

自己組織化理論を用いた Boid の Predator-Prey アニメーション生成

氏名[†] 松延 直美* 蔡 東生** 水森 龍太***所属[‡] 筑波大学 理工学研究科* 筑波大学 電子情報工学系** 筑波大学 システム情報工学研究科***

1. はじめに

近年、CG の映像表現技術は格段に進歩している。しかし、CG アニメーションに関しては、振る舞いの決定を人の手に頼る部分が多いという問題がある。特に、生体の群れのように個体数が多く動きも複雑な場合、それぞれの動きを設定し、自然らしさを表現するのは困難である。

そこで本研究では、群れを作成する Boid アルゴリズム [1] を用いて定常状態の群れの動きを生成し、さらに、自己組織化臨界現象の代表的モデルである砂山モデルを用いて、敵に襲われ群れが崩れる非定常状態のアニメーションを作成する。

2. Boid

Boid [1] は、1986 年に Craig Reynolds によって考案された、群れの動きを生成するアルゴリズムである。

2.1 基本ルール

Boid は、基本的に以下の 3 つのルールから成り立つ。

1. 衝突回避（仲間との衝突を避ける）
2. 速度調和（仲間と速度を合わせる）
3. 群れの集中化（群れの中心に向かう）

3 つのルールは 1 から優先的に判断される。個々の物体にこれらのルールを与え、群れを成す様子を生成する。

2.3 加速度ベクトル

Boid の加速度ベクトルは、加速度を決定する要因の優先準備を決め、設定した最大加速度を超えない範囲で要因ごとの結果を加算していくことで決定する。加算途中で最大加速度を超えた場合、それ以降の要因は切り捨てて。

1	粘性抵抗, 推進力の計算
2	衝突回避
3	速度調和
4	群れの集中化
5	最適飛行速度に合わせる
6	平行に飛ぼうとする

表 1 Boid の加速度ベクトル計算の優先順位

3. 自己組織化臨界現象

自己組織化臨界現象 (Self-Organized Criticality) [2] は、1987 年に Bak, Tang, Wiesenfeld により提唱された。自己組織化臨界とは、多数の要素が相互作用している系は、外部から制御せずとも自ら臨界状態へ遷移するということである。系が臨界状態になると、系の小さな変化でも、全てのサイズと存続時間が系の多くの成分

Predator-Prey Animation of Boid adopted Self Organized Criticality System

[†]Naomi Matsunobe* DongSheng Cai** Ryuuta Mizumori***

[‡]Master's Program in Science and Engineering at University of Tsukuba* Information Sciences and Electronics at University of Tsukuba** Doctoral Program in Systems and Information Engineering at University of Tsukuba***

に影響を与え、激変に導く連鎖反応を起こす。

3.1 砂山モデル

砂山モデル [2] は、1987 年に Bak, Tang, Wiesenfeld が提案した確率的セルオートマトンで、自己組織化臨界現象を示す代表的モデルである。

3 次元砂山モデル

一辺の長さが L の 3 次元有限格子 $L \times L \times L$ の格子上的各サイトに (x, y, z) 、ランダムに整数値確率変数 $h(x, y, z)$ ($0 \leq h(x, y, z) \leq 5$) をふる。

$L \times L \times L$ の格子からランダムにサイト (x, y, z) を選び、そのサイトのブロック変数を 1 増やす。

$$h(x, y, z) \rightarrow h(x, y, z) + 1 \quad (1)$$

安息角に相当する閾値は $c = 5$ となる。あるサイトで $h(x, y, z) > c$ になると、砂山の崩壊が起こり、そのサイトの勾配は無くなり、周囲のサイトの勾配が増す。

$$h(x, y, z) > c : h(x, y, z) \rightarrow h(x, y, z) - 6$$

$$h(x \pm 1, y, z) \rightarrow h(x \pm 1, y, z) + 1$$

$$h(x, y \pm 1, z) \rightarrow h(x, y \pm 1, z) + 1 \quad (2)$$

$$h(x, y, z \pm 1) \rightarrow h(x, y, z \pm 1) + 1$$

場合によってはその周囲の勾配がさらに閾値 c を超えることになり、2 次的な崩壊が起こる。このように崩れが連鎖的に広がっていく。

例外として、閾値 c を超えた勾配を持つサイトが有限格子の境界に位置していたときには、その外側に伝わらないものとする。崩れが格子領域外にまで及んだとき、外側に流出した土砂は散逸する。

