

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月27日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2012

課題番号：21300076

研究課題名（和文） ロボットの能動知覚に基づく物体挙動予測モデルと道具使用

研究課題名（英文） Prediction Object Dynamics and Tool Handling based on Active Perception of Humanoid Robot

研究代表者

尾形 哲也（OGATA TETSUYA）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：00318768

研究成果の概要（和文）：

本研究課題では、ロボットによる多様な一般物体の認識と道具使用を目的として、身体を用いた能動的知覚行為による物体挙動予測のモデルを実ロボットに具現化した。具体的には再帰結合型神経回路モデルと人間型ロボットを利用した、(1) 物体挙動に伴う音響信号の予測と分類、(2) 予測信頼性に基づく身体と物体の選択学習、さらに(3) 道具身体化モデルを構築した。本研究の成果は、工学的応用のみならず認知科学等の学術的な研究への展開も期待できる。

研究成果の概要（英文）：

This project aims to enable robots to recognize and handle various objects and tools. The approach is based on the embodied/active perception of robot and prediction of object dynamics. Concretely the project completed the following three themes by utilizing recurrent neural network models and humanoid robots, such as (1) prediction and recognition of environmental sounds associated with object dynamics, (2) selective learning of self-body and other object based on predictability, and (3) tool-body assimilation model. The achievements of the project could be applied not only to engineering techniques but also to academic studies on cognitive science etc.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2010年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2011年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2012年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
総計	9,800,000	2,940,000	12,740,000

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：人間情報学・知能ロボティクス

キーワード：再帰型神経回路モデル、道具身体化、予測信頼性、アフォーダンス

1. 研究開始当初の背景

人間に近い移動機能、ハンドリング機能を有する人間型ロボットの研究が盛んとなり、特に、人間生活支援での応用が期待されてい

る。

しかし生活空間にある物体は、形状、模様、重量、硬さなど多様な特徴を持ち、これら全てを一般的に扱うことは極めて難しい。しか

も従来研究の多くは物体認識（ラベル付け）にその主眼が向けられており、物体操作の情報（実世界における影響に関する情報）は別に与える必要があるだけでなく、未知物体に対しては対応ができない。実環境は未知物体で溢れており、既知物体特徴から未知物体特徴を推定する“汎化能力”が必要不可欠である。

2. 研究の目的

以上の背景を下に、本研究課題ではロボットによる多様な一般物体の認識と道具使用を目的とする。具体的には身体を用いた能動的知覚行為による物体挙動予測と、物体挙動予測の信頼性による道具への身体拡張のモデルを実ロボットに具現化し、その有効性を検証していく。

3. 研究の方法

認知科学分野では、環境に埋め込まれた行為情報の概念として“アフォーダンス”が提唱されている。アフォーダンスの概念では「認識と動作」は同一に扱われる。つまり認識は「主体の身体で生成可能な行為による環境変化の予測」という拘束条件下で捉えられている。

この視点から人間型ロボットと再帰型神経回路モデルを統合した、構成論的知能研究の立場から、物体知覚と道具使用の問題に取り組んだ。具体的には、以下の2つのアプローチをとる。

- (1) 身体ハードウェアにより可能な行為に関する物体挙動予測、という物体認知の枠組みを神経回路により実装する。
- (2) 「物体挙動予測の信頼性による道具と物体の区別」という道具使用モデルを神経回路モデルと実ロボットにより構築する。

4. 研究成果

本研究において得られた成果は、大きく以下の3つである。

1. 物体挙動に伴う音響信号の予測と分類

物体の挙動に伴う音の学習・識別モデルの構築を目的とし、特に少数データでの認識率向上と、未知音の識別の問題に取り組んだ。具体的には再帰型神経回路モデルを用いた環境音予測識別システムの基本アーキテクチャを提案・構築した。このモデルは複数の学習時系列の構造を再帰ニューロンの初期値に自己組織化できる。実験では、RWCP 環境音データベースから 20 クラスを選択学習させた。10 クラス 100 サンプル中 4 つのみを学習に利用し、残りの 10 クラスを未知とした実験を行った結果、神経回路モデルの初期値空間が未学習の環境音にクラスターも自己組織化可能であることが確認された。獲得され

