

3DCG におけるタコの腕と脚の動きの自動生成

Automated generation for motions of octopus's arms and legs in 3D-Animation.

石塚 真貴男[†]
Ishizuka Sakio渡辺 大地[‡]
Watanabe Taichi

1 はじめに

3DCG 技術やハードウェアの進歩に伴い、様々な表現が可能となり、多くの動物の動きが研究されている [1]。しかし軟体生物や虫などの複雑なメカニズムを持つ生物の動きに関する研究は少ない。そこで本論文ではタコが移動する際の動きに注目した。動きの特徴を把握するには観察に多くの時間が割かれ、またアニメーションにするという作業は制作時間やコストが大きくなる。

本研究ではタコの歩行、遊泳の際の一連の腕の動きを自動化する手法を提案する。タコの腕に擬似的な関節を入れ、任意の位置まで腕を移動させる手法として Inverse Kinematics(以下:IK)[2] の heuristic method を用い制御を行う。またタコの腕を比較的自由に制御するために、動作に最低限必要だと考えられる節を 3 つの関節群に分け、それぞれ擬似ターゲットの位置まで動かすことで動作を制御する。これらの機能を用いて自動生成したタコの腕の動きを実写映像と比較し本研究の有効性を検証した。

2 タコの生物学的な移動手法の分類

実際のタコの動きを観察した結果からタコの移動方法を歩行動作と遊泳動作に分類した。タコが地面などに接している場合、タコは地面を這うように歩行動作をする。移動するために各腕で地面を押し推進力を得る。移動方向としては、主に眼の向いている正面方向となるが、前後左右に移動することも可能である。このとき各腕の動きとしては、先端よりも主に根元に近い部分で地面をけるなどの動作をする。先端に伸びるほど、根元の動作の影響を受けている。次にタコが海中を漂っている場合、このときタコは腕を上下に動かし遊泳動作をする。移動するために各腕で水をかき泳ぐ。移動方向としては主に頭

の先の上方向へ向かう。各腕の動きとしては腕を広げた状態から水をかき、一直線な流線型となる。その後、中央に近い部分から持ち上げ、動作を繰り返す。

3 腕・脚の動きの生成手法

本章では、提案手法について詳細に述べる。

3.1 タコの 3D モデルの設定

タコの腕に擬似的な関節を入れる。本研究では関節の肉付けを簡易的に球体で表現する。本研究ではタコの腕の各関節を付け根側から $P_i (i = 1, 2, \dots, n)$ とした。この時 n は 3 の倍数である。 P_i を中心とする球の直径を w_i とするときそれぞれの球体の直径は式 (3.1) となる。

$$w_i = w_0(1 - 0.01i) \quad (3.1)$$

また P_i と P_{i+1} の幅である節の長さを l_i とすると、それぞれの節の長さは式 (3.2) となる。

$$l_i = \frac{w_i}{2} \quad (3.2)$$

各関節は付け根から先端に向けて階層構造を持たせる。

タコの腕を動かす方法としては IK の heuristic method を用いる。しかしタコの腕は関節を持つ生物に比べ関節の制限がない。そこでタコの腕を制御するために、観察の結果から動作に最低限必要だと考えられる節の関節群を 3 つに分割し、各腕に移動用の擬似ターゲットを設定した。擬似ターゲットは Q_1 、 Q_2 、 Q_3 とする。擬似ターゲットはそれぞれを原点とした相対的な座標系を持つ。それをローカル座標とし、ローカル座標は右手座標系を満たすものとする。また各腕の関節は P_1 から $P_{\frac{n}{3}}$ をグループ 1、 $P_{\frac{n}{3}+1}$ から $P_{\frac{2n}{3}}$ をグループ 2、 $P_{\frac{2n}{3}+1}$ から P_n をグループ 3 の 3 つの関節群に分け、グループ 1 を Q_1 へ、グループ 2 を Q_2 へ、グループ 3 を Q_3 へと任意の位置に IK を基に収束させる。設定したそれぞれの擬似ターゲットに対しても付け根部分から先端に向けて階層構造を持たせる。擬似ターゲットの移動はローカル座標系の z - x - y 軸まわりの変換により制御する。そのとき x 軸まわりの

[†] 東京工科大学大学院
Tokyo University of Technology Graduate School

[‡] 東京工科大学
Tokyo University of Technology

回転をピッチ角、y 軸まわりの回転をヘディング角、z 軸まわりの回転をバンク角とする。また IK によって得た各関節の回転角度に割合 $a_i (0 < a_i \leq 1)$ を設定し、回転の大きさを調節することで任意の関節を優先的に動かせるようにした。

3.2 歩行・遊泳動作の対応

前述した手法を用い歩行・遊泳動作の対応を示す。歩行動作は擬似ターゲットのヘディング角 α を回転させ制御する。タコの歩行動作は繰り返し運動なので 1 周期を 2π と設定し、時間を t としたとき回転量は Q_1 の α_1 に式 (3.3)、 Q_2 の α_2 に式 (3.4)、 Q_3 の α_3 に式 (3.5) となる。

$$\alpha_1 = \begin{cases} \frac{5}{18}t & (0 \leq t < \frac{\pi}{2}) \\ \frac{5}{36}\pi - \frac{5}{6}(t - \frac{\pi}{2}) & (\frac{\pi}{2} \leq t < \pi) \\ -\frac{5}{18}\pi - \frac{5}{18}(t - \pi) & (\pi \leq t < \frac{3}{2}\pi) \\ -\frac{5}{12}\pi + \frac{5}{6}(t - \frac{3}{2}\pi) & (\frac{3}{2}\pi \leq t < 2\pi) \end{cases} \quad (3.3)$$

