

令和元年6月25日現在

機関番号：62615

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K18331

研究課題名(和文) 仮想現実環境を活用したロボットの文脈概念獲得およびその応用

研究課題名(英文) Context Concept Acquisition and Application for Robots Using VR Environment

研究代表者

坂戸 達陽 (Sakato, Tatsuya)

国立情報学研究所・情報学プリンシプル研究系・特任研究員

研究者番号：10780679

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、動作パターンに対する文脈に応じたラベリングという問題を対象として、ロボットが能動学習の枠組みを用いて効率的な学習を行うための学習手法を明らかにした。本研究では、動作が行われる場所、動作に用いられる道具を文脈、文脈と動作パターンの組を場面とし、システムに能動学習の枠組みを用いて場面に対するラベリングを行わせた。従来のuncertainty samplingに加え、学習の進捗に応じてclosed questionを用いることで、システムはより少ない質問回数で目標とする正答率を達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ロボットが我々の社会の中での人-ロボットインタラクションに必要な文脈概念を獲得するには、大量の行動の観測データが必要となる。仮想現実環境におけるロボットの能動的な環境、文脈提示による知識獲得手法を確立することができれば、実世界の環境では集めることの難しい大量の観測データを効率的に収集でき、その学習結果は、実世界ロボットの有効な振る舞いのために活用することができると考えられる。本研究では仮想現実環境と能動学習を組み合わせることで、ロボットの効率的な学習のための文脈提示手法を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this research, we clarified a learning method for robots to perform efficient learning using active learning. The target problem is context-dependent labeling to motion patterns. The place where a motion pattern is performed, and the tool used for the motion pattern are taken as context. The combination of context and a motion pattern is taken as a scene. A system labels scenes using the framework of active learning. By using closed questions according to the progress of learning in addition to conventional uncertainty sampling, the system achieved the target accuracy rate with fewer questions.

研究分野：知能ロボティクス

キーワード：能動学習

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

近年、Pepper など、人のパートナーとしてのロボットが我々の社会の中に普及しつつある。人-ロボットインタラクションでは、ロボットが人の行動を理解することは重要である。これまでの研究の多くは、個々の動作の認識や、ある特定のタスクにおける人の行動理解に主眼が置かれてきた。しかし、人は個々の行動を独立したものとして行うのではなく、ある文脈に基づいた一連の行動の一つとして行っている場合が多い。そのため、ロボットが人の行動の意味を正しく理解するためには、個々の行動が何であるかだけでなく、一連の行動の背後にある文脈を理解する必要がある。

自然言語処理の分野では、トピックモデル[1]と呼ばれる、文書集合中の潜在的な文脈を表現したモデルが提案されている。Attamimi らは、トピックモデルを用いて物体や行動の概念を獲得する手法を提案している[2]。しかし、Attamimi らの手法では、特定の文脈の下での一連の行動の順序までは考慮できていない。Ogura らは、トピックモデルを人の行動認識に応用し、観測した身体動作の文脈を考慮することで、異なる文脈における動きの似た身体動作への誤認識を防ぐ手法を提案している[3]。しかし、Ogura らの手法では観測した身体動作の文脈が何であるかという情報を、あらかじめ与える必要がある。これらの問題に対して応募者らは、観測した一連の身体動作系列の文脈を推定する手法を提案している[4]。

我々の社会の中での活動に必要な概念をロボットに獲得させる場合、そのためのデータをどのように集めるかという課題がある。ロボットが人-ロボットインタラクションに必要な文脈の概念を獲得するためには、様々な文脈における十分な量の人の行動の観測データが必要となる。しかし、実世界の環境で十分な量のデータを収集しようとする場合、環境やロボットの準備に時間や費用などの面で膨大なコストがかかってしまう。大規模なデータ収集には、低コストで行うことができる効率的な方法が必要となる。この問題に対して稲邑らは、SIGVerse と呼ばれる、仮想現実環境での人-ロボットインタラクションを行うことのできるプラットフォームを開発している[5]。仮想現実環境でのインタラクションを扱う他の研究としては、The Restaurant Game Project[6]や、Mars Escape Game[7]などが挙げられるが、これらの研究が選択肢などでインタラクションが限定されているのに対し、SIGVerse ではヘッドマウントディスプレイやモーションキャプチャなどのデバイスを用いることで、人が没入してより実世界に近い形でインタラクションを行うことができるのが特徴である。

