

魚群を対象とした Herding Algorithm の誘導性能に関する一考察

星 宏侑[†] 飯村 伊智郎[†] 中山 茂[‡]

[†] 熊本県立大学総合管理学部 [‡] 鹿児島大学工学部

1 はじめに

2014年に Strömbom らは、1匹の牧羊犬が羊の群れを操り目的地まで誘導するアルゴリズムを解明した [1]. このアルゴリズムは Herding Algorithm (HA) と呼ばれ、ロボットによる家畜の誘導や避難誘導などへの応用を期待されている. また、HA は2次元平面を動く群れだけでなく、3次元 (3D) 空間を動く群れも誘導できることが明らかにされている [2]. このことから、HA の応用により、魚や鳥の群れを誘導する (水中) ドローンの開発も期待できる. しかしながら、HA で誘導可能な群れは羊の移動規則で動く群れであり、現実の3D空間を動く魚や鳥の群れを HA で誘導する場合、その誘導性能に差が生じると考えられる. そこで本研究は、3D空間を動く群れの中でも特に魚群に着目し、それらに HA を適用して誘導性能を評価した.

2 Herding Algorithm の概要

Herding Algorithm (HA) は、牧羊犬が羊の群れを目的地まで誘導するとき用いているアルゴリズムである [1]. 本研究は魚群を誘導対象とするため、本稿では HA を用いる存在を牧羊犬と表現せず、魚群に捕食の脅威を与える存在として「捕食者」と表現している.

図1は、HAにおける魚群に対する捕食者の行動を表している. N 匹の魚の群れ全体の重心 (GCM) と GCM から最も離れている魚との距離 d_f に応じて、捕食者は魚群を目的地まで誘導するために、2つの行動を切り替える. $d_f \leq R$ の条件を満たす場合、つまり全ての魚が重心から一定距離以内に存在して群れが密な状態の場合、目的地に対して GCM の後ろにある位置 P_d へ向かい、魚群全体を目的地へと誘導する行動 Driving を行う. また、 $d_f > R$ の場合、つまり群れから逸れた魚が1匹以上存在する場合、GCM に対して最も離れている魚の後ろにある位置 P_c へ向けて移動し、魚群をまとめる行動 Collecting を行う. ただし、捕食者と魚との距離が $3r_r$ 未満の場合、捕食者はいずれの行動も

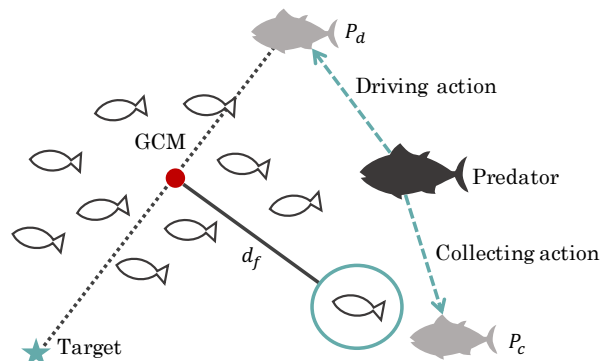


図1: 魚群に対する捕食者の行動

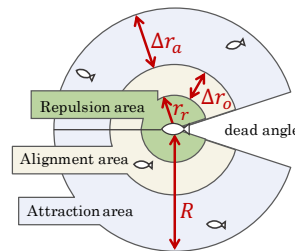


図2: 各魚の持つ3つの感覚領域

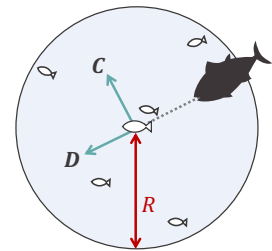


図3: 捕食の脅威がある場合の魚の行動

取らずにその場に静止する. ここで、 R は群れを成している各魚の視界の半径、 r_r は各魚が有する感覚領域の1つである Repulsion area の半径である.

なお、先行研究における HA は、 d_f と N の関数 $f(N)$ の値とを比較して Driving と Collecting を切り替えるが、本研究では、 d_f と各魚の視界の半径 R の値 (定数) を比較して2つの行動を切り替える.

3 魚群のモデルの概要

3.1 捕食の脅威がない場合

本研究で実装する魚群は、Couzin によって2002年に提案された3D空間を動く群れのモデルを用いる [3]. 図2に示すように、魚に近い方から半径 r_r の Repulsion area、幅 Δr_o の Alignment area、幅 Δr_a の Attraction area の、 60° の死角を伴った球状の3つの感覚領域を持っている. ここで、魚の視界の半径 R は、3つの感覚領域の幅の総和と等しい ($R = r_r + \Delta r_o + \Delta r_a$).

また、Alignment area と Attraction area の幅を表すパラメータ Δr_o と Δr_a の値を調整することで、以下に表す4つの群れの型が発現する.

