

クロコオロギの行動選択機構のモデリングに関する研究 行動選択モデルの掃引作業への応用の検討

Study on cricket's neuronal modeling for behavior selection

- Examination of application to sweeping task of behavior selection model -

学	藤井 喬 (東電大)	正	川端 邦明 (理研)
非	青沼 仁志 (北大)	非	佐倉 緑 (北大)
正	鈴木 剛 (東電大)	正	太田 順 (東大)
正	浅間 一 (東大)		

Takashi FUJII, Tokyo Denki Univ.
Kuniaki KAWABATA, RIKEN,
Hitoshi AONUMA, Hokkaido Univ.,
Midori SAKURA, Hokkaido Univ.,
Tsuyoshi SUZUKI, Tokyo Denki Univ.,
Jun OTA, The Univ. of Tokyo,
Hajime ASAMA, The Univ. of Tokyo

An insect generates an environmental adaptive behavior by a small brain. The authors think that such ability for environmental adaptation brings useful knowledge for behavior control of a multi-robot system. Therefore, ability for environmental adaptation of a cricket was modeled as a behavior selection model. Such ability for environmental adaptation of insects is not yet elucidated enough. Therefore, in this study, the authors discuss about an engineering application of proposed cricket's behavior selection model. In particular about this paper, proposed model was discussed and compared with other behavior selection model efficiency as an example in sweeping task.

Key Words: Cricket fighting behavior, Mobiligence, Social adaptation

1. はじめに

生物の形成する社会はヒトから昆虫まで社会性の複雑さは多様であるが、共通している点は個体間相互作用に基づいて社会の形成がボトムアップになされるという点である。つまり、身体・脳・環境のそれぞれの相互作用およびその循環に基づいて社会形成がなされると考えることが出来る[1]。特に昆虫脳は、神経系全体でも約 10^6 個の細胞数で構成され、ヒトの脳における神経細胞数約 10^{12} 個に比べると非常に少ないにもかかわらず、優れた環境適応能力を有する。このため生物の社会適応的な行動にヒントを得た生物模倣(バイオメティクス)研究が行われている[2]。また近年、生物の神経系での情報処理原理について議論が始められており[1]、生物の社会適応的な行動選択を発現する神経系の動的な情報処理メカニズムについても研究され始めている[3]。

一方で、一般的に複数ロボットシステムに期待されることは、単一のロボットでは達成困難な作業を行うことや作業効率向上等であり、多様かつダイナミックに変化する環境に適応するためのシステム制御手法に関する研究開発が行われている。これらのうち、サブシステム間の相互作用に基づいて秩序ある行動を発現させる自律分散システムや創発システムといった考え方・アプローチがある。これらの研究分野では生物の社会のようなロボタスつかつ柔軟なシステムをいかに設計するかが課題となっている。そこで、本稿ではこれまでに我々が構築してきたクロコオロギの神経生理モデル[4]の有する個体間相互作用に基づいた行動選択機構の複数ロボットシステムへの応用について議論する。我々が対象としているクロコオロギの闘争行

動(図 1)は、餌やメスを巡る争いであり、縄張り争いとしての特色が強いと考えられている。そのため複数ロボットシステムとしては、相互作用に基づいたボトムアップな作業領域の分担を実現することが期待できる。



Fig.1 Cricket Fighting behavior

複数ロボット間の作業領域分担を行うことで効率化が期待できる作業の一例として掃引作業がある。掃引作業に関する従来研究の主流は、環境情報が既知の場合における経路計画を行うものである[5][6]。しかしながら、これらの研究ではオフラインによる経路計画等を行っているため、未知環境における掃引作業にそのまま適用することが出来ない。そこで、クロコオロギの他個体との相互作用による行動選択の変化に着目し、複数ロボットによる掃引作業の動作アルゴリズムとしての応用を考える。