式 (2) のプロセスは、有限格子 ($L \times L \times L$) 上の、全てのサイトの変数 $h(x, y, z)$ が閾値 c 以下の値に落ち着くまで繰り返される。すべてのサイトが閾値 c 以下になったら、ふたたび式 (1) のプロセスを行う。

3.2 冪乗則

冪乗則は自己組織化とは密接な関係にあり、冪分布は自然界の至るところで見られる。

砂山モデルは冪乗則に従っている。崩壊のサイズ (s) とそのサイズの頻度 ($N(s)$) の関係は、

$$N(s) \sim \frac{1}{s^\tau} \quad (3)$$

と表すことができる。3 次元砂山モデルの場合、 $\tau \cong 1.37$ となる。

4. 砂山モデルの Boid への適用

Lorentz [3] は、「魚群の中の情報伝達は、一尾が何らかの危険を感知して逃げ出すと、この魚の驚きを感知することのできる全ての個体に彼と同じ気分が伝達することによって行われる」としている。本研究では、この「気分の伝達」に 3 次元砂山モデルを拡張したものを適用した。

4.1 拡張3次元砂山モデルとその適用

砂山モデルにおける各サイトを Prey に対応させ、砂の蓄積を、危機感の蓄積とみなす。そして、Predator に一番近い Prey に割り当てられている砂山モデルのサイトに1ずつ値を加えていく。但し、Predator のごく近くに Prey が複数いた場合、それらの Prey のサイト全てに1加えられる。敵の接近によって砂粒を受け取るということは、そのサイトの Prey が捕食者の気配を感じ、危機感を募らせることを表す。サイトの値が閾値を超えて崩れを生じたとき、そのサイトにあたる Prey の危機感は最高潮に達し、一定時間群れの引力に関わらず逃避行動をとる。このように、危機感は崩れによってさらに回りの Prey に伝染していく。

しかし、単純に砂山モデルの各サイトにそれぞれ Prey を割り当てるだけでは、微妙に位置を変化させつつ動く Prey の危機感の伝播を正確に表現することは難しい。そこで、砂山崩壊時に勾配が増すサイトを、崩壊したサイトに対応する Prey から一定範囲内にいて、かつ距離の近い Prey 6匹に対応したサイトとする。これを、拡張3次元砂山モデルとする。

図1は、 $50 \times 50 \times 50$ の3次元格子に10万回のなだれを起こし、サイズ s を x 軸、そのなだれのサイズに対する回数 $N(s)$ を y 軸にとった両対数軸グラフである。拡張砂山モデルのシミュレーションは、なだれの際に勾配が増すサイトをランダムに6つ選ぶことで行った。結果、砂山モデルでは $\tau \approx 1.37$ 、拡張砂山モデルでは $\tau \approx 1.47$ でほぼ直線となった。これより、拡張砂山モデルも概ね冪乗則を満たし、スケール不変の分布となっていることが分かる。

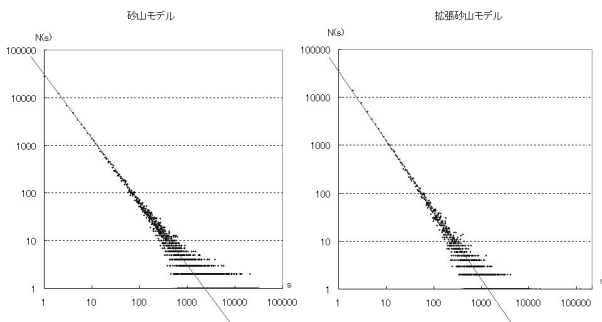


図1 崩壊頻度

この方法により、群れ内の危機感伝播が小規模な場合は微小の崩れを見せ、危機感伝染が大規模な場合は大きく崩壊する様子が表現できる。

5. 実行結果

敵が群れに近づくと1フレームあたり0~10匹がランダムに選択されて逃げるというアルゴリズムでは、Predator の接近と逃避行動に移る Prey の関係がちぐはぐで、敵の接近によって逃げているという状況をうまく表せない場合がある。また、群れの大きさを変えると、崩れの規模が変化するため、1フレームあたりの逃げる Prey の数を調整する必要がある。

