1ZE-08

買い物支援ロボットに向けた実世界における信念と欲求の逐次推定モデルの検討

土屋碧渡† 川崎陽祐‡ 渡邊悠太‡ 佐藤夏樹‡ 福地庸介‡ 松森匠哉‡ 前川知行‡ 髙橋正樹† 今井倫太†
慶應義塾大学理工学部† 慶應義塾大学大学院理工学研究科‡

1. はじめに

本稿は，ユーザの心的状態に合わせた発話により買い物を支援するロボットの開発を目指す．自分の欲しい物がどこに売っているか分からず困っていそうな客を見つけると，店員は客を手助けしようと声をかける．また，店員はやり取りをしているうちに客が興味を持っていそうな商品を推測し，商品を薦める．つまり，店員のようにユーザに有用な情報を適切なタイミングで提供するロボットを開発するためには，ユーザの心的状態を踏まえて対話を行うことが重要である．

人の心的状態を推定するアプローチとして，動線解析[1]がある．動線解析は，移動データを大量に収集し，教師なし学習により分類し興味と紐づけることで推定する．しかし，動線解析ではユーザとロボットが行ったインタラクション情報を考慮できない．

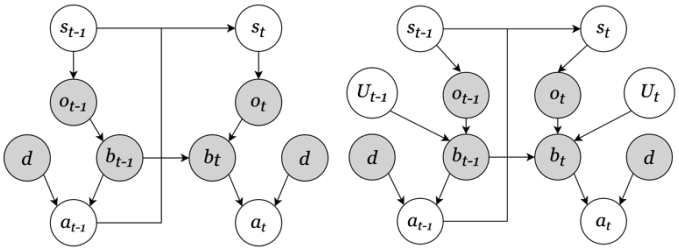
そこで本稿では，商品が環境中のどこに売られていると信じているかという信念とどの商品を購入したいかという欲求を逐次的に推定するシステム MIoM action を提案する．MIoM action は，インタラクション情報を利用するために，ユーザの移動行動だけでなくロボットからユーザへの発話を考慮して推定する．

2. MIoM action (Multimodal Inference of Mind with action graph)

2.1. 概要

MIoM action は，ベイズ推定を用い，人の位置情報とロボットの発話から環境に関する信念および欲求を逐次的に推定する．MIoM action は，著者らが提案した人の位置情報から信念と欲求を逐次的にベイズ推定するシステム[2]に，ロボットの発話を信念の推定に加えたものである．

MIoM action のベイジアンネットワークは図1（b）



(a) ロボットの発話を考慮しない場合　(b) MIoM action

図1　ベイジアンネットワークの比較

である．ここで，環境 s と人の移動 a は，観測値とし，人による商品の観測 o，欲求 d，環境に関する信念 b は，確率変数とする．また，ロボットから人への発話 U は，発話モジュールから取得する．

信念と欲求の推定は，パーティクルフィルタとして表現される．パーティクルフィルタは，信念 b と欲求 d の全ての可能な組み合わせと，その尤度 L で構成される．複数の仮説の尤度を順次更新することで，段階的に推定することができる．各パーティクル k の尤度 L は，時間 t が $t+1$ へと経過するごとに次式により更新される．

$$L_{t+1}^{k} = P\left(b_{t+1}^{k} \cdot d^{k} \middle| s_{1:t+1}, a_{1:t+1}, U_{1:t+1}\right) \propto \sum_{b_t^k, o_{t+1}} P\left(b_{t+1}^{k} \middle| b_t^k, o_{t+1}, U_{t+1}\right) \cdot P\left(o_{t+1} \middle| s_{t+1}\right) \cdot P\left(a_t \middle| b_t^k, d^k\right) \cdot L_t^k \quad (1)$$

MIoM action は，人が通る可能性がある経路をアクショングラフで単純に表現し行動の生起確率 $P\left(a_t \middle| b_t^k, d^k\right)$ を計算する．アクショングラフは，本来環境におけるロボットの行動可能性を表現

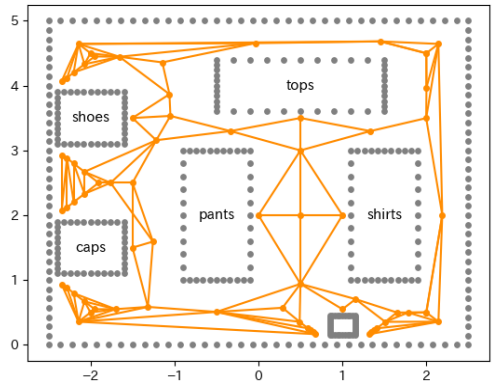


図2　実験で生成されたアクショングラフ

Towards Sequential Inference of Human Beliefs and Desires in the Real World for a Shopping Assistance Robot
† Aoto Tsuchiya, Masaki Takahashi, Michita Imai
Faculty of Science and Technology, Keio University
‡ Yosuke Kawasaki, Yuta Watanabe, Natsuki Sato, Yosuke Fukuchi, Shoya Matsumori, Tomoyuki Maekawa
Graduate School of Science Technology, Keio University

