



対話・行動ログを活用した ソーシャル VR 案内エージェントのギミック学習手法

松本篤弥^{1,2)}, 柳川光理¹⁾, 廣井裕一¹⁾, 畑田裕二²⁾, 鳴海拓志³⁾, 平木剛史^{1,4)}

1) クラスター メタバース研究所 (〒 141-0031 東京都品川区西五反田 8-9-5, {h.yanagawa, y.hiroi}@cluster.mu)

2) 東京大学 大学院学際情報学府 (〒 113-8654 東京都文京区本郷 7-3-1, {atsuya.maya, hatada}@cyber.t.u-tokyo.ac.jp)

3) 東京大学 大学院情報理工学系研究科 (〒 113-8654 東京都文京区本郷 7-3-1, narumi@cyber.t.u-tokyo.ac.jp)

4) 筑波大学 図書館情報メディア系 (〒 305-8550 茨城県つくば市春日 1-2, hiraki@slis.tsukuba.ac.jp)

概要: ソーシャル VR ではユーザは多様な空間を作成でき, そこで実装される独自ギミックは VR 体験に重要である. 一方, VR 空間を案内するエージェントは手動設定された地点間の移動に限定され, ギミック操作を介したユーザとの協働的探索が困難であった. 本研究では, 空間メタデータとユーザ・エージェント間の対話・行動ログを LLM により分析し, エージェントがユーザからギミックの起動方法と効果を動的に学習する手法を提案する.

キーワード: ソーシャル VR, 自律型エージェント, Human-AI Interaction

1. 序論

VRChat, Resonite, cluster といったメタバースプラットフォーム上では, ユーザはバーチャル空間 (ワールド) や仕掛け (ギミック) をユーザ生成コンテンツ (User Generated Contents: UGC) として自由に作り出すことができ, 独自性の高いワールドが数多く展開されている [2].

ユーザはワールド中を自由に移動することができ, その中に設置された, トリガによって通知したメッセージを読み取り, ワールドやプレイヤーに様々な変化を起こさせる仕組みであるギミックを利用することで, 展示品の自動音声再生やライブ音声の視覚化といった没入感ある体験を得られる. しかし, この自由度の高さは数多くの新規体験をユーザにもたらす一方, 初めてワールドを訪ねたユーザにとっては楽しみ方を見出しづらく探索を諦めやすくさせる欠点ともなっている. そのため, メタバースプラットフォームでは訪問ユーザの興味や状況に応じて案内を行うエージェントが求められている.

cluster においては大規模言語モデル (Large Language Model: LLM) と構造化された空間情報である「メタデータ」を統合した案内エージェント, 「Navigation Pixie」が提案されている [3]. Navigation Pixie はプラットフォームの API から取得した案内地点の情報を含むメタデータを LLM に統合することで実現されており, 空間理解を必要とするユーザの要求に対して案内地点や発話内容を柔軟に変えて案内することができる. この柔軟な案内はユーザ体験の質を高め, 固定ルートを案内する既存の手法 [4] と比較して, 訪問ユーザの長時間の滞在を促すことが報告されている [3].

しかし, 現在の Navigation Pixie はメタデータの構造上の問題から, ユーザの認識に合わせたギミックの理解が困難であり, それらを利用した案内ができない. 現在の手法

では, あらかじめ設定された案内地点の情報 (e.g. 案内場所の名前, 座標, 詳細なテキスト) をメタデータとして取得し, それを LLM に入力することで案内地点の決定と発話生成を行う. 他方, ギミックのメタデータは変数名や変数の値の情報であり, LLM はそのギミックがもたらす効果やユーザへの影響を理解することができない. 例えば, あるギミックが「ドアを開ける」ことを目的としている場合, 変数名 (例: OpenDoor) とその値 (例: True や False) を取得することができるが, そのギミックに触れることで, ユーザが求めたドアが実際に開くのか, 音や視覚的な変化があるのかといった情報はメタデータからは取得できない.

そこで, 本研究ではメタデータからは得られないギミック知識をユーザとの対話から引き出し, 案内に利用することでユーザ体験を高める「対話的知識獲得ループ」によるギミック学習手法を提案する. この対話的知識ループでは, ユーザ指示の確認やギミック実行後の効果を確認するための対話を行うことで, 正しいギミック知識を得る. さらに, このギミックの知識を次回の案内に利用することで, ユーザの意図とギミックの効果を考慮した案内を可能にする. 本研究では, 提案手法の有効性を検証するため, 2 段階の因果関係の推論を必要とするギミックを設置した実験用のワールドを作成し, (1) メタデータだけでは得られないギミック知識を対話から得られるのか, (2) 得られたギミック知識を利用することで類似した解法のギミックを解決できるのかの 2 点について予備的に調査した. その結果, 提案手法が対話を通じて正しいギミックの知識を獲得できること, その知識を応用して類似したギミックを効率的に解決できることが確認された. これにより, 静的なメタデータのみに依存する従来手法の限界を克服し, より動的でユーザの認識に即した案内を実現できる可能性が示唆された.



