

HAIの促進と持続に関する一考察

平川大介[†] 野澤孝之[†] 近藤敏之[†]

[†] 東京農工大学大学院 共生科学技術研究院

E-mail: †hirakawa@livingsys.lab.tuat.ac.jp, taknozawa@cc.tuat.ac.jp, tkondo@ieee.org

あらまし 本研究では、ヒューマン - エージェントインタラクション (HAI) の促進と持続を実現する必要条件のひとつとして「行動の予測可能性」に着目し、その効果をペットロボットを用いた心理物理実験を通して検証する。行動の予測可能性が異なる3種類のインタラクションモデル(有限状態機械モデル, ランダムモデル, インタラクションの履歴で変化する内部状態に基づいて行動を決定する感情行動モデル)をAIBOに実装し、被験者との相互作用実験を行った結果、「行動の予測可能性」を適度に維持することが、相対的にユーザの関心を持続できる可能性が示唆された。キーワード ヒューマンエージェントインタラクション, 相互適応, 持続, 予期

Sustainability in human-agent mutual adaptation systems

Daisuke HIRAKAWA[†], Takayuki NOZAWA[†], and Toshiyuki KONDO[†]

[†] Tokyo University of Agriculture and Technology

E-mail: †hirakawa@livingsys.lab.tuat.ac.jp, taknozawa@cc.tuat.ac.jp, tkondo@ieee.org

Abstract In the paper, we investigated sustainability in human-agent mutual adaptation systems. For this aim, we especially focused on a behavior predictability of a robot. From the results of psychophysical interaction experiments with the robot having different level of predictability, it is specified that keeping the behavior predictability in a moderate level contributes to the sustainability of HAI.

Key words human-agent interaction (HAI), mutual adaptation, sustainability, anticipation

1. はじめに

近年、ヒトと日常的にインタラクションすることを目的とした人工物(たとえばペットロボットや対話ロボットなど)の研究・開発が盛んに行われている[1]~[5]。その多くは、ヒトのモノに対する(すなわち生物及び人工物に対する)不可避的な適応能力・解釈能力を積極的に利用して、かわいらしい動作でヒトを癒したり、楽しませたりすることから、好意を持って社会に受け入れられている。しかしながら、心理学における内発的動機づけの概念によれば、人間には本質的に未知なるモノを同定したいという強い欲求(知る欲求)があることが知られている。したがって、あらかじめデザインされたシナリオだけに依存したインタラクションでは、時間が経てばユーザに飽きられてしまうことは想像に難くない。

このような背景から、我々はヒトと人工物の長期的相互適応を促進・持続するために、人工物が有すべき機能条件の解明を試みている[7],[8]。その基本的なアイデアは、人工物を介してユーザのふるまいを長期的に計測し、その統計情報からユーザの内部状態(飽きなどの短期的な心理状態)や個性(嗜好や性格のように長期的に変化しない性質)を推定し、この特

微量に基づいて人工物の行動決定則(以後「インタラクションモデル」と呼ぶ)を切替・調節するというものである。

本研究では、特に人間-人工物間の「行動の予測可能性」に着目し(1)インタラクションモデルの仮説生成と(2)同モデルを実装したロボットとの相互作用の解析、を繰り返し行う過程を通してインタラクションモデルを改善する、構成論的な研究アプローチを採用する。

ここで「行動の予測可能性」とは、ロボットのインタラクションモデルに関する事前知識を全く持たないユーザが、ロボットとの主体的なインタラクションを通じて、どれくらいまで正確にその行動予測ができるようになるか、を意味する。たとえば、ロボットが有限状態機械(Finite State Machine)でモデル化されたインタラクションモデルを持つ場合、ユーザはインタラクションを通じてロボットの次の行動をほぼ完全に予測できるまで適応すると予想される。一方、インタラクションモデルがランダム行動選択の場合には、ユーザのふるまいに対するロボットの反応に一貫性が見られないことから、ユーザはいつまでたってもロボットの行動を予測できないと感じるはずである。本稿では(1)行動の予測可能性が高い場合(有限状態行動)と低い場合(ランダム行動)のように、一見相反する状況が人



図 1 AIBO(ERS-7).