しかし、拡張3次元砂山モデルを使用することで、敵の接近と Prey の逃避行動に関係が生まれる。さらに、拡張3次元砂山モデルはスケール不変な冪乗則に概ね従っているので、群れの大きさに関係なく、同じアルゴリズム

で同じような群れの崩れを表現することができる。

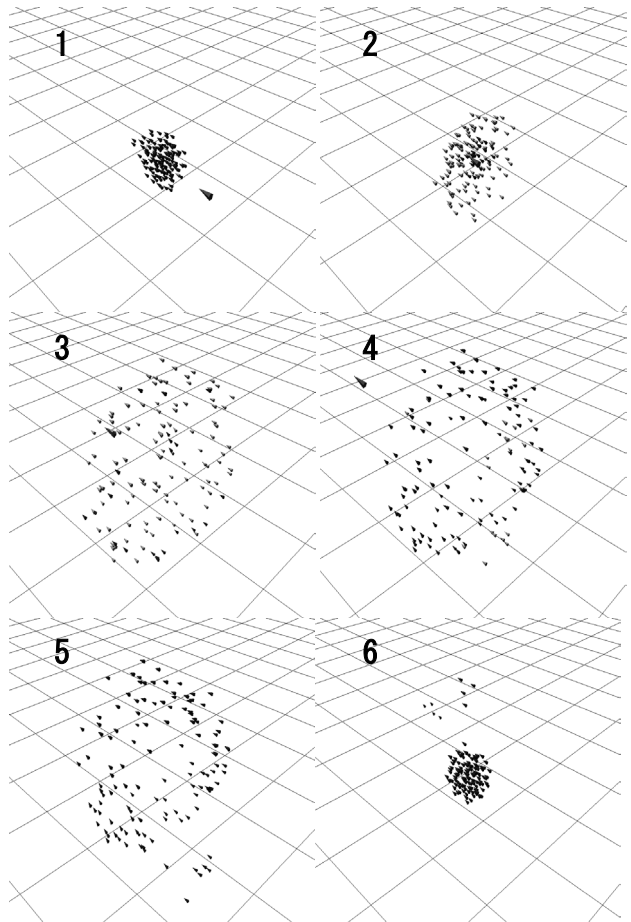


図2 定常状態から非定常状態、さらに定常状態へ

6. おわりに

定常状態の群れの動きを生成する Boid アルゴリズムと自己組織化臨界現象の代表的モデルである砂山モデルを用いて、群れが捕食者に襲われた際の動きを生成した。

今回は敵が単体だったが、複数の敵に追いかける場合など、敵の数やその動きに関する特徴を加えることで、違った動きを作ることが期待できる。また、砂山モデル以外のモデルを用いることで、新しい動きの作成も試みたい。

現在、群れの動きに対するはっきりした評価基準はないため評価は難しい。実際の群れの映像との比較や、主観評価実験を行う等、評価方法を考える必要がある。

参考文献

- [1] Craig W. Reynolds, "Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model", Computer Graphics, 21(4), July 1987, pp. 25-34.
- [2] Per Bak, Chao Tang, and Kurt Wiesenfeld, "Self-organized criticality", Physical Review A, Vol. 38, No. 1, pp364-374, July 1988
- [3] K. Lorentz, (日高敏隆, 久保和彦訳), "攻撃" 2巻, みすず書房, 1970, page 206
- [4] 高橋 圭, "自己組織化 Boid の研究", 筑波大学大学院 博士課程 工学研究科 修士論文, 2001.