

不可視な空間に対するエージェントの存在可能性の投射を促進する 空間構成の幾何学的な特徴量の記述

根本 悠樹^{†‡}, 井上 康博[†]
Yuki Nemoto, Yasuhiro Inoue

[†] 京都大学大学院, [‡] 日本学術振興会

Kyoto University, Japan Society for the Promotion of Science
nemoto.yuki.25w@st.kyoto-u.ac.jp

概要

存在感の工学的な実装は様々な手法によって行われる。人は明確に姿かたちを視認せずとも、音などの限定的な感覚刺激から、自らが位置する環境と地続きの空間領域の一部を占めるものとして自分以外の主体の存在を想定する。そのような主体の存在可能性の投射を促進する外部環境の要素の1つとして、空間的な不可視性が挙げられる。本研究では、数値シミュレーションを通じて、探索行動する視点に対して継続的に不可視性を生じる空間構成の幾何学的な特徴量を抽出する。

キーワード: 不確定性, 存在感, 投射, 自由エネルギー原理

1. はじめに

存在感と呼ばれる感覚は、遠隔地にいる他者との通信や、人間に限らないエージェントとのインタラクションにおけるユーザー体験を向上させる、情報技術の達成目標の1つとみなされている。遠隔通信では、より網羅的に感覚情報を高解像度で送受信することによって、存在感の工学的実装が目指されている。尚、本研究は多義的な存在感の明確な定義に踏み込むものではない。

一方、人は明確に姿かたちを視認せずとも、自らが位置する環境と地続きの空間領域の一部を占めるものとして自分以外の主体の存在を感覚する。HADD (hypersensitive agent detection device) 理論では、曖昧な感覚刺激から、周囲の環境に主体の検出を過敏に行う傾向があることが指摘される(Barrett, 2000)。このようにエージェントの存在感の提示において、音などの限られた感覚刺激を用いることで、インタラクションの対象を周囲の空間とする手法の構想、提案がなされてきた(前田他, 2006; 板垣他, 2008; 高橋他, 2019)。

ここで、ある空間に対して、そこにエージェントが存在しているというユーザーの信念を持続するにあたり、周囲の空間構成が与える影響は無視できない。中山他(2021)は、存在感を抱かせる自然環境の風景に特異的な色彩の視覚的特徴量の抽出を行っている。空間の幾

何学的な特徴量が人間に与える影響について、『見えがくれする都市(槇他, 1980)』において槇は、日本の都市空間や寺社建築における「奥」という空間概念に言及した。日本人は主観的に見えない空間領域に対して、均質な空間的広がりとしてではなく、内部を知りえない深遠な「奥」としてその不確定性を意識し、その内部に対する想像を巡らせる。

本研究の最終的な目的は、存在感が工学的に実装される場面において、人がある対象の存在を空間に異投射する可能性が、その空間の不可視性によって高められるという仮説の検証である。本研究では、存在感の提示において有効となる不確定性を生じる静的な空間構成の幾何学的な特徴量の特定を目的とする。自分の位置する環境の内部に壁等で見えない領域があったとしても、多くの場合はその裏側に回りこむことで不確定性は解消され、主体の存在の投射先は失われる。そこで本研究では、人の探索的な行動に対しても不確定性が継続される空間構成の幾何学的な特徴量の抽出を試みる。

本研究では、感性評価を行う前段階として操作すべき変数を限定するべく、複雑な空間的な要素を捨象したモデル環境を用いた数値シミュレーションを通して、環境内の遮蔽物の配置を記述する特徴量を抽出する。

2. 遮蔽物のある環境下における探索行動シミュレーション

2.1 モデル環境

8×8の2次元格子空間内にエージェントAと、2枚の壁が配置される(図1(a))。壁は格子の線上に配置され、壁で分断されたセルの間は観測、移動ができない。エージェントAは、同じ空間内に存在すると想定した仮想的なエージェントBの位置を特定しようと空間内を移動する。Bは空間内には存在せず、Aには決して観測されない。

エージェントAの視界は、Isovist (Benedikt, 1979)と呼ばれる一人称視点からの可視領域に対応する多角形

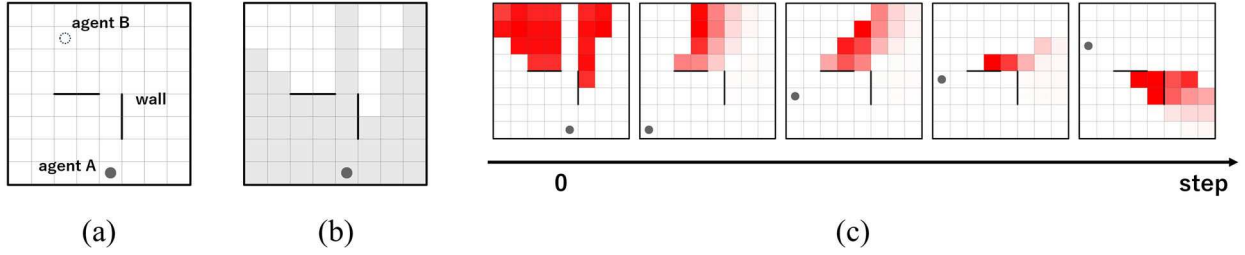


図1. (a)モデル環境. (b)可視領域 (灰色). (c)エージェント A の探索行動に伴う不可視領域 (赤色) の変化. 色の濃さは仮想的なエージェント B の位置に関する事後分布 $p(s_t^B | o_t)$ の値の相対的な大きさを表す.

