

令和 2 年 4 月 27 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K20000

研究課題名(和文)統計的計量から見える運動と言語の空間設計と幾何操作による新しい表現形の創造

研究課題名(英文) Synthesis of motion representation based on geometric operation in the stochastic space of motions and language

研究代表者

高野 渉 (Takano, Wataru)

大阪大学・数理・データ科学教育研究センター・特任教授(常勤)

研究者番号：30512090

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：記号化・言語を背景として高度に体系化された人間社会にロボットが浸透するためには、言語化能力をロボットに実装することが必要不可欠となる。本研究課題では、全身運動と言語表現の連想構造を多段中間層を有する統計数理モデルにて表現した。運動データが入力層、言語表現が出力層、入力と出力の関係が、複数の中間層にて結びついた構造であり、それら結びつきを規定するモデルパラメータの最適化アルゴリズムを導出した。これは、運動と言語の関係が中間層の隠れ変数空間の分布として抽出できたことになる。計測した全身運動からそれを説明する文章表現を生成する計算が可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果では、運動と言語を結ぶ多層統計モデルの学習法を提案し、行動を言語表現に変換することを実現した。確率パラメータの性質を利用した最適化計算は、新たな学習アルゴリズムであり、学術的意義がある。また、開発した技術は、行動を言語として理解するロボットの基盤となり、研究室、介護施設、病院などの人間行動を言語化する応用研究に発展している。ロボットや人工システムが日常生活に浸透することを加速させる社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：Language is absolutely essential for a robot to be implemented into our daily life that lies on the highly sophisticated intelligence based on symbols and language. In this research, we have presented a stochastic mathematical model with multiple hidden layers to represent the association between human motions and their descriptive language. The motions and language set to the input and output layer, respectively. The input layer are connected to the output layer via multiple hidden layers, and the connection is specified the probabilistic parameters, such as probability of hidden state being generated from an input. We have derived an algorithm to optimize these parameters. It implies than the association between the motion and language can be extracted as the distribution of hidden variables in their space. This model makes it possible to convert motion data into their descriptive sentence.

研究分野：ロボティクス

キーワード：ロボット 自然言語 機械学習

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

人間の知能の根源は記号・言語化である。世界を切り分け、記号化することで事象を理解し、さらに高度な推論を組み上げることができる。ロボットがこの人間社会に浸透するには、記号・言語化技術が必要不可欠である。特に、人間とインタラクションを繰り返し広げながら生活をともにするロボットにおいては、人間の行動を記号・言語として理解する人工知能の枠組みが求められるであろう。人間の身体運動をロボットの身体に写像して記憶・獲得する模倣学習の研究は古くから行われてきたが、高次元運動データを低次元化することに重きを置かれてきた感がある。低次元空間上での運動表象は、必ずしも人間が直感的に理解できるものではなく、それを再利用してコミュニケーションを確立することは困難である。模倣学習で培われて運動表象と自然言語を融合することによって、人間と身振り・言語を通じてコミュニケーションできるロボットの知能が生まれることが期待できる。

### 2. 研究の目的

人間の全身運動は関節角時系列データの連続値の世界である。一方、言語は単語から構成される離散値の記号世界である。連続と記号の異質な世界を繋げることに技術的困難さが潜む。模倣学習で採用される運動データを数理モデルにて学習する方法論は、運動データを表現するに最適なモデルパラメータを探索することである。最適なモデルは、パラメータ空間の点としてみることができ、これは一種の離散表現である。その離散表現である運動表象を介して、運動と言語を繋ぐ数学的枠組みを構築する。これによって、人間の全身運動を自然言語して理解するロボットの知能の基盤を構築する。さらに、運動と言語を繋ぐ数理モデルは、運動や言語は、モデル変数を介して表現することができる。介在変数を捜査することによって、学習した運動・言語表現を頼りにしながら、学習されていない運動・文章を組み立てて表出することも可能となる。

