

ペットロボットによる感情表出のタイミングがユーザとの インタラクションに与える影響

田中 一晶[†] 岡 夏樹[†]

[†] 京都工芸繊維大学 大学院工芸科学研究科

E-mail: [†]tanaka@vox.dj.kit.ac.jp, nat@kit.ac.jp

あらまし 現在のペットロボットは、ユーザからの刺激に応じた感情表出を、ユーザがタッチセンサに触れた瞬間から適切に行うことは難しい。我々は手を触れた瞬間からその時点で尤もらしい表出を行う随時表出システムを提案し、随時表出がユーザとのインタラクションに与える影響を実験的に明らかにする。

キーワード インタラクション, 随時表出システム, 識別, 刺激

The effect of the response timing of a pet robot on human-robot interaction

Kazuaki TANAKA[†] and Natsuki OKA[†]

[†] Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology

E-mail: [†]tanaka@vox.dj.kit.ac.jp, nat@kit.ac.jp

Abstract It is difficult for the current pet robots to respond immediately and appropriately to a stimulus given by a human partner. We thus propose an anytime-responding system: it can respond immediately after a stimulus even if the stimulus is ambiguous, and modifies the response according as the recognition of the stimulus becomes accurate. Our experiments demonstrated the effect of the anytime response on human-robot interaction.

Key words interaction, anytime responding, recognition, stimulus

1. はじめに

現在までに犬型の AIBO やアザラシ型のパロなどのペットロボットが数多く開発・販売されてきた。しかし、玩具の域を超えないものが多く、ユーザが飽きてしまい、時間と共にユーザとのインタラクションが希薄になりがちである。パロはユーザとのインタラクションにおいて癒しの効果が認められているそうだが、AIBO は特に飽きの問題が指摘されている。

我々は、ペットロボットがユーザからの刺激を理解できず、適切なタイミングで感情表出できていないことがインタラクションが減少する原因の一つであると考えた。

また、現在のペットロボットの学習能力は低く、あらかじめ実装されている遊び行動を段階的に開放して成長しているように見せているものが多い。これでは成長に限界があり、最後まで成長してしまうとその後の変化が見られず、飽きの原因となっているのではないかと考えられる。

この問題を解決するために、AIBO に芸や戯を学習させる研究が成されている。古典的条件付けを用いて AIBO を戯れる研究では、あらかじめ特定の条件で実行する行動を設定しておき、

(これを無条件刺激と無条件反応と言う) 古典的条件付けの計算モデルを用いて、関連性のない刺激(条件刺激)と無条件反応を関連付けるものがある[2]。この場合、ユーザは AIBO を戯れる際に報酬や罰は与える必要が無い。報酬を与えて AIBO を戯れる研究では、クリッカーという訓練用の音の鳴る道具を用いて、その音を報酬とするクリッカートレーニングがある[3]。このトレーニング方法は実際の犬の戯けにも用いられており、餌とクリッカーの音との関連付けから学習させ、戯けにはクリッカーの音だけを用いる。

これらの研究では AIBO を撫でるといった直接的な報酬は用いられておらず、人とのインタラクションが減少してしまう可能性がある。我々は「撫でる」「叩く」「押さえる」といった報酬や教示がペットロボットとの自然なインタラクションに必要であると考え、そのためにペットロボットがユーザからの教示を理解し、感情や内部状態を適切なタイミングで表出する必要がある。

人間と動物のペットとのインタラクションによる動物介護療法の効果を得るためにはペットに手を触れて撫でることや、それに応じたペットの感情表出が重要であることが示されており、

適切な感情表出ができることが、今後のペットロボットの評価基準と考える研究もある [4]。

そこで、我々はユーザがタッチセンサに手を触れた瞬間から刺激に応じてその時点で尤もらしい感情表出を行う随時表出システムを考案した。随時表出システムを図 1 の AIBO (ERS-7) に実装し、ユーザがタッチセンサから手を離してから表出する場合と比較することで、感情表出のタイミングがユーザとペットロボットとのインタラクションにどのような影響を与えるのか、実験的に明らかにする。



図 1 実験で使用する AIBO(ERS-7)

2. 随時表出システム

本節では AIBO に実装する随時表出システムのアルゴリズムを説明する。

本論文ではユーザからの刺激を躰などの教示に用いることを想定しているため、AIBO の頭への「撫でられた」「叩かれた」「押さえられた」の 3 つの刺激を識別できるシステムを提案する。

