1 紡錘型モデル

本実験で用いる紡錘型モデルは, 複数の剛体を繋げることで作成した (図 1). 作成した紡錘型モデルは, 4 つの同じ直方体 (縦 $3.0 \times 10^{-2}[\text{m}]$, 横 $2.0 \times 10^{-1}[\text{m}]$, 高さ $1.0 \times 10^{-1}[\text{m}]$, 密度 $998.2030[\text{kg}/\text{m}^3]$) と, 2 つの同じ球 (半径 $3.0 \times 10^{-2}[\text{m}]$, $998.2030[\text{kg}/\text{m}^3]$) で構成されている. モデルの目の位置には, 光源との角度を求める光センサを 2 カ所設置し, 胴体の位置に直方体を動かす自由度 1 のアクチュエータを関節箇所を設置した. これらの遊泳モデルは, アクチュエータを使って, 構成する剛体を動かすことで, 水の抵抗を利用した遊泳を可能にする.

3.2 紡錘型モデルの制御方法

本研究では, ANN を利用して, 紡錘型モデルのアクチュエータの出力の制御を行った. 各時間におけるアクチュエータ i に繋が

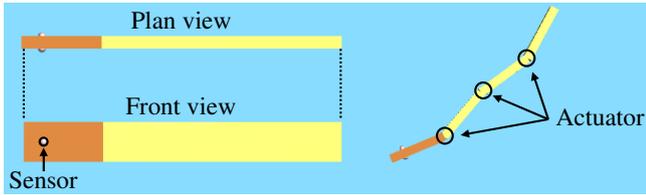


Fig.1 Spindle Model



Fig.2 Initialize Phase (0 step)

れている剛体間の相対角度 ($\theta_{xi}, \theta_{yi}, \theta_{zi}$), 各時間におけるアクチュエータ i に繋がれている剛体の相対角速度 ($\omega_{xi}, \omega_{yi}, \omega_{zi}$), 各アクチュエータ i の初期位相 (ϕ_i), 各時間における平面に投影したセンサ j と光源との角度 θ_α の正弦値と余弦値 ($\sin \theta_\alpha, \cos \theta_\alpha$), 各時間における正面に投影したセンサ j と光源との角度 θ_β の正弦値と余弦値 ($\sin \theta_\beta, \cos \theta_\beta$) を ANN の入力とし, 各時間におけるアクチュエータ i の理想角速度 ω_i の変数 (R, ω) を ANN の出力とした。

紡錘型モデルの各アクチュエータは正弦波形状に振動すると仮定し, ANN によって制御する各時間でのアクチュエータ i の理想角速度は式 (3) で定義する。

$$\omega_i = R \sin(\omega \Delta t + \phi_i) \quad (3)$$

ここで, Δt は 1 ステップの時間を, ϕ_i は予めアクチュエータ i によって定まっている初期位相を示す。

中間層のニューロン数は, 入力層のニューロン数と出力層のニューロン数の和とし, 3 層 ANN の結合重みをランダムな値で初期化を行う。この結合重みを実数型 GA で最適化し, 光源に向かう遊泳を可能にする。

3.3 遊泳獲得実験

本研究では, 実数型 GA を利用して, 紡錘型モデルを制御する 3 層 ANN の重み W_{mn} と, 各アクチュエータの初期位相 ϕ_i に対して最適化を行い, 紡錘型モデルが 5.5[m] 離れた光源に向かかって遊泳を行う学習を行った (図 2)。

個体数を 20 体, 1 ステップを 1/60[s] として, 1200 ステップ間, 紡錘型モデルのシミュレートを行い, 250 世代になるまで実験を行った。GA の評価関数は, 各ステップにおけるセンサの位置と光源との距離の累積値とし, この評価値を最小化するように学習を行った。淘汰手法として, エリート選択 (上位 5 個体) と評価値に基づくランク選択によって, 上位 5 体の複製を 2 個体ずつ生成し, 交叉と突然変異を行い, 更に, 下位 5 個体を新しく生成した個体と入れ替えを行っている。