### 3. 研究の方法

人間の身体運動は、全身の関節角の時系列信号として表現することができる。この運動データを隠れマルコフモデルを用いて学習する。学習は、運動データが生成される確率が最大となるように隠れマルコフモデルのパラメータを最適化することに相当する。さらに、観察した運動データが、各隠れマルコフモデルから生成される確率を計算し、確率値が最も高いモデルとして分類することが運動認識である。このように模倣学習の枠組みに従って運動を学習・分類することは、運動が記号化されたことになる。さらに、運動やその記号表現を言語に変換するために、運動記号と自然言語を結びつける統計数理モデルを提案する。

提案する枠組みは、運動記号が入力層、文章中の単語が出力層に配置され、それら入出力層を多段の隠れ変数層が結びつける構造を有している(図1)。モデルパラメータは、運動記号から隠れ変数が生成される確率、隠れ変数から隠れ変数が生成される確率、隠れ変数から単語が生成される確率である。これら確率的パラメータを、学習データである運動から文章中の単語が生成される確率が最大となるように最適化する。この最適化計算は、パラメータが確率であるという制約を条件として、期待値最大化アルゴリズムの収束演算によって実施する。隠れ変数の分布を推定する演算と、その分布に従って、確率パラメータを最適値へ更新する演算を繰り返すことになる。

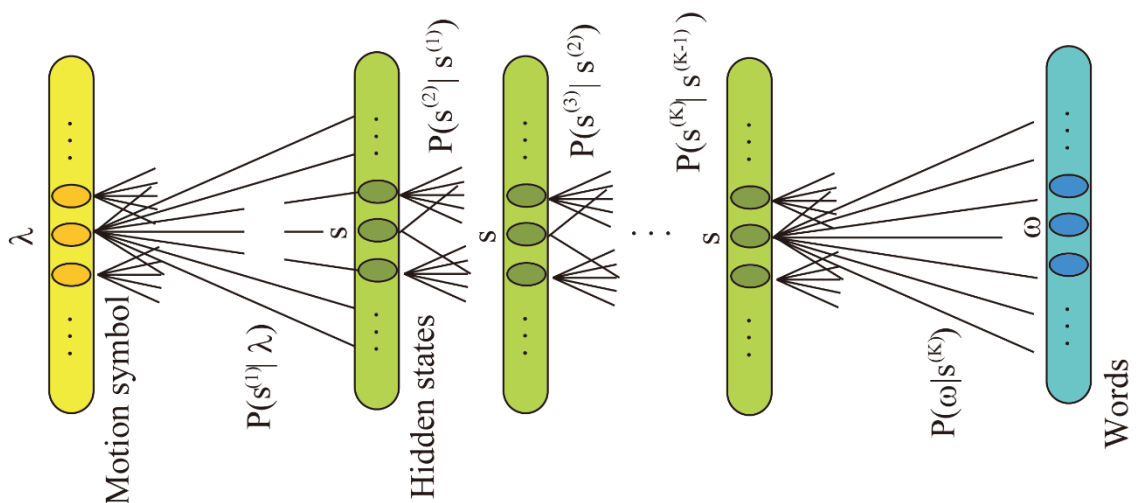


図1. 運動と言語を結ぶ統計数理モデルの構造

学習した統計モデルに従うと、観測した運動の記号を入力として、隠れ変数の分布が定まり、その分布に基づき各単語が生成される確率を計算することができる。すなわち、運動と関連の高い順に単語を連想することができる。これら連想された単語を、文法規則や単語の語順規則に沿って並べ替えることによって、運動を文章に変換することが可能となる。さらに、運動や文章に対応して、モデル内の隠れ変数の分布が存在することになり、この分布に変更を加えることによって、新たな言語表現を創ることが可能となる。例えば、2つの言語表現に対応する隠れ変数の分布を内挿・外挿操作して、新たな隠れ変数分布を作成し、それに基づいて言語表現を創造することができる。

