

# 人間との共同作業時における感情知能の開発

## Development of expressive intelligence during collaborative tasks with humans

○学 山口 誠司 (東農工大)  
 正 リンコン・アルディーラ リース (東農工大)  
 正 ベンチャー・ジェンチャン (東農工大)

Seiji YAMAGUCHI, Tokyo University of Agriculture and Technology  
 Liz RINCON-ARDILA, Tokyo University of Agriculture and Technology  
 Gentiane VENTURE, Tokyo University of Agriculture and Technology, venture@cc.tuat.ac.jp

The market size of service robots in Japan is expanding gradually. Along with that, “co-botics”, the development of robot technology sharing work space with humans, is progress rapidly. It may be possible for humans and robots to do collaborative tasks like carrying objects in industrial or home environment. The proposal of this research is to develop an expressive intelligent system for robots to cooperate with human in different tasks. For that purpose, the human affects are recognized through the force data using Recurrent Neural Network, and output as PAD (Pleasure-Arousal-Dominance) values. Using these values, we calculate the appropriate expression of the robot and implement it on Pepper with carrying task using Inverse Kinematics by null space control. After that, we conducted an evaluation experiment of the system and confirmed that human emotions are heading in the positive direction.

**Key Words:** Null space control, Affect recognition, Affective computing, Expressive movements

### 1. 緒言

日本では、ロボットの市場規模は年々拡大しており、中でもサービスロボットの市場拡大が顕著になっている [1]。一家に一台ロボットが普及するのにもそう遠い話ではない。人間の使用する道具や住環境は、人間にとって使いやすい構造になるように設計されている。よって家庭内にロボットを導入することを考えると、人間に似た体の構造、力の強さを持つヒューマノイドロボットは人間の住環境に溶け込めると考えられる。

また、人間とロボットが同じ作業空間を共有する co-botics (collaborative-robotics) という技術が注目を集めている。家庭内においても、現在人間同士で行われている、机を一緒に運ぶなどの共同作業を、将来的にはロボットと人間で行うことも考えられる。人間同士では、作業中に体の動きや視線から、感情を使って相手に状況を伝え、作業のミスが減らしている。これは人間が、作業に使用していない体の余りの自由度を感情表現に用いることができるためである。

先行研究 [2]では、人型ロボットの作業で余った体の自由度を感情表現に当てる手法が提案されている。零空間制御による逆運動学を用いることで、右手を振る動作に影響を与えずに感情表現を行わせている。

人間とロボットによる共同作業においても、感情のやり取りは必要である。Wrobel [3] は、幸せや嬉しいなどの正の感情は、生産性を高め、憂鬱や怒りなどの負の感情は生産性を落とすことを示している。そこで、人間とロボットの共同作業においても、ロボットが体で感情を表現し相手を幸福にできれば、作業での生産性が向上すると考える。

### 2. 研究目的

本研究では、人間とロボットによる共同作業において、ロボットが人間の感情を認識し、それに応じた感情をロボットが表現することにより、人間の感情が正の方向に変化し、共同作業の生産性が向上するシステムの開発を目的とする。

### 3. 感情知能システム

提案するシステムを図 1 に示す。本研究では、人間とヒューマノイドロボット Pepper [4][5] が一緒に物を持ち上げ、指定した場所まで運搬する作業を繰り返す状況を考える。

人間の物の持ち上げ動作においてバランス Wii ボード [6] (以下 Wii ボード) から足元の荷重データを取得し、深層学習により、人間の感情を予測する。予測された人間の感情と目標とする人間の感情から、ロボットが取るべき感情を計算し、零空間制御による逆運動学を用いて、低い優先度で感情表現を行いながら運搬動作を人間と行う、という流れである。

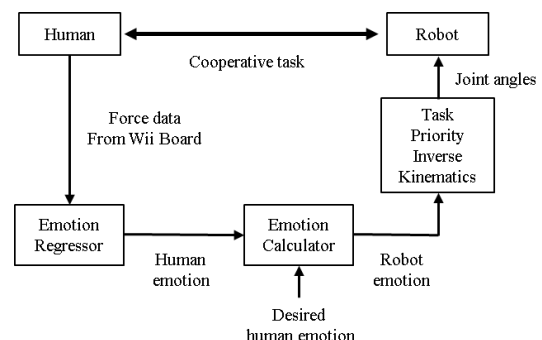


Fig. 1 Block diagram of the proposed system for cooperative tasks between human and robot

