

臾による人間とペットロボットの関係の改善

Improvement in human-robot relation through lifelike learning ability

田中 一晶*¹ 岡 夏樹*²
TANAKA Kazuaki OKA Natuki

*¹*²京都工芸繊維大学 大学院工芸科学研究科
Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology

Current pet robots do not have close interaction with people, and tend to weary them in a little while. A major reason of it we believe is that they do not have lifelike learning ability. We thus added lifelike learning ability to AIBO which enables AIBO to be trained like a dog to sit down or shake hands. We think lifelike learning ability consists of three elements: 1) learning from information obtained through interaction; 2) relating arbitrary information to other one; and 3) forgetting with time. We conducted a comparative experiment between the lifelike learning and pseudo-learning which acts as if it really learned by opening built-in functions one by one. The experiment demonstrated that subjects had more fun with the lifelike learning system than with the pseudo-learning system.

1. 緒言

1.1 ペットロボットの現状と問題点

現在、ペットロボットは犬型の AIBO やアザラシ型のパロなど数多く販売されているが、どれも玩具の域を超えず、途中でユーザが飽きてしまうという問題がある [1]。

そもそもペットが飼われる理由は飼い主に「楽しさ」や「癒し」を与えるためというのが主である [1][2][3]。ペットは対人行動の社会性により、以下の二種類に分類でき、飼い主が「楽しさ」や「癒し」を感じる場面が変わってくる [1]。

1. 飼い主との社会的交流が希薄なペット：金魚など
2. 飼い主との社会的交流の強いペット：犬、猫など

1のペットは人間との触れあいが少なく、その振る舞いを楽しむものであり、2のペットは撫でたり接したりして、人間との触れあいが多いものである。

現在のペットロボットは2のペットを目指しているものが多く、人間とのインタラクションは不可欠である。動物の場合は撫でてあげたり餌を与えることで褒めてあげることが可能であり、犬は尻尾を振るなどの行為でうれしさを飼主に伝えている。このインタラクションがアニマルセラピーという「癒し」の効果を生み出すのではないだろうか。この癒しの効果をペットロボットで実現できればペットロボットの必要性は向上するだろう。アザラシ型のパロはその点で効果が認められている [2][3]。

しかし、現在のペットロボットは時間とともに2のペットから1のペットへと変わっていつてしまっていると思われる。例えば、AIBO には様々な遊び行動などが実装されており、自律行動中にユーザに触れられることで、それらを段階的に開放し、ユーザに自分の成長を見せている。しかし、これは外界からの情報によって成長したのではなく、あくまで成長しているかのように見せているだけである（本論文ではこれを擬似学習と呼ぶ）。よって、成長しきった状態では AIBO の変化を感

じられなくなるため、人間から AIBO へのインタラクションが希薄になってしまうことが多い。しかも、実装している遊び行動は有限であり、固定されたモーションであることから、いずれは見飽きてしまう。つまり、その振る舞いからも楽しさを得ることができなくなってしまうのではないだろうか。これが「飽き」の直接的な原因と思われる。

1.2 学習能力の必要性

我々は人間とペットロボットとのインタラクションが希薄になることを防ぐために、ペットロボットに擬似学習ではなく、真の学習能力が必要であると考えた。ペットロボットがユーザとのインタラクションによって振る舞いを変えたり、新たな芸を覚えさせることができれば、1.1 節で述べたような「飽き」の問題を解決できるのではないかと考えたからである。

そこで、本研究では学習能力の一つとして、臾の学習システムを構築し、擬似学習と比較することにより、ロボットの学習能力が人とロボットの間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。

1.3 臾の学習システム

本研究ではペットロボット AIBO を用い「犬を臾るように、お座り・お手を学習させる」ことを可能にする学習システムを提案・実装する。これを実現させるためには以下の課題がある。

