

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K11506

研究課題名(和文) ゲーム理論と感性パラメータ法を用いた群ロボット制御に関する基礎研究

研究課題名(英文) Study on Management System for Swarm Robotics on Game theory and Kansei parameter method

研究代表者

柏崎 尚也 (Kashiwazaki, Naoya)

東京電機大学・理工学部・教授

研究者番号：60204385

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：ロボットの個性データを感性パラメータから作り、感情などの表面に現れる感性情報へ変換するアルゴリズムを提案し、実際に相互コミュニケーションについてシミュレートすることができた。それに基づいて、ゲーム理論を用いた協調性の取り方について検討し、協調行動を引き出すための相互情報交換についてモデリングを行った。

実機の作成を行い、測位機能、カメラによる画像処理を備えるものが作成できたが、当初予定していた協調動作確認テストを行うには至らなかった。今後、感性情報データの詳細を決定しながら、ロボットの協調動作と情報交換方法について、モデル的な検討を踏まえて進めていく予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

群ロボット工学は、多くの比較的単純なロボットから構成されるロボットシステムの協調動作に関して、物理的な設計と実装すべき振る舞いの設計の研究を中心としており、小型で同一性能の集団として研究されていることが多いが、本研究の独創的な点は、感性データ列とキー列を採用することにより単純化された系で、個々のロボットに個性を持たせることができる点で、個性を持ったロボット群におけるゲーム理論の応用と捉えることができる。さらに、ロボット間のコミュニケーションを実験的に扱うことで、多体における情報集約についての知見を得ることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：We proposed an algorithm that creates individuality data of a robot from Kansei parameters and converts it into Kansei information that appears on the surface such as emotions, and was able to actually simulate mutual communication. Based on this, we examined how to take cooperation using game theory, and modeled mutual information exchange to elicit cooperative behavior.

The actual machine was build, and the one equipped with the positioning function and image processing by the camera are included but the originally planned cooperative operation confirmation test could not be performed. In the future, while deciding the details of the Kansei information data, we plan to proceed with the cooperative operation for robots and the information exchange method based on a model study.

研究分野：感性情報学

キーワード：感性情報学 群ロボット ゲーム理論

## 1. 研究開始当初の背景

申請者が考案しこれまで研究してきた感性パラメータ法は、感性状態をデータ列として表現できる手法であり、そのデータが相互に影響して感性状態を形成していると捉えることができた。DNAのようにデータ列が与えられ、キー列によって情報が選択される構成は特別のことではない。一方、ロボットの研究では、完全性が求められるが、感性行動のような個性を容認した研究は、AI技術が高度化するのを待つ必要があると思われた。しかし、感性パラメータによるデータ列がAI技術の結果から導き出される中間ノードと似た性質であることから、擬似的に個性を表現でき、集団行動におけるそれらの挙動を解析できるのではないかと思いついた。

### (1) 関連する国内外の研究動向と本研究の位置付け

- ・集団心理学に基づく群行動に関する研究は古くからなされている。
- ・社会や自然界における複数主体が関わる意思決定の問題や行動の相互依存的状況を数学的なモデルを用いて研究するゲーム理論は、戦略的な事象のみならず経済学的な応用が数多くなされている。
- ・群ロボット工学は、多くの比較的単純なロボットから構成されるロボットシステムの協調動作に関して、物理的な設計と実装すべき振る舞いの設計の研究を中心としており、小型で同一性能の集団として研究されている。
- ・本研究の独創的な点は、感性データ列とキー列を採用することにより単純化された系で、個々のロボットに個性を持たせることができる点で、個性を持ったロボット群におけるゲーム理論の応用と捉えることができる。
- ・さらに、ロボット間のコミュニケーションを実験的に扱うことで、多体における情報集約についての知見を得ることが期待できる。

### (2) これまでの研究活動

- ・位置検出と相互認識を可能とする安価な群ロボットの開発を行ってきたが、特に位置検出の精度が問題となり時間を要した。
- ・感性パラメータに関する研究を行ってきて、改良した感性パラメータにおいて実際の成果を上げてきた。
- ・H22年度～H28年度の間、学園理事、学部長の任につきマネージメントに専念したため、研究活動がかなり制約されていた。