### 4. PAD モデル

本研究において、人間とロボットそれぞれの感情状態を表す手法として、PAD モデルを使用した。PAD モデルは 1974 年に Mehrabian と Russel [7] によって開発された、感情を三次元空間上で表現する手法である。PAD 空間は、P は Pleasure (快), A は Arousal (覚醒), D は Dominance (支配) の三次元から成っており、それぞれ [-1, 1] の値をとる。感情を数値で表現することができるので、言語では表しきれない感情も含むすべての感情を表現することが可能である。PAD の三次元空間と、代表的な感情を空間上に表したものを図 2 に示す。

また、PAD を直接評価する方法として図 3 に示す SAM (Self-Assessment Manikin) scale [9] を使用した。SAM は、人間の Pleasure, Arousal, Dominance をそれぞれ画像を用いて 9 段階で評価する手法である。絵を用いた評価であるため、言語的な問題を排除でき、より直感的で素早い評価が可能となる。本研究では、SAM scale を Google form 上で実装し、アンケート形式で回答する方法をとった。

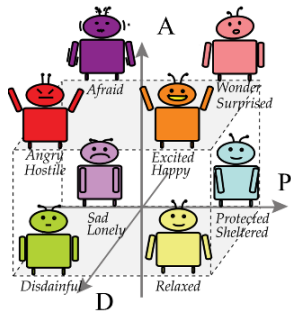


Fig. 2 PAD model [8]

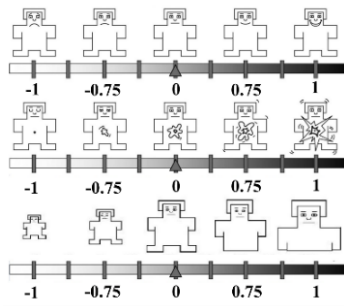


Fig. 3 SAM scale [9]

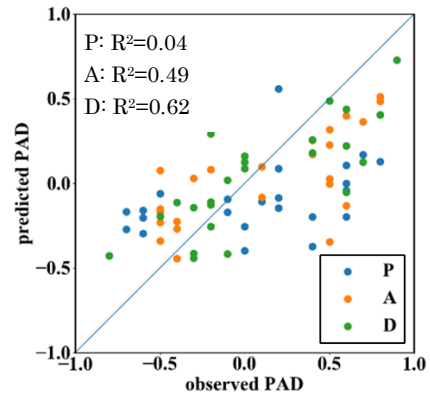


Fig. 4 PAD regression results by RNN

## 5. 零空間制御による逆運動学

本研究では先行研究 [2]と同様、ロボットに作業と同時に感情表現させる手法として零空間制御による逆運動学を用いた。逆運動学とは、ロボットの手先の座標を用いて、各関節の角度を求める計算手法であり、一般式を式(1)に示す。

$$\dot{q} = J^{-1}\dot{x} \quad (1)$$

$x$  は手先の位置ベクトル,  $q$  は関節角度ベクトル,  $J$  はヤコビ行列を表す。作業に必要な自由度より多くの自由度を持つロボットを冗長ロボットという。冗長ロボットは、ヤコビ行列が非正則となるため、疑似逆行列  $J^+$  が用いられる。この場合式(1)の解は無数に存在する。一般解を式(2)に示す。

$$\dot{q} = J^+\dot{x} + P\dot{q}_0 = J^+\dot{x} + (I - J^+J)\dot{q}_0 \quad (2)$$

ここで,  $P$  は  $J$  の零空間における正射影行列であり,  $\dot{q}_0$  は任意のタスク空間速度ベクトルを表す。これにより, タスク  $x$  に影響を与えずに  $\dot{q}_0$  を実行することができる。

本研究では、先行研究 [2]と同様,  $x$  に運搬動作の手先の位置と姿勢,  $\dot{q}_0$  に PAD から計算した各関節の値を代入し, 関節角を計算している [10][11]。

## 6. 感情認識

本研究では、Wii ボードから物の持ち上げ動作における  $z$  軸方向の荷重 [N], 圧力中心 CoP の  $x$  座標,  $y$  座標 [mm]を取得した。その荷重データに対し、正規化やセグメントなどを行ったデータセットを作成し、深層学習で学習を行い PAD の予測モデルを作成した。予測モデル作成に使用する荷重データを取得するため、人間と Pepper による物の持ち上げ動作を行う実験を行った。被験者は、物を持ち上げる際に、演じる感情を持ち上げ動作 1 回ごとに变化させて行った。その感情は、幸せ、悲しみ、怒り、感情なしの 4 種類の中からランダムに指定した。被験者はその感情を基に、それぞれ自然だと思ふ持ち上げ動作を行った。持ち上げ動作の後、今自分がどの感情をもって動作を行ったかを自己評価してもらった。

感情の自己評価は図 3 に示す SAM scale を用いて行い, P, A, D の値がそれぞれいくつであったかを [-1, 1] の範囲で記入してもらった。本実験では 1 つの感情当たり, 25 のデータを収集し, 合計で 100 のデータを収集した。