間に飽きを感じさせ、インタラクションの持続を阻害する要因となること、及び(2)インタラクションモデルに生物的な感情モデルを導入し、適度な(中庸な)予測可能性を維持することが、ヒトの人工物に対する関心を持続させるために有効である、という二つの仮説の妥当性を、ロボットを用いた心理物理実験を通して検証する。

2. 実験の概要

先の研究目的を達するため、本研究では、図1に示すペットロボット(SONY AIBO, ERS-7)に、次節に示す3種類のインタラクションモデル(有限状態行動モデル、ランダム行動モデル、感情行動モデル)を実装し、被験者との相互作用実験を行う。ここではインタラクションモデルの違いのみを評価するため、AIBOが取り得る行動はすべて共通の8種類を用いた。この8種類の行動は、各々2秒間程度の身体動作パターンであり、Sony社製のMotion Editorを用いてあらかじめ実験者が作成した。ただし、感情行動モデルでは、図2に示すRussellの円環モデル[6]を用いてロボットの行動選択確率を決定するため、各行動ごとに「快-不快レベル」及び「覚醒-眠気レベル(覚醒度)」を定める必要がある。実験者の設計バイアスを少しでも取り除くため、予備実験として19名の被験者(20代前半の男性14名、女性5名)に上記8種類の行動をひとつずつ提示し、快-不快レベルと覚醒度を各々10段階の中からその動作を最もよく表現していると感じる位置に手書きでチェックしてもらうという方法で回答してもらった。

図3にその平均と標準偏差(楕円)を示す。たとえば、動作2, 5, 7は、多くの被験者が嬉しそうと判断した行動であり、一方、動作6は快活な行動、動作8は眠気が強い行動、動作1, 3, 4は悲しげな行動に分類された。

以上のように、AIBOからユーザへの作用は、身体行動の表出という視覚的なモダリティを通じて行われる。一方、ユーザからAIBOへの作用は、頭部と背中にあるタッチセンサへの接触情報を用いた。AIBOのタッチセンサは飽和型の特徴を持つため、センサ値を指数平滑移動平均等を用いてソフトウェア的に処理し、ユーザの接触行動を「たたく」と「なでる」の二つの行動として認識するプログラムを開発した[9]。AIBOの制御プログラムはLinux上でgccを用いて開発した。また、実行時

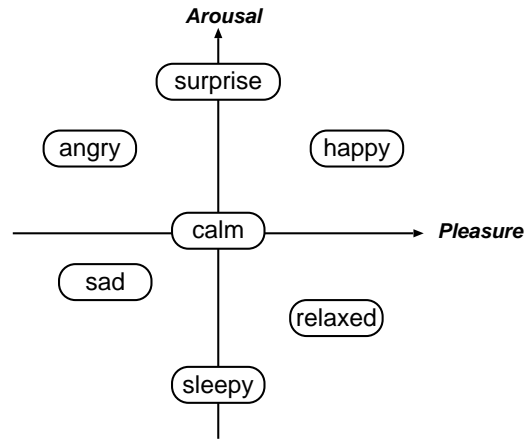


図 2 Russell's circumplex model for facial expression.

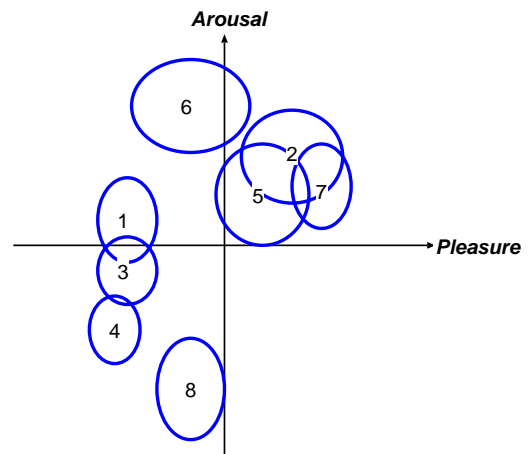


図 3 Robot behaviors mapped on Russell's model.

には、インタラクションのログを、Sony社製のRP-OPEN-Rを利用してワイヤレスLANを介してネットワーク上のサーバに記録した。

3. インタラクションモデル

「行動の予測可能性」とインタラクションの持続性の関係を明らかにするため(1)予測可能性が高い場合(有限状態行動モデル)(2)低い場合(ランダム行動モデル)、および(3)適度な予測可能性を保つ場合(感情行動モデル)の3つのインタラクションモデルをAIBOに実装し、先の仮説の妥当性を実験的に検証する。以降に、各インタラクションモデルの実装方法を説明する。

3.1 有限状態行動モデル

図4に示すように、8つの行動を状態ノードとし、ノード間の遷移(アーク)を2つの接触行動(たたく、なでる)に対応させた有限オートマトンが無作為に設計し、これを用いてユーザとの相互作用実験を行う。