1. ユーザからの刺激の意味を理解する
ペットロボットにはタッチセンサやカメラ、マイクなどが実装されているものがあるが、ユーザからの刺激によってその刺激がどのような意図で与えられたかを適切に理解することは簡単ではない。そこで、本研究では、ユーザからの刺激に対して撫でられているのか、叩かれたのか、押さえられたのかといったユーザの意図を理解し、それに応じた表出を行えるシステムを AIBO に実装する。
2. ユーザが自然であると感じられる条件反応
AIBO にユーザが自然であると感じられる「条件刺激・条件反応」群を実装する。
AIBO を臾ける上で、ユーザは AIBO の外観やそのタスクから犬ととらえてインタラクションを行う。これは擬犬化と呼ばれ、これを利用することでユーザの AIBO への適応を促進することができる [4]。

連絡先: 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
〒 606-8585 京都市左京区松ヶ崎御所海道町
TEL, FAX: 075-724-7477
e-mail: tanaka@vox.dj.kit.ac.jp

3. 犬を躰けるのと変わらない学習方式

ユーザから新たに躰けられた行動を学習する (動物の犬が芸を覚えるように学習する)。

また、記録された行動系列を順次、正確に実行するだけでは実際の犬のように繰り返しトレーニングを行う必要がなく、音声コマンドと関連付けされた時点で躰は終了してしまう。これでは実際の犬を躰けるのと同様の楽しさを得ることはできないと考える。また、躰け終わった後、必ずその系列を正確に実行するのは現在の AIBO と同じように、そこでインタラクションが希薄となってしまう恐れがある。そこで、本研究では系列に記録された行動を評価値に依存して確率的に実行することとし、ユーザとのインタラクションによって評価値を更新する方法を提案する。

4. ペットロボットの感情が適切に表出できていない

ペットロボットの感情はそれらしい振り舞いで表出させているが、万人に理解できるものではない。今回の実験では、AIBO に組み込みの表出動作をそのまま用いているため、この問題は本論文では扱わない。

1~3 の課題をそれぞれ 2~4 章で解決し、AIBO に人間とのインタラクションを通して得た情報に基づいて学習するシステムを実装する。

2. ユーザからの刺激の意味を理解する

2.1 刺激の意味理解のアルゴリズム

AIBO に実装されているセンサのうち、頭のセンサだけではなく、首などの全身の角度センサの変化値をもとに「撫でた」「叩いた」「押さえた」の識別を行う。

詳しくは参考文献 [5] を参照。

3. ユーザが自然であると感じられる条件反応

3.1 実装する条件刺激・条件反応群

AIBO に以下の条件刺激・条件反応を実装する。(条件刺激条件反応)

以下の条件刺激・条件反応がユーザにとって自然であるかどうかの検証実験は参考文献 [5] を参照。

- 頭のタッチセンサを押さえる 首を下げる
- 顎を押さえる 首を上げる
- 移動物を見つける その方向に顔を向ける
- 認識できる単語 (音) を聞く 聞こえた方向を向く
- 手の前に移動物がある その方向の手を上げる
- 手のタッチセンサを押さえる 手を下ろす
- ボールを見つける 立つ
- 背中 of タッチセンサ (後) を押さえる 座る
- 背中 of タッチセンサ (前) を押さえる 伏せる

