

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：21401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330312

研究課題名(和文) 表情が刻むコンテキストによるエピソード記憶の構築

研究課題名(英文) Creation of Episodic Memory Based on Context and Facial Expressions

研究代表者

間所 洋和 (Madokoro, Hirokazu)

秋田県立大学・システム科学技術学部・准教授

研究者番号：10373218

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、表情とコンテキストから、適応的かつ自己組織的にエピソード記憶を構築する手法を提案し、プラットフォームとして試作した自律移動ロボットを用いて、実環境での評価実験を実施した。提案手法では、適応共鳴理論ネットワークにより生成したラベルを用いて、対向伝播ネットワークの教師なし学習を実現した。評価実験では、独自のベンチマークデータセットを構築し、エピソード記憶として、表情空間マップとコンテキストマップのリアルタイム生成を実現した。

研究成果の概要(英文)：For this study, we proposed a novel method to create episodic memory adaptively and autonomously based on dynamic diversity of facial expression and its context. We conducted evaluation experiments in an actual environment using our autonomous mobile robot prototype as a platform. The proposed method actualized unsupervised learning for counter propagation networks using labels created using adaptive resonance theory network. The evaluation experiment revealed that real-time generation of facial expression maps and context maps were actualized as episodic memory using our original benchmark dataset.

研究分野：情報工学

キーワード：適応共鳴理論 エピソード記憶 人間共生ロボット コンテキスト カテゴリマップ 表情空間 分類  
粒度評価 並列動作シミュレーション

### 1. 研究開始当初の背景

ロボットが人間の生活環境において様々なタスクを遂行するためには、周辺の状況を能動的に認識しながら概念世界のパターンとなる世界像を獲得することが求められる。世界像を用いることにより、人間のように知的で高度な行動が実現できると考えられているが、そのためには、場所や状況などの多様な事象の記憶や学習が必要となる。

人間の記憶は様々な種類に分類されているが、その中でも、コンピュータの記憶装置と人間の記憶で最も異なるのはエピソード記憶である。エピソード記憶とは、時間的かつ空間的な文脈中に位置づけることのできる出来事、すなわち思い出に関する記憶である。エピソード記憶には、個々の事象に対する経験内容、場面、状況、感情などの情報が含まれている。中でも、感情は記憶の質に強く影響すると言われている。コンピュータの記憶装置は量的には著しく進歩したが、質的には信号情報として大量に記録しているだけに過ぎない。このため、コンピュータと同じ記憶方式のロボットにおいても、知的で高度な行動が実現できていない。

### 2. 研究の目的

本研究では、表情とコンテキストから、適応的かつ自己組織的にエピソード記憶を構築する手法の提案と、各種ベンチマークデータセットを用いた評価を目的とした。提案手法の具体的なネットワーク構成は、時系列データに対して安定性と可塑性を兼ね備えながら追加的に学習と記憶が行える適応共鳴理論(Adaptive Resonance Theory:ART)と、自己写像特性を用いて空間的な位相関係を可視化する自己組織化マップ(Self-Organizing Maps: SOM)を用いて両マップを構成する。本研究課題では、エピソード記憶を用いることにより、利用者の主観に基づく受容度の高いインターフェースや、ロボットと人間との新しいコミュニケーションスタイルの確立を目指す。特に、以下の点を明らかにすることを、本研究の目的とした。

- ・SOM に与える時間的な関係と ART における空間的な関係を可視化すると共に、カテゴリマップにおける時空間関係を明らかにする。
- ・事前にカテゴリ数の設定を必要としない教師なし分類を実現し、対象問題に応じた客観的なカテゴリ数を明らかにする。
- ・カテゴリ分類における注目領域と非注目領域の関係性、すなわち分類対象オブジェクトと背景領域の関係性を定量的に記述することにより、背景領域をコンテキストとして利用する際のオブジェクトとの関係性を明らかにする。

シーン画像からコンテキストを生成し理解する研究と顔画像から表情を認識する研究は、コンピュータビジョン分野の研究におい

て個別に取り組まれているが、両者を同時に扱い、その発展型としてエピソード記憶へと結び付けた研究はこれまで存在しないため、本研究では、情動により対応付けられたエピソード記憶を基盤とする新しい情報記憶方式の確立を目的とした。より具体的には、以下の目的に細分化した。