3.2 ランダム行動モデル

ユーザの接触行動に関係なく、8種類の行動パターンから一律な確率で、あるひとつの行動を選択し表出する。

3.3 感情行動モデル

先に述べたRussellの円環モデルの2つの軸に相当する「快-

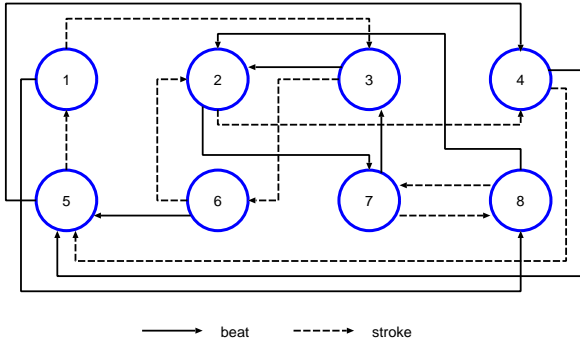


図 4 Interaction model (Finite State Machine).

不快レベル (ξ_P) と「覚醒度 (ξ_A)」をロボットの内部状態 (ξ) とし、これが、ユーザとの接触インタラクション (u) に基づいて時間発展する内部ダイナミクスを次式のように設計する。感情行動モデルでは、この内部状態 (ξ) と各行動 (図 3) のマハラノビス距離に比例した確率に基づいて発現する行動を決定する。

$$\xi = [\xi_P, \xi_A]^T \quad (1)$$

$$u = [u_{BEAT}, u_{STROKE}]^T \quad (2)$$

$$\xi_n = \xi_{n-1} + \kappa A \begin{bmatrix} u \\ 1 \\ \xi \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$A = \begin{bmatrix} -1.0 & 1.0 & 0.0 & -0.5 & 0.0 \\ 1.0 & 1.0 & -0.5 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

4. インタラクション実験

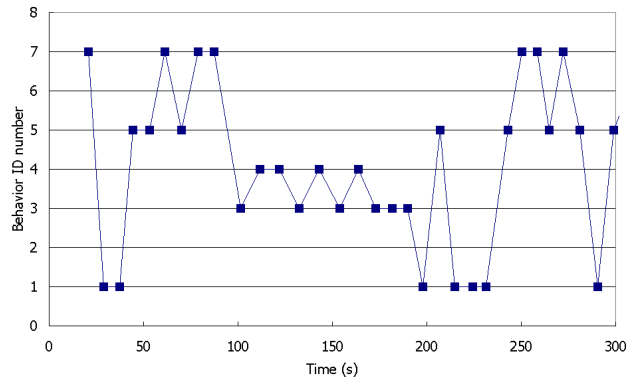
3種類のインタラクションモデルを実装した AIBO を用いて、被験者を用いた相互作用実験を行い、インタラクションモデルの比較を試みた。ヒトがペットロボットと相互作用する目的は様々であるが、目的に自由度がありすぎると、被験者間でインタラクションモデルを正しく評価することができない。そこで本実験では、あらかじめ被験者に「行動 2」のアニメーションを何度も見せてその動作パターンを教示し、実験開始後に、実機の AIBO が行動 2 をより多く表出するように相互作用することを指示した。被験者にはあらかじめ (1) 頭と背中にタッチセンサがあるということ (2) 「たたく」と「なでる」という方法でインタラクションを行うことができる、ということを教示し、インタラクションモデルの差異については説明しなかった。

3種類のインタラクションモデルを一度に比較評価することは困難であるため、被験者ごとに「有限状態行動モデル」と「感情行動モデル」、「ランダム行動モデル」と「感情行動モデル」の比較をしてもらう必要がある。本実験では 4 人の被験者

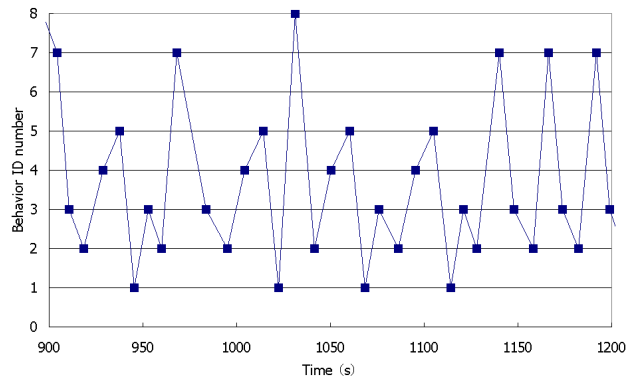
に実験を行ってもらった。実験の順序による影響を排除するため、表 1 に示す順に相互作用実験を行った。また、各回の後半終了後、前半と後半の AIBO から受けた印象を比較するためのアンケート調査を行った。