た神経回路内の表現空間の一例を図 1 に示す。

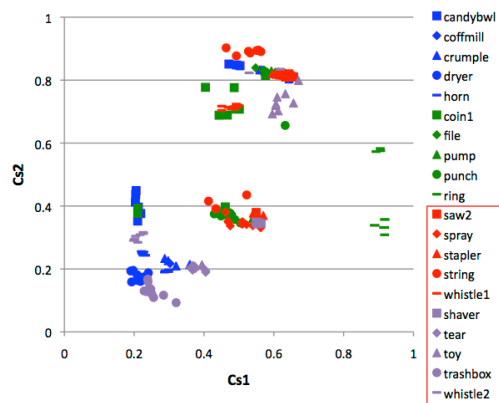


図 1 自己組織化された音響信号表現の例：赤枠内は未学習の音クラスを表す。これらのクラスに大しても識別可能なクラスターが構成されていることが確認できる。

2. 身体と物体の選択学習

脳科学における内部モデル（順逆モデル）の概念を応用した、自己領域発見のモデルを構築した。本手法は「予測（操作）できる領域が身体である」という考えに基づき、運動指令値と視覚の関係を予測学習することによって画像中の他者と自己の身体識別を可能とした。具体的には再帰型神経回路モデルに運動指令値及び自己と他者の身体を含む視覚情報を入力し予測学習させ内部モデルを獲得させた。全体モデルの概要を図 2 に示す。学習後の内部モデルによる予測可能部分を自己身体とさせた。実験の結果、提案モデルは運動指令値のみから、自己身体と他者身体を自動的に識別できることが確認された。

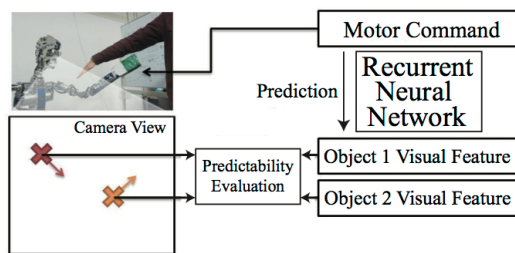
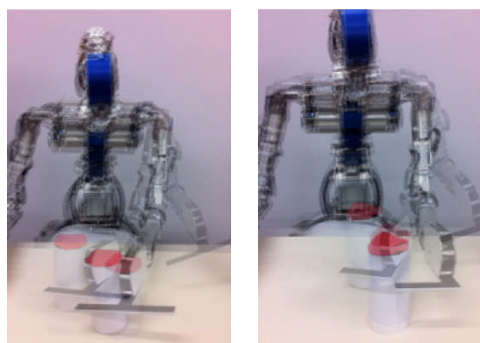


図 2 提案した自己身体と他者物体の学習モデル：再帰結合型神経回路モデルによる予測信頼性を評価することで、複数物体を選択的に学習する。

3. 道具身体化モデル

上記の身体モデルを拡張し、道具を利用している身体を獲得するモデル（道具身体化モデル）を提案構築した。具体的には神経回路モデルで獲得した身体モデルに対しバイアス入力（道具使用の経験（能動知覚））を通して自己組織的に道具機能を神経回路

の発火状態に表現させる。獲得された道具機能，カメラ視野内の道具形状，動作を階層型ニューラルネットで関連付けることにより，道具形状からその機能を推定・使用できるようにした。本モデルをヒューマノイドロボット ACTROID に導入し評価実験を行った結果，道具使用学習から道具特徴を自己組織的に獲得し，また既知道具だけでなく未知の道具についてもその機能を形状から類推し，提示された動作の再現が行えることを確認した。実験の様子を図3に示す。



(a) T型道具 (既知) (b) L型道具 (未知)

図3 提案モデルによる道具使用の例：神経回路モデルで表現された身体モデルを拡張することで，道具を持った身体を表現し未知の道具についても使用可能となった。

本研究の成果によって，ロボットの身体動作とカップリングした多様な物体の認識，身体モデルとカップリングした道具利用の基礎モデルが構築でき，その可能性が明らかになったと考えられる。実際の応用に関しては，他のハードウェアへの適用や，学習限界に関する精緻な検証等，多くの作業が残っているが，今後の継続的な研究により，工学的応用のみならず認知科学におけるアフォーダンス，デザイン学におけるシグニファイアとの関連等の学術的な研究への興味深い展開も期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計8件)

[1] S. Nishide, J. Tani, T. Takahashi, H. G. Okuno, and T. Ogata: Tool-Body Assimilation of Humanoid Robot using Neuro-Dynamical System, IEEE Trans. on Autonomous Mental Development, Vol.4, Issue:2 (june 2012) pp.139-149, 2012. doi:10.1109/TAMD.2011.2177660 (査読有)

[2] H. Nobuta, K. Kawamoto, K. Noda, K. Sabe, H. G. Okuno, S. Nishide and T. Ogata: Body area segmentation from visual scene based on

predictability of neuro-dynamical system, Proceedings of IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN-2012), June 10-15, 2012, Brisbane, Australia. (査読有)

[3] S. Nishide, J. Tani, H. G. Okuno and T. Ogata: Self-organization of Object Features Representing Motion Using Multiple Timescales Recurrent Neural Network, Proceedings of IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN-2012), June 10-15, 2012, Brisbane, Australia. (査読有)