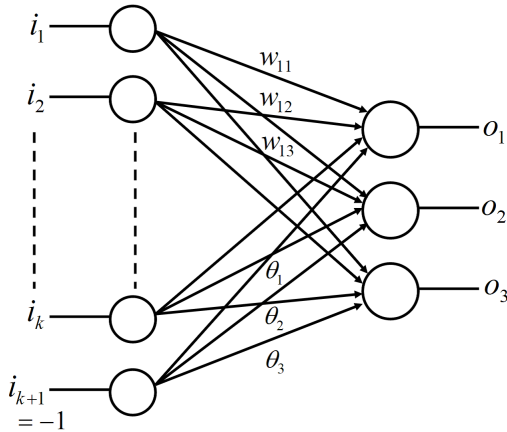


図 2 随時表出システムで使用する単層ニューラルネットワーク

2.1 単層ニューラルネットワーク

随時表出システムは図 2 のような単層ニューラルネットワークを用いてユーザからの刺激を識別する。

AIBO には 5 個のタッチセンサと 19 個の角度センサが実装されている。ユーザから刺激を受けたとき、これらのセンサの値を式 (1) ~ (8) によって前処理し、ニューラルネットワークへの入力 $I^T = \{i_1^T, i_2^T, \dots, i_{25}^T, i_{26}^T, i_{27}^T = -1\}$ とする。

まず、AIBO に実装された 24 個のセンサの値を要素に持つベクトル V^t を式 (3) によって閾値処理し、ベクトル D^t の要素とする。また、 D^t の 25, 26 番目にはそれぞれ式 (4), (5) で処理した要素を付加する。式 (4) は閾値処理した任意の角度センサの値が 1 であれば 0 を、全て 0 であれば 1 とするものであり、刺激の強さの特徴としている。また、式 (5) はタッチセンサの値が 1 であれば 0 を、0 であれば 1 とするものであり、ユーザが AIBO の頭に手を触れている長さを特徴としている。

$$V^t = \{v_1^t, v_2^t, \dots, v_{23}^t, v_{24}^t\} \quad (1)$$

$$D^t = \{d_1^t, d_2^t, \dots, d_{25}^t, d_{26}^t\} \quad (2)$$

$$d_j^t = \begin{cases} 0 & (|v_i^t - v_j^{(t-1)}| < \Theta_j) \\ 1 & (|v_i^t - v_j^{(t-1)}| > \Theta_j) \end{cases} \quad (3)$$

$$d_{25}^t = \begin{cases} 0 & (\text{任意の角度センサの } d_j^t \text{ が } 1) \\ 1 & (\text{角度センサの } d_j^t \text{ が全て } 0) \end{cases} \quad (4)$$

$$d_{26}^t = \begin{cases} 0 & (\text{タッチセンサの } d_j^t \text{ が } 1) \\ 1 & (\text{タッチセンサの } d_j^t \text{ が } 0) \end{cases} \quad (5)$$

次に、式 (7) によって D^t の要素を積分し、ニューラルネットワークへ入力する時刻 T で割ったものをベクトル I'^T の要素とする。これにより、ノイズとして入った特徴を減衰させる。さらに、 I'^T を式 (8) によって正規化し、 I^T とする。ただし、ニューラルネットワークの閾値学習のため、27 番目の要素は -1 に固定する。

$$I'^T = \{i_1'^T, i_2'^T, \dots, i_{25}'^T, i_{26}'^T\} \quad (6)$$

$$i_j'^T = \frac{1}{T} \int_0^T d_j^t dt \quad (7)$$

$$I^T = \frac{1}{\|I'^T\|} I'^T \quad (8)$$

v_j^t : 時刻 t での j 番目のセンサの値

Θ_j : j 番目のセンサの閾値

T : ニューラルネットへの入力時刻

ここで、本研究ではセンサのサンプリング間隔は 0.1 秒であるため、時刻 t は 0.1 秒区切りである。また、頭のタッチセンサに 0.3 秒間反応が無ければユーザが AIBO の頭から手を離したと判断する。