そこで、本稿では未知環境を探索するような複数ロボットの典型的な作業の例である掃引作業に適用し、計算機シミュレーションにより提案モデルがもたらす効果について考察を行う。

2. クロコオロギの神経生理モデル

ここで、我々が研究を行ってきたクロコオロギの闘争行動に関する神経生理モデルについて概説する。

2.1 クロコオロギの個体行動変容

オスのクロコオロギは他のオス個体と遭遇し、オスフェロモンを感受すると闘争行動を発現することが知られている。この闘争行動はフェロモン感受により必ず発現する行動であると考えられてきた。ところが最近の研究では、闘争に負けた個体の内部状態(オクトパミン)のレベルは低くなり60分程度の間、他個体に対し逃避行動を示すことが報告されている[7]。このような行動の切り替えは、個体間相互作用の結果に基づいて可塑的に形成される適応的行動選択と捉えることができる。

2.2 クロコオロギの群行動変容

クロコオロギは個体密度に応じて群行動を変化することも報告されている[8]。具体的に、触角が他個体と常に触れ合ってしまうような高密度環境(12×9[cm])では各個体は活発に行動しなくなる。一方で、低密度環境(30×22.5[cm])と呼んでいる広い環境では各個体は活発に行動する。また、高密度と低密度の中間程度の密度(20×15[cm])の場合、一部の個体のみが活発となり、残りの個体を追い回すような状態が観察される。このことは環境密度の変化に伴う相互作用頻度の変化によって適応的に行動変容を実現していると考えられる。

2.3 クロコオロギ神経生理モデル

我々はこれまでに上記の個体・群レベル双方のクロコオロギの行動変容を矛盾なく再現可能なモデル構築を行い、妥当性を確認してきた[4]。我々がこれまでに提案してきたモデルを図2に示す。

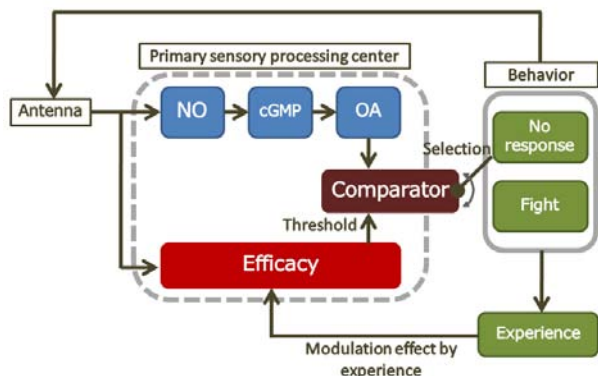


Fig.2 Proposed neurophysiologic model

このモデルではオクトパミン(OA)を仮定した内部状態と触角からの感覚入力感受性により行動選択が行われるものである。概念的には、感覚入力感受性値が高い場合はNO/cGMP-OAシステムが駆動して闘争行動か逃避行動を選択し、感覚入力感受性値が低い場合は無反応となる。これにより個体・群レベルの双方の適応行動を矛盾なく説明可能となっている。さらにシミュレーション実験から、個体の発現する多様な行動の生成には触角からの感覚入力感受性が重要な要素であることが示唆され、感受性の効果を持たせない個体は、クロコオロギの挙動を再現しないことがこれまでの研究で分かっている。

以上のことより、構築モデルは触角からの感覚入力感受性を持たせることにより行動選択を調節する特徴を持ち、また、上述した通り、クロコオロギの闘争行動は他個体との縄張り争いのような特徴を持つことが示唆されている。これらのことから、クロコオロギの行動選択モデルにより個体間相互作用に基づき協調的な作業領域の分担がボトムアップに形成されることが期待できる。

