

ラバン特徴に基づいた ロボット全身動作への感情付加手法

Emotion from Body Motion of Human Form Robot Based on Laban Movement Analysis

増田 恵 加藤 昇平 伊藤 英則
Megumi Masuda Shohei Kato Hidenori Itoh

名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻

Dept. of Computer Science and Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

A method for adding target emotion to arbitrary movement of human form robot (HFR) on the basis of previous work was developed. The additional emotions are pleasure, anger, sadness or relaxation. The user can decide the strength of the additional emotion. An experiment was conducted using an HFR to test how well our system adds emotion to arbitrary movements. The processed movements expressed the target emotions.

1. はじめに

ロボット技術の発達とヒューマン・エージェント・インタラクション (HAI) 研究の進歩により、人間とのコミュニケーションを目的としたロボットに重要な要素の中でも感情・情動の表出が注目されている。適切に感情・情動を表出することによって人間にロボットの心を感じさせ、親近感を与えることが可能と考えられる。また、自然な感情表出はロボットの内部状態をユーザに自ずと推測させる。

ロボットが自身の感情を表出する方法としては、感情発話等の言語情報を用いる方法 ([Hara 04], [Yamamoto 06] 等) と、身体動作や音といった非言語情報を用いる方法 ([Brooks 07], [Itoh 08] 等) の2つが考えられる。どちらも伝達効率や実装コストに関して長所短所を有する。

本研究ではロボットが自身の感情を表出する方法として非言語情報である身体動作に着目する。身体動作を用いたロボットの感情表出の利点としては、表示デバイスやスピーカーなどの付加的な装置を必要としないということがあげられる [小林 06]。また、ユーザの注意を強制的に引きつけることがないということも利点であると言える。更に言語コミュニケーションを行う場合であっても、身体動作は発話理解に重要であり [Rogers 06]、社会的インタラクションに非言語情報は不可欠である [Fong 03]。

自律的に身体動作を用いた感情表出を行うために、ロボットは次の3つの機能を持つことが必要である。1) 自己の身体動作が人間に与える印象を自覚できる機能、2) 自律的に感情を表出する身体動作を生成できる機能、3) 表現すべき感情を適切に表現できる機能である。著者らは以前、1) のための研究として、身体動作の特徴を抽出する方法を定義し、動作特徴量と表現感情との関係を調査し、動作特徴量から表現感情を推定する方法を提案した [増田 09, Masuda 09]。本稿では2) を目指し、与えられた動作を任意強度の感情を表出する動作へ加工する手法を提案する。

無感情動作から感情動作を生成する研究として Amaya らの研究 [Amaya 96] があげられる。この研究では怒と哀に着目し、加工対象はタイミングと広さであった。対して本稿では喜怒哀楽に着目し、加工対象はラバン特徴に基づいた6特徴とした。また、Amaya らの研究は人による感情動作に基づいて無感情

動作を加工しているが、本稿では人による感情評価に基づいて基本動作を加工するものとした。これは、我々の目的が感情をユーザに表現することであるためである。

本稿ではまず、与えられたヒューマンフォームロボット (HFR) の身体動作に任意強度の感情を付加する動作加工方法を提案する。次に HFR 実機の身体動作に感情を付加する動作加工方法を具体的に規定する。最後に印象評価実験を行い、提案手法の有効性を確認する。印象評価実験の結果として、60%以上の感情付加成功率を得ることができた。

2. ラバン特徴

著者らは以前、ラバン理論 [Laban 88] に基づいた身体動作の特徴 (ラバン特徴) を提案した。また、ヒューマンフォームロボット (HFR) からラバン特徴量を抽出する方法を具体的に定義し、印象評価実験を通してラバン特徴量と表出感情の関係について調査した [増田 09, Masuda 09]。

本節では、ラバン特徴について述べ、次節にてラバン特徴と表出感情の関係について述べる。

2.1 ラバン理論

ラバン理論とは動作体の心理状態と身体運動の相関を規定する舞踊学の理論である。Darwing が提唱した「動物の身体表現の構造に関する理論」を受け継ぎ、Rudlf von Laban を中心とするドイツ表現主義舞踊の創作者らが構築した。ラバン理論の概念は数理的かつ具体的であるため、理工学との親和性が高いといわれている。

2.2 ラバン特徴

著者らは、ラバン理論の中でも代表的な6種類の特徴 *Space, Time, Weight, Inclination, Height, Area* をラバン特徴として以下のように定義する。