次に、出力ベクトル $O^T = \{o_1^T, o_2^T, o_3^T\}$ は以下になるように学習させる。

$\hat{O}_c = \{1, 0, 0\}$: 撫でられた場合

$\hat{O}_h = \{0, 1, 0\}$: 叩かれた場合

$\hat{O}_p = \{0, 0, 1\}$: 押さえられた場合

ニューラルネットワークの出力は以下の式によって得られる。

$$\mathbf{W}_k = \{w_{1k}, w_{2k}, \dots, w_{26k}, w_{27k} = \theta_k\} \quad (9)$$

$$o_k^T = \begin{cases} 0 & (\mathbf{W}_k \cdot \mathbf{I}_T \leq 0) \\ 1 & (\mathbf{W}_k \cdot \mathbf{I}_T > 0) \end{cases} \quad (10)$$

ニューラルネットワークの学習は以下の式によって行う。

$$w_{jk} = w'_{jk} + \Delta w'_{jk} \quad (11)$$

$$\Delta w'_{jk} = -\epsilon(o_k^T - \hat{o}_k)i_j^T \quad (12)$$

w_{jk} : k 番目のニューロンの j 番目の入力に対する重み

w'_{jk} : w_{jk} の更新前の重み

θ_k : k 番目のニューロンの閾値

o_k^T : k 番目のニューロンの T 番目の入力に対する出力

ϵ : 学習係数 (本研究では 0.01 とした)

また、以下の式で定義した二乗誤差 E が最小になるように学習させる。

$$E = \sum_{t=0}^{T'} (o_k^t - \hat{o}_k)^2 \quad (13)$$

このとき、 t はユーザが手を触れてからの時間で、 T' は手を離れた時間である。

2.2 表出方法

時刻 T でのニューラルネットの出力 $O^T = \{o_1^T, o_2^T, o_3^T\}$ より、以下の表出を行う。

$$O^T = \begin{cases} \{1, 0, 0\} : \text{嬉しい} \\ \{0, 1, 0\} : \text{悲しい} \\ \{0, 0, 1\} : \text{頭を下げる} \end{cases}$$

また、二つ以上の出力が 1 になった場合、どの表出を行うかはランダムに決定する。

2.3 正反応率の推移

10 人の被験者から「撫でられた」「叩かれた」「押さえられた」各パターン 10 個ずつを採取し、クロスバリデーションによって随時表出システムを評価した。その結果を図 3 に示す。図 3 はユーザが AIBO の頭のタッチセンサに手を触れてから、各時刻において正しい表出を行える確率を正反応率とし、その推移を 0.1 秒間隔でプロットしたものである。

図 3 からわかるように手を触れた瞬間では正反応率は低いが、どのパターンも早い段階から高い正反応率へ推移している。

3. AIBO の表情

随時表出システムは AIBO の開発環境である AIBO Remote

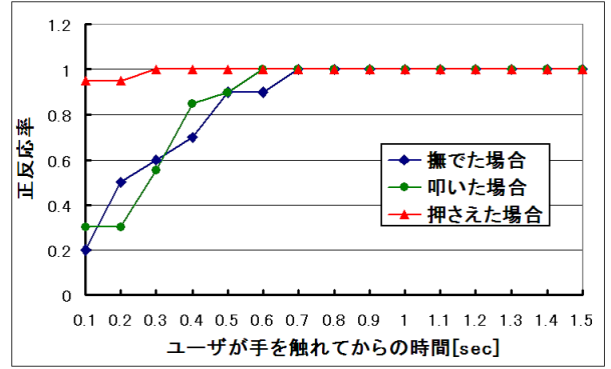


図 3 各刺激における正反応率の推移

Framework [1] を用いて実装した。また、実験で使用した AIBO の表情 (図 4 の A ~ D) は Remote Framework [1] で提供されているものである。

AIBO は最初は (A) の表情をしており、ユーザから刺激を受けると随時表出システムの識別結果に応じて (B) ~ (D) へ表情を変える。頭を押さえられたと識別したときは (D) の表情と共に頭を 5 度ずつ下げていく。また、ユーザが手を離れたときには以下の表出も行い、元の表情 (A) に戻る。

[嬉しい]

