

快活な動作を行うロボットに対する印象の予測モデルの開発

伊豆井 尊宗[†] ベンチャー ジェンチャン[†]

人間とのコミュニケーションを想定しているロボットには、相手に対し適切な印象を与えることが求められる。HRIに関する研究においてロボットが与える印象は動作によって異なることが分かってきた。これはロボットが目的の印象を与えるためには使用者がロボットの適切な振る舞いを試行錯誤的に見つけ出す必要があることを示している。本研究では、ロボットの動作が相手に与える印象を定量的に予測するモデルを開発し、実験によってその有用性を評価する。実験では2種類のヒューマノイドロボットが6種類の全身動作を表現し、観察した被験者は印象について定量的に評価した。得られた評価点とモデルによって算出された予測結果を比較する。その結果、ロボットが与える印象を予測することは可能であることが分かった。

Predictive Models of Users' Impression for Animated Robot

Takamune IZUI[†] Gentiane VENTURE[†]

The robot that is developed for communication with human needs to give appropriate impression for users. Some studies in the field of HRI show that the impressions given by a robot depends on motions. So each robot motion gives different impression to observers. This means that robot designers and programmers have to make trial and errors to generate behaviors conveying appropriate impressions. This study shows the predictive models of users' qualitative impression scores, and evaluates the effectiveness of the model using experimental data. In the experiment, 2 kinds of humanoid robot presented 6 behaviors and participants rated the qualitative impression. We compared the obtained scores with predictive scores calculated by our model. As a result, it is possible to predict users' impression scores for robot behaviors.

1. 緒言

人間の生活を支援する存在として、人間とのコミュニケーションを想定しているロボットが次々に開発されている。またこれらのロボットは既に実社会に適応できる水準に達しており¹⁾、すでに世の中に進出している。日本電気株式会社の PaPeRo はチャイルドケアなどを目標に開発されたパーソナルロボットである。音声インタラクション機能や人検出用のセンサを有しており、生活支援サービスなどを行う²⁾。産業技術総合研究所で開発されたアザラシ型ロボットのパロはふれあいにより安らぎを提供する目的で開発されたセラピーロボットである³⁾。パロは2005年に商品化され既に1500体以上が販売されており、介護施設などで活躍している。2016年に発売が予定されているシャープのモバイル型ロボット電話“RoBoHoN(ロボホン)”⁴⁾に代表されるように、一家に一台ロボットがある生活もそう遠くない将来のこととなるであろう。

ロボットが人間の生活を支援するために必要な能力として、人間とのコミュニケーション能力が挙げられる。人間は他者のことを理解するためには Emotional Intelligence と呼ばれる能力⁵⁾が必要だと言われている。これは人間とロボットとのコミュニケーションにおいても重要であり、ロボットが適切な表現を行うことで円滑なコミュニケーションが可能となる。円滑なコミュニケーションを行うために、ヒューマンロボットインタラクション(HRI)の分野ではロボットの表現によって人間に適切な印象を与えてい

るかが研究されている。ヒューマノイドロボット・Romeo は人間とのコミュニケーションのために首と眼球の姿勢を細かく定義できる⁶⁾。上出らはヒューマノイドロボットによる聴衆へのプレゼンテーションを行った⁷⁾。この中で、聴衆が内容を正しく理解するためにはロボットのアイコンタクトとジェスチャーの両方が必要であると述べている。これらの研究結果によって、非言語におけるコミュニケーション⁸⁾によってロボットが与える印象が変化することが分かってきた。これは適切な印象を与えるためにはロボット動作を試行錯誤的に生成しなくてはならないことを意味する。

本研究では、適切な印象を与えるロボット動作を生成するため、未生成のロボット動作が与える印象を定量的に予測するモデルを開発することを目的とする。これはロボット使用者に対し、適切なロボット動作を生成するためのガイドラインを低コストで提供できる新たなビジネスモデル開発につながる期待がある。実験では2種類のヒューマノイドロボットが同様の6種類の全身動作を行い、それを見た被験者が受け取った印象をアンケートによって定量的に評価した。得られた結果を用いて本研究における予測モデルも有効性において評価した。

2. 印象評価予測

本研究ではロボットの全身動作を観察した被験者の定量的な印象評価を予測するモデルを以下のように構築する。Figure 1は予測モデルの概念図である。

1: あるロボット(Robot A)がある全身動作(Motion φ)を行った場合の観察者の印象評価の得点を X とおく。

[†] 東京農工大学
Tokyo University of Agriculture and Technology

2: Robot A が Motion 1 とは異なる動作 (Motion θ) を行った場合, 観察者の印象評価の得点はXとは異なるはずである (仮定 I). このときの得点差を α とおく.