で表現され, その領域内のセルが観測される (図1(b)).

2.2 探索行動モデル

エージェント A の探索行動は能動的推論 (Friston, et al., 2015; Kaplan & Friston, 2018) によってモデル化される. エージェント A は, 毎ステップ 5 通りの行動 {Up, Down, Left, Right, Stay} を選択してセル 1 つ分を移動する. 仮想的なエージェント B の行動も同様であるとして A は B の行動を予測する.

2 ステップに 1 回, エージェント A は B の位置を探索する 2 ステップ分の行動計画を選択する. 図 1(c)に示されるように, A は B の未来の行動を予測し, 未来の時刻において B の位置が特定されるよう, 期待自由エネルギーを最小化する探索行動を行う.

時刻 t におけるエージェント A, B の位置を s_t^A , s_t^B , A から見た空間内の各点における B の観測値 {isPresent, isAbsent, Unobserved} のベクトルである観測データを o_t とする. また, 行動計画は π とする. エージェント A による B の位置の予測は, 確率分布 $p(s_t^B)$ で表わされ, 初期値は一様分布である.

現在時刻を t として, ある行動計画 π_i を取ったときの未来の時刻 τ における期待自由エネルギー $G(\tau, \pi_i)$ は以下の式で表される.

$$G(\tau, \pi_i) \approx - \sum_{s_t^B, o_\tau} q(o_\tau | \pi_i) q(s_t^B | o_\tau, \pi_i) \log \frac{q(s_t^B | o_\tau, \pi_i)}{q(s_t^B | \pi_i)} - \sum_{o_\tau} q(o_\tau | \pi_i) \log p(o_\tau)$$

$$G(\pi_i) = \sum_{\tau=t+1}^{t+2} G(\tau, \pi_i), \quad P(\pi) = \text{softmax}(G(\pi))$$

行動計画は $P(\pi)$ にしたがって選択される. $p(o_\tau)$ は事前選択確率である.

行動シミュレーションは以下の手順で行われる.

1. 期待自由エネルギーを計算し, 行動 π_i を選択する.
2. 選択した行動により, A の現在位置 s_t^A に移動する.

3. 前時刻 $t-1$ の B の位置の確率分布 $p(s_{t-1}^B)$ を B の可能なすべての行動により遷移させ, B の現在位置の予測 $p(s_t^B)$ を得る.
 4. 現在位置 s_t^A からの観測 o_t を得て, B の現在位置の予測をベイズ則により $p(s_t^B | o_t)$ に更新する
- シミュレーションの終了条件は, B の現在位置が特定された場合 ($p(s_t^B = s') > 0.99$), もしくはシミュレーション回数の上限に達した場合である.

2.3 特徴量

空間構成の幾何学的な特徴量を図 2(a)に示す. D は格子空間の境界から 2 枚の壁のいずれかまでの最短距離, g_L , g_S はそれぞれ, 2 枚の壁の中心点同士の x, y 方向のずれの内, 絶対値の大きいものと小さいものを表す.

また, 空間に残存する B の現在位置に対する不確定性 $\bar{H}$ は, シミュレーションの終了時間 T までの事後分布の平均情報量の時間平均によって定義される.

$$\bar{H} = -\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T p(s_t^B | o_t) \log p(s_t^B | o_t)$$

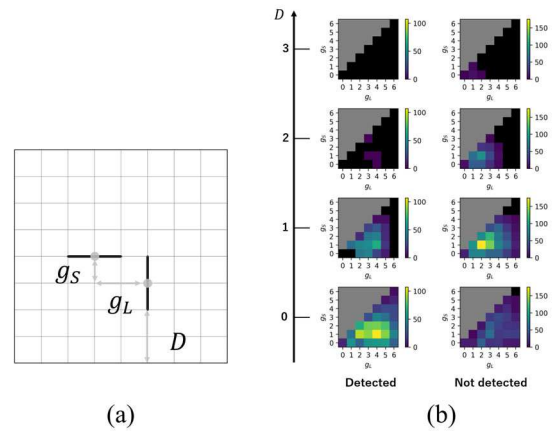


図2. (a)空間構成の特徴量. (b)左: B が特定された空間構成, 右: B が特定されなかった空間構成の頻度分布. 左側の縦軸は D を表す.