#### 4. 研究成果

人間の身体運動を光学式モーションキャプチャシステムによって計測する。被験者に貼り付けられた計測目印であるマーカーの位置から、ロボティクスの運動学計算を通じて全身の関節角を推定できる。この関節角の時系列を隠れマルコフモデルを用いて運動記号を学習した、さらに、各運動データに対して人手にて説明文を付与して、運動記号と説明文の対訳データセットを構築した。これを学習データとして、運動記号と言語の統計モデルの学習を行った。本成果報告では、隠れ層の層数を2（第1層の隠れ変数の数は100、第2層の隠れ変数の数は50）とした場合の実験結果について述べる。なお、学習した運動データ数は471個、説明文数は765個（語彙数は259単語）であった。

図2に運動データとそれらから生成された文章を確率の高い順に表示する。「跳ぶ」動作に対して、“a student jumps”, “a student leaps” という妥当な説明文が生成されている。さらに、6番目の文章として、“a student jumps forward” と「前へ」という表現が追加された文章も生成されていることがわかる。「走る」動作に対しては、“a student runs”, “a player runs” という適切な説明文が生成されている。走るとは異なるが、“a player walks” といった「歩く」表現を用いた文章も生成されている。隠れ変数の分布が、“run” と “walk” が類似していることを示唆しており、人間の主観と合致した意味空間を構築できていることが予想できる。「バドミントンをする」動作に対しては、“a student plays badminton”, “a player plays badminton” という適当な文章が生成されていることが確認できる。

全身運動と単語の関係性を多層統計モデルによって数理モデル化する方法を開発した。入力層の運動と出力層の単語を隠れ層が接続する構造であり、運動・隠れ状態・単語の連想確率を最適化することによって、運動と単語の関係性を抽出した、この統計知識を用いて、動きから文章が生成できることを示した。