- ・表情から感情を推定するための表情空間マップとシーンにおける文脈情報を記述表現するためのコンテキストマップを基礎として、両者の融合によりエピソード記憶へと展開する。
- ・表情は顔パターンの空間的かつ時間的变化であり、顔画像の静的多様性と動的多様性を同時に扱うことにより、個々人の表情表出特性に応じた汎用性の高い表情分類が実現する。
- ・FPGA (Field Programmable Gate Array) を用いてデジタル回路としてハードウェア実装することにより、ニューラルネットワークの本来の処理体系である並列分散処理によるリアルタイム学習を実現する。
- ・ロボットのみならずコンピュータや組込み機器においても、利用者のエピソードに基づく柔軟性の高いマンマシンインタフェースを考案する。

### 3. 研究の方法

本研究では、ロボットへの実装及びフィールドテストによる評価を最終目的として、ソフトウェアとハードウェアの開発を横断的に進める。ソフトウェア開発では、エピソード記憶を構成する表情空間マップとコンテキストマップを構築し、シミュレーションを通じて写像特性を評価した。ハードウェア開発では、FPGA を用いて提案手法をデジタル回路として実装し、リアルタイム学習を実現するための高速化及び小型化を実施した。また、評価用のプラットフォームとして視覚機能に重点を置いた自律移動ロボットを試作した。研究の後半から最終年度にかけては、本ロボットを用いてフィールドテストを実施し、神経科学及び感性情報学の観点からユーザに対してロボットが記憶したエピソードを評価した。また、研究成果の普及のための方策として、公開用のデータセットを構築した。これらの内容を3年間の研究スパンにブレイクダウンした内容を、以下に詳述する。

#### (1) 表情空間マップの構築

表情の動的多様性を定量的に捉えるマップとして、表情変化から満足度や疲労感などの表出頻度の高い表情をカテゴリ化し、その関係性を可視化するための2次元マップを構築する。

#### (2) コンテキストマップの構築

表情空間マップで推定される感情を意味情報として、利用者が日常生活で接する場面やシーンを大局的に記述し、利用者の興味や要求を満たす情報を可視化すると共に、関連する情報への手がかりを与えるための2次

元マップを構築する。

### (3) ART の分類粒度評価

Gabor Wavelets による方位選択特性を利用して、入力位相変化や時系列情報に対する ART の分類粒度を評価する。また、冗長なカテゴリの発生を抑えつつ、表情変化を最小のカテゴリ数で抽出できるビジランスパラメータを探索する。

### (4) 並列動作シミュレーション

SystemC を用いて ART と SOM を記述し、並列動作シミュレーションを実施する。特に、ART に長期記憶として保存されるカテゴリ数が増加した場合のリアルタイム性について詳細に検証する。

### (5) 自律行動様式の生成

ロボットの視覚から得られるシーン画像の移動に伴う見え方の変化と、測域センサから得られる距離情報から、遺伝的プログラミング (Genetic Programming: GP) を用いて、自律行動様式を行動木として生成する。ただし、GP ではプロトやイントロンの発生が問題となる。これを回避する方策として、確率学習モデルの BN (Bayesian Networks) を用いてグラフ構造を最適化する。

### (6) 移動ロボットの設計と製作

3次元設計支援装置を用いて、試作ロボットの外観、機構、及びフレームをモジュール単位で設計する。また、歪強度と座屈荷重を計算し、シミュレーションを通じて走行性能を検証する。実験データ取得と評価用のプラットフォームとして、自律移動ロボットを試作する。一般環境での移動を想定していることから、安全性や親和性を十分考慮しつつロボットを製作する。ハードウェアの構築に加えて、移動のためのモータ制御用プログラムは、前進や後進、旋回などの行動セットをライブラリ化して汎用性を高める。

### (7) フィールドテスト

コンテキストの評価については、シーンの分類結果及びユーザの文脈理解を、心理学的主観テストにより定量的に評価する。表情空間マップについては、基本6表情及び律動的な表情表出について、感性情報学的に評価する。また、オクルージョンやコラプションに対するロバスト性を検証する。エピソード記憶については、ユーザとのインタラクションを通じて、エピソード記憶の形成について評価する。ロボットが記憶したエピソードを各ユーザが主観的に評価することにより、感性情報学に基づく意味付けを施す。