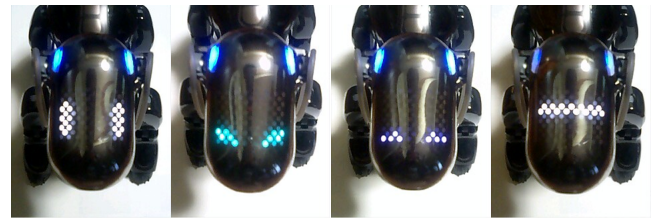
- 嬉しい表情
- 嬉しそうな音を出す
- 尻尾を振る
- 耳をパタパタさせる

[悲しい]

- 悲しい表情
- 悲しそうな音を出す
- 首を少し下げてうな垂れる

[頭を下げる]

- 首を元の位置に戻す



(A): 通常 (B): 嬉しいとき (C): 悲しいとき (D): 頭を下げるとき

図 4 実験で使用した AIBO の表情

(A)(D) は白、(B) は緑、(C) は紫の LED である

4. 実験

随時表出システムと以下の比較システムを用い、10 人の被験者で実験を行った。この 10 人の被験者は 2.3 節で刺激の学習パターンを採取した被験者とは別である。

4.1 比較システム

随時表出システムの比較対象として、ユーザがタッチセンサから手を離してから感情表出するシステムを用いる。このシス

テムは随時表出システムと同じ単層ニューラルネットワークを用いて識別するが、随時表出は行わず 3 章で述べた手を離してからの表出のみを行うものである。

4.2 実験のタスク

被験者には以下の情報を予め教えておく。

- 図 4 の AIBO の表情と感情の対応
- 頭を押さえると頭を下げること
- 頭を下げた場合、手を離すと頭を元の位置に戻すこと
- AIBO に刺激を与える場合、頭のタッチセンサに触れる必要があること

被験者には以下のタスクを実行してもらい、それを撮影・観察することから随時表出がもたらすユーザへの影響などを観察する。

(1) AIBO を撫でてもらう

(2) AIBO が喜ばなかった場合、AIBO が喜ぶような撫で方を探ってもらう

(3) 被験者が AIBO が喜ぶ撫で方を発見できた、もしくは 5 分経過した場合、表出システムを切り替える

(随時表出システム ↔ 比較システム)

被験者 5 人には比較システムで以下のタスクの (1)(2) を実行してもらい、(3) で随時表出システムに切り替える。また、別の被験者 5 人には随時表出システムで (1)(2) を実行してもらい (3) で比較システムに切り替える。システムを切り替えるときには、被験者には AIBO に何か変化があることを伝え、何が変わったかインタビューを行った。

4.3 実験結果

実験で観察・インタビューした結果を以下に示す。

[問題点]

(1) 被験者に AIBO を撫でてもらうと、遠慮して軽く撫でてしまう。(どの程度の強さで撫でて良いかわからない)これにより、識別システムが押さえた場合と誤識別してしまう。

(2) 「タッチセンサに反応があるように」という説明はあまり意味が無く、タッチセンサが反応した状態(タッチセンサが光る)の説明が必要。

[一般性がありそうな被験者の振る舞い]

(1) 随時表出システムの場合、最初は AIBO が嬉しい表情になるとすぐに手を離してしまうが、時間と共に、嬉しい表情を継続させようと長く撫でようになる。

(2) 比較システムで AIBO の喜ぶ撫で方を発見できない被験者でも、随時表出システムでは発見できる場合がある。

表 1 は被験者が AIBO の喜ぶ撫で方を発見できたかどうかをまとめたものであり、被験者 A~E は比較システムから随時表出システムへ切り替えた場合、F~J は随時表出システムから比較システムへ切り替えた場合である。表 1 からわかるように、随時表出システムでは撫で方を発見できた被験者が多く、B,C のように比較システムで撫で方を発見できなかった被験者も随時表出システムでは発見できている。これは実験時間に依存している可能性も考えられるが、実験を随時表出システムから行った場合では 5 人のうち 4 人の被験者 (F~J のうち I 以外の被験者) が撫で方を発見できているため、統計的に有意性

