

2M-06 ボイド法による任意形状を有する閉領域のモデル化

杉野隆三郎 (阿南工業高等専門学校・制御情報工学科)
櫛田雅弘, 宮本陽生 (阿南工業高等専門学校・一般教科)

1. はじめに

魚類とその群行動を実験的に調べる [1] のは困難であるため, 計算機によるシミュレーションを実施することが有効となる. これまでも各種のモデリングによる魚の群行動についての計算機シミュレーションの研究報告がなされている [2],[3]. これらの研究では, 魚などの運動性素子を質点として扱い個体運動のゆらぎや群行動における誘引性と反発性を運動方程式に組み込んで多体問題の常微分方程式系を数値的に解くという手法を選択している. この枠組みは, 群行動を力学の言葉を用いて説明することが可能で行動パターンの原因を説明するのに適しているが, 運動方程式の効果項として定義が不明瞭な行動要因をシミュレーション・スキームに取り入れるのが困難である.

本研究では, 既往の研究とは異なり魚ライクな運動性素子が展開する行動パターンを認知科学におけるエージェント系の枠組み [4] を用いて考察する. すなわち, 魚類の行動要因と個体運動の駆動力を局所的ないし大域的なルールとして定義することで, 運動方程式を用いることなく一連のルール群の発火・休眠というプロセスでエージェントの行動をシミュレーションするという人工生命的なアプローチを試みる. 具体的なモデル化の手法として, コンピューター・グラフィックスの分野で開発されたボイドモデルを採用し, 実際のエコ・システムで応用シミュレーションする際に問題となる任意形状を有する行動領域や水域中に存在する障害物などの一般的な取り扱いに着目したモデル化手法としてボイド法を拡張する.

2. ボイド法を用いたシステムの構成要素

C.W.Reynolds らの提案するボイドモデル [5] を, 運動し行動するある種の個体を擬似生命体として捉え, その行動規範を単純なルール群で定義し, それらの行動のダイナミクスを再現するモデリング手法と解釈し, この枠組みを一般化することで現実的な環境下における魚類などの比較的知能な生物の行動をシミュレーションするためのモデル化を展開する. 本研究で対象とする問題は, 複数個体の魚ライク・ボイドがその行動フィールドを規定する形状オブジェクトが配置さ

れた領域に放たれた場合における一般的な行動パターンであり, これをシミュレートする際のシステムのモデル化とその制約を構築することを目的とする.

本シミュレーション・モデルの構成要素は, 以下のようなフィールドとオブジェクトに分類される.

第1種のフィールド 無限空間 (非有界領域)

第2種のフィールド 制限された空間 (有界領域)

第3種のフィールド 障害物やトラップの存在する領域
(その他のオブジェクト)

第1種のオブジェクト 同一種, 他種のボイド
(仲間, 捕食者, 非捕食者)

第2種のオブジェクト 障害物, トラップ
(動的なもの, 静的なもの)

第3種のオブジェクト 餌 (捕食行動を誘発するもの)

第4種のオブジェクト 力場
(ベクトル場, ポテンシャル場)

第5種のオブジェクト フォース (領域内部, 領域外部)

以上のエレメントを用いて考察すべきシステムを構築していくことになる. ただし, 今回は閉領域 (第2種のフィールド) と領域内部に配置される形状オブジェクトによってのみ構成される第3のフィールドに1個体のボイドを投入する最も基本的なシステムを取り上げて, シミュレーション時のボイドの運動とシステムの整合性を満足するシステム制約を考察する.

3. 運動性素子 (ボイド) のモデル化

魚ライクな運動性素子をボイド法の枠組みとして取り扱うにあたり, いくつかのモデル化をする. 一つの運動性素子を体長 B_i を有する魚ライクボイドとし, このボイドの重心をユークリッド空間 R^2 中の一点 $P(x, y)$ とする. この点 P を中心とする半径 B_i の近傍をボイド近傍と定義して, この円集合が R^2 平面上を移動することでボイドの運動を考える. 本研究で対象とするボイドの行動変量は次の2つとする.

移動率 R^2 上の移動率ベクトルのノルム $\|M_V\|$

移動方向 R^2 上の移動率ベクトルのデカルト座標系に対する角度 ϕ

‘Modelling of Arbitrary Shaped Domain by Boid Method’

¹Ryuzaburo SUGINO; Department of Systems and Control Engineering, Anan College of Technology

²Masahiro KUSHIDA, ³Haruo MIYAMOTO; Department of General Education, Anan College of Technology

ここで、次のようなボイド移動に対する評価のモデル化を導入する。移動ベクトル M_V を有するボイドの行動がある時刻 T から時刻 $T + Lst$ まで進行して、点 P' まで移動するときこの運動は次式で評価できる。

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \|M_V\| \cos \phi \\ \|M_V\| \sin \phi \end{bmatrix} Lst \quad (1)$$