3.4 実験結果・考察

紡錘型モデルが獲得した遊泳の映像を文献 [6] で示す。250 世代のエリート個体のシミュレーションの様子を 400 ステップ毎に表示した結果を図 3~図 5 に示す。250 世代のエリート個体の最初の 100 ステップ間での各アクチュエータの角速度をプロットしたものを図 6 に示す。実験結果から, 紡錘型モデルは学習を行うことで, 光源に向かう遊泳を獲得できることが確認された。更に, 図 6 から, 一番後ろのアクチュエータの出力を 0 にして推進力を稼ぎ, 紡錘型モデルの進行波を前から後ろに伝播させることで, 前方に遊泳することが明らかになった。



Fig.3 Simulation Result (400 step)



Fig.4 Simulation Result (800 step)



Fig.5 Simulation Result (1200 step)

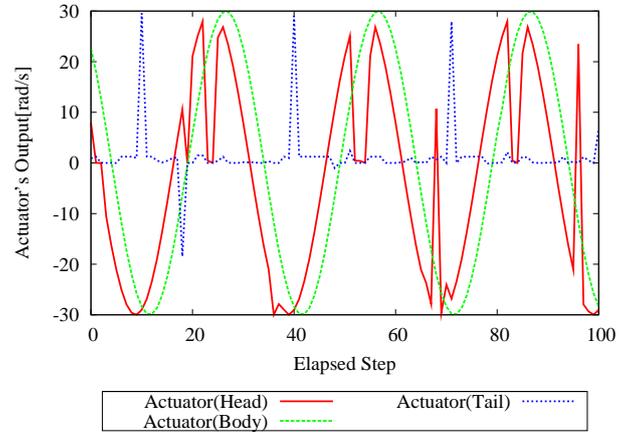


Fig.6 Three Actuator's Output

4. おわりに

本研究では, 物理エンジンを利用して物体に力を加える方法で構築した仮想水中環境化で, 進化計算を利用した, 水による影響力を考慮した紡錘型の人工生物の遊泳獲得シミュレーションを行った。シミュレーション結果から, 光源に向かう遊泳を獲得した。更に, 遊泳モデルのアクチュエータの出力の解析を行い, 進行波を前から後ろに伝播させることで, 前方に向かう遊泳を行っていることを明らかにした。今後の課題として, 現実中存在する様々な水生生物の遊泳獲得シミュレーションを行い, シミュレーションによって獲得した遊泳と現実中存在する遊泳との比較を行い, どのように異なるかを調査し, 実験条件 (制御方法や学習方法など) を変えることで, 人工生物が獲得する遊泳の特徴がどのように変化するかを調査することが挙げられる。

参考文献

- 1) D.Terzopoulos, X.Tu, and R.Grzeszczuk, "Artificial Fishes: Autonomous Locomotion, Perception, Behavior, and Learning", *Artificial Life*, vol.1-4, pp.327-351, 1994.
- 2) K.Sims, "Evolving Virtual Creatures", *Proceedings of the 21st annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp.15-22, 1994.
- 3) 中村啓太, 鈴木育男, 山本雅人, 古川正志, "Animated Robot の研究 -人工生物の遊泳-", 2009 年度精密工学会春期大会学術講演会, pp.881-882, 2008.
- 4) 徐拓, 鈴木育男, 山本雅人, 古川正志, "空気環境下における紙飛行機の飛行モデリングとその学習", 第 8 回複雑系マイクロシンポジウム, pp.5-10, 2009.
- 5) 松尾一泰: "流体の力学—水力学と粘性・完全流体力学の基礎", 理工学社, 2007.
- 6) Result Movie: <http://autonomous.complex.eng.hokudai.ac.jp/researches/physics-modeling/movies/nakamura/>