評価した PAD を荷重データのラベルとし, 深層学習の 1 つである RNN (Recurrent Neural Network) [12] により予測を行った結果を図 4 に示す。PAD の予測値と実測値の平均絶対誤差 (MAE) は 0.31 となった。

## 7. 感情計算

深層学習によって予測された人間の感情から、適するロボットの感情を計算するため、感情表現を行っている Pepper と人間が物の運搬作業を繰り返す実験を行い, Pepper の PAD 変化に対する人間の PAD 変化を取得した。実験で被験者は、ランダムに指定された PAD で動作する Pepper と繰り返し運搬作業を行い, 作業の度に SAM scale を用いて感情の自己評価を行った。使用した PAD は PAD = LLL, LLH, LHL, LHH, HLL, HLH, HHL, HHH ( $L = -0.75, H = 0.75$ ) の 8 種類である。実験結果から得られた人間の PAD 変化のうち, 0 との  $t$  検定より有意差のみられた値のみを計算に利用した。

感情計算は以下の流れで行った。まず予測された人間の PAD を考える。Pepper が 1 作業前に表現していた PAD から, 次に変化し得る PAD の値の候補は 7 通りあり, そのうち実験で有意差のみられた結果のみを, 予測した人間の PAD に加算する。PAD 空間上で表したものを図 5 に示す。

次に, 計算した人間の PAD の候補のうち, 幸福を表す PAD = {1, 1, 1} との距離  $d$  を計算し, 最も小さい値に変化させることのできる Pepper の PAD の値を求める出力とした。PAD 空間上で表したものを図 6 に示す。

これによって得られたロボットの PAD を使用し零空間制御による逆運動学を用いることで, 感情表現を低い優先度で行いながら物を運搬する動作を生成した。

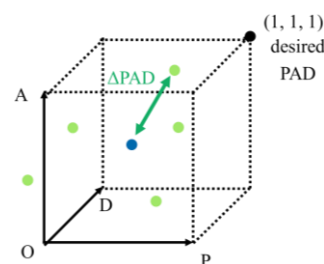


Fig. 5 Calculation of human PAD. Blue dot is the predicted human affect and green dots are the candidates of next human affect.

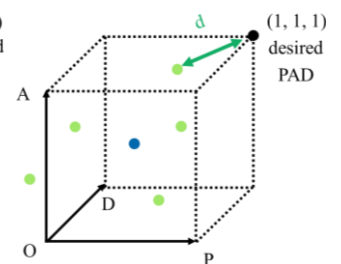


Fig. 6 Method for deciding the Robot PAD. “d” is the distance between the desired PAD and the candidates of the next human affect.

## 8. Pepperの制御

計算された PAD から、零空間制御による逆運動学を用いて運搬動作を生成した。運搬動作は、ROS (Robot Operation System) を用いて生成した。例として、 $PAD = \{1, 1, 1\}$ ,  $\{-1, -1, -1\}$ の時の Pepper の運搬動作をそれぞれ図 7 に示す。

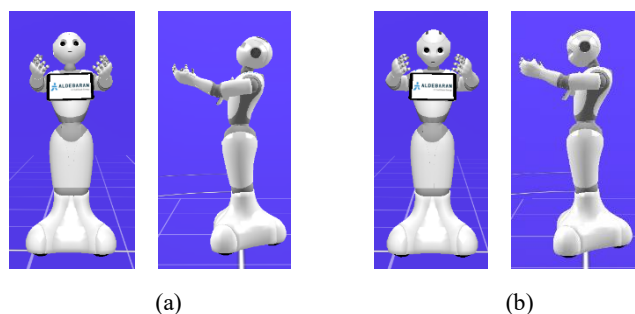


Fig. 7 Carrying motion of Pepper using null space control with different expressive behaviors

(a)  $PAD = \{1, 1, 1\}$ , (b)  $PAD = \{-1, -1, -1\}$ .

## 9. システムの評価実験

提案システムにより、人間の感情が正の方向に向かうのかを確認する評価実験を行った。被験者は、本システムを実装した Pepper と実際に物を目的地まで運ぶ作業を行った。運搬作業による感情の変化を調べるため、被験者には、合計 9 回の作業のうち、1, 5, 9 回目の後に SAM scale による PAD の自己評価を行ってもらった。図 8 に評価実験の結果を示す。