## 4. 研究成果

### (1) 表情空間マップの構築 (佐藤, 間所)

本研究で実装した教師なし学習に基づくマッピング手法を用いて構築した表情空間マップの例を図1に示す。USBカメラから取得した画像から、Harr-like特徴に基づいて顔領域を検出し、Gabor waveletsにより抽出した特徴量を学習データに用いている。個人毎

にこのマップが自動生成され、発火分布として表情の動的多様性を可視化表現した。

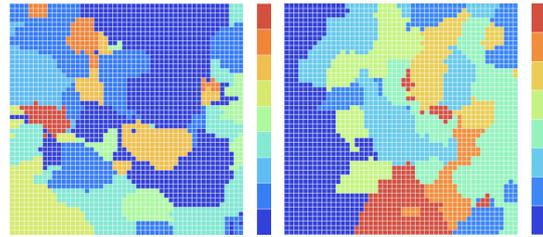


図1. 表情空間マップの例.

### (2) コンテキストマップの構築 (間所, 佐藤)

情景画像を入力特徴として生成したコンテキストマップの例を図2に示す。入力画像に対して、顕著性マップとAKAZEを用いて特徴量を記述している。表情空間マップと同様に、個人毎のコンテキストを可視化表現した。また、コンテキストの動的多様性をマップの発火分布として表現した。

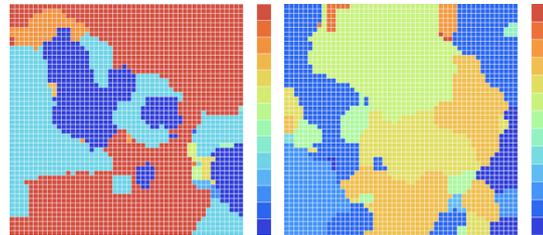


図2. コンテキストマップの例.

### (3) ART の分類粒度評価 (間所)

ビジランスパラメータを 0.9950 から 0.0001 刻みで 0.9980 まで変更した場合に、生成された ART のラベルと CPN のカテゴリを図3に示す。ビジランスパラメータの値が大きくなるにつれて、ART のラベル数、CPN のカテゴリ数とも増加している。ただし、後者に関しては、上下を示しながら増加している点が、前者とは異なる。単純にビジランスパラメータが大きくなるにつれてカテゴリ数が増えるのではなく、CPN の写像空間の中で適切に圧縮されていることが、この図から読み取れる。

分類粒度を決定するビジランスパラメータは、提案手法の中では最も影響度の高いメタパラメータである。本研究では、ART のラベル数の増加に対して、CPN のカテゴリが安定して形成される 0.9965 から 0.9975 の範囲の中で、中央値となる 0.9970 を設定値とすることが適切という知見が得られた。

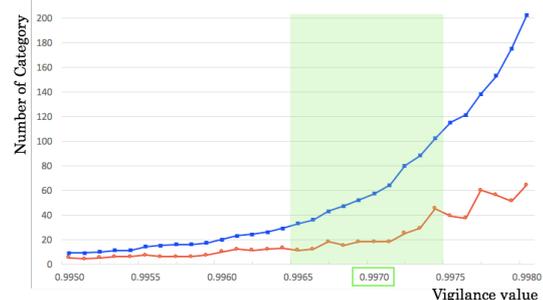


図3. 分類粒度評価結果.

(4) 並列動作シミュレーション (間所, 下井)

System C を用いて, 提案手法のニューロンを記述し, 並列動作シミュレーションを実施した. ノイマン型の逐次計算方式とは異なり, 提案ネットワークでは 3 桁以上の計算速度の改善が行える見通しが得られた. ただし, 実装規模と基板のコストは課題として残っている.

(5) 自律行動様式の生成 (間所, 佐藤)

遺伝的ネットワークプログラミングを用いて, 自律移動ロボットの行動様式を生成した. 生成例を図 4 に示す. 遺伝的プログラミングと比較して, ツリーの深さに制約を与えることなく, サイクリックに行動様式が生成できることを明らかにした.

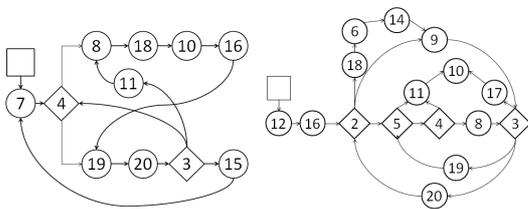


図 4. 自律行動様式の生成例.

