

進化型スワームロボットシステムにおける行動生成過程の群れ行動解析

丸山成輝（富山大学大学院）・保田俊行（富山大学）・神代充（富山大学）

早川智洋（富山大学）・太田（岡山県立大学）

1. はじめに

Swarm Robotic System(SRS)は、単体のロボットでは達成が困難なタスクをロボット同士が協調することでタスクを達成するものである^[1]。SRS の制御器設計手法として Evolutionary Robotics(ER)がある。ERとは、進化計算により群れ行動を自動生成するものである。これまでのSRSではERなどの群れ行動の生成とタスク達成度合いに基づく評価がほとんどである。

本研究では群れ行動解析に焦点を当てる。動物行動学で用いられている解析手法を適用し、ERでの進化過程で観察される基本行動間の遷移を抽出する。

2. 解析手法

本研究では、解析手法としてSRSの基である生物の行動解析の一つである行動連鎖に着目する。まず基本行動間の遷移に対して χ^2 検定を適用し、遷移行列全体の独立性を評価する。そして独立でないと判断された場合、残差分析を用いてどの行動遷移に関連があるかを評価する。また、有意水準を5%とし、有意と判定される閾値と比較することで仮説検定を行う。

残差分析に用いる残差を d_{ij} 、観測値を O_{ij} 、期待値を E_{ij} 、行の合計を n_i 、列の合計を n_j 、全体の合計を N としたとき、 χ^2 、残差 d_{ij} の値は次の計算式を用いて求める。

$$\chi^2 = \sum \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}, \quad d_{ij} = \frac{O_{ij} - E_{ij}}{\sqrt{E_{ij} \cdot (1 - n_i/N) \cdot (1 - n_j/N)}}$$

3. 協調荷押し実験

実験ではロボットが行うタスクとして協調荷押しタスクを用いる。搬送物はロボット2台で協調することで押すことが可能である。また、搬送物までの移動経路に障害物、搬送物を運ぶ目標地点が配置されている。また、基本行動の判別を行うために、単位時間毎のロボットの出力から以下に示す行動タイプに分類する。

- a. 直進搬送, b. 旋回搬送, c. 搬送物接触, d. 直進検出, e. 旋回検出, f. 障害物接触, g. 探索

上記の行動タイプの分類から遷移行列を作成する。

本研究では、 χ^2 検定の閾値は $\chi^2_{\alpha} = 37.65$ 、残差分析の閾値は $d_{\alpha} = 1.96$ となった。

4. 解析結果

シミュレーションにおける序盤、中盤、終盤で観察された群れ行動を取り上げる。それぞれの段階で0, 3, 4個の搬送が出来ている。まず、各々世代の群れ行動にお

いて観測された行動タイプから遷移行列・期待値行列を作成し、 χ^2 検定を行うことで独立性はないと判断できる。さらに、期待値行列・遷移行列から作成した残差行列を表1~3に示す。このうち、進化序盤・進化終盤のシミュレーション風景を図1に示す。

ここで、残差分析の結果、関係性があると判断したものとして、残差行列のうち期待値5以上かつ $d_{\alpha} = 1.96$ 以上のセルを赤く着色している。

進化序盤では、表1よりa.直進搬送・b.旋回搬送の間の遷移に関連性があると判断されたが、d.直進検出・e.旋回検出の間の遷移に関連性は見られなかった。これは図1からもわかるように一定のロボットが偶然搬送物まで辿り着き運搬することを示している。しかし進化中盤では、表2よりd.直進検出・e.旋回検出の間とc.搬送物接触からb.旋回搬送の遷移に新たに関連性が見られ、ロボットが箱を検知し運搬の流れを学習することを示したと言える。また進化終盤では、表3よりa.直進搬送・b.旋回搬送, d.直進検出・e.旋回検出の間の遷移において残差の値が増加したため、この遷移の関連性が強まったと言える。さらに図1からもわかるように、この群れ行動の中ではロボットは障害物に沿って移動して搬送物に辿り着き、荷押し行動に移ることを示した。

5. おわりに

本研究では、動物行動学で用いられている解析手法を適用し、進化過程で観察される基本行動間の遷移の特徴を統計的に抽出した。今後は、拡張性・頑健性・柔軟性等のSRSの主な特徴に対して解析を試みたい。

参考文献

[1] Erol Şahin, Swarm Robotics: From Sources of Inspiration to Domains of Application, Swarm Robotics, pp.10-20, 2004.

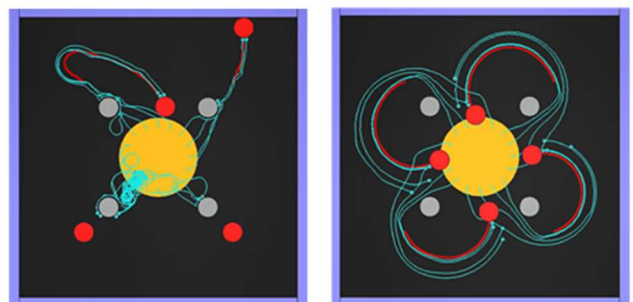


図1 シミュレーション風景（左：序盤，右：終盤）

表1 残差行列(進化序盤)

	a	b	c	d	e	f	g
a	-	13.48	0.39	-2.06	-4.05	-2.71	-3.19
b	14.78	-	1.69	-2.49	-3.89	-3.02	-1.92
c	-1.16	5.48	-	-1.10	-0.29	-1.68	-1.70
d	-2.18	-2.49	-1.10	-	7.08	-0.10	-1.39
e	-4.28	-3.56	1.57	7.62	-	3.36	4.77
f	-2.49	-3.80	-1.68	-0.73	5.27	-	5.39
g	-3.58	-1.86	-1.11	-1.54	4.18	6.15	-

表2 残差行列(進化中盤)

	a	b	c	d	e	f	g
a	-	20.82	-0.84	-3.57	-5.77	-2.03	-2.85
b	22.19	-	1.56	-4.67	-5.49	-2.34	-2.88
c	0.01	2.95	-	-2.39	0.37	2.89	-1.39
d	-4.04	-4.37	-1.99	-	15.37	-3.03	-2.52
e	-6.24	-4.77	0.04	12.66	-	0.42	10.28
f	-2.13	-1.47	3.49	0.01	-1.14	-	3.44
g	-3.46	-3.86	0.05	-1.23	8.45	5.46	-

表3 残差行列(進化終盤)

	a	b	c	d	e	f	g
a	-	32.79	-0.66	-7.74	-9.05	-3.13	-4.46
b	33.82	-	0.90	-8.11	-8.44	-3.19	-5.50
c	1.78	4.90	-	-1.98	-2.18	-0.69	-1.29
d	-7.74	-8.96	-1.98	-	27.71	0.02	-3.30
e	-9.72	-8.27	0.40	18.04	-	4.68	13.55
f	-3.13	-2.80	-0.69	3.28	-0.30	-	3.70
g	-5.38	-4.82	2.27	7.20	3.89	1.55	-