は認められないが^(注1)、随時表出システムでは比較システムよりも撫で方を発見しやすいという可能性が考えられる。

(3) 撫で方には

褒める時の撫で方：首に対して横に早く撫でる

可愛がる撫で方：首に対して前から後へゆっくりと撫でる

など種類があり、単に「撫でてください」と言うとき後者の撫で方をする被験者が多かった。

(4) 被験者は基本的には自分の撫で方を変えようとはせず、たまたま AIBO が喜ぶと、その後 AIBO が喜ばなくてもその時の撫で方に固執しやすい。

表 1 被験者による AIBO が喜ぶ撫で方発見の成否

比較システム→随時表出システム		
被験者	比較システム	随時表出システム
A	○	○
B	×	○
C	×	○
D	○	○
E	×	×

随時表出システム→比較システム		
被験者	随時表出システム	比較システム
F	○	○
G	○	○
H	○	○
I	×	×
J	○	○

○：発見できた ×：発見できなかった

[その他]

(1) 比較システムにおいて手を離してから喜びを表出することに対して、「もっと撫でて欲しい」と言っているように感じた被験者がいた。

(2) 比較システムから随時表出システムに切り替えた際、手を離してからの AIBO の表出が豊かになったと感じた被験者がいた。(手を離してからの表出は両システムで共通のものだが、耳の動きや、尻尾の動きが大きくなったと感じたようである)

5. ま と め

今回の実験では、随時表出システムによる早いタイミングでの感情表出が人間とペットロボットとのインタラクションに良い影響をあたえるのではないかと可能性を見つけることができ、4.3 節の「その他」で述べたような予想外の結果も見られた。これは一般性のあるものとは言えないが、随時表出システムと比較システムの差がユーザと AIBO のインタラクションに何らかの影響を与えると考えて良いだろう。

(注1)：システムを切り替えた順序による影響が考えられるため、システムを切り替える前だけで両システムを比較した。

「両システムで撫で方の発見しやすさは変わらない」という帰無仮説を立ててフィッシャーの直接確率検定を行った結果、P 値は 0.262 となり、有意水準 10 %でも帰無仮説は棄却されない。

また、実験では 4.3 節で述べたような問題点も明らかとなった。問題点 (1) で述べた通り、最初に AIBO を撫でてもらう際に被験者がどの程度の強さで撫でて良いかわからず、遠慮してしまうという問題がある。これでは正確な撫で方のパターンが得られず、誤識別してしまう。AIBO とのインタラクションの中で被験者が撫でる強さを調節してってくれる可能性もあるが、初めて AIBO に触れる被験者にとって短い時間では難しいだろう。そこで、「実際の犬を撫でるように遠慮なく撫でてください」という説明をすれば良いかもしれない。

また、「一般性がありそうな被験者の振る舞い」の (3) で述べたように、被験者にとって撫で方に対する認識が異なる場合があり、(4) の原因もそこにある可能性が考えられる。本研究では報酬として撫でることを想定しているため、被験者に「AIBO を褒めるように撫でてください」ということを伝える必要があったと考えられる。

以上を踏まえた上で、今後の実験では以下の情報も被験者に伝え、今回の実験と比較し、被験者と AIBO とのインタラクションにどのような変化が現れるか観察していきたい。

- 「AIBO の頭のタッチセンサに触れると光るので、AIBO を撫でるときはタッチセンサが光るように撫でてください」
- 「AIBO を撫でるときは実際の犬を撫でるように遠慮なく撫でてください」
- 「AIBO を撫でるときは褒めるように撫でてください」

また、随時表出システムの有用性を定量的に明らかにするために、以下の項目を記録する。

- 時間とともに AIBO が喜ぶ表出を行った回数の推移
- 被験者が AIBO を撫でた時間の平均（両システムの差）

これにより、被験者と AIBO のインタラクションを観察すると共に、定量的な側面からも随時表出がもたらすインタラクションへの影響や一般性がありそうな被験者の振る舞いを統計的に明らかにしていく。

文 献

- [1] AIBO SDE, <http://openr.aibo.com/openr/jp/>
- [2] 山田誠二, 山口智浩, 人間 - エージェント間における相互適応の促進, 第 18 回人工知能学会全国大会, 3G1-02, 4 pages, 2004.
- [3] Kaplan, F., Taming robots with clicker training: A solution for teaching complex behaviors, In Proceedings of the 9th European workshop on learning robots, LNAI, Springer, M. Quoy, P. Gaussier, and J. L. Wyatt, Eds, 2001.
- [4] 中田亨, ペット動物の対人心理作用能力のロボットにおける構築, 東京大学大学院工学系研究科, 学位論文, 2000.