(6) 移動ロボットの設計と製作 (下井, 間所)

評価実験用のプラットフォームとして, 図 5 に示す 2 種類のロボットを試作した. 人間共生型のロボットでは, 人間と同等の視線の高さで環境を認識するためのプラットフォームとなった. 搭乗型ロボットでは, 電動車椅子の未来形として, 人間を支援しながら, サービスが実現できることを設計コンセプトとして試作した. 特に後者に関しては, でゼイン性にも考慮しつつ, メカナムホイールを用いて無旋廻全方位移動を実現した.

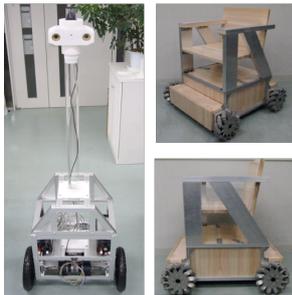


図 5. 本研究で試作したロボット (左: 人間共生型ロボット, 右: 搭乗型ロボット).

(7) フィールドテスト (間所, 佐藤, 下井)

図 6 に示す実環境において, フィールドテストを実施した. コンテキストの生成に加えて, 自律移動における意味的情景認識を実現するために, ビジュアルランドマークに基づく人物の影響にロバストな手法を構築した. 人物の影響に関しては, HOG 特徴量をマスク処理として用いた. 顕著性マップを用いるこ

とにより, エピソードを形成する特徴量が, ビジュアルランドマークの検出でも有用性が高いことを示した.

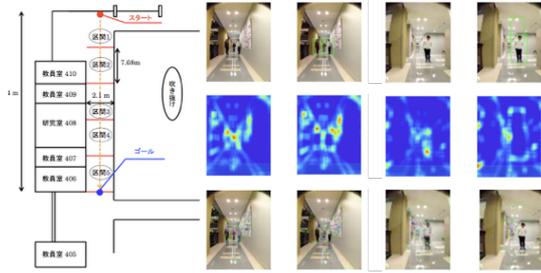


図 6. フィールドテストの画像例.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

[1] 間所洋和, 下井信浩, 佐藤和人, 徐粒, “フィルム荷重センサによる睡眠を見守るヒューマンセンシング,” 日本知能情報ファジィ学会誌 (ヒューマンセンシングとその応用特集号), 査読有, vol. 28, no. 6, pp. 963-973, 2016. (doi:10.3156/jssoft.28.963)

[2] N. Shimoi, T. Nishida, A. Obata, K. Nakasho, H. Madokoro, and C. Cuadra, “Comparison of Displacement Measurements in Exposed Type Column Base Using Piezoelectric Dynamic Sensors and Static Sensors,” American Journal of Remote Sensing, 査読有, vol. 4, no. 5, pp. 23-32, 2016. (10.11648/j.ajrs.20160405.11)

[3] H. Madokoro, Y. Ishioka, S. Takahashi, S. Sato, and N. Shimoi, “Visual Saliency Based Multiple Objects Segmentation And Its Parallel Implementation for Real-Time Vision Processing,” Computer Science and Information Technology, 査読有, vol. 3, no. 5, pp. 187-197, 2015.

(doi:10.13189/csit.2015.030504)  
[4] H. Madokoro, K. Shirai, K. Sato, and N. Shimoi, “Basic Design of Visual Saliency Based Autopilot System Used for Omnidirectional Mobile Electric Wheelchair,” Computer Science and Information Technology, 査読有, vol. 3, no. 5, pp. 171-186, 2015.

(doi:10.13189/csit.2015.030503)  
[5] H. Madokoro, K. Sato, and N. Shimoi, “Classification of Trajectories Using Category Maps and U-Matrix to Predict Interests Used for Event Sites,” Computer Science and Information Technology, 査読有, vol. 3, no. 4, pp. 138-147, 2015.