Copyright ©2022 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

図 3　買い物支援肩乗りロボットのイメージ

するグラフである．アクショングラフを導入することで，将来的に道を塞いでいる人に対して声をかけて移動してもらうといった行動を考慮した尤度推定が可能になる．3 節の実験環境で生成されるアクショングラフは図 2 である．

2.2. ロボットの発話による推定

信念の生起確率$P\left(b_{t+1}^{k} \middle| b_{t}^{k}, o_{t+1}, U_{t+1}\right)$は，ロボットの発話$U_{t+1}$を考慮して計算される．例えば，ロボットが「左の棚に色々なズボンがありますね」と発話した場合，左の棚にズボンがあるという信念を持っていないパーティクルの信念の生起確率は 0 とする．

3.　実験

3.1. 実験内容

MIoM action がロボットの発話も考慮して信念と欲求を推定しているかを確認するために実験を行った．実験では，図 3 のように洋服屋において買い物をする状況を想定した。環境中の人間は肩乗りロボットを装着し，買い物支援を受ける．ユーザは洋服屋で販売されている商品の種類を知っているが，各商品がどこに陳列されているかを知らない．各商品がどの棚に陳列されているかが信念である．また，欲求はどの商品を購入したいかで最初から最後まで変化しない．

ユーザは図 4 で示したように移動し，吹き出しの位置でロボットが「右の棚に色々なズボンがありますね」と発話したとする． ユーザはロボットの発話後にズボン(pants)の商品棚へと向かっているので，ズボンが欲しいと考えられる．

この状況において，MIoM action による推定と図 1（a）に示したロボットの発話を考慮しない推定を行い，ズボンを欲求とする確率の推移を比較した．なお入力した位置情報列は，図 4 の点列である．

3.2. 実験結果

ズボンを購入したいと思っている確率$P(d =$

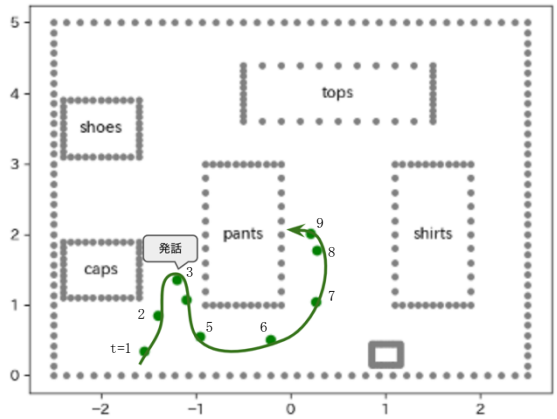


図 4　洋服屋を想定した実験環境

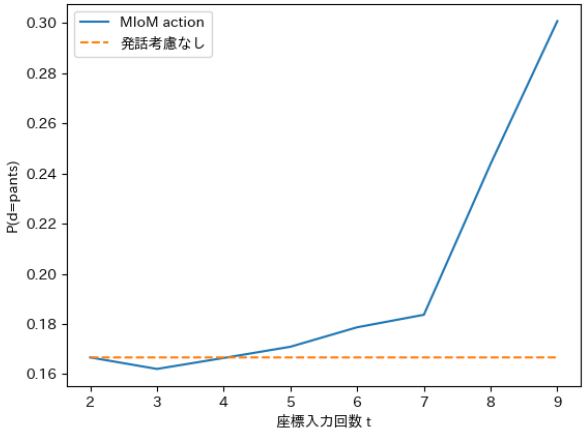


図 5　ズボンが欲求である確率の推移

pants)の推移を図 5 に示す．ロボットがユーザに発話した$t = 3$以降，MIoM action のズボンが欲求である確率が発話を考慮しない推定に比べて高く推移した．つまり， MIoM action は発話を考慮して推定していることがわかる．

4.　おわりに

本稿では，ロボットからユーザへの発話を考慮する信念と欲求の逐次推定モデル MIoM action を提案した．

謝辞

本研究の一部は，JST，CREST，JPMJCR19A1 および科研費 JP21J13789 の支援を受けたものである．

参考文献

[1] 本間謙也, 間所洋和, 佐藤和人, ”動線解析によるイベント会場での行動パターン分類と興味推定”, 画像電子学会研究会講演予稿, pp.59–66, 2011.
[2] 土屋碧渡, 川崎陽祐, 渡邊悠太, 佐藤夏樹, 福地庸介, 松森匠哉, 前川知行, 髙橋正樹, 今井倫太, ”アクショングラフを用いて位置情報をもとにした信念と欲求の推定システム", クラウドネットワークロボット研究会(第４１回), pp.1-6, 2021.

Copyright ©2022 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.