3. 複数ロボットによる掃引作業への適用

ここでは提案モデルの掃引作業の作業時間、移動効率に

ついて議論する。特に触角からの感覚入力感受性の有する行動選択閾値の評価基準を動的に変化させる特性について注目するため、以下の条件に設定した。

- 手法1(提案手法):
ロボットの近傍8セグメントにセンシング領域を持ち、他のロボットをセンシング領域内で検知した場合、相互作用に基づいた行動選択を行う。(図2:左)
- 手法2(比較対象手法):
手法1のモデルから触角からの感覚入力感受性(Efficacy)の要素を取り除いたモデルにより行動選択を行う。(図2:右)

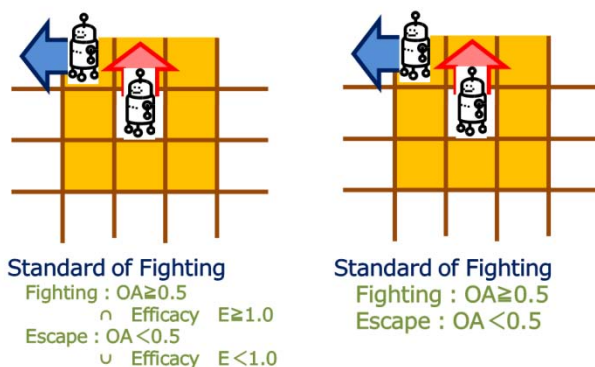


Fig.3 Behavior of the agent
(Left: Method 1, Right: Method 2)

以上の2種類の移動アルゴリズムを適用した場合の実験結果を比較した。

実験の作業環境の設定は以下の通りとする。

- 1セグメントを10×10[pixel]で表現し、四辺を障害物で囲われている正方形の環境を想定
- 環境サイズが10×10(高密度環境)、20×20(中密度環境)、40×40セグメント(低密度環境)の3種類の環境での作業を比較
- 試行回数は各環境サイズでそれぞれ50試行行う
- ロボットは10×10[pixel]で表現し、1ステップに1セグメント移動することが可能
- 環境に投入するロボット台数は4台
- 環境を掃引し終えた時点で作業終了

上記の環境において各手法を適用した際の掃引終了までの作業時間を図4に示す。

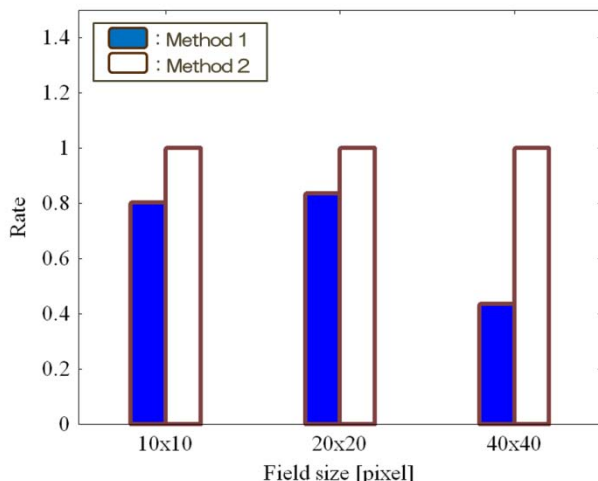


Fig.4 Comparison of the achievement rate of the sweeping

図4では手法2の平均掃引ステップを基準として、手法1と手法2の作業達成時間の比率を表している。

実験結果より、手法1の作業時間は手法2と比較し、高密度環境では80.4%、中密度環境では83.7%、低密度環境では43.4%となり、作業時間が減少することが確認できた。このことより、環境を変化させた場合の掃引作業において触角からの感覚入力感受性が存在することで効率が上がることがいえる。

引き続き、作業中のロボットの移動効率を比較したものを図5に示す。ここで、ロボットの移動効率は評価関数PIを用いて評価する。評価関数PIは式(1)のように表す。

$$PI = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n} / T \quad (1)$$

S_i は各試行においてロボットが探索した移動量を、 T は掃引終了まで要したステップ数を、 n は投入するロボット台数をそれぞれ表す。式(1)ではロボットの単位時間当たりの平均移動距離を評価値とし、移動効率を表している。