## 2. 研究の目的

研究のはじめでは、群ロボットの個体は実機を作成せずにシミュレーションで解析を行う。異なった個体特性は、感性調査に用いた感性パラメータを用いる。感性パラメータの個々のデータは特定される意味を持っておらず、複数の感性パラメータに重み関数を持ったキー列を作用させることによって事象と関連付けられる。これは、ニューラルネットワークによる中間ノードに似た働きと考えるとよい。ニューラルネットワークとの違いは、学習によって形成されたものではなく、複数のオブジェクトに対するノンバーバルなアンケート調査から統計処理されたデータ列と因子分析から重み付けで得られたキー列であるということである。これまでの研究で、あるオブジェクト（商品など）に対して複数の被験者のデータを統計処理することでオブジェクトに由来した感性パラメータデータ列を、また一人の被験者に対して標準的な感性パラメータを有する複数のオブジェクト（これを標準オブジェクトという）を評価してもらった場合には評価者個人に由来する感性パラメータデータ列が得られることがわかっている。この感性パラメータは、実際に商品の感性的な分類などで実績があるので、人間に似た個性表現ができるものと考えた。

## 3. 研究の方法

### 3-1. シミュレーション上でのロボットの設定

まず、ロボットは移動することができ、色のついたボールをゴールまで輸送するというミッションを前提として、ロボット class の設定を行う property は、感性データからキーによって生成される。複数の個体間でコミュニケーションするためのプロトコルを決定する。コミュニケーションには、order, proposal, ask, allow, deny, answer などのコマンドを設ける。自分および自分以外のロボットの位置情報は、look コマンドで個体ごとに得ることができるようにする。コミュニケーション頻度、色嗜好などは感性データから導き出され、色嗜好の度合いから稼働能力が決定されるような、行動に関するキー列を決定する。個体間でコミュニケーションを行

ってミッションをスタートできるようにプログラミングする。

### 3-2. 二個体間のコミュニケーションモデルの構築と動作解析

二つの個体間でコミュニケーションをして、1 ボールの色を選択する、2 ボールをゴールまで運ぶ、というミッションを遂行する手順を見出す。お互いの制御値は直接コミュニケーションせず  
にミッションを遂行させるための条件を、ゲーム理論の応用によって解析する。

### 3-3. 多体間のコミュニケーションモデルの構築と動作解析

多体におけるミッション遂行については、1 リーダとなるロボットを特定した場合、2 リーダ不在で相互コミュニケーションによる場合について、ミッション遂行の条件を解析する。1 の場合は、スター型ネットワークの理論を適応し、2 の場合はメッシュネットワークの理論を適応する。また、どちらの場合も隣接個体間および間接隣接個体間での情報交換について情報量と効果における最適なルールを見出す。隣接個体間での相互理解のデータ構造を再帰的に間接隣接個体間へ伝達すると相互に保有するデータ量は膨大になってしまう。メッシュネットワークの先行研究を参考にデータの分散およびミッションの分担を効率よく行う条件を検討する。

### 3-4. 実機への搭載による検証

シミュレーションによって、コミュニケーション手段および情報交換の手法が解析の後、実機を作成して実際の検証を行った。位置検出の方法およびロボット間相互認識の方法は、現在検討を始めており、およそ完成しつつあるので、シミュレーション 実験の結果を個々のロボットに搭載して運用を試みる。実機においては位置の誤差、通信エラーなどの外乱が想定され、それらをどのように対応するかが重要と考えている。シミュレーション実験と並行して実機の開発を進めていく。実際には、ノードの位置が動く場合に隣接個体が入れ替わる現象が生じる場合、実機の場合は通信における切り替えがスムーズに行えるかという問題があり、これを解決してシミュレーションの場合と同じ環境を整える。