$$\alpha_2 = \begin{cases} -\frac{4}{3}t & (0 \leq t < \frac{\pi}{2}) \\ -\frac{4}{3}\pi + \frac{20}{9}(t - \frac{\pi}{2}) & (\frac{\pi}{2} \leq t < \pi) \\ \frac{4}{9}\pi + \frac{2}{9}(t - \pi) & (\pi \leq t < \frac{3}{2}\pi) \\ \frac{5}{9}\pi - \frac{10}{9}(t - \frac{3}{2}\pi) & (\frac{3}{2}\pi \leq t < 2\pi) \end{cases} \quad (3.4)$$

$$\alpha_3 = \begin{cases} \frac{1}{3}t & (0 \leq t < \frac{\pi}{2}) \\ \frac{\pi}{6} - \frac{2}{3}(t - \frac{\pi}{2}) & (\frac{\pi}{2} \leq t < \pi) \\ -\frac{\pi}{6} - \frac{1}{3}(t - \pi) & (\pi \leq t < \frac{3}{2}\pi) \\ -\frac{\pi}{3} + \frac{2}{3}(t - \frac{3}{2}\pi) & (\frac{3}{2}\pi \leq t < 2\pi) \end{cases} \quad (3.5)$$

遊泳動作は擬似ターゲットのピッチ角 β を回転させ制御する。歩行動作と同様に 1 周期を 2 、時間を t とし、回転量は Q_1 の β_1 に式 (3.6)、 Q_2 の β_2 に式 (3.7)、 Q_3 の β_3 に式 (3.8) を与え制御する。

$$\beta_1 = \begin{cases} \frac{1}{9}t & (0 \leq t < \frac{\pi}{2}) \\ \frac{\pi}{18} - (t - \frac{\pi}{2}) & (\frac{\pi}{2} \leq t < \pi) \\ -\frac{4}{9}\pi - \frac{25}{18}(t - \pi) & (\pi \leq t < \frac{3}{2}\pi) \\ -\frac{\pi}{36} + \frac{1}{18}(t - \frac{3}{2}\pi) & (\frac{3}{2}\pi \leq t < 2\pi) \end{cases} \quad (3.6)$$

$$\beta_2 = \begin{cases} \frac{1}{6}t & (0 \leq t < \frac{\pi}{2}) \\ \frac{1}{12}\pi - \frac{2}{9}(t - \frac{\pi}{2}) & (\frac{\pi}{2} \leq t < \pi) \\ -\frac{\pi}{36} - \frac{4}{9}(t - \pi) & (\pi \leq t < \frac{3}{2}\pi) \\ -\frac{\pi}{4} + \frac{1}{2}(t - \frac{3}{2}\pi) & (\frac{3}{2}\pi \leq t < 2\pi) \end{cases} \quad (3.7)$$

$$\beta_3 = \begin{cases} \frac{1}{6}t & (0 \leq t < \frac{\pi}{2}) \\ \frac{\pi}{12} - \frac{1}{6}(t - \frac{\pi}{2}) & (\frac{\pi}{2} \leq t < \pi) \\ -\frac{2}{3}(t - \pi) & (\pi \leq t < \frac{3}{2}\pi) \\ -\frac{\pi}{3}\pi + \frac{2}{3}(t - \frac{3}{2}\pi) & (\frac{3}{2}\pi \leq t < 2\pi) \end{cases} \quad (3.8)$$

4 結果と考察

本章では、第 3 章で述べた手法を実装した結果を示すと同時に、本手法の有用性の検証を行う。

4.1 自動生成したタコの移動モーション

図 1 はタコが歩行動作する際の一連の動きである。本研究で自動制御した腕の動きは、目的位置への移動として比較的リアルで、スムーズな動きが実現できた。

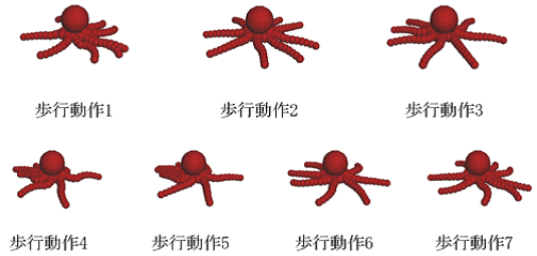


図 1 歩行動作

図 2 は遊泳動作の一連の動作結果である。



図 2 遊泳動作

4.2 現状での問題点

今回の研究ではタコの腕を 3 分割した関節群に IK を使い、擬似ターゲットを制御することでタコの腕の動作をあらわした。しかしタコの腕のねじる動作を考慮していないため改善の余地があるといえる。また歩行・遊泳動作の移り変わりについて考慮していないが、改善することでさらなるタコの動作の向上になると考える。

5 まとめ

IK の heuristic method は一般的に関節体を動かすには不向きな手法であるが、タコの腕に応用し IK のグループを 3 つ作ることでタコらしい動きが実現できた。またこの heuristic method は目的的位置への収束が速く、リアルタイムアプリケーションには効果的であり、タコのような多足、多関節体では有効であったといえる。

参考文献

[1] Petros Faloutsos, Michiel van de Panne, Demetri Terzopoulos, "Composable Controllers for Physics-Based Character Animation", SIGGRAPH, 2001.
 [2] Dante Treglia, 中本 浩, 川西 裕幸, 「Game Programming Gems 3 日本語版」, 株式会社ポーンデジタル, 2004.