

## 能動推論に基づく1対1インタラクションモデルの検討

木村 駿希<sup>1</sup>, 中臺 一博<sup>1</sup>, 仁科 繁明<sup>2</sup>, 糸山 克寿<sup>1,2</sup>

1 東京工業大学 工学院 システム制御系 2 (株) ホンダ・リサーチ・インスティテュート・ジャパン

### 1 はじめに

人間とコンピュータが対話を行うシステムが近年研究されており、チャットボットを始めとした対話ロボットの需要が高まっている。例えば坪倉らの研究では、対話ロボットを使用した被験者にアンケートを取ったところ「将来利用したいかどうか」との質問に対して前向きな回答が多く寄せられている [1]。

東中らの論文によると、対話システムでは深層学習を用いた手法が盛んである [2]。この手法では、対話をするための正しい発言のデータセットが大量に必要である。

さらにテキストによる対話から感情を読み取る研究も盛んに行われているが、驚きや怒りといった感情はテキストに表れにくい上、発言の受け止め方は多種多様なため、テキストでの対話から感情を読み取るのは困難とされている [3]。

本研究では、相手の発言から直接読み取れない感情の推定を目的とした能動推論を用いた対話モデルを提案する。能動推論とは、推定結果と相手から受け取った信号をもとに行動し、推定結果を更新していく推論方法である。提案モデルでは発言を受け取った際の相手の感情の推定結果と相手からの発言をもとに発言を生成し相手に返すことで、感情推定と対話の成立を同時に行うことができる。

### 2 能動推論

自由エネルギー原理とは、Karl J. Friston が提唱している脳の情報理論である [4]。Friston は「いかなる自己組織化されたシステムでも、環境内で平衡状態でありつづけるためには、そのシステムの (情動的) 自由エネルギーを最小化しなくてはならない」と定義している [5]。自由エネルギー原理では、世界の状態を生物が推測した世界 (内部信念) と真の世界 (外部環境) との 2 種類に分けて考える。外部環境から得られた観測信号を用いて目的関数である自由エネルギーを最小化することで、内部信念の分布を外部環境の分布に近づけることが自由エネルギー原理の目的である。この原理は「知覚と行動と学習の統一原理」と言われており、自由エネルギーの最小化によって知覚、行動、学習の最適化を全て行えると考えられており注目されている。

自由エネルギーを応用し、行動選択を説明するための推論を能動推論をいう。能動推論は将来の行動を組み込んだ期待自由エネルギーを最小化するような行動を選択

し外部環境に影響を及ぼすことで内部信念を外部環境に近づける推論方法である。ここで推論するのは隠れ状態 ( $x$ ) と呼ばれる人間が直接観測することのできない外部環境の要素であり、これは生物が観測できる観測信号 ( $y$ ) の原因となるものである。内部信念の分布 ( $Q$ )、外部環境の分布 ( $P$ )、行動のポリシー (行動計画) ( $\pi$ ) とすると、期待自由エネルギー ( $G$ ) は

$$\begin{aligned} G(\pi) &= \mathbb{E}_{Q(y,x|\pi)} [\ln Q(x|\pi) - \ln \tilde{P}(x,y|\pi)] \\ &\geq - \mathbb{E}_{Q(y|\pi)} [D_{\text{KL}}[Q(x|y,\pi) || Q(x|\pi)]] \\ &\quad - \mathbb{E}_{Q(y|\pi)} [\ln \tilde{P}(y)] \end{aligned}$$

と表現される。なお、 $\tilde{P}$  は生物がの望ましいと考えている外部環境の分布である。この式の第一項は観測信号を得る前後の内部信念の差を、第二項はどれだけ望ましい観測信号を得られたかをそれぞれ表す。

インタラクションについても能動推論の枠組みでのモデル化の可能性が提案されている [6]。Demekas らは深層学習での感情推定の課題の 1 つに行動に対する相手の感情を学習できない事を挙げており、深層学習は学習するデータセットに含まれる感情しか推論できないが、能動推論は行動により相手の感情的な反応を観測し学習することで効率的に感情推論が出来ることを期待している。しかし、実際のインタラクションではテキストの意味だけでなくお互いの背景知識や外的要因等が大きく関わるため、対話モデルの実装を全て能動推論で行うことは難しい。従って本研究では、背景知識を基にした自然言語の生成と発言からの感情識別の部分で Chat Generative Pre-trained Transformer (以下、ChatGPT) を利用することで、対話インタラクションのシミュレーションを行うことを試みた。

### 3 提案手法

本研究では 1 対 1 のインタラクションモデルとして、親子間の会話モデルを実装した。状況設定として、親は子供に部屋の掃除をさせるための声掛けをし、子供が掃除をすることが目標である。

対話モデルの流れを説明する。まず、親が親自身の感情と行動を出力し ChatGPT に渡す (API:gpt-3.5-turbo を使用)。ChatGPT は親の感情と、感情と行動に基づいた発言テンプレートを受け取り自然な対話になるようにテキストを出力する。出力された親の発言テキストを別の ChatGPT が受け取り、Russell の円環モデル [7] に基づいて感情識別を行い arousal 値, valence 値を