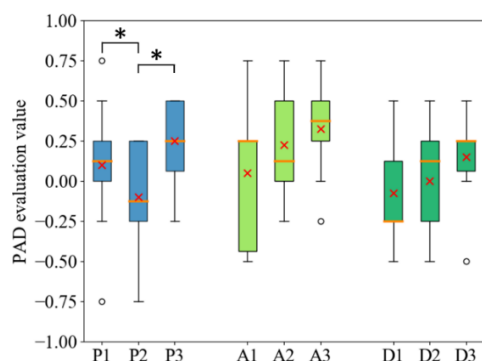


Fig. 8 Experimental results of the PAD evaluation values  
 $PAD = \{P1, A1, D1\}$  is the results of first evaluations of subjects,  $\{P2, A2, D2\}$  is second ones, and  $\{P3, A3, D3\}$  is third ones. 「\*」 is the significant differences by the paired t-test ( $p < 0.05$ )

結果から、P の値について、1 回目の評価から 2 回目の評価において、有意差がみられた ( $p = 0.0484 < 0.05$ ) が、P の値は減少している傾向があることが分かる。これは、ロボットとの共同作業を未経験の被験者が多かったため、最初の印象による影響で P の値が高くなってしまったと考えられる。最終的な評価を見ると、PAD の値が正の方向に変化する傾向がみられたため、提案システムは共同作業の生産性を向上させることができると考えられる。

## 10. 結言

本研究では、人間とロボットの共同作業時において、予測した人間の感情からロボットの感情を計算し、ロボットを制御するシステム開発を目的とし、実験を行った。深層学習 RNN を用いて人間の感情予測を行い、人間の感情を正の方向へ変化させることのできるロボットの感情表現を調査し、ロボッ

トが表現すべき感情の計算を行った。求めた感情から零空間制御による逆運動学を用いて Pepper に運搬作業と同時に実装した。また、最終的に開発したシステムを用いて人間とロボットの実際の運搬作業で実験を行い、人間の感情が正の方向へ向かっていることを確認した。

## 11. 今後の展望

今後の課題として、物を運搬するのに適したロボットなど、別のヒューマノイドに本システムを応用することでより正確な運搬動作を行うことができ、精度の高いシステムを開発できると考える。

また今回の実験では、人間の PAD の値のみを用いてロボットの感情の計算を行った。しかしこのシステムではロボットから人間への一方のアプローチとなってしまう。そこでロボットの状態や、周りの環境を PAD の値で表現し、それも含めた感情の計算を行い、人間とロボット双方向で状況を確認し合うことができるシステムの構築が必要と考える。

## 謝辞

本研究は「ダイバーシティ研究環境イニシアティブ(牽引型)」の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] 経済産業省, “2012 年ロボット産業の市場動向”
- [2] J. A. Claret, et al., “Exploiting the Robot Kinematic Redundancy for Emotion Conveyance to Humans as a Lower Priority Task”, *Int. J. of Social Robotics*, Vol. 9, No. 2(2017), pp 277-292.
- [3] M. R. Wrobel, “Emotions in the software development process”, *Human System Interaction (HSI) 2013 The 6th International Conference on* (2013), pp. 518-523.
- [4] Pepper, Softbank, <https://www.ald.softbankrobotics.com/>
- [5] A. K. Pandey, R. Gelin, “A Mass-produced Sociable Humanoid Robot: Pepper: The First Machine of Its Kind”, *IEEE Robotics & Automation Magazine*, Vol. 25, No.3(2018), pp. 40-48.
- [6] バランス Wii ボード, 任天堂
- [7] A. Mehrabian, “Pleasure-arousal-dominance: A general framework for describing and measuring individual differences in temperament”, *Current Psychology* Vol. 14, No. 4 (1996), pp. 261-292.
- [8] M. Karg, A. A. Samadani, R. Gorbett, K. Kuhlntz, J. Hoey, and D. Kulic, “Body movements for affective expression: A survey of automatic recognition and generation,” *IEEE Trans. Affective Comput.*, Vol. 4, No. 4(2013), pp. 341-359.
- [9] M. M. Bradley, P. J. Lang, “Measuring emotion: the self-assessment manikin and the semantic differential”, *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, Vol. 25, No. 1(1994), pp.49-59.
- [10] S. Chiaverini, “Singularity-robust task-priority redundancy resolution for real-time kinematic control of robot manipulators”, *IEEE Trans. Robot Autom.* Vol. 13, No. 3(1997), pp. 398-410.
- [11] P. Baerlocher, R. Boulic, “Task-priority formulations for the kinematic control of highly redundant articulated structures”, *Proceedings of 1998 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems*, Vol. 1(1998), pp 323-329.
- [12] K. Cho, B. V. Merriënboer, C. Gulcehre, D. Bahdanau, F. Bougares, H. Schwenk, and Y. Bengio, “Learning phrase representations using rnn encoder-decoder for statistical machine translation,” *Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*(2014), pp. 1724-1734.