5. 実験の結果と考察

被験者 1 の 2 回目 (前半:有限状態行動モデル, 後半:感情行動モデル) における、相互作用実験の結果を図 5 から図 8 に示す。図 5(a), (b) と図 6(a), (b) は、実験開始直後の 5 分間と実験終了前 5 分間に AIBO が表出した行動番号 (1~8) を時系列で表している。両図の (b) より、被験者は終了間際にはインタラクションモデルを理解し、行動 2 を高い頻度で表出できることが見て取れる。



(a) early phase



(b) termination phase

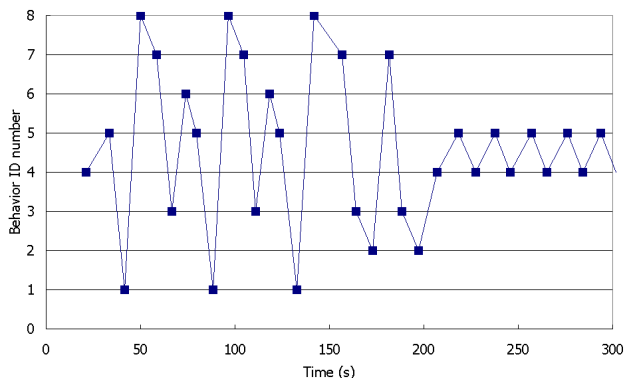
図 5 Robot behavior (FSM model).

一方、図 7(a), (b) ならびに図 8(a), (b) は、実験開始直後の 5 分間と実験終了前 5 分間における、頭部と背中中のタッチセンサへの接触インタラクションの時系列を示している。両図の (b) からタッチセンサへの接触頻度を比較すると、感情行動モデルの方が有意に高く、感情モデルの方がユーザの関心を維持できていることが示唆された。

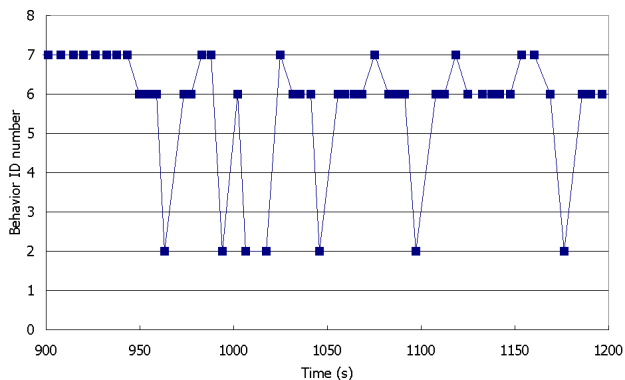
また、同時に行った被験者アンケートによれば、感情行動モデルはすべての被験者が、より生物らしく、他の二つのインタラクションモデルと比べて、飽きずに引きつけられたと報告している。

表 1 Procedure of interaction experiments

	被験者 1	被験者 2	被験者 3	被験者 4	時間
1 回目前半	ランダム行動	感情行動	有限状態行動	感情行動	20 分
1 回目後半	感情行動	ランダム行動	感情行動	有限状態行動	20 分
休憩					30 分
2 回目前半	有限状態行動	感情行動	感情行動	ランダム行動	20 分
2 回目後半	感情行動	有限状態行動	ランダム行動	感情行動	20 分

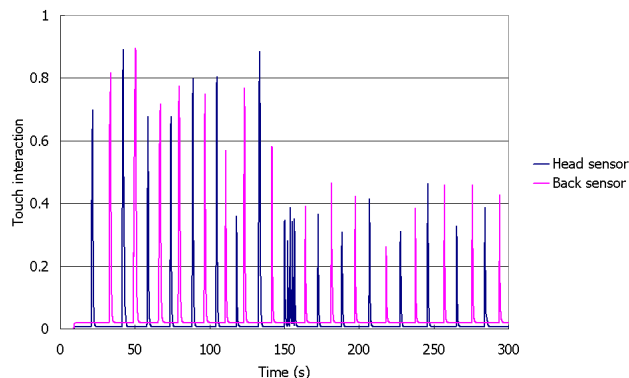


(a) early phase

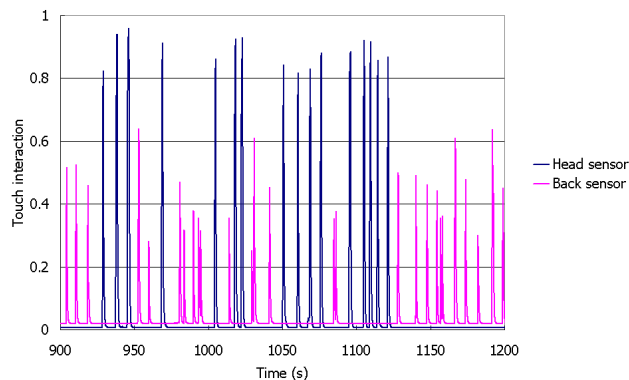


(b) termination phase

図 6 Robot behavior (Emotion model).