ただし、 Lst は最小観測時間とする。このモデル化にボイドの意志決定、誘発要因、嗜好性そしてゆらぎが与えられて、その行動がキャラクタライズされる。

4. ボイド行動ルールのモデル化

ボイドの行動ルールとして、魚ライクな擬似生命体の行動原理を以下のように定義する。

行動の意思決定 泳力の強弱 (行きたい, 迷い, 逃げたい)
方向の選択 (行きたい, 迷い, 逃げたい)

行動の誘発要因 危機, 捕食, 衝突

行動の嗜好性 壁と平行に泳ぐ (壁並進性)
仲間と群れる (群集性, 極性化)

本論では、ボイド挙動のフィールドや形状オブジェクトのエッジ領域における処理のモデル化に着目しているので、個体間の相互作用を誘起する行動は取り扱わない。意思決定は、移動しているボイドの状態をメディアンとした行動の気まぐれを主要なルールとして、 $\|M_V\|$ に一様分布、そして ϕ に正規分布のゆらぎを与えることにする。誘発要因は、水域のコーナーにトラップされる危機から回避することと領域の壁や形状の障害物に対する衝突を回避することの2点をルール化する。そして、嗜好性は壁並進性をルール化する。以上の行動ルールにはすべて偶然性とゆらぎの存在を仮定し、そのアルゴリズムをルールのアルゴリズムに組み込むことにする。

5. ボイドの移動に関するシステム制約

前節で述べたボイドモデルと整合性を保ちつつ、一般的な形状の領域や障害物が配置可能なモデリングを考えるため、計算空間の幾何学ならびにボイドの行動に次の規定を設ける。

- 規定1 ボイドは有限サイズの近傍を有する
- 規定2 形状オブジェクトの境界は R^2 上の曲線とする
- 規定3 任意の曲線は有限個の有向線分で構成される
- 規定4 時間進展は最小観測時間 Lst で進める

この規定の下で、システム制約を設計するために次の規準量を導入する。

規準量 L ボイドが存在するフィールドの代表長さ

これは、行動フィールドと運動のスケールの関係を相対化する規準量であり、これらにより次に示すシステムの制約が導き出される。

線分長さの制約 形状オブジェクトを構成する有向線分の最小値 $\min\{l_j\}$ はボイド近傍 B_l より小さくしない

形状サイズの制約 空間的变化サイズの最小値はボイド近傍 B_l より小さくしない

移動量の制約 進展ステップの最大移動量 $\max\{M_V \cdot Lst\}$ は B_l の半分を超えない

以上の制約をまとめると、次のような不等式になる。

$$2 \max\{M_V \cdot Lst\} \leq B_l \leq \min\{l_j, \min\{\overline{Q_k Q_l}\}\} \quad (2)$$

ただし、 $\overline{Q_k Q_l}$ は有向線分を構成する任意の2つの節点 Q_k, Q_l 間の距離とする。

6. 行動ルールのアルゴリズム

複雑なエッジ領域にボイドが侵入した場合に、有向線分の接合部が深い内角 ρ のコーナーにおいてトラップが発生するため、コーナーの近傍における行動規範をモデル化する必要がある。そこで、トラップ回避行動の変化を内角の状態に応じた中間遷移層 $\beta < \rho \leq \gamma$ を仮定し、コーナーの近傍における行動ルールの切り替えを次のようにアルゴリズム化する。

```

IF {  $0 < \rho \leq \beta$  } THEN
  線分から角度的に最も遠い方向にバック
ELSE IF {  $\beta < \rho \leq \gamma$  } THEN
  回避方向がわからなくなってバースト
ELSE IF {  $\gamma < \rho \leq \pi$  } THEN
  エッジの境界に沿うようにフロー
END IF

```

7. おわりに

本論で展開した魚ライクボイドのモデル化を指標にすることで、ユークリッド空間を用いたボイド行動解析システムの設計が楽にできることになる。今後は、現実的な魚群行動の問題解決システムとして FEM などによる流れ解析コードを第4のオブジェクトとして結合可能なボイドシステムのフレームを開発したい。

参考文献

- [1] 石川雅朗: ウグイの魚群行動特性に関する実験的研究, 河川技術に関する論文集, 第6巻, 土木学会, 2000
- [2] 三宮信夫: 魚群行動モデル, システム/制御/情報, Vol.37, No.12, pp.696-703, 1993
- [3] 杉野隆三郎: エッジ領域における運動性素子挙動のボイドモデルを用いたモデリング, 数理モデル化と問題解決シンポジウム論文集, Vol.2000, No.5, 情報処理学会, pp.99-100, 2000
- [4] 山田誠二: 適応エージェント, 認知科学モノグラフ8, 日本認知学会編, 共立出版, 1997
- [5] C.W.Reynolds: "Flocks, herds, and schools: A distributed behavioral model", *Computer Graphics*, Vol.21, No.4, pp.25-34, 1987