

アクションスローピングを用いたロボットのインタラクション設計

Human-Robot Interaction design using Action Sloping

小林 一樹*¹ 北村 泰彦*¹ 山田 誠二*^{2*3}
 Kazuki Kobayashi Yasuhiko Kitamura Seiji Yamada

*¹関西学院大学 *²国立情報学研究所 *³総合研究大学院大学
 Kwansei Gakuin University National Institute of Informatics The Graduate University for Advanced Studies

We propose *Action Sloping* as a way for users to naturally understand a robot's function. This concept programs robots with feedback behavior that gradually changes in intensity as the user carries out given actions. By changing its feedback behavior in response to a user's actions, a robot encourages him or her to perform an action that will make the robot function. We conducted an experiment in which we programmed a robot dog with three patterns of feedback behavior based on the Action Sloping concept and one pattern not based on it as a control condition. The participants in the experiment tasked with identifying the robot's function, and the identification latency times were measured. The results showed that, as compared to the no feedback condition, only a chirping sound condition significantly assisted the participants in identifying the triggering action. These findings partially supported the effectiveness of the Action Sloping concept.

1. はじめに

掃除ロボットやペットロボットに代表されるホームロボットが一般家庭に普及しつつある [Europe 04]。特に、自律芝刈りロボットや自律掃除ロボットなど、実用ロボットが開発されている。このようなロボットが家庭に普及したとき、現状の家電製品と同様に、高機能化・多機能化していくと考えられる。しかし、ロボットが多機能化すると、ユーザビリティが低下する可能性がある。ロボットが様々な機能を持つため、ユーザは膨大なマニュアルに目を通さなくてはならず、それが大きな負担となる。

これまで、使いやすい人工物の設計方法として、アフォーダンス [Gibson 79] を利用した設計方法 [Norman 88] や、サッチマン [Suchman 87] による、機械に対する人間の行動特性に関する研究、ロボットの親和性を高める方法 [Ono 00]、人間の自然な行為によってロボットを制御する方法 [小林 06b]、ロボットの内部状態表出に関する研究 [小林 06a] がある。しかし、これらの研究では、ユーザにとって未知の機能に気づかせる具体的な方法は提案されていない。

ユーザがマニュアルを読まなくても、使用しているうちにロボットの機能に自然に気づき、それを使いこなすことができれば、負担の軽減や作業効率の向上につながる。そこで、本研究では、機能の気づきやすさに焦点を当て、ロボットによるユーザへのフィードバック方法と、機能の気づきやすさの関係について調査を行う。ここでは、ユーザの行為に応じてフィードバックを変化させるアクションスローピングという手法を提案し、犬型ロボットを用いた実験によって有効性を検証する。

2. アクションスローピング

本研究では、ユーザの行為を誘導することでロボットの機能を発見させるアプローチをとる。そのための前提として、マニュアルに代表される言語情報を用いる状況とは対極にある、非言語情報のみをやりとりする状況を設定した。ユーザとロ

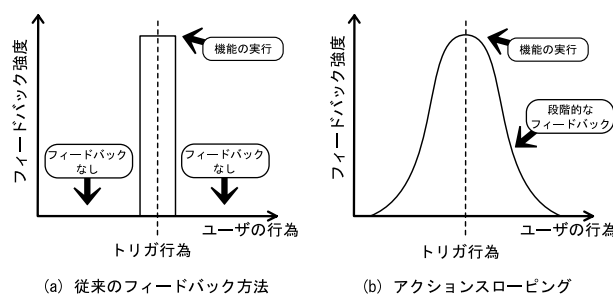


図 1: フィードバックの強度とユーザの行為

ボットは互いに行為の実行を繰り返すことでコミュニケーションを成立させる。このとき、ユーザは自分の行為とロボットの行為（機能の実行）の対応関係を理解することで、ロボットの機能を発見できる考えられる。ここでは、この対応関係の理解に基づく機能の発見を機能発見 (Function Awareness) と呼ぶ。

機能発見を実現するために、本研究ではアクションスローピング (Action Sloping) によるフィードバック方法を提案する。図 1(a) に示すように、従来のフィードバック方法では、ロボットの機能を実行させるユーザの行為（以降、トリガ行為と呼ぶ）が行われたとき、ユーザはロボットの機能の実行を観察することで、対応関係を発見する。トリガ行為以外の行為をした場合にはフィードバックは得られない。それに対し、図 1(b) に示すアクションスローピングによるフィードバックでは、トリガ行為の周辺においてもフィードバックが得られるため、ユーザはロボットとのインタラクションを繰り返すことで、トリガ行為を行いやすくなると考えられる。ここでは、フィードバックとして用いる信号の強さ（音量やピッチ、明さなど）をフィードバック強度と呼ぶ。このように、アクションスローピングとは、ユーザに対するフィードバックを、ユーザの行為に応じて段階的に提示する方法である。