- *Space*: 身体動作の方向的な偏りの程度を示す特徴量
- *Time*: 身体動作の速さの程度を示す特徴量
- *Weight*: 身体動作の力強さの程度を示す特徴量
- *Inclination*: 姿勢の前方向への偏りの程度を表す特徴量
- *Height*: 姿勢の高さの程度を表す特徴量
- *Area*: 姿勢の水平面上の広がり程度を表す特徴量

具体的な特徴量の計算法は [増田 09] 等に示した。

連絡先: 〒 466-8555 名古屋市昭和区御器所町, Tel/Fax:
052-735-5625, E-mail: shohey@ics.nitech.ac.jp,
masuda@juno.ics.nitech.ac.jp

表 1: 喜怒哀楽とラバン特徴の相関

	<i>Spa</i>	<i>Tim</i>	<i>Wei</i>	<i>Inc_x</i>	<i>Hei</i>	<i>Are</i>
喜	-0.04	0.45	0.46	-0.27	0.33	0.36
怒	-0.21	0.30	0.33	0.01	-0.02	0.20
哀	0.03	-0.38	-0.42	0.47	-0.51	-0.39
楽	0.16	-0.15	-0.12	-0.37	0.36	0.01

2.3 ラバン特徴の対象動作

本研究はロボットの中でも HFR を対象としている。良く似たロボットの分類にヒューマノイドロボットがあるが、これは単に人形のロボットを指すのではなく、視覚等センサや協動作業能力の一部の機能を擬人化したロボットを指す場合もある [金広 03]。そのため、ここでは単に四肢を有するロボットを対象とするために HFR の名称を用いる。

身体動作による心的インタラクションにおいて、人型のロボットを用いる利点として以下の3点があげられる。[松丸 05, 竹内 06, 小松 06]。1) 人間が持つロボットに対する恐怖感・違和感を軽減できること。2) 人間が感情移入しやすく、人間が理解しやすい感情表現ができること。3) 人間との間で共同注意が成立しやすいこと等である。また、ラバン理論は人間に関する理論であるため、人型のロボットとの親和性も高いと考えた。

実験はロボット実機を用いて行った。2次元スクリーン上での動作に比べ身体が実際の3次元空間に存在するロボットは、動作に伴う視覚的効果が大きいと言える ([Wainer 07], [Powers 07], [Kidd 04] 等)。

3. 感情付加のための動作特徴変更

本節ではまずラバン特徴と表出感情の関係について述べる。ここで感情は喜 (pleasure)・怒 (anger)・哀 (sadness)・楽 (relaxed) を指す。次に、与えられた身体動作 (以下「基本動作」) に任意強度の感情を付加する動作加工方法について述べる。感情付加はルールに従って基本動作を変更することにより行われる。ただし今回、身体動作は転倒の危険がない上半身のみの動作とした。

3.1 表出感情とラバン特徴量の関係

著者らは以前、実験を通して表1のような相関を得た。この表は、以下の事を示している。

- 喜は素早さ、力強さと相関がある。また後ろ方向への偏り、上方向への偏り、広さとの相関がある。
- 怒は素早さ、力強さと相関がある。また散逸方向への動作、広さとの相関がある。
- 哀は遅さ、弱々しさと相関がある。また前方向への偏り、下方向への偏り、狭さとの相関がある。
- 楽は遅さ、弱々しさと相関がある。また一方方向への動作、後ろ方向への偏り、上方向への偏りとの相関がある。

この関係に基づいて基本動作を加工することによって、身体動作に感情を付加できるものと仮定する。

3.2 実機への実装

基本動作に感情を付加する方法を提案する。動作体には近藤科学 (株) のヒューマンフォームロボット KHR-2HV (自由度 17, 身長 353mm) を用いた。KHR-2HV の外観を図1に示す。

各単位時間における動作変更は以下である。以下の式において、 emo はそのラバン特徴と付加感情の相関係数である。ただし、5%で有意でなかった場合は emo は 0 とした。

身体動作の方向的な偏りは、四肢先端の動作方向と顔の方向に係わっている。本手法では顔方向を変更するものとした。変更は以下の式に従う。

$$\theta_{head} \rightarrow \theta_{head} + (\theta_{max} - \theta_{head}) \times strength \times emo \quad (1)$$