4. 犬を躰けるのと変わらない学習方式

AIBO に「お手」「お座り」を躰けられる学習方式を実装する。

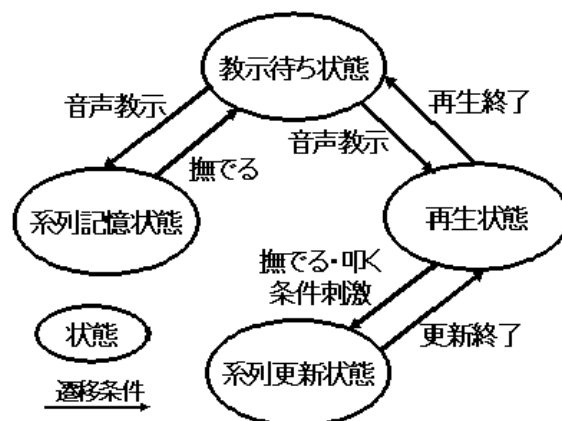


図 1: 犬を躰けるのと変わらない学習方式に用いる AIBO の状態とその遷移条件

4.1 躰のアルゴリズム

本節の実験で用いる AIBO の状態遷移図を図 1 に示す。

- 音声教示
「お座り」「お手」という音声
- 教示待ち状態
音声教示が入ると、それに関連付けされた系列が存在する場合は再生状態へ遷移し、無ければ系列記憶状態へ遷移する。
- 系列記憶状態
ユーザからの条件刺激に対する条件反応 (行動) を記憶系列に記録していく。記録された行動には評価値を付加する。
- 再生状態
「お座り」「お手」の音声を再び認識すると、対応する系列に記録された行動を順次実行し、最後に「撫でて」の表出を行う。行動を実行する確率は評価値に依存する。
- 系列更新状態
再生中に教示「撫でる・叩く・条件刺激」があった場合、以下のルールに従って評価値と系列を更新する。
 - － 教示「撫でる」が入った場合
教示が入った系列位置から減衰させながら行動の評価値を上げる。評価値を上げる行動は実行した行動のみとする。実行しなかった行動の評価値は下げる (実行しなくても撫でられたので不要な行動と判断)。
 - － 教示「叩く」が入った場合
教示が入った系列位置から減衰させながら行動の評価値を下げる。評価値を下げる行動は実行した行動のみとする。実行しなかった行動の評価値は上げる (その行動を実行しなかったために叩かれたと判断)。
 - － 条件刺激が入った場合
条件刺激に対応する条件反応を系列の中から探索し、同じ条件反応が存在した場合、その評価値を上げる。ただし、「首を動かす」という条件反応は動かす方向を区別しなければならないため、以下の式

によってユークリッド距離を求め、その距離に応じて同じか、異なるかを区別する。

$$e = (h - h')^2 + (v - v')^2 \quad (1)$$

e : ユークリッド距離 (正確にはその 2 乗)

h : 水平角度

v : 垂直角度

h' : 比較対象の水平角度

v' : 比較対象の垂直角度

本研究では e が 10 以下の時、同じ条件反応であるとした。

- 教示「叩く」の後に条件刺激が入った場合
条件刺激に対応する条件反応が、教示の入った系列位置の前に実行されていない行動として存在する場合、その評価値を上げる (実行しなかったために反復して教えられたと判断)。存在しない場合、教示が入った系列位置の後ろに条件反応を挿入する。
- 評価値が一定以下になった場合
その行動を系列から削除する (不要な行動であると判断)。

- 評価値の更新は以下の式で行う。

- 評価値を上げる場合

$$R_t = R_{t-1} + \frac{1}{+i}(1 - R_{t-1}) \quad (2)$$

- 評価値を下げる場合

$$R_t = R_{t-1} + \frac{1}{+i}(0 - R_{t-1}) \quad (3)$$

R_t : 更新後の評価値

R_{t-1} : 更新前の評価値

i : 学習係数 (本研究では 5 としている)

i : 教示が入った系列位置から更新する系列位置までの距離

4.2 実験方法

本節の実験は、生き物らしい学習能力のうち「インタラクションを通して得た情報に基づいて学習する」という要素の有用性を調べる。

本研究では躡のアルゴリズムの比較対象として、以下の擬似学習のアルゴリズムを設定する。

- 「お手」や「お座り」の音声教示を認識すると AIBO の耳がパタパタと動き、各音声に対応するカウンタの値 $\times 0.1$ を実行確率として、あらかじめ設定しておいた行動の系列 (お手、お座りの表出) を順に実行する。カウンタの初期値は 0 とし、0 の時はまだ躡けられていないため、被験者から撫でられるまで何もしない。
- 実行終了後「なでてなでて」の表出を行い、カウンタを 1 カウントアップする。
- 実行確率はカウンタが 10 の時に 80 % となるように設定しておく。(躡のアルゴリズムの予備実験時にかかった平均的な時間と同等になるように学習速度を設定した)

被験者には、まず躡のアルゴリズムで「お座り」「お手」の順に躡けてもらい、次に擬似学習のアルゴリズムでも同様に躡けてもらう。

4.3 実験結果・考察

5 人の大学生を対象に被験者実験を行った。実験は必要な行動 (座る・手を出す) の評価値が 0.8 を超えた時点、または実験時間が 20 分を超えた時点で終了とし、今回の実験ではすべての被験者が AIBO を時間内に躡けることができた。