3: Robot A とは見かけの異なるロボット (Robot B) が Motion φ を行った場合についても, 観察者の印象評価の得点は異なるはずである (仮定 II). このときの得点差を β とおく.

4: Robot B が Motion θ を行った場合の印象評価の得点は, 仮定 I と仮定 II より Robot A が Motion θ を行った場合とも Robot B が Motion φ を行った場合とも異なるはずである. 動作による印象差がロボットの見かけに依存しないと仮定すると (仮定 III), Robot B における Motion φ を行った場合と Motion θ を行った場合との印象評価の得点差は α となる.

5: したがって, Robot B が Motion θ を行った場合の印象評価の得点をYとおくと

$$Y = X + (\alpha + \beta) \quad (1)$$

となる. これはYが他の 3 つの印象評価の得点から予測できることを意味する.

予測モデルの構築に 3 つの仮定を用いている. 仮定 I は動作によって観察者に与える印象が異なることを意味する. 32 種類のヒューマノイドロボット動作を生成し, 怒り, 悲しみ, 喜びの 3 種類の感情を最もよく表すジェスチャーを調査した Erden の研究⁹⁾にもあるように, 人間は同じロボットを観察していても動作によって異なる印象を受け取る. このことから仮説 I は真であるといえる. 仮説 II は異なる見かけのロボットは観察者に異なる印象を与えることを意味する. ロボットが与える印象の定量的評価手法作成のために行われた上出らの実験¹⁰⁾で得られた結果は, ロボットによって観察者の評価が異なることを示している. 仮説 II についても真であるといえる.

仮説 III は動作による印象差がロボットの見かけに依存しないことを意味する. 複数のロボットの印象差を同時に評価する研究はまだ少ない. 本研究では, あるロボット動作の印象評価の得点を他の 3 つの評価得点から予測できるかを評価することで, 仮説 III の真偽について検討を行う.

3. 動作生成

本研究では予測モデルの検証のために, 2 種類のヒューマノイドロボットを用いて動作による印象を定量的に評価する. ヒューマノイドロボットには Aldebaran 社の NAO と softbank 社の Pepper の 2 種類を用いる. この 2 種類のヒューマノイドロボットは共通のアプリケーションプログラミングインタフェース (Application Programming Interface: API) によって動作生成を行うことが可能である. 本実験では ALAnimatedSpeech という API を用いる. この API を用いることで, 入力された文字列から機械的に生成された音声をロボットが話し, 同時に内容に合わせた全身動作をロボットが行うことができる. ALAnimatedSpeech API によって約 1 分間の全身動作を生成し, 角度の時系列データを取得

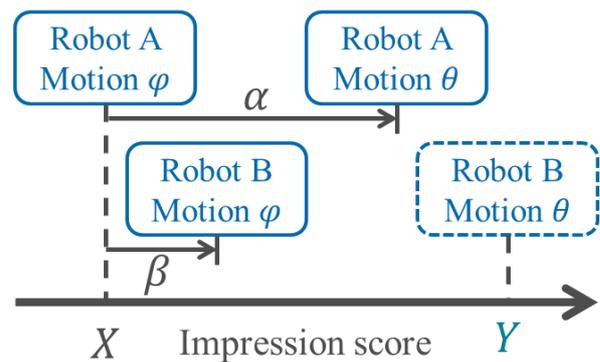


Figure 1 Conceptual diagram of the predictive model generated by this research.

することで基準となる全身動作 (Motion 1) を生成した.

次に取得した全身の角度データから異なる動作を生成する. 取得された角度データを半分にするので故意に全身を強張らせた動作 (Motion 2) を生成した. また取得した角度データの内, 首の動きに関するデータを取り除き首が動かない動作 (Motion 3) を生成した. 同様に脚が動かない動作 (Motion 4), 首と脚が動かない動作 (Motion 5) を生成した.