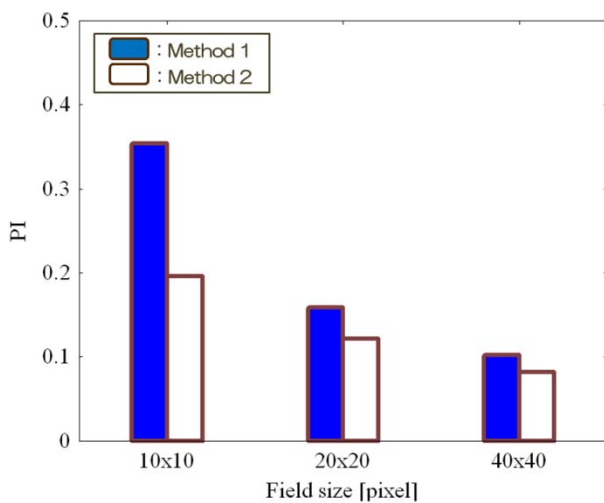


Fig.5 Evaluation in each environment by evaluation function PI

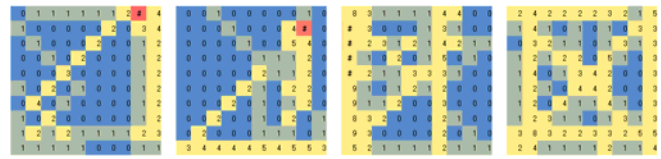
図5より、手法1の各ロボットの移動は手法2の移動効率と比較して高密度環境で180.7%、中密度環境で130.6%、低密度環境で125.6%高い評価値を得ており、効率的に環境中を探索していることが分かる。これは、手法1が相互作用に基づいて内部状態およびその評価基準を動的に調節することで移動方向を決定したため環境に応じた効率の良い移動が実現されたと考えることが出来る。これにより掃引作業の移動効率という観点からも触角からの感覚入力感受性を考慮することが重要であることが示唆された。

4. 提案モデルの移動特性についての考察

3節において、提案モデルに基づいた行動選択を行うロボットの方が作業効率の向上が確認出来た。本節では、提案モデルの掃引面積を観察することで、提案モデルの作業効率について考察を行う。

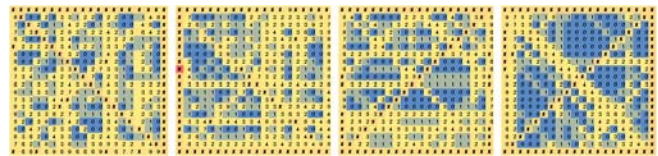
ここで、提案モデルを用いて実験を行った際の各ロボットの掃引面積を表したものを図6,7,8(図6:高密度環境, 図7:中密度環境, 図8:低密度環境)に示す。また、図では投入した4台の各ロボットの実験結果をそれぞれ記載している。図は掃引終了時間が平均的な値に近い時のものをサンプルデータとして用いている。図では各ロボットが各セグメントを通過した回数を計数しており、通過の度合いに応じて色分けをしている。具体的には、通過回数が0回の時には青、1回の時には水色、2~9回の時には黄色、

10回以上の時には赤と色を付けている。



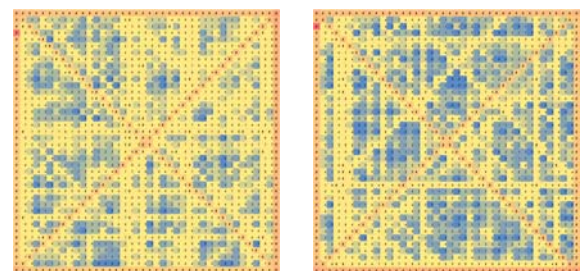
Robot A Robot B Robot C Robot D
Fig.6 Sweep area in high density(10×10[pixel])