以上を踏まえて本研究では、ロボットが文脈の概念を獲得するために必要なインタラクションを、ヴァーチャルリアリティ用いた仮想現実環境で行う。本研究では単に実世界でのインタラクションを仮想現実環境で行うのではなく、仮想現実環境であることの利点を最大限に活用した、ロボットの文脈概念獲得のための新しいインタラクションを提案し、その有用性を評価する。さらに、獲得した文脈概念の活用方法についても示す。

本研究で提案する仮想現実環境におけるロボットの文脈概念獲得のためのインタラクションの特徴は次の通りである。

- ロボット自身の能動的な文脈提示による、必要な知識の能動的獲得  
文脈概念の獲得に必要なデータは、各文脈それぞれに対して十分な量があることが望ましいが、単に人の行動を観測するだけでは、出現する文脈にどうしても偏りが出てしまう。仮想現実環境では、環境を変化させる場合も、環境のモデルを変更するだけでよく、容易であるため、ロボットが例えば、環境を「キッチン」「リビング」のように変化させ、文脈を「料理」「掃除」のように提示することで、自身に必要な知識を能動的に獲得する。
- 同時並行的なインタラクションによる効率的なデータ収集  
仮想現実環境では、一度環境を構築すると、その環境をコピーして同じ環境を複数構築することや、異なる環境を並列に構築することが容易であるため、複数の人に不足している文脈に関するタスクを分配し、同時並行的に効率的な知識の獲得を行う

### 2. 研究の目的

本研究の目的は以下のとおりである。

#### (1) 仮想現実環境における能動的な環境、文脈提示による文脈概念獲得

- ① 仮想現実環境で収集した人の行動の観測データから文脈概念を獲得する方法を明らかにする。
- ② 仮想現実環境での能動的に提示する文脈の選択方法および、選択された文脈とそれを行う環境の効果的な提示手法を明らかにする。

#### (2) 同時並行的なインタラクションによる知識獲得

- ① 多人数に対する同時並行的なインタラクションのための、提示する環境および文脈を決定するための効果的な方策を明らかにする。

#### (3) 獲得した文脈概念の応用

- ① 獲得した文脈概念に基づいた人の行動理解を明らかにする。
- ② 人に対する文脈に基づいた適切な補助を行う方法を明らかにする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 仮想現実環境における能動的な環境、文脈提示による文脈概念獲得

##### ① 仮想現実環境における文脈概念獲得手法

ロボットが仮想現実環境において観測された人の行動から、文脈概念を獲得する手法を提案、評価する。文脈の概念の獲得には、Dynamic Topic Model[8]など、文脈内の時間的な変化を表現できる動的なトピックモデルを用いる。ロボットは仮想現実環境で人が「料理」「掃除」などの文脈の下で行う一連の「野菜を切る」「箸で掃く」などの行動を観測する。ロボットに対し、文脈情報は明示的に与えられておらず、ロボットは観測した一連の行動系列データから、動的なトピックモデルを用いて文脈の概念および、文脈ごとの典型的な行動系列パターンを獲得する。

##### ② 仮想現実環境における能動的な環境、文脈提示手法

仮想現実環境でロボットが人に対して能動的に文脈を提示し、観測データの少ない文脈の行動系列を積極的に収集することで、文脈概念を獲得する手法を提案、評価する。文脈の提示は、(a) 仮想現実内の環境を、「キッチン」や「リビング」などに变化させることや、(b) 「料理をしてください」、「掃除をしてください」など、言葉で伝えることなどにより行う。提示する文脈は、トピックモデルのパラメータの1つである、トピック出現確率を利用し、それぞれの文脈(トピック)の出現確率が均等になるように提示する。提示の仕方や提示する文脈を選択する方策を変えて実験を行い、有効な提示方法および提示する文脈を選択する方策を探る。

#### (2) 同時並行的なインタラクションによる知識獲得

① 文脈概念獲得インタラクションを、クラウド上で運用し、インターネットを介した多人数に対する同時並行的なインタラクションを可能にする。誰にどの環境のどの文脈を提示するかなど、同時並行的なインタラクションに必要な決定を行うための効果的な方策を見つけ出す。まずは方策を固定して同時並行的なインタラクションによる文脈概念獲得が可能であるかを検証する。その後、機械学習をベースにした探索的な手法を用いて、環境、文脈提示方策の自律的な獲得を試みる。