躡のアルゴリズムと擬似学習のアルゴリズムについて、被験者にアンケートを行った。その結果を表 1 に示す。この結果から、躡の学習システムの評価とその有用性について考察する。

(1) ペットロボットを躡けることが楽しいか、という質問に対し、全ての被験者が YES と回答し、(2) 躡のような学習システムが必要か、という質問についても全ての被験者が YES と回答した。先にも述べた通り、AIBO を含む現在のペットロボットはユーザとのインタラクションによって「躡ける」といった学習能力は持っていない。よって、躡の学習システムを実装することは人間とペットロボットとの関係を改善する方法の一つであると考えられる。

(3) AIBO を躡ける方法は自然であるか、という質問について躡のアルゴリズムは全ての被験者が YES と回答し、擬似学習のアルゴリズムは 3 人の被験者が YES、2 人の被験者が NO と回答した。躡のアルゴリズムの方が自然であるという結果となったが、被験者にはどちらも同じ方法で躡けてもらったため、擬似学習のアルゴリズムの方は同じ躡の方法では不自然であると感じる点があったことになる。これは、擬似学習のアルゴリズムはユーザからの教示を行動に反映しないため、ユーザがこの方法では躡けられないのではないかと疑問を感じたためだと考えられる。

(4) AIBO がだんだんと躡けられていると感じたか、という質問について、躡のアルゴリズムは全ての被験者が YES と回答し、擬似学習のアルゴリズムは 3 人の被験者が YES、2 人の被験者が NO と回答した。擬似学習のアルゴリズムも最終的に「お座り」「お手」をするようになるのだが、2 人の被験者は躡けられているように感じていない。これも、ユーザからの教示を AIBO が行動に反映しないことが原因であると考えられる。

(5) AIBO が「お座り」や「お手」を覚える早さについては躡のアルゴリズムは 4 人の被験者が丁度良い、1 人の被験者が遅いと回答し、擬似学習のアルゴリズムは 1 人の被験者が丁度良い、4 人の被験者が遅いと回答した。擬似学習のアルゴリズムは学習が遅いという結果になったが、実際は、表 1 の最下部の 2 行を見てもわかるように、躡にかかった時間はどちらのアルゴリズムも同程度の時間であり、明らかな差は無かった。これは、躡のアルゴリズムは段々とできるようになっているのに対し、擬似学習のアルゴリズムは今までできなかったことが突然できるようになったり、前回できたことができなくなったりと、ユーザが AIBO の自然な成長を感じることができなかったため、時間が長く感じたのだと考えられる。これは (4) AIBO がだんだんと躡けられていると感じたか、という質問の回答とも一致しており、この考察の裏づけとなっている。^{*1}

*1 今回の実験ではすべて「躡のアルゴリズム 擬似学習のアルゴリズム」の順で被験者実験を行ったため、順番を入れかえた場合の実験は行っていない。後に行ったことによって、実験が長く感じたという可能性も考えられるため、今後は実験の順番を入れかえた場合の被験者実験も行うつもりである。

表 1：アンケート結果

質問		被験者				
		A	B	C	D	E
(1) ペットロボットを飼うことができると楽しいですか? Y: YES N: NO		Y	Y	Y	Y	Y
(2) ペットロボットに擬のような学習システムは必要だと思いますか? Y: YES N: NO		Y	Y	Y	Y	Y
(3) 実験で AIBO を飼う方法は自然であると感じましたか? Y: YES N: NO	擬	Y	Y	Y	Y	Y
(4) 実験をしてみて AIBO が段々と飼われていると感じましたか? Y: YES N: NO	擬	Y	Y	Y	Y	Y
(5) AIBO が「お座り」や「お手」を覚える早さはどうでしたか? F: 早い J: 丁度良い S: 遅い	擬	J	S	J	J	J
(6) 実験をしてみて AIBO と意思疎通ができたと思いますか? Y: YES N: NO	擬	Y	Y	Y	Y	Y
(7) 今回の AIBO を飼う実験は楽しかったですか? Y: YES N: NO	擬	Y	Y	Y	Y	Y
(8) どちらの AIBO を飼うのが楽しかったですか? 擬: 擬のアルゴリズム 擬: 擬似学習アルゴリズム		擬	擬	擬	擬	擬
「お座り」の擬にかかった時間 (分)	擬	6	8	7	5	6
「お手」の擬にかかった時間 (分)	擬	10	15	8	9	11
	擬	9	13	13	11	12

