

複数の座標系候補を持つ相対的な概念の学習

東拓実[†] 加藤嗣[†] 田口亮[†] 保黒政大[‡] 梅崎太造[‡]

名古屋工業大学[†] 中部大学[‡]

1 まえがき

近年、単語の意味をロボットの感覚・運動系の信号と対応付けて学習させる研究が行われ始めた[1]. 本稿では言葉の表す意味を概念と呼ぶ. 先行研究の多くは、単語と共起するセンサ情報を概念として直接的に学習している. しかし、色や大きさ、位置などの概念は、他の物体や概念との比較により表される. 基準となる物体や概念を参照点と呼ぶ. このような概念を学習するには、複数の候補から真の参照点を推定しながら学習する必要がある. 我々はEMアルゴリズム[2]を用いて参照点の推定と概念の学習を同時に行う手法を提案した[3]. しかし、概念の解釈は特定の座標系に固定しており、学習できない概念が存在した. 本稿では新たに座標系を追加し、従来学習できなかった概念を学習するとともに、複数の座標系候補から適切な座標系を推定する手法を提案する.

2 相対的な概念

例えば「大きい」という概念を、図1のようにカメラに映った画素数の分布として学習する. その際、アリと象に対して「大きい」と教示されると、画素数が少ない場合(アリ)も、多い場合(象)も「大きい」と呼ばれるため、学習後の分布が広くなり「大きい」と画素数との関係が表現できない. 実際には、人は象やアリの平均的な大きさ(画素数)と比べて「大きい」と言っているのであり、画素数の絶対量に対して言っているのではない. このように相対的な概念は、参照点により意味が変わるため、これを学習するためには参照点を推定する必要がある.

また、相対的な概念は座標系にも依存する. 例えば、図2に示すように、話者やロボット、参照点となる物体の位置関係が同じでも、人が発話する際に想定した座標系によって、ロボットの位置を表す単語が、「(テレビの正面に対して)左」や「(教示者の位置からみてテレビの)右」と変化する. 従って、相対的な概念を適切に学習するには、参照点だけでなく、教示の際に使用された座標系も推定する必要がある.

3 語意学習手法

ロボットが現在いる位置の名前をユーザが教示する. ここで、ロボットの位置を表す2次元座標を $\mathbf{x}^n = (x^n, y^n)$ とする. n は学習サンプルのインデックスである. また、座標系を c とし、参照点 k の重心を原点とした座標系におけるロボットの相対位置を $\mathbf{x}_{c,k}^n$ と表す. 参照点および座標系の候補は既知とするが、真の参照点、座標系は未知とする. 与えられた名前と相対位置の対応関係を平均 μ_c 、分散 σ_c^2 の正規分布でモデル化する. 学習サンプル n において座標系を c としたとき、参照点 k が真の参照点である確率を $\pi_{c,k}^n$ とおく. また、サンプル n における参照点候補の数を M_n とすると、各サンプルにおける参照点の確率は $\pi_c^n = (\pi_{c,1}^n, \dots, \pi_{c,k}^n, \dots, \pi_{c,M_n}^n)$ 、全参照点の確率は $\pi_c = (\pi_c^1, \dots, \pi_c^n, \dots, \pi_c^N)$ となる. 求めるモデルのパラメータは $\theta_c = (\mu_c, \sigma_c^2, \pi_c)$ となる. モデルの尤度 $L(\theta_c)$ を式(1)のように定義し、これを最大化するパラメータ $\hat{\theta}_c$ をEMアルゴリズムにより求める. なお、 $\pi_{c,k}^n$ の初期値はロボットと参照点 k の間の距離に応じて決定する[3].

$$L(\theta_c) = \sum_{n=1}^N \ln \sum_{k=1}^{M_n} \pi_{c,k}^n N(x_{c,k}^n; \mu_{c,x}, \sigma_{c,x}^2) N(y_{c,k}^n; \mu_{c,y}, \sigma_{c,y}^2) \quad (1)$$

$$\hat{\theta}_c = \arg \max_{\theta_c} L(\theta_c) \quad (2)$$

EMアルゴリズムにより座標軸それぞれでモデルパラメータを求め、その後、モデル尤度が最大となる座標系を真の座標系 \hat{c} とする.

$$\hat{c} = \arg \max_c L(\hat{\theta}_c) \quad (3)$$

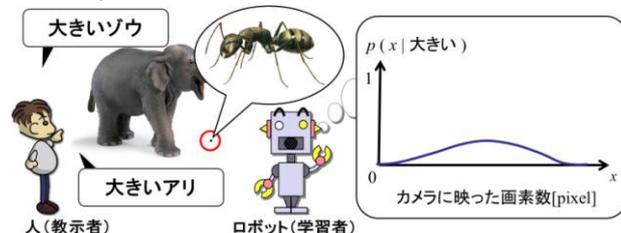
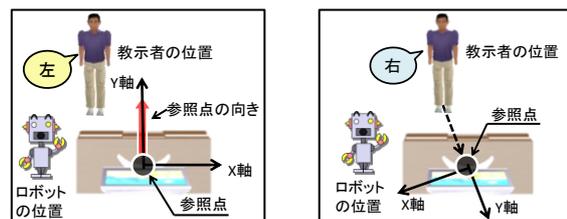