4. 実験

本実験の目的は, NAO と Pepper の全身動作を観察した被験者の印象評価を定量的に取得することである. 全身動作には, 前章で説明した 5 種類の動作 (Motion 1 ~ Motion 5) に立位の静止動作 (Motion 0) を加えた 6 種類の動作を用いる. 生成した印象評価を定量的に取得する方法として, 今回はヒューマノイドの心理的安心感評価尺度 (CH-33) を用いる¹¹⁾. これは 33 個の質問から安心感の要素である 6 つの因子 (高性能 Performance, 心理的受容 Acceptance, 信頼性 Harmlessness, 統制可能性 Toughness, 人間らしさ Humanness, 実体性 Agency) についての評価点を最小 1, 最大 7 として算出するアンケートである. アンケートから得られた定量的な印象評価を用いて, 本研究で提案する予測モデルを評価する.

4.1 実験概要

本研究における実験の流れを説明する. 本実験は同時に 3 人まで行えるものとした. 被験者はまず NAO の Motion 0 を観察し, CH-33 に回答した. その後 NAO は Motion 1 から Motion 5 の 5 種類の中から無作為に選出された動作を行い, 被験者はその動作を観察した. 動作終了後 NAO の前方に仕切りが立てられた. 被験者は NAO が見えない状態で再び CH-33 に回答した. 回答終了後, この過程を Pepper について繰り返した. このとき Pepper が行う全身動作は NAO が行ったものと同じであった. 実験中の様子を Figure 2 に示す.



(a) Participants were answering for “Nao 0” motion.



(b) Participants were watching for “Pep 1” motion.

Figure 2 Captured pictures from movie recorded during the experiment.

4.2 実験条件

- 被験者：20歳から26歳まで（平均22.3歳）の63人（男性40人，女性23人）
- 実験場所：東京農工大学工学部小金井キャンパス
- 実施期間：2015/10/16-2015/11/20

5. 実験結果および考察

実験によって得られた動作ごとの印象評価点の平均値と両側95%信頼区間の範囲を表1に示す。これ以降、NAOが添え字xの動作(Motion x)を行った場合をNao x, Pepperが添え字xの動作を行った場合をPep xと表記する。

本研究では、予測された印象評価点の対象となる動作の実験で得られた評価点の両側95%信頼区間内になったかによって予測モデルを評価する。立位の静止動作であるNao 0とPep 0における信頼区間が小さくなっており、その他の動作における信頼区間は比較的大きくなっている。これはサンプル数による影響だと考えられる。信頼区間はサンプル数が大きくなるほど小さくなるという特徴がある。本実験において被験者はまず立位の静止動作について印象評価を行った後その他の5種類の動作から1種類のみを観察した。したがってMotion 1からMotion 5についての印象評価のサンプル数はMotion 0のサンプル数の20%程度であり大きな差がある。そのためMotion 1からMotion 5に対する信頼区間は大きくなっている。しかしながら、信頼区間は全て±1.00以下の範囲になっているため、予測可能性の評価に用いることができると考えられる。

Table 1 Average and two-side 95% confidence interval of the participants’ impression scores: performance (PER), acceptance (ACC), harmlessness (HAR), toughness (TOU), humanness (HUM), and agency (AGE).

Motion	PER	ACC	HAR	TOU	HUM	AGE
Nao 0	3.98 ±0.19	4.72 ±0.22	4.87 ±0.23	4.77 ±0.25	2.75 ±0.16	3.87 ±0.25
Nao 1	3.63 ±0.58	4.36 ±0.52	4.94 ±0.95	4.94 ±0.51	2.56 ±0.62	3.00 ±0.67
Nao 2	3.35 ±0.44	3.72 ±0.66	5.21 ±0.74	4.79 ±0.74	2.09 ±0.31	2.55 ±0.63
Nao 3	3.51 ±0.43	4.04 ±0.68	4.69 ±0.68	5.31 ±0.59	2.52 ±0.42	2.71 ±0.66
Nao 4	3.98 ±0.55	4.68 ±0.59	3.95 ±0.64	5.12 ±0.62	2.57 ±0.44	2.79 ±0.71
Nao 5	3.67 ±0.62	4.46 ±0.62	4.72 ±0.48	5.06 ±0.59	2.67 ±0.57	3.04 ±0.75
Pep 0	4.81 ±0.20	4.89 ±0.21	2.76 ±0.18	4.53 ±0.27	3.24 ±0.21	4.10 ±0.32
Pep 1	4.80 ±0.60	4.97 ±0.71	2.89 ±0.58	4.58 ±0.95	3.35 ±0.79	4.00 ±0.58
Pep 2	4.42 ±0.52	4.40 ±0.72	3.76 ±0.66	4.48 ±0.79	2.95 ±0.55	3.68 ±0.87
Pep 3	5.03 ±0.42	4.85 ±0.40	3.57 ±0.77	5.17 ±0.61	3.50 ±0.47	4.07 ±0.67
Pep 4	4.76 ±0.47	5.23 ±0.48	2.98 ±0.69	5.26 ±0.44	2.96 ±0.50	3.57 ±0.91
Pep 5	4.90 ±0.59	5.24 ±0.61	3.17 ±0.54	4.97 ±0.71	3.47 ±0.61	4.54 ±0.48

