

マルチエージェント・マルチモーダル・カテゴリゼーション による語彙知識共有の計算論モデル

谷口 忠大 萩原 良信
立命館大学 情報理工学部

{taniguchi, yhagiwara}@em.ci.ritsumeai.ac.jp

1 はじめに

「言葉の意味」をどうやって計算論的に捉えるのか? という問いは言語処理において重要な問いである.. 統一的な解は得られないもの, それは哲学から認知科学, 社会学まで広く「言葉の意味」の問題は様々な学術分野において問われてきた. 言葉の意味には少なくとも社会的に意味づけられる側面, また, 現実の観測や経験との対応付けによって意味づけられる側面が存在する. その一方のみを見て一方を無視するアプローチは結局のところ意味の本質を取りこぼす. また, 「言葉の意味」が動的に変化する不確実なものである点も重要である. そのために記号(言葉)の意味はその意味解釈と意味共有を支える動的な社会と認知のシステム上で捉える必要がある. この社会と認知の相互浸透を陽に含んだシステム描像が記号創発システムである [7].

筆者らは記号創発ロボティクスという学問領域を打ち立ててこの問題に実世界情報に基づくボトムアップなアプローチを取ってきた. 記号創発ロボティクスは記号創発システムへの構成論的アプローチである. ロボットに複数のセンサを持たせて, そこから得られた感覚運動情報だけで物体概念や場所概念を形成させ, 音声情報から実世界情報に紐付いた語彙獲得を行わせるマルチモーダル・カテゴリゼーションや二重分節解析とそれに連なる一連の研究はその代表である [6, 2, 9, 8]. しかし, それらの研究は結局は一体の認知主体の言語獲得や言語仕様のダイナミクスを扱うのみであり, 記号創発システムに含まれる認知システムの動的特性のみを扱った「片手落ちのモデルである」との誹りを免れ得ないものであった.

一方で, 複数エージェント間での語彙共有や言語の創発的形成を扱った研究が人工生命や複雑系, 言語進化の領域においてなされてきた [4]. しかし, これらはその基礎となる記号(言葉)が比較的単純なカテゴリを扱うものや, 実世界情報との接地を扱わないもの

がほとんどであり, 社会システムと認知システムの相互浸透, つまり, コミュニケーションにおける語彙共有と, 感覚運動情報のカテゴリゼーションにおける確率的依存関係を考慮しないものがほとんどであった.

本研究では初めてこの双方を結合した理論を厳密に確率的生成モデルの理論枠組みに沿った形で構築した. これを報告する.

2 マルチエージェント・マルチモーダル・カテゴリゼーション

社会システムと認知システムをとともに含んだ, 記号創発と語彙共有の計算論としてのマルチエージェント・マルチモーダル・カテゴリゼーションに関して概説する. 詳細は [1] を参照されたい. ロボットによるマルチモーダル・カテゴリゼーションは LDA をマルチモーダル化した MLDA や, その他の確率的生成モデルによって表現される. その隠れ変数を変分ベイズ法やマルコフ連鎖モンテカルロ法 (主にギブスサンプリング) により求めることで, ロボットはカテゴリ形成を行うことができる. しかし, 原則的にこれは一個のエージェントに閉じたモデルである.

一方で, 中村らは SERKET の枠組みにおいて, 一つの確率的生成モデルが, 共有ノードを持つ複数のモジュールとしての確率的生成モデルに分解されることを示した [3]. これは共有ノードにおける確率分布をノード間で通信させることにより, 推論時に一つの確率的生成モデルとして再統合することが出来る. この考え方を援用することで, マルチモーダル・カテゴリゼーションを複数エージェントに備えられたカテゴリ化ための学習器とこれらの間の通信と言う形で分解することが出来る.