次節では、このアクションスローピングを犬型ロボットに実装し、光、モーション、音声の 3 つのモダリティにおいて有効性を検証する実験について述べる。

連絡先: 小林一樹, 関西学院大学 理工学研究科
 ヒューマンメディア研究センター,
 〒 669-1337 兵庫県三田市学園 2 - 1,
 Tel: 079-565-8300, E-mail: kby@ksc.kwansei.ac.jp

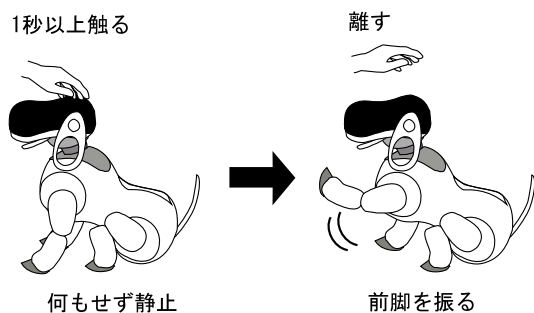


図 2: ロボットの機能

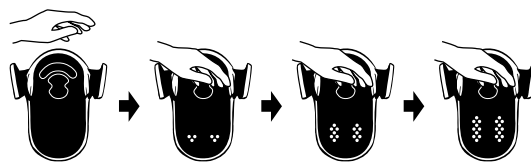


図 3: 光フィードバック

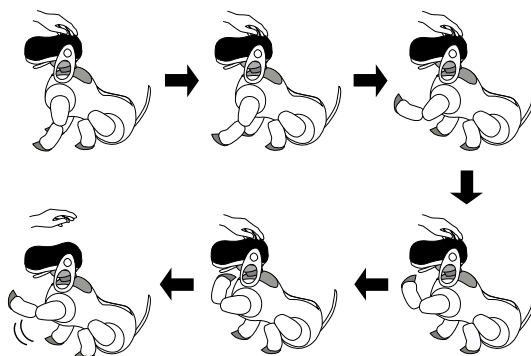


図 4: モーションによるフィードバック

3. 実験

実験では、アクションスローピングが実装されたロボットと、実装されていないロボットを実験参加者に使用させ、機能を発見するまでの時間を比較する。参加者には、ロボットに実装された、ある 1 つの機能を探索する課題が与えられる。アクションスローピングは 3 種類のモダリティによるものを採用し、アクションスローピングの実装なしとの間で比較を行った。以下に実験の詳細を示す。

3.1 ロボット

アクションスローピングを実装するロボットとして、SONY AIBO ERS-7 を採用した。ロボットの機能として、図 2 に示す「前足を振る」行為を実装した。この機能は、ユーザがロボットの頭部センサ部に 1 秒以上接触し、離れたときに実行される。よって、実験参加者が行うトリガ行為は「1 秒以上接触し、離す」となる。ロボットは、トリガ行為が行われたときのみこの機能を実行し、それ以外は反応しない。このような「長押し」操作は、携帯電話を代表として多くの電子機器に採用されており、1 つのボタンに複数の機能を割り当てるときに有効である。ロボットの行為の実装には AIBO 用のオープンソースなプログラム開発フレームワークである Tekkotsu framework [Touretzky 05] を用いた。

3.2 アクションスローピング

ロボットの機能の発見を促進するために、アクションスローピングに基づくフィードバック方法を実装した。ここでは、光、モーション、音声による 3 つのモダリティを採用した。ロボットの機能は、頭部センサを 1 秒以上接触されたあとに実行されるため、頭を触っている時間に比例して変化する行為によって、ユーザへのフィードバックを行う。まず、光フィードバックとして、図 3 に示すように、顔 LED の点灯面積を 1 秒の間に 4 段階増加させる方法を採用した。次に、モーションフィードバックとして、図 4 に示すように、機能の実行で使用される前足を、1 秒間で肩まで上げる動作を採用した。最後に、音声フィードバックとして、1 秒間に 440Hz (ラ) から 880Hz (ラ) まで正弦波の音声を線形に変化させる方法を採用した。この周波数は NHK の時報でも採用されており、聞きとりやすいものと考えた。ユーザが 1 秒を越えて頭部センサに接触している場合、ロボットは最終状態をそのまま継続し (音声のみ停止)、ユーザが 1 秒未満で頭部センサから手を離れた場合、フィードバックはそこで中断され、再度接触があったときは最初から実行される。