実験で得られた印象評価点を用いて本研究における予測モデルについて評価する。本研究ではMotion 1の結果を基準とした。Motion 2からMotion 5の4つの動作のうちいずれか1つとMotion 1における結果を用いて評価点予測を行った。選択した2つの動作による結果のうち3種類の結果を用いて、残った1種類の結果を式(1)を用いて算出した。予測された算出結果をTable 2に示す。算出された結果が実験によって得られた両側95%信頼区間に入っていた場合、算出結果を太字にしている。予測した96項目のうち86項目は実験値の両側95%信頼区間内となった。このことから本研究による予測モデルがロボット動作の印象評価に利用できるといえる。印象因子ごとに評価すると、予測が十分に行えなかった10項目のうち8項目は信頼性に関するものであった。また信頼性以外の因子について予測が十分に行えなかった2項目について実験結果と比較するとFigure 3のようになり、信頼性以外の因子に関しては、印象予測が実験値の傾向を捉えていることが分かる。このことから、本研究における予測モデルは信頼性以外に関する印象因子の予測が可能であるといえる。

信頼性とは、ロボットが機械として信用できるかどうかの指標である。信頼性に対する印象には動作だけではなく、見かけや駆動時のモーター音などの影響も考えられる。結果より、信頼性に関しては他の印象に関する要因が大きく関係していると考えられる。

Table 2 Prediction results using formula (1). The scores written in bold are successfully predicted impressions: performance (PER), acceptance (ACC), harmless (HAR), toughness (TOU), humanness (HUM), and agency (AGE).

Motion	PER	ACC	HAR	TOU	HUM	AGE
Nao 1	3.72	4.29	4.34	4.89	2.48	2.86
Nao 2	3.25	3.79	5.81	4.85	2.16	2.68
Pep 1	4.70	5.05	3.49	4.64	3.42	4.14
Pep 2	4.51	4.32	3.16	4.43	2.88	3.55
Nao 1	3.28	4.16	4.01	4.73	2.37	2.64
Nao 3	3.86	4.24	5.63	5.53	2.71	3.07
Pep 1	5.15	5.18	3.83	4.80	3.53	4.36
Pep 3	4.67	4.64	2.63	4.95	3.32	3.71
Nao 1	4.02	4.42	3.87	4.44	2.95	3.21
Nao 4	3.59	4.63	5.03	5.62	2.17	2.57
Pep 1	4.41	4.92	3.97	5.09	2.95	3.79
Pep 4	5.15	5.28	1.90	4.76	3.36	3.79
Nao 1	3.56	4.19	4.44	4.67	2.54	2.50
Nao 5	3.73	4.64	5.22	5.33	2.68	3.54
Pep 1	4.86	5.15	3.39	4.86	3.36	4.50
Pep 5	4.83	5.06	2.67	4.69	3.46	4.04

6. まとめ

本稿では、適切な印象を与えるロボット動作を生成するため、未生成のロボット動作が与える印象を定量的に予測するモデルを開発し有効性を検証した。その結果、開発したモデルによって印象の定量的な予測が可能であった。

信頼性については予測が適切に行えなかった。これは信頼性が動作だけではなく見かけや駆動時のモーター音などにも影響されるためであると考えられる。

7. 課題と今後の展望

実験では、被験者は主に理系大学の学生であり、20代が多く年齢が限定的だった。また結果の両側95%信頼区間が十分小さいとはいえない。このことから、得られた印象評価が一般的でない可能性が考えられる。また、先行研究において、非言語コミュニケーションには文化的な背景が影響することが分かってきた¹²⁾。今後、被験者の年齢や国籍などの実験条件をより一般的にし、多くのサンプルを得る必要があると考えられる。