擬: 擬のアルゴリズム 擬: 擬似学習のアルゴリズム

(6) どちらの AIBO と意思疎通ができたと思うか、という質問について、擬のアルゴリズムは全ての被験者が YES と回答し、擬似学習のアルゴリズムは 1 人の被験者が YES、4 人の被験者が NO と回答した。つまり、擬のアルゴリズムを実装した AIBO と擬似学習を実装した AIBO との違い、即ち AIBO がユーザの教示を理解できているか否かを被験者は明確な違いとして感じ取っており、擬のアルゴリズムの方は適切に被験者の教示を行動に反映できていることがわかる。

(7) AIBO を飼う実験は楽しかったか、という質問について、擬のアルゴリズムは全ての被験者が YES と回答し、擬似学習のアルゴリズムは 3 人の被験者が YES、2 人の被験者が NO と回答した。よって、擬のアルゴリズムの方が楽しいという結果となった。これは (8) どちらの AIBO を飼うのが楽しいか、という質問に対し、全ての被験者が擬のアルゴリズムと回答した結果からも明らかである。

以上のアンケート結果から、ペットロボットがユーザの教示を行動に反映する学習能力が人間とペットロボットとの関係を改善するのに有用であると考えられ、擬のアルゴリズムの有用性が示された。

5. 結言

本研究では人間とペットロボットとの関係を改善すべく、「生き物らしい学習」の実現の一例として「犬を飼うようにお座り・お手を飼われる」学習システムを AIBO を用いて設計・試作した。今回の実験では、生き物らしい学習能力の要素の一つである「インタラクションを通して得た情報に基づいた学習」と、あらかじめ組み込んである機能を順次開放することにより学習しているかのように振舞う「擬似学習による学習」との比較実験を行い、人とのインタラクションにおいてどのような違いが生じるのかを実験的に明らかにした。その結果、「擬似学習による学習」よりも、「インタラクションを通して得た情報に基づいた学習」の方が、ユーザがインタラクションで得られる楽しさが大きいことがわかった。

この結果は一見、自明なもののように見えるかもしれないが、実際は、人がペットロボットとのインタラクションに持つ印象を決める要因は多岐に渡り複雑である。本論文の比較実験に先立って行った予備実験では、擬似学習のアルゴリズムの学習速度を擬のアルゴリズムよりも早く設定し、「自由に飼って下さい」と言って被験者実験を行った。この場合、被験者がより楽しいと感じたのは擬似学習のアルゴリズムであった。これは、短時間で飼うことができたために、素早く AIBO が教

示を行動に反映したのだと被験者が感じたことが要因であるのか、自由に飼って良いと言ったため、好きな方法で飼われたことが要因であるのか、など多数の要因が考えられ、一つの要因に絞り込むことは簡単ではないが、今後はその要因を明らかにするつもりである。

また、生き物らしい学習能力の「恣意的な関係付けが可能」「時間とともに忘却する」という 2 つの要素が人間とペットロボットのインタラクションの改善において有用であるかどうかの実験的な評価がまだ行えていないので、系列位置効果やエビングハウスの忘却曲線を実装し、人間とペットロボットの長期のインタラクションを通して、これらの有用性を評価・考察する。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金 基盤研究 (C) 「3 項間インタラクションを通した認知発達メカニズムの構成的解明」の支援を受けた。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 多田雨衣, ロボットセラピーについて, http://www.okayama-u.ac.jp/user/le/psycho/member/hase/yh-seminar/2002b/Tada_21022.html, 2002.
- [3] 大須賀美恵子, 高齢者の心身活性化をめざした VR, 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol.8, No.2, pp81-86, 2003.
- [4] 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.
- [5] 田中一晶, 岡 夏樹, ペットロボットによるユーザの意図理解, 人工知能学会研究会資料 SIG-FPAI-A503-03 (11/24), pp. 13-17, 2005.