3.3 参加者

実験への参加者は二十代の男女 36 名であり、以下の 4 つのグループにランダムに分けられた。

1. フィードバックなし条件: 男性 10 名・平均年齢 23.4 歳、標準偏差 2.5 歳。
2. 光フィードバック条件: 男性 7 名、女性 2 名・平均年齢 21.8 歳、標準偏差 1.1 歳。
3. モーションフィードバック条件: 男性 8 名・平均年齢 21.6 歳、標準偏差 1.3 歳。
4. 音声フィードバック条件: 男性 8 名、女性 1 名・平均年齢 21.7 歳、標準偏差 0.9 歳。

3.4 実験手順

実験は関西学院大学において、小型の実験室内 (W: 256 × D: 205 × H: 215 cm) で行われた。1 回に 1 名のみが入室し、ロボットを使用する。ロボットは、椅子に座った状態の参加者に対し、机の上に横向き (頭が左側) に設置された。実験室に案内された参加者は、実験概要を説明されたのち、ロボットを机の上に配置され、注意事項を教示される。参加者への教示内容は、(1) ロボットは自分からは何も行動を開始しない、(2) ロボットは、参加者が何かをしたときにある行動を行う、(3) 何をしたときに、ロボットがどういう行動をするのかを見つけること、(4) ロボットの行動は 1 つだけである、(5) 実験者の合図で実験が開始され、およそ 5 分後の合図で終了される、の 5 項目である。また、制限事項として、(1) ロボットを持ち上げないこと、(2) 強く押ししたり、部品を取り外さないこと、(3) 関節は固定されているので、無理に曲げないこと、(4) 電源ボタンを押さないこと、の 4 点を説明した。実験者は実験開始の合図を行ったのち、実験室から退室した。終了の合図は、実験者が実験室に入室すると同時に行った。

表 1: タスク達成率

フィードバック	比率 [%] (人数)
なし	60.0 (6/10)
光	88.9 (8/9)
モーション	87.5 (7/8)
音声	100 (9/9)

表 2: 接触回数と接触継続時間の相関

フィードバック	相関係数 ρ	p 値	接触回数
なし	0.032	0.813	57
光	0.112	0.294	90
モーション	0.694	0.694	59
音声	0.346	0.029*	40

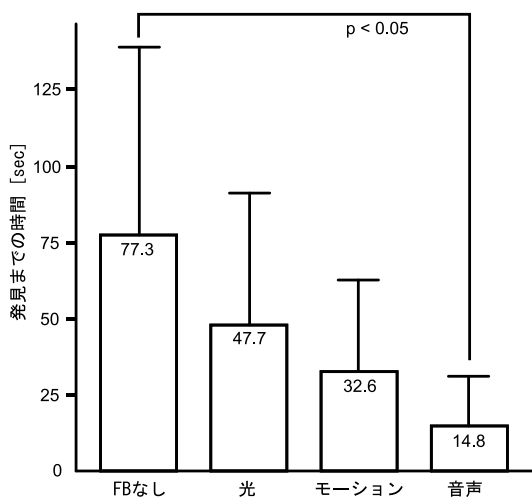


図 5: 機能を発見するまでの時間

3.5 実験結果

表 1 に各モダリティのタスク達成率を示す。フィードバックなし条件では 4 名、光フィードバック条件とモーションフィードバックでは各 1 名が制限時間（約 4 分）以内にロボットの機能を発見することができなかった。音声フィードバック条件では全員が時間内に機能を発見した。

図 5 に参加者が機能を発見するまでに要した時間の平均を示す。ここでは、参加者が発見したかと思わなかったかに関わらず、実験開始からロボットの機能がはじめて実行されるまでの時間を測定した。分散分析の結果、全体に有意な差が認められた ($F_{3,26} = 3.23, p < 0.05$)。HSD 法による多重比較の結果、フィードバックなし-音声フィードバック間に有意な差 ($p < 0.05$) が認められた。