(doi:10.13189/csit.2015.030408)  
[6] 間所洋和, 佐藤和人, “データの位相構造をカテゴリマップとして可視化する適応的

写像ネットワーク,” 日本知能情報フ  
ィ学会誌, 査読有, vol. 26, no. 6,  
pp. 903-912, 2014.  
(doi:10.3156/jsoft.26.903)

[学会発表] (計 12 件)

- [1] K. Nakasho, H. Madokoro, and N. Shimoi, “Implementation of a Vital Signs Monitoring System in Combination with a Bed-Leaving Detection System,” Proc. IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), pp. 290-295, Sapporo, Japan, Dec. 13-15, 2016.
- [2] H. Madokoro, K. Sato, and N. Shimoi, “Development of Micro Air Vehicle Using Aerial Photography for Safe Rowing and Coaching,” Proc. 16th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), pp. 1-6, Gyeongju, Korea, Oct. 16-19, 2016.
- [3] S. Ueda, H. Madokoro, K. Sato, and N. Shimoi, “Prototype Development of On-Board Vision Processing Micro Air Vehicle for Wide-Range Monocular SLAM,” Proc. 16th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), pp. 7-12, Gyeongju, Korea, Oct. 16-19, 2016.
- [4] A. Kainuma, H. Madokoro, K. Sato, and N. Shimoi, “Occlusion-Robust Segmentation for Multiple Objects using a Micro Air Vehicle,” Proc. 16th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), pp. 111-116, Gyeongju, Korea, Oct. 16-19, 2016.
- [5] T. Sasaki, C. Cuadra, H. Madokoro, K. Nakasho, and N. Shimoi, “Comparison of Piezoelectric Limit Sensors with FEM Analysis Results of Compression Failure of Brick Masonry Specimens,” Proc. 16th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), pp. 1197-1201, Gyeongju, Korea, Oct. 16-19, 2016.
- [6] H. Madokoro, N. Shimoi, K. Sato, and L. Xu, “Development of Unrestrained and Hidden Sensors Using Piezoelectric Films for Recognition and Prediction of Bed-Leaving Behaviors” Proc. International Symposium on Stability, Vibration, and Control of Machines and Structures (SVCS), pp. 133-144, Budapest, Hungary, June 16-18, 2016.
- [7] K. Sato, M. Ito, H. Madokoro, and S. Kadowaki, “Analysis of Facial Parts Effects by Emotion-evoking Videos focused on Smile Expression Process,” Proc. Tenth International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology (ICCGI), pp. 30-39, St. Julians,

Malta, Oct. 11-16, 2015.

- [8] K. Shirai, H. Madokoro, S. Takahashi, and K. Sato, “Parallel Implementation of Saliency Maps for Real-Time Robot Vision,” Proc. 14th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), pp. 88-93, Seoul, Korea, Oct. 22-25, 2014.
- [9] A. Yamanashi, H. Madokoro, Y. Ishioka, and K. Sato, “Visual Saliency Based Segmentation of Multiple Objects Using Variable Regions of Interest,” Proc. 14th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), pp. 1046-1051, Seoul, Korea, Oct. 22-25, 2014.
- [10] K. Shirai, H. Madokoro, and K. Sato, “Proximity Sensing and Movements of Omnidirectional Mobile Electric Wheelchair for Autopilot,” Proc. International Conference on Instrumentation, Control, Information Technology and System Integration (SICE), pp. 1296-1301, Sapporo, Japan, Sep. 9-12, 2014.
- [11] A. Yamanashi, H. Madokoro, Y. Ishioka, and K. Sato, “Multiple Object Detection and Extraction Based on Visual Saliency without Learning Used for Mobile Robot Vision,” Proc. International Conference on Instrumentation, Control, Information Technology and System Integration (SICE), pp. 359-364, Sapporo, Japan, Sep. 9-12, 2014.
- [12] H. Madokoro, N. Shimoi, and K. Sato, “Adaptive Category Mapping Networks for All-Mode Topological Feature Learning Used for Mobile Robot Vision,” The 23rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), pp. 678-683, Scotland, UK, Aug. 25-29, 2014.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.akita-pu.ac.jp/stic/souran/scholar/detail.php?id=220>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

間所 洋和 (MADOKORO, Hirokazu)  
秋田県立大学・システム科学技術学部・  
准教授  
研究者番号：10373218

### (2) 研究分担者

佐藤 和人 (SATO, Kazuhito)  
秋田県立大学・システム科学技術学部・  
教授  
研究者番号：80390904

下井 信浩 (SHIMOI, Nobuhiro)  
秋田県立大学・システム科学技術学部・  
教授  
研究者番号：10300542

### (3) 連携研究者

### (4) 研究協力者

Istvan Lovani