(a) early phase



(b) termination phase

図 7 Touch interaction (FSM model).

6. ま と め

本稿では、人工物の「行動の予測性」に着目し、これが HAI の促進と持続に及ぼす影響を実験的に明らかにすることを試みた。予測性が異なる 3 種類のインタラクションモデルを実装したロボットとの相互作用実験の結果から、予測性が中庸に保たれていることと、人工物が生物的な感情モデルを持ち、動作が把握しやすいことが、相対的にユーザの関心を持続する可能性が示唆された。

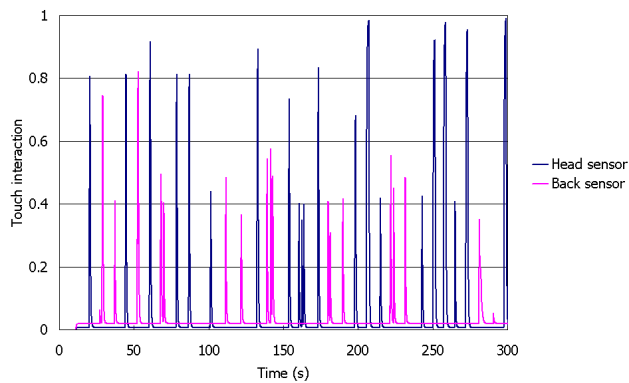
しかしながら、ロボットの行動の種類が限られていることや、ユーザが人工物と相互作用する際の目的を実験者が制限するなど、この結果の普遍性については継続して調査しなければならない課題が多く残されている。また、今後は、長期的に変化しないユーザのパーソナリティ特徴量の抽出と、それを利用した暗黙的な情報支援についても研究を進める予定である。

謝辞 本研究の一部は、立石科学技術振興財団の第 16 回研究助成および東京農工大学研究プロジェクト『人と調和する情

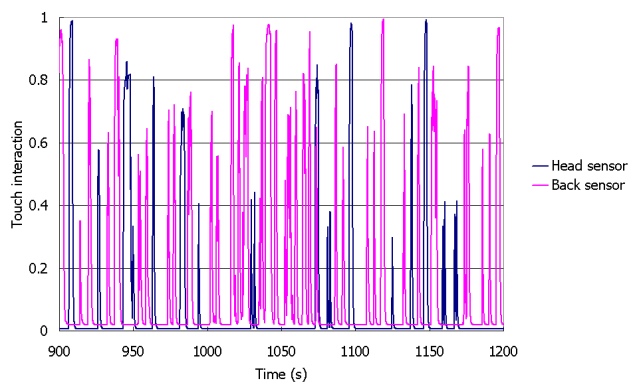
報環境実現のための共生情報工学研究』の支援のもとに行われた。ここに謝意を表す。

文 献

- [1] Takanori Shibata, Kazuo Tanie: Physical and Affective Interaction between Human and Mental Commit Robot, Proc. of the IEEE International Conference of Robotics and Automation, pp.2572-2577, 2001.
- [2] Ronald C. Arkin et. al.: An Ethological and Emotional Basis for Human-Robot Interaction, Proc. of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2002.
- [3] Cynthia L. Breazeal: Designing Sociable Robots, A Bradford Book, The MIT Press, Cambridge, MA, 2002.
- [4] AIBO Official Site, <http://www.sony.jp/products/Consumer/aibo/>
- [5] NEC Personal Robot Research Center, <http://www.incx.nec.co.jp/robot/>
- [6] James A. Russell: Reading emotions from and into faces: Resurrecting a dimensional-contextual perspective, in James A. Russell and José-Miguel Fernández-Dols (eds.), The Psychology of Facial Expression, New York: Cambridge Univ., pp.295-320, 1997.



(a) early phase



(b) termination phase

図 8 Touch interaction (Emotion model).

- [7] 若松良久, 近藤敏之, 伊藤宏司: 誘発機構を考慮した感情表現モデルの提案, 第 14 回 自律分散システム・シンポジウム資料, pp.273-276, 2002.
- [8] 近藤敏之, 若松良久, 伊藤宏司: 人間-エージェントの相互適応系における継続的相互作用実現のための機能条件, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2003 講演論文集, pp.432-437, 2003.
- [9] OPEN-R プログラミング SIG: C++で AIBO を自在に動かす-OPEN-R プログラミング入門-, インプレス, 2002.