高密度環境(図6)ではRobot A, Robot Bのロボットは環境中をほとんど掃引せずに作業を終了していることが確認できる。また、Robot Cは環境の右半分をほとんど掃引していないことが確認できる。このことより提案モデルは相互作用によって個々が行動する領域を分ける結果となっており、効率の良い作業を実現したと考えられる。

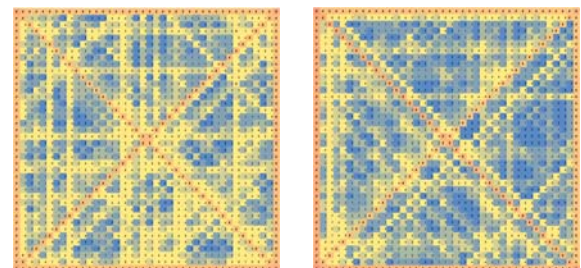


Robot A Robot B Robot C Robot D
Fig.7 Sweep area in middle density(20×20[pixel])

中密度環境(図7)でも同様に各ロボットは環境中で掃引せずに終える領域が存在することが確認出来るため、相互作用によって効率の良い作業を実現したと考えられる。



Robot A Robot B



Robot C Robot D

Fig.8 Sweep area in low density(40×40[pixel])

低密度環境(図8)でも同様に、各ロボットにおいて掃引していない領域が存在し、個々が行動する領域を分ける結果となった。

以上の結果と3節で述べた評価関数PIによる評価をみると、高密度環境での作業効率が特に向上する。これは他個体と相互作用する機会が多い方がクワコオロギの行動の特性をより行動に反映させることが可能になっていると考える。つまり他のロボットとの間隔が密である環境や状況に関して、ロボット間の相互作用により環境に適応した行動選択を実現可能であることが確認された。

5. おわりに

本稿ではクロコオロギの神経生理モデルを用いた複数ロボットシステムの動作生成について、特に掃引作業を例に工学的な観点で議論した。実験からは他個体との相互作用による行動選択の変化によって環境中を効率よく掃引することが出来ることを確認した。特に、他のロボットと相互作用する機会が多い環境においては触角からの感覚入力感受性を持たないモデルと比較して高い有用性を持つことが確認できた。

今後は今回用いた他の比較対象を用いて提案手法の有用性を詳細に検討していく。

謝 辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現 - 移動知の構成論的理解 -」によって行われた。

参考文献

[1] 高草木薫 他: “移動知：行動からの知能理解 - 構成論的観点と生物学的観点から”. 計測と制御, Vol.44, No. 9, pp. 580-589, 2005.

- [2] 渡辺 桂吾 他, バイオミメティックマシンとロボット：ファジィ推論技法による接近(<小特集>制御工学への知能科学からの接近) 日本シミュレーション学会 Vol.26(1) (2007) pp.26-32
- [3] 浅間 一 他, 移動知と社会適応, 計測と制御 Vol.46, No.12 (2007) pp.885-886
- [4] 藤井喬 他: “クロコオロギの行動選択機構のモデリングに関する研究 - 喧嘩行動実験による神経機構モデルの考察 -”, 第14回ロボティクスシンポジウム講演予稿集, pp.35-41, 2009.
- [5] 倉林大輔 他: “掃引作業における移動ロボット群の行動計画”, 日本ロボット学会誌, Vol.16, No.2, pp.181-188, 1998.
- [6] 深澤祐介, 他: “格子点配置を用いた自律移動ロボットによる環境掃引経路計画”, 計測自動制御学会論文集, 39, 11, p.1054/1060, 2003.
- [7] M.Sakura, et al.: “Fighting experiences modulate aggressive and avoidance behaviors in crickets against male cuticular substances.”, The 2nd International Symposium on Mobiligence, pp243-246, 2007 .
- [8] 足利昌俊 他: “コオロギ集団における多様の振る舞いのモデル化”, 第18回自律分散システム・シンポジウム講演予稿集, pp.189-194, 2006 .