θ_{head} は首の角度であり、 θ_{max} は四肢先端の方向単位ベクトルの動作全体の平均である。 $strength$ は入力された感情強度である。

身体動作の速さは角速度に係わっている。変更は以下に従う。

$$time_interval \rightarrow time_interval(1 - a \times strength) \quad (2)$$

$time_interval$ は関節の π [rad] 回転に要する時間である。 $strength$ は入力された感情強度である。 a は重み係数である。

身体動作の力強さは角加速度に係わっているため、速度と同時に変更される。

姿勢の前後方向の偏りは重心の位置に係わっている。腰の角度を変更することで重心の位置を変更するものとした。変更は以下に従う。

$$\theta_{waist} \rightarrow \theta_{waist} + b \times strength \times emo \quad (3)$$

θ_{waist} は腰の角度であり、大きい時、より前に傾く。 $strength$ は入力された感情強度である。 b は重み係数である。

姿勢の高さは重心の位置に係わっている。腕を上を上げることで重心の位置を変更するものとした。変更は以下に従う。

$$\theta_{shoulder} \rightarrow \theta_{shoulder} + c \times strength \times emo \quad (4)$$

$\theta_{shoulder}$ は腕を前後方向に回転する角度であり、大きい時、腕がより上に向く。 $strength$ は入力された感情強度である。

姿勢の広がりや四肢先端が水平面上に作る四角の面積に係わっている。腕を水平方向に近づけることで変更するものとした。変更は以下に従う。

$$\begin{aligned} \theta_{shoulder2} &\rightarrow \theta_{shoulder2} - (1 - (180 - \theta_{shoulder2})(strength \times emo)) \\ &\quad (\theta_{shoulder2} \text{ が } 90 \text{ 以上の時}) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \theta_{shoulder2} &\rightarrow \theta_{shoulder2} + \theta_{shoulder2} \times strength \times emo \\ &\quad (\theta_{shoulder2} \text{ が } 90 \text{ 以下の時}) \end{aligned} \quad (6)$$

$\theta_{shoulder2}$ は腕を広げる方向に動かす角度であり、90 を取る時に水平方向である。 $stronght$ は入力された感情強度である。

4. 印象評価実験

提案手法の有用性を確認するため、印象評価実験を行った。

4.1 実験手順

被験者に以下の実験手順を説明し、実験を行った。

1. 被験者は基本動作を観察し、動作体の喜・怒・哀・楽の強度をそれぞれ推定評価する。評価は解答用紙 (図2) の線分上に印を付けることで表すものとした。その感情を強く感じていると推定するほど 1 に近い位置に、その感情を感じないと推定するほど 0 に近い位置に印をつける。線分の 0 側の端に印を付けた場合はその感情をまったく

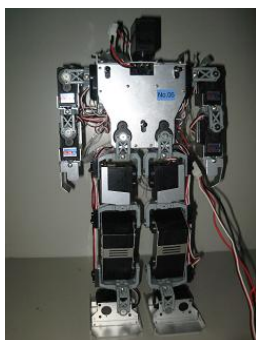


図 1: KHR-2HV の外観

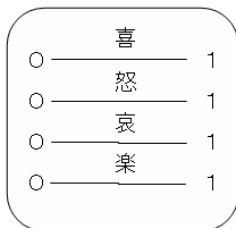


図 2: 基本動作の表出感情 回答用紙

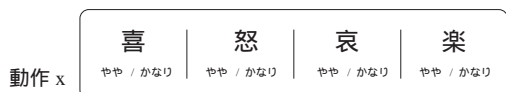


図 3: 付加感情 回答用紙

感じていないと評価したことになる。被験者の評価は線分上に記された印の位置に従い 0 から 100 の点数に線形変換される（以降これを「感情評価値」と呼ぶ）。感情評価値は値が大きいほどその感情を強く持っていることを表す。

2. 被験者は加工動作を観察し、基本動作に喜・怒・哀・楽のうちどの感情を付加した動作か、また付加された感情強度の大小を評価する。評価は解答用紙 2（図 3）の該当部分に丸を付けることで表すものとした。
3. 被験者は基本動作を観察する。
4. 基本動作に対する感情付加動作が無くなるまで 2 と 3 を行う。

また被験者の希望に応じて、以前の動作を再提示するものとした。

今回の実験では基本動作を 3 種類用意した。すなわち、上記の実験が基本動作を変えて 3 回行われた。

4.2 印象評価実験

被験者は 20 代から 30 代の男女 15 人である。3 種類の基本動作それぞれにつき、8 種類の加工動作を生成した。付加感情は、喜・怒・哀・楽それぞれ強（感情強度が 1.0）弱（感情強度 0.5）の 2 種類である。加工動作は順不同で提示された。

今回、基本動作には招き動作を採用した。これには以下のような 3 つ理由がある。1) 招き動作が特定の感情を持つことを前提としていない動作であること。2) 感情を持って招くという状況が想定可能であること。3) 加工しても転倒の心配がないということ。

