

平成 22 年 6 月 28 日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）

研究期間：2008～2009

課題番号：20800060

研究課題名（和文） 非分節な人間機械相互作用を通じた自己組織化型模倣学習機構の構築

研究課題名（英文） Self-organizational imitation learning process through unsegmented human-robot interaction

研究代表者

谷口 忠大（TANIGUCHI TADAHIRO）

立命館大学・情報理工学部・助教

研究者番号：80512251

研究成果の概要（和文）：

本研究では非分節な人間機械相互作用を通じて、教師事例を与える事無く、自己組織的にロボットが観察した人間の動作時系列を学習することで、複数の単位動作を自律的に獲得する手法を開発した。具体的には、観測した時系列情報を特異値分解により低次元化し、Switching AR Model を用いて連続系のモデルとその離散的な遷移情報としてモデル化することにより、得られた隠れ状態の符号列からMDL基準に基づいて単位動作を抽出する手法を開発した。これにより、非分節な人間動作からの単位動作抽出が可能になった。

研究成果の概要（英文）：

In this research, we developed a machine learning method which enables a robot to obtain several unit motions from unsegmented human motion. In the method, the learning architecture reduces the dimensionality of observed time series data using singular vector decomposition, models the output data using Switching AR Model (SARM). After SARM encodes the data to code strings, a keyword extraction method extract unit words from the strings based on minimal description length criteria. The extracted words are revealed to be characteristic unit motions.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,300,000	399,000	1,729,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,530,000	759,000	3,289,000

研究分野：創発システム

科研費の分科・細目：知能情報処理・知能ロボティクス

キーワード：模倣学習，分節化，自己組織化型学習，時系列，統計的学習理論，ベイズ

## 1. 研究開始当初の背景

現在までロボットの学習についての研究は目標の行動を効率的に獲得させるという

研究が中心的に行われてきた。人間の模倣学習の能力は近縁種と比べても圧倒的に高度でその方策も多様である事が知られており、

人間の知能を特徴づけるものである。この中で、ロボットの模倣学習においてはあらかじめ分節化され与えられた動作系列から如何なる動作を学習をするかという問題が主に扱われてきた。しかし、このようなアプローチでは相互作用を通じて行動多様性を獲得する自律ロボットの設計には至れない。

## 2. 研究の目的

人間が非分節な相互作用からどのような計算機構に基づいて模倣学習は達成しているのか、という問いに対する計算論的な解の候補を与えるため、また、その工学的応用を図ることを目的として研究を行なった。主に、

人間を特徴づけるとされる模倣学習能力の構成論的理解を深めると共に、自律ロボットが自然な人間機械相互作用を通して多種多様な行動を獲得する学習機構を実現する事を目的とした。

## 3. 研究の方法

本研究では、先行研究により手先動作という2,3次元という低次元データの時系列情報から特徴的な動作区間を抽出可能であるという状態から、人間の上半身全体の高次元動作から特徴的な動作区間を抽出するという拡張を行なった。また、これまでは、非常にヒューリスティックな抽出ルールで抽出を行っていたことに対し、より理論的な手法による抽出方法を構築した。また、さらに高次元な情報からの情報抽出として、視覚情報からの動作情報の抽出という課題に取り組んだ。

### (1) 動作の低次元性に基づく抽出

人間の動作は上半身動作に限っても非常に高次元な情報である。旧手法においては、時系列情報をモデリングした際の隠れ状態遷移の繰り返し頻度の情報を用いて、特徴的な動作を抽出していたが、必ずしも、意味のある動作のみが抽出された訳ではなかった。そこで、人間の繰り返し表出する動作には協調構造が形成され低次元性をもっているということから、この低次元性を尺度にして、動作抽出を行なう方法を提案した。

### (2) 最少記述長基準による抽出

人間の非分節な動作系列を隠れ状態の遷移により表現される混合モデルでモデル化した際、隠れ状態の列を文とみると、繰り返し表出する動作はその文章における単語と見なすことができる。そこで、単語を蓄える辞書と、その辞書に表記された単語により隠れ状態列が記述される文章とする二段階の符号化を考え、これを最小化するような単語群の抽出を行なった。この抽出は、全探索を行う事は計算上不可能であり、本研究では、局所探索を行う事により解の探索を行なった。具体的にはSwitching AR modelにより人間の非分節な上半身動作をモデル化し、符

号化された時系列情報から、MDL基準に従い、単語抽出を行なった。

### (3) 視覚・体性感覚統合による他者動作の自己身体へのマッピング

非分節な他者の動作を模倣しようとする際に、観察を行なわねばならない。しかしながら、本来的に得られる情報は視覚情報であり、これが体性感覚情報にマッピングされない限り、自らの動作として学習する事は出来ない。この問題に取り組むために、カーネル正準相関分析を用いた視覚・体性感覚情報統合についての検討を行なった。

## 4. 研究成果

### (1) 動作の低次元性に基づく抽出

人間の非分節な上半身動作に対して、提案手法を適用した。旧手法の類似手法により抽出された多くの分節を特異値分解による低次元化可能性から、その協調構造の度合いを測る指標を定義し、それにより、特徴的な動作かどうかを評価した。実験結果としては、低次元性によりある程度、特徴的な動作かどうかの弁別が可能であることが示された。しかしながら、その前段階としての分節を如何に適切に行なうか、また、部分文字列の包含関係の扱いが問題となった。