## 4. 研究成果

### (1) ロボットの構成方法

Izard が提唱した、人間の表情形成による感情分類[11]から、感情は「喜び」「哀しみ」「怒り」「嫌悪」「恐怖」「罪」「恥」「興味」「驚き」の9つに分類されるが、感性処理システムに関する先行研究[12]では感情語はラベルとファジィ数によるベクトルデータで表現している。この表現方法はイメージコードと呼ばれる。これらの手法は基本的に人間の初級レベルの感情「喜び」「哀しみ」「怒り」「嫌悪」など、物事に対する評価「暑い」「赤い」「甘い」「重い」などから一定的な要素の割り当てで中級レベルの感情「ロマンチック」「エレガント」「地味な」「クール」などに影響を与えている。さらに高レベルの「かわいい」「カッコイイ」「セクシー」「きれいな」を生み出すことがある。

本研究では群ロボットシステムにおける一つの個体ロボット a に一次元感性データリスト[図 1]を与えるとし、隣接するロボット b からの通信要求により、一つのタスクに対してロボット a の実行意思を得るため情報伝達の要求を送る。ロボット a はそれに応じて自身の感性データリストから一定的な因子を結合し、その結果をロボット a の個性として実行意思とともにロボット b に返す。ロボット b はその結果を記録し、ある分布でロボット a の従順さ、行動性、嗜好性などをロボット a の個性としてデータベースに記録する。その過程を繰り返すことにより、ロボット b はタスクに対してどのようにロボット a と協調行動すべきか、ある程度で判断できる。個体ロボットの行動は他のロボットからの応答によって、再び修正できるものとなっている。

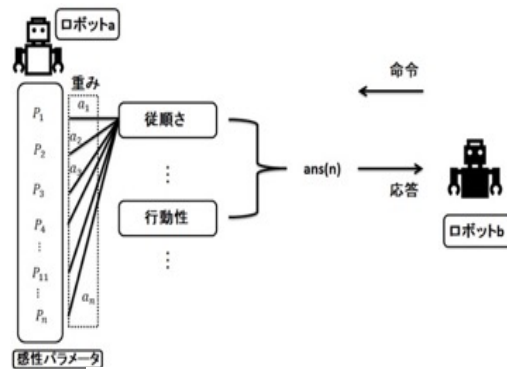


図 1. 感性のリスト化

### (2) ゲーム理論による協調行動

本研究では、ベイズゲームに「agt2 が agt1 の行動 a1 または a2 どちらを行動したかを観測出来る」という条件を組み込む事により、agt2 が agt1 のタイプ別による最適な行動を誘導出来る事を示した。

以下、図 2 に展開型表現を示すと共に最適な行動を誘導出来る事を示した手順を断片的に説明する。

始めに agt1 が  $v_{11}$  において  $a_1$  を選択する確率、つまり、 $v_{21}$  に到達する確率を  $p$  とし、agt1 が  $v_{11}$  において  $a_2$  を選択する確率、つまり  $v_{22}$  に到達する確率  $q$  とした時、 $p$  と  $q$  の確率による agt2 の行動の場合分けを示した。以下図 2 に示す。しかし、行動選択を行う上で  $p$  と  $q$  に到達する確率は整合的であればならない。つまり、例えば、agt1 が  $v_{11}$  と  $v_{12}$  にどちらの意思決定点においても  $a_1$  を選択する時、 $p$  の整合的な確率は自然がタイプ 1 に割り当てた確率  $1/4$  と同じでなければ矛盾が生まれる。したがって、その整合的な確率と表 1 の場合分け条件のどちらも満たした点を以下表 2 に示し、協調行動 2 において、ベンズゲームの問題点を解決した行動選択方法の提示を示した。