今回は被験者が実際にロボット動作を観察し印象の評価を行った。この印象評価がインターネットを通じての動画による評価と統計的に一致すれば、より多くのサンプルを得られる期待があり、現在準備を行っている。

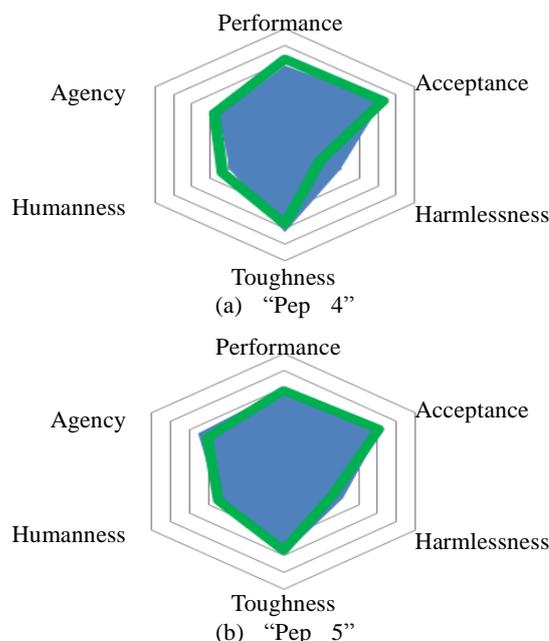


Figure 3 Radar graphs of prediction results. Blue hexagons mean the obtained data in the experiment. Green hexagons mean the prediction results using our model.

参考文献

- 1) W. Burgard, A. Cremers, D. Fox, D. Hänel, G. Lakemeyer, D. Schulz, W. Steiner, and S. Thrun, "The interactive museum tour-guide robot," In AAAI/IAAI, pp. 11-18, 1998.
- 2) 大中慎一, 安藤友人, 岩沢透, "人とインタラクシオン機能を持つパーソナルロボット PaPeRo の紹介," 情報処理学会研究報告. SPL, 音声言語情報処理, vol. 2001, no. 68, pp. 37-42, 2001.
- 3) 柴田崇徳, "アザラシ型ロボット・パロと人との相互作用に関する研究," 日本ロボット学会誌, vol. 29, no. 1, pp. 31-34, 2011.
- 4) シャープ株式会社, "ニュースリリース「モバイル型ロボット電話「RoBoHoN(ロボホン)」を開発」", <http://www.sharp.co.jp/corporate/news/151006-c.html>, 2015 (参照日 2015年12月15日)
- 5) P. Salovey and J. D. Mayer, "Emotional intelligence," *Imagination, Cognition, and Personality*, vol. 9, pp. 185-211, 1990..
- 6) N. Pateromichelakis, A. Mazel, M. A. Hache, T. Koumpogiannis, R. Gelin, B. Maisonnier and A. Berthoz, "Head-eyes system and gaze analysis of the humanoid robot Romeo," *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1374-1379, 2014.
- 7) H. Kamide, K. Kawabe, S. Shigemi, and T. Arai "Nonverbal behaviors toward an audience and a screen for a presentation by a humanoid robot", *Artificial Intelligence Research*, Vol. 3, No. 2, pp. 57-66, 2014.
- 8) M. F. Vargas, 石丸正 訳, 非言語コミュニケーション, 株式会社新潮社, 1987.
- 9) M. Erden, "Emotional Postures for the Humanoid-Robot Nao," *International Journal of Social Robotics*, vol. 5, issue 4, pp. 441-456, 2013.
- 10) H. Kamide, Y. Mae, K. Kawabe, S. Shigemi, M. Hirose, T. Arai, "New Measurement of Psychological Safety for Humanoid," *Session: Attitudes and Responses to Social Robotics*, March 5-8, 2012, Boston, Massachusetts, USA
- 11) 上出寛子, 前泰志, 川辺浩司, 重見聡史, 広瀬真人, 新井健生, "ヒューマノイドの安心感評価 - 心理的要素の解明と評価尺度の開発 -", 第17回ロボティクスシンポジウム, 6B1, 2012.
- 12) T. Izui, I. Milleville, S. Sakka, G. Venture, "Expressing Emotions using Gait of Humanoid Robot," *Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, 2015.