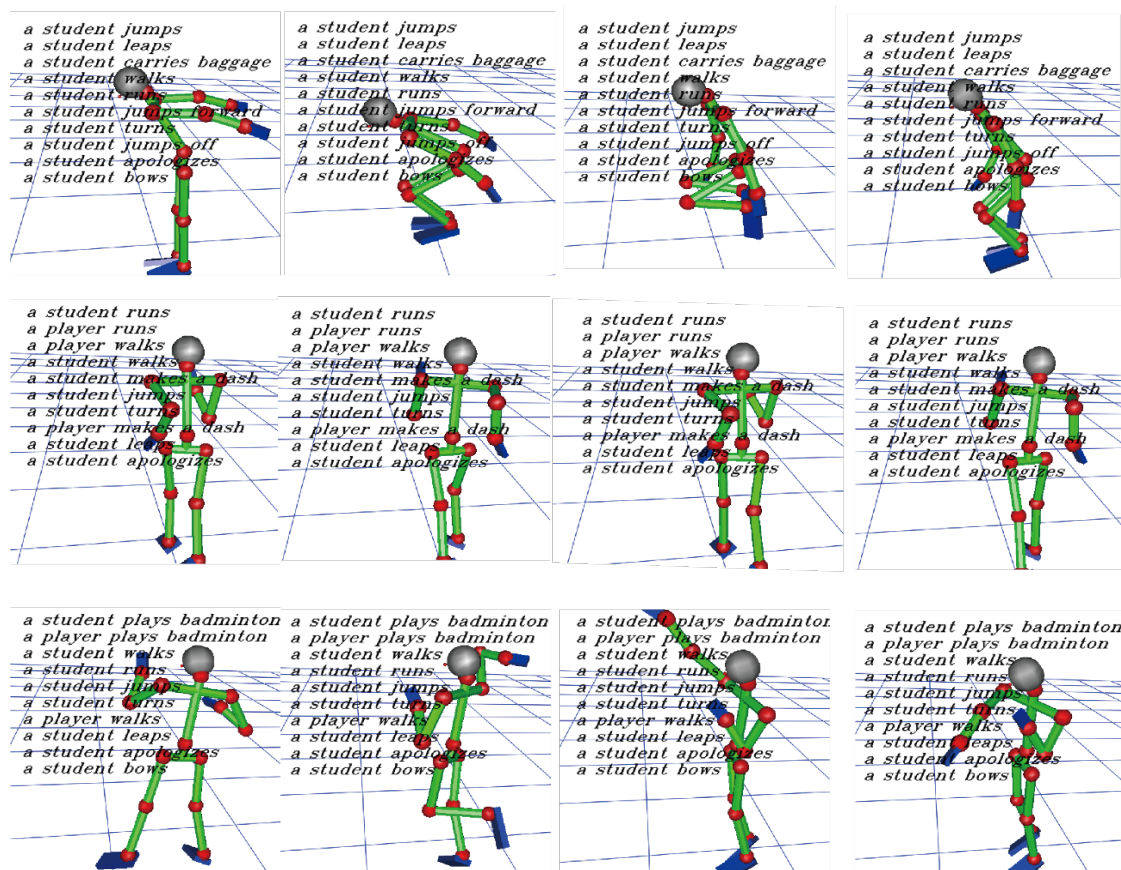


図2. 人間の全身運動から文章の生成に関する計算結果

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Wataru Takano, Yoshihiko Yamada, Yoshihiko Nakamura	4. 巻 Vol.43, No.4
2. 論文標題 Linking Human Motions and Objects to Language for Synthesizing Action Sentences	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Autonomous Robots	6. 最初と最後の頁 913-925
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10514-018-9762-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Yasuhiro Ishiguro, Wataru Takano, Yoshihiko Nakamura	4. 巻 32
2. 論文標題 Bilateral Remote Teaching and Autonomous Task Execution with Task Progress Feedback	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 311-324
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/01691864.2018.1441746	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Wataru Takano	4. 巻 50
2. 論文標題 Annotation Generation from IMU-Based Human Whole-Body Motions in Daily Life Behavior	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Human-Machine Systems	6. 最初と最後の頁 13-21
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/THMS.2019.2960630	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Wataru Takano, Haeyeon Lee	4. 巻 5
2. 論文標題 Action Description from 2D Human Postures in Care Facilities	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 774-781
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LRA.2020.2965394	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Wataru Takano, Yusuke Murakami, Yoshihiko Nakamura	4. 巻 124
2. 論文標題 Representation and Classification of Whole-body Motion Integrated with Finger Motion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Robotics and Autonomous Systems	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.robot.2019.103378	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計12件(うち招待講演 4件/うち国際学会 4件)

1. 発表者名 高野 渉, 中村 仁彦
2. 発表標題 体操における運動の分節化とその時系列統合による技の自動認識
3. 学会等名 第36回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Wataru Takano
2. 発表標題 Robotics and Artificial Intelligence for Human/Robot Movements
3. 学会等名 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Wataru Takano
2. 発表標題 On Human Activity Dataset for Humanoid Robots
3. 学会等名 The Workshop on the Latest Advances in Big Activity Data Sources for Robotics & New Challenges in IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高野 渉
2. 発表標題 人間・ロボットの全身運動と言語の学習～深層学習への展開～
3. 学会等名 第36回日本ロボット学会学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ikuo Kusajima, Wataru Takano, Yoshihiko Nakamura
2. 発表標題 Incorrect Label Detection Using Convolutional Autoencoder in Labeling Task of Optical Motion Capture Data
3. 学会等名 The 2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Wataru Takano
2. 発表標題 Statistical Translation between Human/Robot Behaviors and Language
3. 学会等名 The 3rd Japan-EU Workshop on Neurorobotics（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Wataru Takano, Haeyeon Lee
2. 発表標題 Action Description from 2D Human Postures in Care Facilities
3. 学会等名 IEEE International Conference on Robotics and Automation（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Wataru Takano
2. 発表標題 Sentence Generation from IMU-based Human Whole-Body Motions in Daily Life Behaviors
3. 学会等名 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高野 渉
2. 発表標題 高齢者行動の言語化を用いた自動介護日誌システムの開発
3. 学会等名 第20回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高野 渉
2. 発表標題 多層統計モデルを用いた運動の言語化
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高野 渉
2. 発表標題 運動知識を活用した単カメラ映像から全身運動の3次元再構成法
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高野 渉, 李海妍
2. 発表標題 介護施設における2次元姿勢推定を用いた行動識別と言語化
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----