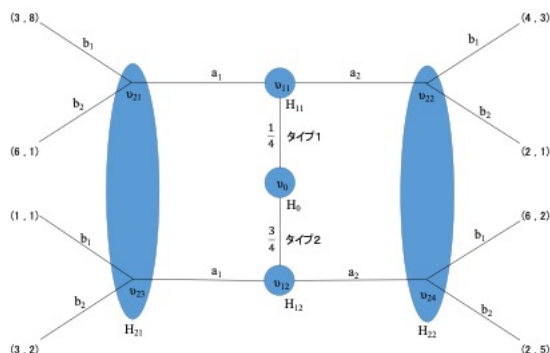


図 2. 展開型表現

### (3) 実機の作成

図 3 に示す、ロボットを製作した。ロボットには、ロボット間の通信機能および、測位センサ、カメラを搭載し、ロボット間の相互位置関係およびコミュニケーションが可能である。

### (4) まとめ

ロボットの個性データを感性パラメータから作り、感情などの表面に現れる感性情報へ変換するアルゴリズムを提案し、実際に相互コミュニケーションについてシミュレートすることができた。それに基づいて、ゲーム理論を用いた協調性の取り方について検討し、協調行動を引き出すための相互情報交換についてモデリングを行った。

実機の作成を行い、測位機能、カメラによる画像処理を備えるものが作成できたが、当初予定していた協調動作確認テストを行うには至らなかった。今後、感性情報データの詳細を決定しながら、ロボットの協調動作と情報交換方法について、モデル的な検討を踏まえて進めていく予定である。

表 1. 確率による agt2 の行動の場合分け

	$1 \geq q \geq \frac{2}{3}$	$\frac{2}{3} \geq q \geq 0$
$1 \geq p \geq \frac{1}{8}$	( $b_1, b_1$ )	( $b_1, b_2$ )
$\frac{1}{8} \geq p \geq 0$	( $b_2, b_1$ )	( $b_2, b_2$ )

※ (agt1がa1を選択した時のagt2の行動、agt1がa2を選択した時のagt2の行動)

表 2. 実現する協調行動

		協調行動1	協調行動2
agt1	$v_{11}$	$a_1$	$a_1$
	$v_{12}$	$a_1$	$a_2$
agt2	$H_{21}$	$b_2$	$b_1$
	$H_{22}$	$b_2$	$b_2$
$p$ の確率	$H_{21}$	$v_{21}$ に到達する確率 $\frac{1}{4}$ $v_{23}$ に到達する確率 $\frac{3}{4}$	$v_{21}$ に到達する確率 1 $v_{23}$ に到達する確率 0
	$H_{22}$	$v_{22}$ に到達する確率 $q$ $v_{24}$ に到達する確率 $1-q$ ( $\frac{2}{3} \geq q \geq 0$ の場合)	$v_{22}$ に到達する確率 0 $v_{24}$ に到達する確率 1



図 3. 試作したロボット

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 清水 健志、佐藤 秀晃、柏崎 尚也
2. 発表標題 メッシュネットワークを用いた感性情報伝達に関する 研究
3. 学会等名 第14回日本感性工学 会春季大会(信州大 学)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林 亮太、柏崎 尚也
2. 発表標題 相対位置を変化できるマルチサイネージシステムの開 発
3. 学会等名 第14回日本感性工学 会春季大会(信州大 学)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武石龍樹, 柏崎尚也
2. 発表標題 個性のある群ロボットの協 調行動に関する研究
3. 学会等名 第15回日本感性工学 会春季大会(福岡工 業大学)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柏崎尚也
2. 発表標題 感性情報データ構造に関する 研究 - AI技術の利用を 考慮した構造設計
3. 学会等名 第15回日本感性工学 会春季大会(福岡工 業大学)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 廖 宝君, 柏崎 尚也
2. 発表標題 群ロボットの感性的な応答 に関する研究
3. 学会等名 第15回日本感性工学 会春季大会(福岡工 業大学)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 ・林 亮太、柏崎 尚也
2. 発表標題 相対位置を変化できるマルチサイネージシステムの開発,
3. 学会等名 第14回日本感性工学会春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 清水 健志、佐藤 秀晃、柏崎 尚也
2. 発表標題 メッシュネットワークを用いた感性情報伝達に関する研究
3. 学会等名 第14回日本感性工学会春季大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------