3 つの基本動作が異なった印象をもつ動作となるように心がけた。基本動作 3 種類のうち、ふたつは両手で招く動作であり、ひとは片手で招く動作（基本動作 1）である。両手で招く動作は、一方は両手が左右対称の動きで招くもの（基本動作 2）であり、一方は左右非対称の動きで招くもの（基本動作 3）である。

表 2: 基本動作の感情評価値

	基本動作 1	基本動作 2	基本動作 3
喜	32	11	71
怒	29	11	24
哀	15	28	4
楽	12	20	12

表 3: 感情付加成功率

	基本動作 1	基本動作 2	基本動作 3	平均
喜	63.3%	56.7%	63.3%	61.1%
怒	83.3%	30.0%	46.7%	53.3%
哀	90.0%	86.7%	73.3%	83.3%
楽	53.3%	76.7%	50.0%	60.0%
平均	72.5%	62.5%	58.3%	64.4%

表 4: 強度付き感情付加成功率

		基本動作 1	基本動作 2	基本動作 3	平均
喜	やや	33.3%	46.7%	40.0%	40.0%
	かなり	60.0%	66.7%	80.0%	68.9%
怒	やや	66.7%	20.0%	13.3%	33.3%
	かなり	73.3%	6.7%	33.3%	37.8%
哀	やや	46.7%	46.7%	33.3%	42.2%
	かなり	73.3%	73.3%	40.0%	62.2%
楽	やや	26.7%	53.3%	46.7%	42.2%
	かなり	33.3%	33.3%	0.0%	22.2%
平均		51.7%	43.3%	35.8%	43.6%

5. 感情付加成功率

基本動作の感情評価値を表 2 に示した。これにより、3 種類の基本動作がそれぞれ別の感情を表出していることが確認できた。

付加感情が正しく伝達できた割合（感情付加成功率）を表 3 に示し、付加感情とその強弱が正しく伝達できた割合（強度付き感情付加成功率）を表 4 に示した。

5.1 感情付加成功率

感情付加成功率（表 3）について考察する。

まず感情ごとの成功率に注目する。各感情とも高い成功率を得ることができた。すなわち、喜・怒・哀・楽それぞれを基本動作に付加するための動作変更として、提案手法は適切な動作変更であったと考えられる。特に哀は非常に高い成功率と言える。一方、怒は比較的成功率が低かった。これは以前の実験にて怒の動作を十分に用意できなかったことが原因と考える。怒の動作が十分でなかったため、怒の動作特徴が十分に抽出できていなかった可能性がある。

次に基本動作ごとの成功率に注目する。各基本動作において高い成功率を得ることが出来た。提案手法によって様々な基本動作に目標感情を付加することが可能ということを示している。比較的、基本動作 3 の成功率が低かった。これは基本動作 3 が喜の感情が強かったため（表 2 参照）と考える。ラッセルの円環モデル [Russell 80] によると、喜と哀は対極に位置している。基本動作が強い喜を表出していたため、その対極である哀の感情付加が困難であった可能性がある。

5.2 強度付き感情付加成功率

強度付き感情付加成功率（表 4）について考察する。

強度付き感情ごとの付加成功率に注目する。無作為に回答

した場合の成功率が12.5%であることを考慮すると、十分に高い成功率を得ることが出来たと考えられる。特に喜・哀は高い成功率を得ることが出来た。これらの感情は基本動作への強度付き付加に成功していると考えられる。どちらも「かなり」の方が「やや」よりも成功している。加工度合が大きくなるほど、加工動作の動作特徴が他感情の動作特徴から離れ、感情伝達が成功し易いためと考える。怒は比較的成功率が低かった。これは感情付加成功率の考察同様、以前の実験で怒の動作を十分に用意出来なかったことが原因と考える。楽は比較的「かなり」の成功率が低かった。これは、動作を用いてかなり楽(とでもリラックスした状態)を表現することが困難であるためと思われる。感情付加成功率(表3)が低いことから、強い楽を表現することが難しいと言える。

6. おわりに

ラバン特徴と表出感情の相関に基づいて、与えられたロボットの身体動作に任意の強度の感情を付加する手法を提案した。ヒューマンフォームロボット実機を用いた印象評価実験を行い、喜怒哀楽の4感情に関して、提案手法が十分に目的感情とその強弱を表現できることが確認された。