出力する。子供は感情値を観測信号として受け取り、親の感情推定、自分の行動選択を能動推論によって行い自身の感情と行動を出力してまた別の ChatGPT に渡す。親の時と同様に2つの ChatGPT を用いて発言出力、感情識別を行い親に感情値を渡す。親は能動推論を用いず関数を設定し、直前の親の感情と親が観測した子供の感情から親の次の行動と感情を導出する。

Fig. 1 に提案モデルの概要を示す。なお、能動推論の計算には pymdp<sup>\*1</sup>(v0.0.7.1) を用いた [8]。

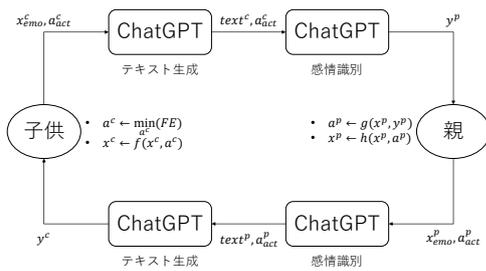


Fig. 1 提案モデルの概要

この対話モデルでは、能動推論を用いて親の感情を推論することを目的としている。そのため、親の感情を隠れ状態として設定することで、親との対話によって子供が親の感情推定を行うことが望まれる。

#### 4 実験・考察

提案手法の有効性を示すために、シミュレーションを行った。Fig. 2 は親の真の感情推移、Fig. 3 は子供が能動推論で親の感情の推測分布である。

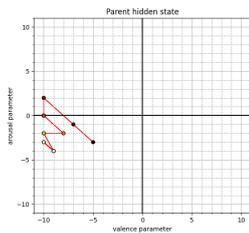


Fig. 2 親の真の感情推移

シミュレーション実験の結果から、親の感情はグラフの左下を推移しているにも関わらず、推測分布はグラフの右の方を推論結果として出力しているため、うまく推論しているとは言えない結果となった。

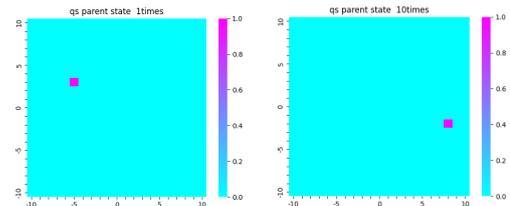


Fig. 3 能動推論での親の感情の推測分布

生成モデルの設定が課題の一つとして挙げられる。隠れ状態  $x$  と観測信号  $y$  の尤度分布  $P(y|x)$  と、隠れ状態と行動  $a$  との遷移分布  $P(x_t|x_{t-1}, a_{t-1})$  を予め設定する必要があり、隠れ状態、観測信号、行動の関係を知っていなければならない。そのため、関係を把握しきれない複雑な設定に本研究では対応できていない。解決策として、生成モデルの更新をすることが考えられる。行動して得られる感覚信号に応じて生成モデルを更新することが出来れば未知の関係がある設定に対しても能動推論が行えると期待している。

#### 5 おわりに

本研究では、能動推論を用いた1対1のインタラクションモデルを提案した。モデルを実装し、シミュレーション実験を行ったが、有効性の確認は現時点ではできなかった。

#### 参考文献

- [1] 坪倉和哉, 加藤里奈, 小林邦和. 多人数対話ロボットの実証実験—ロボットと対話中の親子間会話の分析—. 人工知能学会第二種研究会資料, Vol. 2022, No. Challenge-060, pp. 01–06, 2022.
- [2] 東中竜一郎. 私のブックマーク: 対話システム. 人工知能, Vol. 36, No. 5, pp. 644–650, 2021.
- [3] 東中竜一郎, 岡田将吾, 藤江真也, 森大毅. 対話システムと感情. 人工知能, Vol. 31, No. 5, pp. 664–670, 2016.
- [4] Karl Friston, James Kilner, and Lee Harrison. A free energy principle for the brain. *Journal of Physiology-Paris*, Vol. 100, No. 1, pp. 70–87, 2006. *Theoretical and Computational Neuroscience: Understanding Brain Functions*.
- [5] 乾敏郎. 自由エネルギー原理. 認知科学, Vol. 26, No. 3, pp. 366–386, 2019.
- [6] Daphne Demekas, Thomas Parr, and Karl J. Friston. An investigation of the free energy principle for emotion recognition. *Frontiers in Computational Neuroscience*, Vol. 14, , 2020.
- [7] 浩希浦上, 俊西出, シン康, 福継任. 連続感情空間上の感情状態遷移に基づく人間・ロボット対話システム. 第80回全国大会講演論文集, Vol. 2018, No. 1, pp. 399–400, 03 2018.
- [8] Conor Heins, Beren Millidge, Daphne Demekas, Brennan Klein, Karl Friston, Iain D. Couzin, and Alexander Tschantz. pymdp: A python library for active inference in discrete state spaces. *Journal of Open Source Software*, Vol. 7, No. 73, p. 4098, May 2022.

\*1<https://github.com/infer-actively/pymdp>