図 6 から図 9 に各実験条件における参加者の行動パターンを示す。各図の横軸は経過時間であり、縦軸はロボットの頭に対する累積接触時間である。図の縮尺は全て同一であり、視認性を考慮して実線と破線を使用している。各折れ線は一人の参加者の行動を表しており、線の始端（左下）は接触開始時間を表し、線の終端（右上）は機能発見した時間を表している。折れ線の水平部分は頭に接触していないことを意味する。条件ごとの行動パターンを比較すると、フィードバックなし条件と光フィードバック条件においては、他の条件よりも水平部分の割合が多く、それらの条件で機能発見までの時間が長かった要因として、ロボットの頭に接触しない時間が長かったことが考えられる。

表 2 に頭部センサへの接触回数とそれに伴う接触継続時間の相関係数を示す。接触回数は参加者ごとに異なるため、それぞれの参加者の接触回数を 1 として正規化した。相関係数の検定を行ったところ、音声フィードバックにおける相関係数に有意差が認められ (Spearman's $\rho = 0.346, p < 0.05$)、接触

回数が増加すると一回あたりの接触時間が増加することがわかる。

4. 考察

実験の結果、音声フィードバックが最も早くユーザのトリガ行為を導くことがわかった。この結果は、提案するアクションスローピングを部分的に支持する結果である。つまり、音声モダリティにおいて、スローピングの効果が仮説と一致するが、光やモーションのモダリティではスローピングの効果が確認されていない。小松ら [小松 05] は、参加者にロボットの態度を推定させる実験において、周波数を変化させた音声を聞かせている。周波数が高くなるピープ音では、ポジティブな態度だと推定され、周波数が低くなるピープ音では、ネガティブな態度だと推定されるという実験結果が得られている。今回の実験結果では、周波数の変化は 1 パターンのみで、参加者がポジティブな印象を持ったかどうかを調査していない。今後、周波数の変化と参加者の行動、印象を調査し、アクションスローピングの効果を明確にする必要がある。

類似する先行研究 [小林 06a] の実験では、今回実験とは異なる結果を示している。先行研究では、モーションによるフィードバックが、最も早く参加者の行動を導いているのに対し、本研究では、音声によるフィードバックが、最も早く参加者の行動を導いている。これらの実験では、使用しているロボットやタスク、環境などが異なるため、単純に比較することは難しい。しかし、最も大きな違いは、タスクの持つ性質の違いにあると考えられる。先行研究では、「ロボットに協力せよ」と参加者に教示しているのに対し、本研究では、「発見せよ」と教示している。つまり、先行研究ではロボットの機能を教示しているのに対し、この実験では、ロボットの機能を教示していない。これらの結果を考慮すると、音声フィードバックは、未知のロボット行動を探索する状況に適し、モーションフィードバックは、状況から推測しやすいロボット行動を誘導するのに適している可能性がある。

5. まとめ

ユーザがマニュアルを読まずに、自然にロボットの機能に気づくことができれば、負担の軽減や作業効率の向上につながり有益である。そのためのロボットの設計方法として、アクションスローピングを提案した。アクションスローピングは、ロボットのフィードバックを、ユーザの行為に応じて段階的に変化させ、ユーザの行為を機能の発見へと導く手法である。実験では、ロボットのセンサに 1 秒間接触し続けたときに実行される機能（簡単な動作）を見つける課題を設定し、実験参加者が機能を見つけるまでの時間と行動を記録した。光、モーション、音声の 3 つのモダリティにおいてアクションスローピングを犬型ロボットに実装し、アクションスローピングを実装しない場合との比較を行った。実験の結果、音声を聞いたものが最も発見するまでの時間が早くなり、提案手法の有効性を示唆す