図1 参照点により意味が変化する例



(a) 参照点の向きがY軸の正 (b) 教示者の向きがY軸の正
図2 二種類の座標系

Learning of Relative Concepts with Multiple Candidates of Coordinate Systems
Takumi Azuma[†], Tsukasa Kato[†], Ryo Taguchi[†], Masahiro Hoguro[‡], Taizo Umezaki[†]
[†]Nagoya Institute of Technology, [‡]Chubu University

4 シミュレーション実験

4.1 実験条件

社会的知能発生学シミュレータのSIGVerse[4]を用いてシミュレーション実験を行う。学習の対象は相対的な位置を表す概念とし、「前、後、左、右、手前、向こう側」の6種類を教示する。ユーザは人型のアバターをコントローラで操作し、その後ろをロボットが追従する。ユーザは任意の点で場所名をテキストで教示する(図3)。テキストはロボットの位置座標、および人型のアバターの位置座標と共に保存される。

実験では「本棚」「テレビ」「ソファ」の3つのオブジェクトを、場所名を教示する際の参照点とする。参照点候補は「植物」「机」「棚」を加えた6つのオブジェクトとし、各オブジェクトの重心座標および向き(正面方向)は既知とした。また、座標系は図2に示す2種類($c = \{1,2\}$)とした。座標系1は、参照点の向きに基づいた座標系(図2(a))であり、参照点となる物体の重心を原点、参照点の正面方向をY軸の正、Y軸に直交する右方向をX軸の正とする右手系の座標系である。座標系2は、教示者の向きに基づいた座標系(図2(b))であり、参照点となる物体の重心を原点とし、教示者から参照点への向きをY軸の正、Y軸に直交する右方向をX軸の正とする右手系の座標系である。

実験では、参照点と相対位置を表す単語の組み合わせ(3×6=18通り)毎にロボットおよび人型アバターの位置を変えながら5箇所、合計90箇所を教示する。ただし、「前、後、左、右」は座標系1を用いて教示し、「手前、向こう側」は座標系2を用いて教示する。教示する座標系は単語単位で固定するが、どちらの座標系を用いたかは未知とする。

4.2 実験結果と考察

表1に学習により得られた各単語の概念を表す分布を示す。図中の横棒はX軸(右が正)、縦棒はY軸(上が正)であり、原点は任意の参照点の重心となる。学習された正規分布を、平均を中心とする 2σ の楕円で表示した。図の上半分は座標系1で得られた各単語の学習結果、下半分は座標系2で得られた各単語の学習結果である。座標系1では「前、後、左、右」の分布が、座標系2では「手前、向こう側」の分布が、それぞれ単語の意味する適切な位置に収束している。

図4に学習により得られたモデルの対数尤度を示す。「前、後、左、右」は座標系1で学習したモデルの尤度が高く、「手前、向こう側」は座標系2で学習したモデルの尤度が高くなることからわかる。これよりモデルの尤度を用いて、複数の座標系候補から適切な座標系を推定可能と言える。

5 まとめ

本稿では、参照点と座標系が未知となる教示から、相対的な概念を学習する手法を提案した。従来用いていた参照点の向きに基づく座標系だけでなく、教示者の向きに基づく座標系を加えることで、「手前」や「向こう側」の概念が学習できた。また、学習により得られたモデルの尤度を比較することにより、複数の座標系候補から適切な座標系を推定できることを示した。今後は、絶対的な概念と相対的な概念が混在して教示される場合でも、両者を判別し適切に学習できる手法の実現を目指す。



図3 教示の様子

表1 学習により得られた分布の 2σ 楕円

座標系	前、後、左、右	手前	向こう側
1. 参照点の向き基準			
2. 教示者の向き基準			

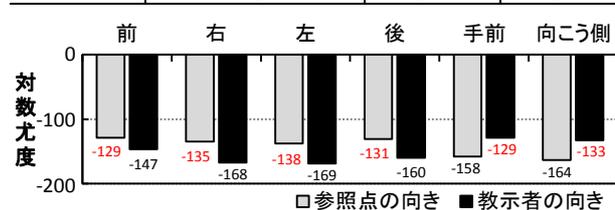


図4 学習により得られた各単語の概念を表すモデルの対数尤度比較

参考文献

- [1] 田口亮 他: 統計的モデル選択に基づいた連続音声からの語彙学習, 人工知能学会論文誌, Vol.25, No.4, pp.5491-5501 (2010).
- [2] Dempster, A.P. et al.: Maximum Likelihood from Incomplete Data via the EM Algorithm, Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), Vol.39, No.1, pp.1-38 (1977).
- [3] 東拓実 他: EM アルゴリズムを用いた相対的な位置概念の学習, 平成 25 年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, O2-5 (2013).
- [4] 稲邑哲也: 社会的知能発生学シミュレータ SIGVerse を用いた記号創発ロボティクスの展開, 人工知能学会誌, Vol.27, No.6, pp.619-624 (2012).