A study on the performance for Herding Algorithm for fish school

Hiroyuki HOSHI[†], Ichiro IIMURA[†] and Shigeru NAKAYAMA[‡]

[†] Faculty of Administrative Studies, Prefectural University of Kumamoto

[‡] Emeritus professor, Faculty of Engineering, Kagoshima University

Highly Parallel 魚の向きが著しく揃っており、群れの中での魚の位置に変動が少ない。 Δr_o と Δr_a が両方とも非常に大きい時に発現する。

Dynamic Parallel 魚の向きが揃っており、群れの中での魚の位置が変動する。 Δr_o と Δr_a が比較的大きい時に発現する。

Torus 向きは不揃いだが、魚が渦を巻く群れ。 Δr_o が比較的小さく、 Δr_a が比較的大きい時に発現する。群れの重心に対して各魚の角運動量が高い。

Swarm 向きが不揃いな群れ。 Δr_o がほぼ0で、魚同士でほとんど向きを揃えない時に発現する。

3.2 捕食の脅威がある場合

魚が捕食者の脅威を感じた場合にとる行動は、2002年に Oboshi らによって提案されたモデルを参考にしている [4]。図3に示すように、魚が死角を考慮しない半径 R の視界の内側に捕食者を捉えた時、捕食を逃れるための逃避行動を行う。この場合、上述した Couzin らのモデルの行動規則に加えて、捕食者が進む向きに対して垂直な向きへ進む行動 C と、捕食者から直接逃れるために捕食者に対して反発する行動 D を行う。

4 実験方法および実験結果

4.1 実験方法

1辺が L の立方体の3D空間内に、 N 匹の魚の初期位置及び各魚の初期方向を、各魚が少なくとも1匹はそれぞれの感覚領域内に捉えられるようにランダムに与える。捕食者は (L, L, L) の位置に配置され、誘導すべき目的地は原点に配置される。なお、この空間は障害物の無い開かれた空間である。群れの状態を安定させるために500タイムステップ (ts) の準備期間をとった後、各 ts 毎に捕食者と魚を移動規則に従って相互作用させる。8,000 ts 以内に目的地へと誘導できれば成功、8,000 ts を超えると失敗として扱い、HAのシミュレーションを終了する。 $N \in [10, 50]$ の4つの群れの型にHAを適用して、各状況下で50回の計算機実験を行い、成功率と、HA終了時の平均 ts 数を調査した。

4.2 実験結果

Torus と Swarm では、 $N \in [10, 50]$ で成功率は100%であった。それに対し、群れの魚の向きが揃っている Highly Parallel や Dynamic Parallel では、失敗は $N > 41$ で計4回のみで、99.90%の高い成功率を示した。

図4は、4つの型の魚群に対する、HA終了時の平均 ts 数を表している。Highly Parallel の $N = 10$ の場合を除き、4つの群れの型に共通して、HA終了までの平均 ts 数は550 ts 以内であることが分かる。

図5は、4つの型の魚群に対する、HA終了時の ts 数の標準偏差を表している。魚の方向が不揃いな群れの型である Torus や Swarm に対する HA 終了時の ts 数

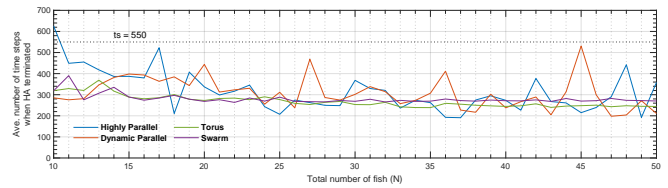


図4: HA 終了時の平均タイムステップ数

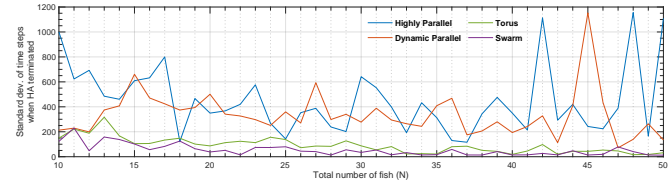


図5: HA 終了時のタイムステップ数の標準偏差

の標準偏差は、魚の方向が揃っている Highly Parallel や Dynamic Parallel に対する HA 終了時の ts 数の標準偏差と比較して小さいことが分かる。このことから、群れの魚の向きが不揃いな魚群の方が安定した ts 数で目的地まで誘導できると言える。

5 まとめ

本研究では、本来は羊の群れを誘導対象とする HA を、4つの型の魚群に適用してその誘導性能を評価した。魚の視界を考慮した HA を用いることで、 $N \in [10, 50]$ の4つの型全ての魚群を、99.95%の高い誘導率で目的地へと誘導することができた。今後、現実世界での応用のため、より大きなサイズの魚群や、捕食の脅威がある場合も視界に死角を有する魚など、より現実的なモデルの魚群に対する HA の誘導性能を調査したい。

参考文献

- [1] Strömbom, D., Mann, R. P., Wilson, A. M., Hailes, S., Morton, A. J., Sumpter, D. J. T. and King, A. J.: Solving the herding problem: heuristics for herding autonomous, interacting agents, *J. Royal Soc. Interface*, Vol. 11, No. 100 (2014).
- [2] Hoshi, H., Imura, I., Nakayama, S., Moriyama, Y. and Ishibashi, K.: Computer Simulation Based Robustness Comparison Regarding Agents' Moving-Speeds in Two- and Three-Dimensional Herding Algorithms, in *Proc. Joint 10th Int. Conf. on SCIS and 19th ISIS*, pp. 1319–1326 (2018).
- [3] Couzin, I. D., Krause, J., James, R., Ruxton, G. D. and Franks, N. R.: Collective Memory and Spatial Sorting in Animal Groups, *J. Theor. Biol.*, Vol. 218, No. 1, pp. 1–11 (2002).
- [4] Oboshi, T., Kato, S., Mutoh, A. and Itoh, H.: Collective or Scattering: Evolving Schooling Behaviors to Escape from Predator, in *Proc. the Eighth Int. Conf. on Artificial Life, ICAL 2003*, pp. 386–389 (2003).