### (2) 最少記述長基準による抽出

符号列の分節化に二段階符号化を考慮した、最少記述長基準を用いて分節化を行なった。全体のプロセスの概観を図1に示す。動作抽出対象の時系列データとしては"Hi"と"Shrug"の二種類の動作を埋め込んだ、時系列データを対象とした。実験の結果、これらの単位動作が、教師ラベルを用いる事なく、抽出可能であることが示された(図2)。次に、これらの動作の分節が、どれほど人間の行なう分節と近いかどうかについて、認知実験を行なった。この結果、人間の被験者間でもかなり大きな揺らぎがあることが、示され、その相性の悪い被験者間程度のずれが、平均的な人間とロボットの間には存在することが示された(図3)。これは、人間が模倣学習において言語をチャンク化するのと同様の計算機構を用いている可能性を示唆しており、認知・発達心理学の視点からも興味深い結果である。また、工学的には、ロボットが勝手に他者の動作を模倣する事が出来る可能性を示しており、応用の可能性が高い。

### (3) 視覚・体性感覚統合によるマッピング

非分節な動作系列からの模倣学習をより超高次元の時系列データを対象におこなうために、視覚・体性感覚統合に着目した。ロボットが、自らの動作の結果としての視覚像と、みずからの体性感覚情報を低次元の空間の中で対応づけることにより、連続的で高次元な空間情報から情報抽出を行えるのではないかと考え、実装を行なった。少数の事例に対して低次元空間に本質的な特徴量がコ

ーディングされる結果が得られたが、より一般的な可能性、実現については今後の課題である。

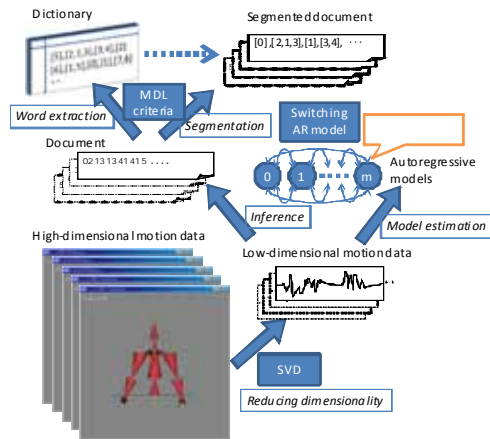


図1 提案学習法の概観

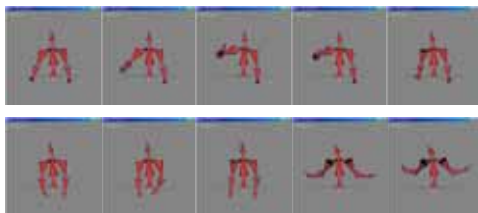


図2 抽出された動作

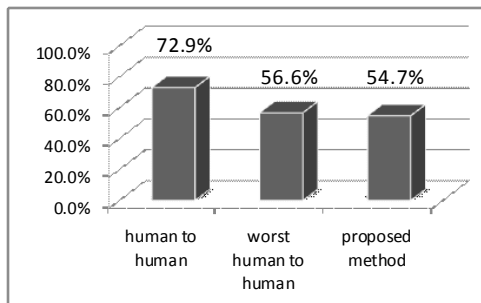


図3 動作の分節化の認知実験結果

## 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4件)(査読有り)

1. Tadahiro Taniguchi, Kazuma Tabuchi, and Tetsuo Sawaragi, "Adaptive Design of Role Differentiation by Division of Reward Function in Multi-agent Reinforcement Learning", SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration (JCMSI), Vol.3 (1), pp. 26-34 .(2010)
2. 谷口忠大、岩橋直人, "複数予測モデル遷移の N-gram 統計に基づく非分節運動系列からの模倣学習手法" 知能と情報 (日本知能情報フuzzy学会論文誌), Vol.21 (6), pp.1143-1154 .(2009)
3. T.Taniguchi, N. Iwahashi, K. Sugiura, and T. Sawaragi, "Constructive Approach to Role-Reversal Imitation Through Unsegmented Interactions", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.20 (4), pp.567-577 .(2008)

〔学会発表〕(計16件)

1. T. Taniguchi, N. Iwahashi, "Imitation Learning from Unsegmented Human Motion using Switching Autoregressive Model and Singular Vector Decomposition", International Conference on Neural Information Processing, (2008), The article is published in Advances in Neuro-Information Processing, Springer, 2009, 5506, pp.953-961
2. 谷口忠大、岩橋直人, "複数予測モデル遷移の N-gram 統計に基づく非分節運動系列からの模倣学習手法", 第25回フuzzyシステムシンポジウム, 筑波大学(つくば) in CD-ROM (2009)
3. 谷口忠大、岩橋直人、中西弘門、西川郁子, "ヒューマン・ロボットインタラクションを通じた役割反転模倣に基づく実時間応答戦略獲得", 第23回人工知能学会全国大会, サンポートホール高松(香川) in CD-ROM.(2009)
4. 谷口忠大、岩橋直人, "連続的相互作用に埋め込まれた特徴的動作系列の発見的模倣学習手法", 第22回人工知能学会全国大会, サンポートホール高松(香川) in CD-ROM .(2008)

〔図書〕(計1件)

1. 谷口忠大, コミュニケーションするロボットは創れるか ~記号創発システムへの構成論的アプローチ~, NTT 出版, 2010, 272 ページ

〔産業財産権〕

出願状況（計3件）

名称：応答戦略獲得装置、リアクション選択装置、コンピュータプログラム、及びロボット

発明者：谷口忠大，岩橋直人，中西弘門

権利者：立命館大学・NICT

種類：特許

番号：特願 2009-181828

出願年月日：2009年8月4日

国内外の別：国内

名称：動作学習装置

発明者：谷口忠大，岩橋直人

権利者：NICT

種類：特許

番号：特願 2008-125720

出願年月日：2009年5月13日

国内外の別：国内

## 6．研究組織

### (1)研究代表者

谷口 忠大 (TANIGUCHI TADAHIRO)

立命館大学・情報理工学部・助教

研究者番号：80512251