今回の実験では基本動作が3種類と少なかった。今後、より多くの動作を用いて実験を行い、提案手法の有効範囲を確認するとともに、どのような身体動作に適しているか等を詳しく調べたい。また、提案手法で用いた身体動作は短時間のものであったが、今後は長時間の身体動作についても研究していく予定である。

参考文献

- [Amaya 96] Amaya, K., Bruderlin, A., and Calvert, T.: Emotion from motion, in *Proceedings of the conference on Graphics interface '96*, pp. 222–229 Canadian Information Processing Society (1996)
- [Brooks 07] Brooks, A. G. and Arkin, R. C.: Behavioral overlays for non-verbal communication expression on a humanoid robot, *Autonomous Robots*, Vol. 22, No. 1, pp. 55–74 (2007)
- [Fong 03] Fong, T., Nourbakhsh, I., and Dautenhahn, K.: A survey of socially interactive robots, *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 42, No. 3–4, pp. 143–166 (2003)
- [Hara 04] Hara, I., Asano, F., Asoh, H., Ogata, J., Ichimura, N., Kawai, Y., Kanehiro, F., Hirukawa, H., and Yamamoto, K.: Robust Speech Interface Based on Audio and Video Information Fusion for Humanoid HRP-2, in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2004)*, pp. 2404–2410 (2004)
- [Itoh 08] Itoh, C., Kato, S., and Itoh, H.: A Characterization of Sensitivity Communication Robots Based on Mood Transition, *Lecture Notes in Artificial Intelligence (PRICAI2008: Trend in Artificial Intelligence)*, Vol. 5351, pp. 959–964 (2008)
- [Kidd 04] Kidd, C. D. and Breazeal, C.: Effect of a Robot on User Perceptions, in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2004)*, pp. 3559–3564 (2004)
- [Laban 88] Laban, R. V.: *Mastery of Movement*, Princeton Book Co. Pub. (1988)
- [Masuda 09] Masuda, M., Kato, S., and Itoh, H.: Emotion Detection from Body Motion of Human Form Robot Based on Laban Movement Analysis, in *The 12th International Conference on Principles of Practice in Multi-Agent Systems (PRIMA 2009)* (2009)
- [Powers 07] Powers, A., Kiesler, S., Fussell, S., and Torrey, C.: Comparing a computer agent with a humanoid robot, in *2nd ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI2007)*, pp. 145–152 (2007)
- [Rogers 06] Rogers, W. T.: The Contribution of Kinetic Illustrators towards the Comprehension of Verbal Behavior within Utterances, *Human Communication Research*, Vol. 5, No. 1, pp. 54–62 (2006)
- [Russell 80] Russell, J. A.: A circumplex model of affect, in *Journal of Personality and Social Psychology*, pp. 1161–1178 (1980)
- [Wainer 07] Wainer, J., Feil-Seifer, D. J., Shell, D. A., and Mataric, M. J.: Embodiment and Human-Robot Interaction, in *16th IEEE International Conference on Robot & Human Interactive Communication*, pp. 872–877 (2007)
- [Yamamoto 06] Yamamoto, S., Nakadai, K., Nakano, M., Tsujino, H., Valin, J.-M., Komatani, K., Ogata, T., and Okuno, H. G.: Real-Time Robot Audition System That Recognizes Simultaneous Speech in the Real World, in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2006)*, pp. 5333–5338 (2006)
- [金広 03] 金広 文男, 藤原 清司, 梶田 秀司, 横井 一仁, 金子健二, 比留川博久, 中村仁彦, 山根克ヒューマノイドロボットソフトウェアプラットフォーム, 日本ロボット学会誌, Vol. 21, No. 7, pp. 785–793 (2003)
- [小松 06] 小松 考徳, 開 一夫, 岡夏樹人間とロボットとの円滑なコミュニケーションを目指して, 人工知能学会誌, Vol. 21, No. 6, pp. 679–686 (2006)
- [小林 06] 小林 一樹, 山田 誠二擬人化したモーションによるロボットのマインド表出, 人工知能学会論文誌, 人工知能学会論文誌, Vol. 21, No. 4, pp. 380–387 (2006)
- [松丸 05] 松丸 隆文人間機械系の情報動作学の応用展開, パイオメカニズム学会誌, Vol. 29, No. 3, pp. 139–145 (2005)
- [増田 09] 増田 恵, 加藤 昇平, 伊藤 英則ラバン理論に基づいたヒューマノイドロボット身体動作からの感情推定, 第23回人工知能学会 全国大会 (2009)
- [竹内 06] 竹内 勇剛身体コミュニケーションとしてのHAI, 人工知能学会誌, Vol. 21, No. 6, pp. 654–661 (2006)