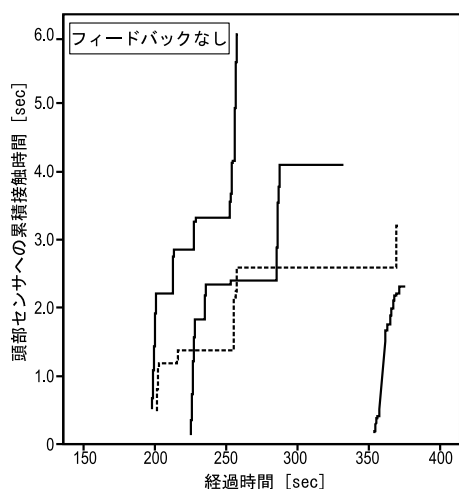


図 6: フィードバックなし条件における行動パターン

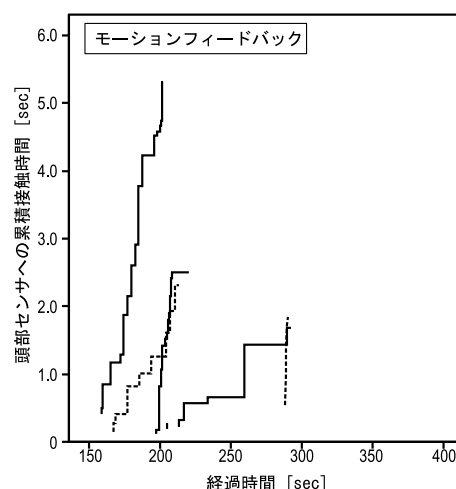


図 8: モーションフィードバック条件における行動パターン

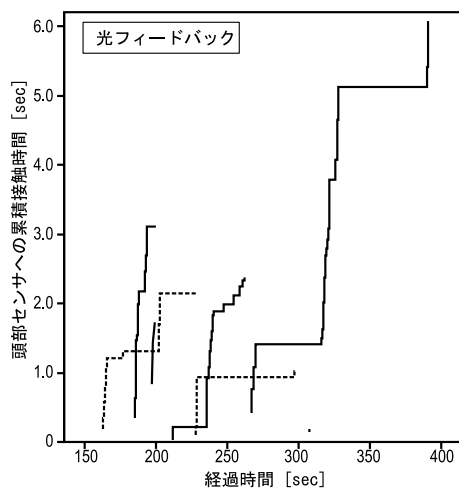


図 7: 光フィードバック条件における行動パターン

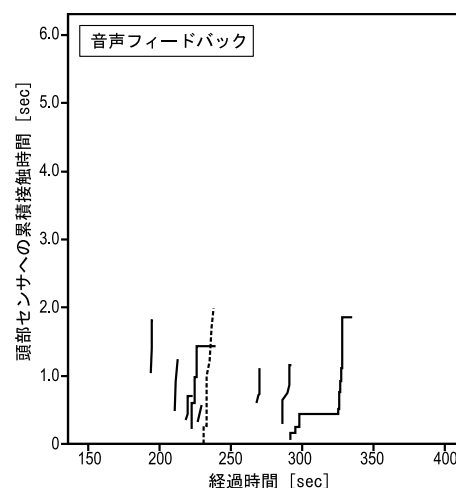


図 9: 音声フィードバック条件における行動パターン

る結果を得た。今後、実験データの詳細な分析を行うとともに、体系的な調査を実施し、マニュアルフリーロボットの設計指針を構築する予定である。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金・若手研究（スタートアップ）（課題番号:18800067）からの研究助成を受けました。ここに謝意を記します。

参考文献

- [Europe 04] Europe, United Nations Economic Commission for and Robotics, International Federation of : *World Robotics 2004 – Statistics, Market Analysis, Forecasts, Case Studies and Profitability of Robot Investment*, Palais des Nations (2004)
- [Gibson 79] Gibson, J. J.: *The Ecological Approach to Visual Perception*, Lawrence Erlbaum Associates Inc. (1979)
- [Norman 88] Norman, D. A.: *The Psychology of Everyday Things*, Basic Books (1988)
- [Ono 00] Ono, T., Imai, M., and Nakatsu, R.: Reading a Robot's Mind: A Model of Utterance Understanding based on the Theory of Mind Mechanism, *International Journal of Advanced Robotics*, Vol. 14, No. 4, pp. 311–326 (2000)
- [Suchman 87] Suchman, L. A.: *Plans and Situated Actions: The Problem of Human-Machine Communication*, Cambridge University Press (1987)
- [Touretzky 05] Touretzky, D. S. and Tira-Thompson, E. J.: Tekkotsu: A framework for AIBO cognitive robotics, in *In Proc. of the Twentieth National Conference on Artificial Intelligence* (2005)
- [小松 05] 小松 孝徳, 長崎 康子: ピープ音からコンピュータの態度が推定できるのか?—韻律情報の変動が情報発信者の態度推定に与える影響, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 7, No. 1, pp. 19–26 (2005)
- [小林 06a] 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*, Vol. 21, No. 4, pp. 380–387 (2006)
- [小林 06b] 小林 一樹, 山田 誠二: 行為に埋め込まれたコマンドによる人間とロボットの協調, *人工知能学会論文誌*, Vol. 21, No. 1, pp. 63–72 (2006)