[4] Yang Zhang, T. Ogata, S. Nishide, T. Takahashi, H. G. Okuno, "Classification of Known and Unknown Environmental Sounds based on Self-organized Space using Recurrent Neural Network," Advanced Robotics, Special Issue on Dynamical System Involving Symbol Processing, Vol.25, No.17, pp. 2127-2141, 2011. (査読有)

[5] Zhang Yang, S. Nishide, T. Takahashi, H. G. Okuno, and T. Ogata: Cluster Self-organization of Known and Unknown Environmental Sounds using Recurrent Neural Network, Proceeding of the International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN 2011), LNCS6791, pp. 167-175, Oral, Espoo, Finland, June 14-17, 2011. (査読有)

[6] T. Ogata, S. Nishide, H. Kozima, K. Komatani, H. G. Okuno: "Inter-modality Mapping in Robot with Recurrent Neural Network" Pattern Recognition Letters 31. 1560-1569 2010. (査読有)

[7] S. Nishide, T. Ogata, J. Tani, T. Takahashi, K. Komatani, H. G. Okuno: "Motion Generation Based on Reliable Predictability using Self-organized Object Features" IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS-2010). 2010. 台北 (査読有)

[8] S. Nishide, T. Nakagawa, T. Ogata, J. Tani, T. Takahashi, H. G. Okuno: "Modeling Tool-Body Assimilation using Second-order Recurrent Neural Network" IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS-2009). 5376-5381, 2009. (査読有)

[学会発表] (計10件)

[1] 信田春満, 西出俊, 奥乃博, 尾形哲也: 再帰結合神経回路モデルを用いた予測可能性による段階的対象選択学習, 情報処理学会第75回全国大会, 3R-2, Mar. 2013. 東北大学. 学生奨励賞

[2] 信田春満, 西出俊, 奥乃博, 尾形哲也, 再帰型神経回路モデルを用いた内発的動機付けによる身体モデルの優先的学習, SI 2012, 福岡国際会議場, Dec. 19-21, 2012.

[3] 信田春満, 河本献太, 野田邦昭, 佐部浩太郎, 西出俊, 奥乃博, 尾形哲也: 神経

力学モデルによる自己身体領域抽出と視覚運動系の自己組織化, 日本ロボット学会第30回学術講演会, 2H3-2, 札幌コンベンションセンター, Sep. 17-20, 2012.

[4] 西出俊, 奥乃博, 尾形哲也: MTRNN を用いたロボットの物体操作における挙動表現特徴量の自己組織化, 日本ロボット学会第30回学術講演会, 3N1-7, 札幌コンベンションセンター, Sep. 17-20, 2012.

[5] 山口雄紀, 信田春満, 西出俊, 奥乃博, 尾形哲也: 神経力学モデルを用いたロボットの道具身体化機構, 日本ロボット学会第30回学術講演会, 4N3-3, 札幌コンベンションセンター, Sep. 17-20, 2012.

[6] 信田春満, 河本献太, 野田邦昭, 佐部浩太郎, 奥乃博, 尾形哲也: 再帰型神経回路モデルを用いた視野変化予測と場所知覚ニューロンの発現, 情報処理学会第74回全国大会, 5P-8, 8 Mar. 2012. 名古屋工業大学. 学生奨励賞

[7] 山口雄紀, 信田春満, 西出俊, 奥乃博, 尾形哲也: 神経回路モデルを用いた道具身体化モデルによる道具機能表現の獲得, 情報処理学会第74回全国大会, 4Q-3, 7 Mar. 2012. 名古屋工業大学. 学生奨励賞

[8] 信田春満, 西出俊, 尾形哲也, 奥乃博: 神経力学モデルによる身体図式に基づく空間地図の獲得, 日本ロボット学会第29回学術講演会, 3N1-5, 芝浦工業大学, 9 Sep. 2011.

[9] 西出俊, 尾形哲也, 谷淳, 高橋徹, 奥乃博: 能動知覚経験に基づく物体特徴量の自己組織化と予測信頼性に基づく動作生成, 日本ロボット学会第28回学術講演会, 3A2-5, 名古屋工業大学, Sep. 2010.

[10] 西出俊, 中川達裕, 尾形哲也, 谷淳, 高橋徹, 奥乃博: "二次リカレントニューラルネットワークを用いた道具身体化モデルの構築", 日本ロボット学会第27回学術講演会. (20090916). 横浜国立大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

尾形 哲也 (OGATA TETSUYA)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号: 00318768

(2) 研究分担者

西出 俊 (NISHIDE SHUN)

京都大学・学内共同利用施設等・助教

研究者番号: 30613400