3. 結果・考察

人の探索的な行動の中で空間的な不確定性が継続するかを、シミュレーション時間の上限までに、エージェント B の現在位置が特定されるかどうかで判定する。図 2(b)に、B の位置が特定された空間構成と、特定されなかった空間構成の頻度分布を示す。両者の違いとして、最頻値を取る空間構成の D の大きさが挙げられる。 $D = 0$ の割合は、B が特定された空間構成では約 72% であるのに対し、特定されずに不確定性が継続した空間構成では約 27% となる。

また、図 3 は B が特定されずに不確定性が継続した空間構成について、空間における不確定性 $\bar{H}$ について四分位数を取った、それぞれの区間の空間構成の頻度分布を示す。 $\bar{H} > Q3$ の区間のみ、 $D = 2$ の空間構成が最も多く、 $D = 3$ の空間構成も見られる。

以上の結果より、特徴量 D が不確定性の継続に影響する量であることが示唆された。特に、壁と格子空間の境界が接する $D = 0$ の空間構成では、B の位置の分布が壁付近に絞られた際に、B の行動可能範囲が限定されることで実利的価値を優先した行動計画が選択され、エージェント A は B の位置に関する不確定性を早い段階で縮減することが可能となる。また、 D が増大することで空間の不確定性が高く保たれることが示唆された。

4. まとめ

本研究では、能動的推論に基づく行動シミュレーションによる視点の移動に対して、自分以外の主体の存在可能領域としての空間的な不確定性が継続する構造を表す特徴量の抽出を試みた。その結果、探索が収束する遮蔽物の配置と、探索が持続する遮蔽物の配置が存在し、それが遮蔽物と空間の境界との間の距離によって決定づけられることが示唆された。

本研究では長い時間幅での不確定性の縮減に着目したが、今後の研究では、行動計画において重視される認知的価値と実利的価値が切り替わるタイミングなど短い時間幅での不確定性の変化を説明可能な幾何学的な特徴量を抽出することで、より細やかに存在感の工学的な実装に貢献することが期待される。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP23KJ1309 の助成を受けて

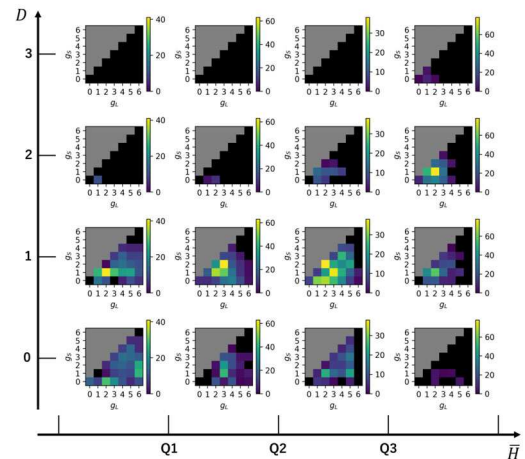


図 3. B が特定された場合の空間構成の頻度分布. 左側の縦軸は D を、下側の横軸は空間の不確定性 $\bar{H}$ を表し、各列は $\bar{H}$ の四分位数で 4 分割された空間構成を表す。

行われた。

文献

- Barrett, J. L. (2000). Exploring the natural foundations of religion. *Trends in cognitive sciences*, 4(1), 29-34.
- 前田英作, 南泰浩, 堂坂浩二, 妖精・妖怪の復権 ～新しい「環境知能」像の提案～, 情報処理学会創立 45 周年記念論文, Vol. 47, No. 6, 2006.
- 板垣祐作, 小川浩平, & 小野哲雄. (2008). ITACO on the Room: アンビエントな情報提供を行う生物感のあるエージェントの提案. *HAI シンポジウム*.
- 高橋英之, 伴碧, 近江奈帆子, 上田隆太, 香川早苗, 石原尚, 中村泰, 吉川雄一郎, & 石黒浩. 五感を用いた心に寄り添う“空気感エージェント”の創成. *研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) 2019*, no. 13 (2019): 1-7
- 中山一輝, 伴碧, 高橋英之, & 石黒浩. (2021). 自然に潜む存在感-仮想空間内の森林における探索的検討-. *HAI シンポジウム*.
- 横文彦, 若月幸敏, 大野秀敏, & 高谷時彦. (1980). 見えがくれする都市. *SD 選書*, 鹿島出版会
- Benedikt, M. L. (1979). To take hold of space: isovists and isovist fields. *Environment and Planning B: Planning and design*, 6(1), 47-65.
- Friston, K., Rigoli, F., Ognibene, D., Mathys, C., Fitzgerald, T., & Pezzulo, G. (2015). Active inference and epistemic value. *Cognitive neuroscience*, 6(4), 187-214.
- Kaplan, R., & Friston, K. J. (2018). Planning and navigation as active inference. *Biological cybernetics*, 112(4), 323-343.