#### (3) 獲得した文脈概念の応用

##### ① 獲得した文脈概念に基づいた人の行動理解

仮想現実環境で観測した人の行動系列データから獲得された文脈概念を人の行動理解へと応用する。応募者らがこれまでに提案した手法[2]による文脈推定などの既存の手法への応用だけでなく、推定された文脈の正誤を人に判断してもらった結果を能動的な文脈提示へとフィードバックする、循環的な新しい概念獲得手法を確立する。

##### ② 人に対する文脈に基づいた適切な補助

ロボットに、観測した人の行動系列から推定される文脈に基づいて次の行動を予測させ、助言や協調作業などを行わせる。時系列情報を含む文脈概念を獲得することができれば、人の行動の文脈を推定することで次の行動を予測することができる。

③ 同時並行的なインタラクションによってさらにデータを集め、前年度から提案してきた応用におけるロボットの振る舞いの精度をさらに向上させる。

### 4. 研究成果

#### (1) 仮想現実環境における能動的な環境、文脈提示による文脈概念獲得

動作パターンに対する文脈に応じたラベリングという問題を対象として、ロボットが能動学習の枠組みを用いて効率的な学習を行うための学習手法を明らかにした。具体的には、動作が行われる場所、動作に用いられる道具を文脈、文脈と動作パターンの組を場面とし、場面に対していくつかの能動学習の枠組みを用いてラベリングを行い、本研究で対象とした問題に対して有用な能動学習手法を明らかにした。本研究における能動学習の枠組みは、従来の uncertainty sampling と、いずれかの質問方策：(a) 常に open question を行う質問方策、(b) 学習の進捗に応じて closed question を行う質問方策、との組み合わせを用い、効率的に学習するための場面提示だけでなく、効率的に学習するための質問生成を実現することを目指した。

さらに、対象とした問題に対する効率的な能動学習法について、場面選択手法と質問方策の組み合わせだけでなく、ラベル推定手法についても複数の候補を比較し、動作パターンに対する文脈に応じたラベリングという問題において、より効率的な能動学習手法の条件を明らかにした。評価実験の結果、場面選択手法としては margin sampling、質問方策としては学習の進捗に応じて closed question を行う質問方策、ラベル推定手法としてはベイズ推定を用いた組み合わせによる能動学習法が、比較した条件の中でシステムが最も少ない質問回数で目標とする正答率に達する能動学習法であるということを示した。

#### <引用文献>

- [1] D.M. Blei, A.Y. Ng, M.I. Jordan, Latent Dirichlet Allocation, Journal of Machine Learning Research, pp. 1107-1135, 2003

- [2] M. Attamimi, Y. Ando, T. Nakamura, K. Funakoshi, T. Nagai, Integration of Various Concepts and Grounding of Word Meanings Using Multi-Layered Multimodal LDA for Sentence Generation, 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System (IROS), 2014
- [3] Tadashi Ogura, Tatsuya Sakato, Tetsunari Inamura, Human Motion Recognition Based on Topic Model, in Proceedings of 2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2016), WeCI2.23, 2016
- [4] Tatsuya Sakato, Tadashi Ogura, Tetsunari Inamura, Human Motion Recognition Based on Dynamic Topic Model, in Proceedings of 2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2016), WeCI2.24, 2016
- [5] T. Inamura, T. Shibata, H. Sena, T. Hashimoto, N. Kawai, T. Miyashita, Y. Sakurai, M. Shimizu, M. Otake, K. Hosoda, S. Umeda, K. Inui, Y. Yoshikawa, Simulator platform that enables social interaction simulation - sigverse: Sociointelligence simulator, in Proceedings of the IEEE/SICE International Symposium on System Integration, pp. 212-217, 2010
- [6] The Restaurant Game Project (<http://alumni.media.mit.edu/~jorkin/restaurant/research/>)
- [7] Mars Escape Game (<http://robotic.media.mit.edu/portfolio/mars-escape-game/>)
- [8] D.M. Blei, J.D. Lafferty, Dynamic Topic Models, in Proceedings of the 23rd International Conference on Machine Learning, pp. 113-120, 2006

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計2件)

- ① Tatsuya Sakato, Tetsunari Inamura, Evaluation of Rapid Active Learning Method for Motion Label Learning in Variable VR Environment, The 2018 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (IEEE ROBIO 2018), 2018
- ② Tatsuya Sakato, Tetsunari Inamura, A Question Selection Method for Active Learning of Context-dependent Motion Labels, 2nd Workshop on Semantic Policy and Action Representation for Autonomous Robots (SPAR), 2017

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。