より具体的には, メトロポリス・ヘイスティングス法を用いたマルチモーダル・カテゴリゼーションのモ

ジュール分解として、二体のエージェント間のコミュニケーションと、そのコミュニケーションに影響された、カテゴリゼーションを表現することができる。

二体のエージェント間で共有されるノードを記号(言葉)として捉え、これを一体のエージェントの情報から計算される事後分布からサンプリング(提案)することをこのエージェントからの観測に関する「発話」とみなす。メトロポリス・ヘイスティングス法によりこの提案を採択するかどうかの確率は他方のエージェントの観測のみから計算することが出来る。こうして実現する全体としてのマルチエージェント・マルチモーダル・カテゴリゼーションは、理論的に多主体間に跨る感覚運動情報(観測)を全て観測できるエージェントが行うマルチモーダル・カテゴリゼーションに一致する。カテゴリゼーションと離散ラベルによる語彙共有しかしない。単純ではあるが、これはカテゴリ化を個別のエージェントが自らの認知システムにおいて行いながら、語彙をその社会システムの調整を通して実現する記号創発システムの構成論となっている。なお、詳細は [1] を参照されたい。

3 さいごに

本発表では「言葉の意味」を社会システム及び認知システムの相互浸透の結果としてマルチエージェントシステムにおいて形成せしめる動的なシステムの構成論モデルとして、マルチエージェント・マルチモーダル・カテゴリゼーションについて紹介した。

「言葉の意味」はラベルと観測の関係に閉じず、より多様である。それらの多様な「言葉の意味」を社会システムと認知システムの相互浸透の上でモデル化していくのが今後の課題である。また、言語の理解へのロボティクスの積極的な活用は引き続き重要なテーマとなるだろう [5]。

参考文献

[1] Yoshinobu Hagiwara, Hiroyoshi Kobayashi, Akira Taniguchi, and Tadahiro Taniguchi. Symbol emergence as an interpersonal multimodal categorization. *Frontiers in Robotics and AI*, Vol. 6, p. 134, 2019.

[2] Tomoaki Nakamura, Takayuki Nagai, and Naoto Iwahashi. Grounding of word meanings in mul-

timodal concepts using lda. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 3943–3948, 2009.

- [3] Tomoaki Nakamura, Takayuki Nagai, and Tadahiro Taniguchi. SERKET: An architecture for connecting stochastic models to realize a large-scale cognitive model. *Frontiers in Neurobotics*, Vol. 12, p. 25, 2018.
- [4] Luc Steels. *The Talking Heads experiment: Origins of words and meanings*. Language Science Press, Berlin, 2015.
- [5] T. Tangiuchi, D. Mochihashi, T. Nagai, S. Uchida, N. Inoue, I. Kobayashi, T. Nakamura, Y. Hagiwara, N. Iwahashi, and T. Inamura. Survey on frontiers of language and robotics. *Advanced Robotics*, Vol. 33, No. 15-16, pp. 700–730, 2019.
- [6] A. Taniguchi, T. Taniguchi, and T. Inamura. Spatial concept acquisition for a mobile robot that integrates self-localization and unsupervised word discovery from spoken sentences. *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*, Vol. 8, No. 4, pp. 285–297, Dec 2016.
- [7] Tadahiro Taniguchi, Takayuki Nagai, Tomoaki Nakamura, Naoto Iwahashi, Tetsuya Ogata, and Hideki Asoh. Symbol emergence in robotics: a survey. *Advanced Robotics*, Vol. 30, No. 11-12, pp. 706–728, 2016.
- [8] Tadahiro Taniguchi, Shogo Nagasaka, and Ryo Nakashima. Nonparametric bayesian double articulation analyzer for direct language acquisition from continuous speech signals. *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*, Vol. 8, No. 3, pp. 171–185, 2016.
- [9] Tadahiro Taniguchi, Ryo Nakashima, Hailong Liu, and Shogo Nagasaka. Double articulation analyzer with deep sparse autoencoder for unsupervised word discovery from speech signals. *Advanced Robotics*, Vol. 30, No. 11-12, pp. 770–783, 2016.