図 1: (a) ユーザから「白いボールを押すとドアが開く」と伝えられ、Navigation Pixie がギミックの知識を獲得する。(b) 同じ仕組みをもつ別の地点に来た時に、Pixie が独力でギミックを理解し、白いボールを押してドアを開けられる。(c) 白いボールの代わりに黒いボールがある場合でも、ユーザからの指示を受けて類似の因果関係を持つギミックを操作できる。

2. 提案手法

本研究で提案する案内エージェントは Yanagawa らの Navigation Pixie [3] を基本としてユーザとの対話と行動ログから知識を獲得する「対話的知識獲得ループ」を追加したものである。はじめに Navigation Pixie のアーキテクチャの概略について説明した後、本研究の提案手法である対話的知識獲得ループについて説明する。

2.1 Navigation Pixie

Navigation Pixie は LLM を利用して案内の発話や行動計画を生成する Agent Core、Agent Core に環境情報を提供することや生成された行動計画に基づいてメタバースアプリケーションを操作する Agent Driver、Agent Driver が操作するプラットフォーム固有の機能を API として提供するメタバースアプリケーション、及びユーザが作成する空間である UGC ワールドの 4 つのコンポーネントで構成される。

2.2 対話的知識獲得ループ

はじめに提案手法のアーキテクチャの概略について説明した後、対話戦略、メタデータについて順に説明する。

2.2.1 アーキテクチャ

対話的知識獲得ループは Liu らの Hierarchical Language Agent (HLA) [1] と同様に 3 つの階層的なコンポーネント: プランニングコンポーネント、サブゴールコンポーネント、ツールコンポーネントの 3 つのコンポーネントで構成される。プランニングコンポーネントではユーザの要求を複数のサブゴール (タスクを達成するための中間目的) からなるシーケンスに分解する。サブゴールコンポーネントではプランニングコンポーネントによって生成されたサブゴールを達成するための具体的な行動計画を生成する。利用可能なツール情報とメタデータに基づいて情報収集、アイテム操作、移動制御を実行する複数のツールからなるシーケンスを推論し、一つずつ後続のツールコンポーネントに渡す。ツールコンポーネントでは、ツールの実行要求を受け取り、具体的な値を埋めた後にメタバースプラットフォーム上の API を呼び出す。ツールを利用することによって、Navigation Pixie は LLM 単体がアクセスできない UGC ワールドの状態を観測することや、アイテムとの精密なインタラクションが可能になる。

2.2.2 対話戦略

次にユーザとの 3 つの対話場面: 失敗からの回復、目的の明確化、行動結果の確認について説明する。失敗からの回復では、Navigation Pixie が自己解決不能なエラーに陥った際に、ユーザから得た助言を考慮した再計画を行う。目的の明確化では、ユーザからの指示や助言に対し、LLM が意図を確認することでタスクの目的を具体化する。行動結果の確認では、ギミックがメタデータ上で変化したときに直接観測できない変化についてユーザとの対話から得ることで統合的なギミックの知識を獲得する。

2.2.3 メタデータ

対話的知識獲得ループで使用するメタデータは通行可能な領域、案内する座標と意味的記述といった既存のデータに加えて、UGC ワールドに存在するすべてのアイテム情報 (名前、ID、座標、可能なインタラクションの種類、関連アイテム、ギミックの変数名とその値) を取得する。

3. 実験

本実験の目的は、(1) ユーザとの対話からギミック知識を獲得することでメタデータを利用するだけよりもタスク実行の効率が高まるか、(2) 獲得したギミック知識が類似した新しいギミックの解決や案内に応用できるかの 2 点をアブレーション実験によって予備的に検証することである。具体的には、2 段階の推論が必要なギミック A・B (黒いボールを触ってから白いボールを触るとドアが開く) と類似したパターンをもつ別のギミック C (白いボールを触ってから黒いボールを触るとドアが開く) が設置されたワールドにおいて、それぞれのギミックを解決し特定の地点へ移動できるか検証した。

3.1 実験条件

本研究では 4 つの条件: 対話あり/知識あり、対話あり/知識なし、指示のみ/知識あり、指示のみ/知識なしを設定し、それぞれの条件で目標地点への移動のタスクを達成できるかを検証する。対話がある条件では実験者と対話を行い協調的にタスクを実行する一方で、指示のみの条件では実験者がタスクの指示のみを与える。知識がある条件では実験者との対話とメタデータから知識を獲得し、別のギミック解決に再利用する。

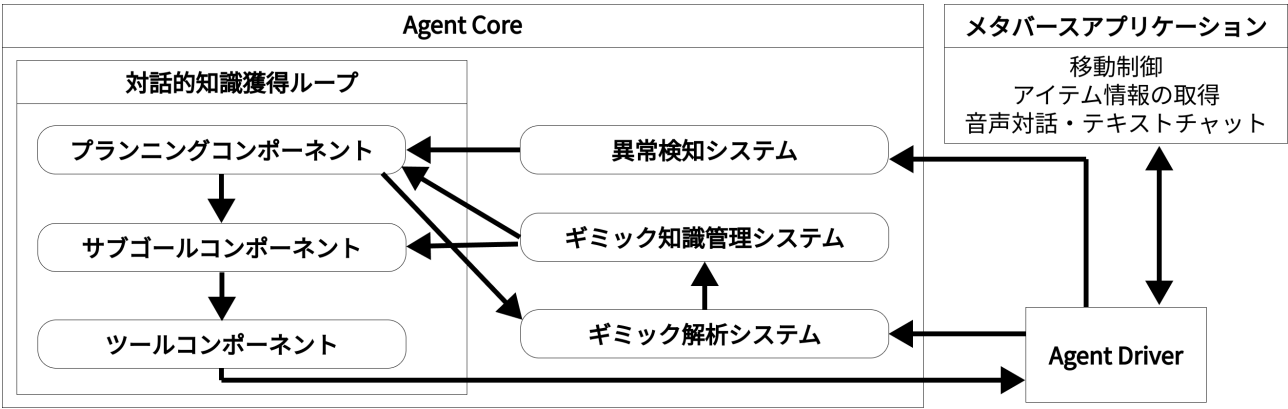


図 2: 対話的知識獲得ループは階層構造をもつ 3 つのコンポーネントで構成される。

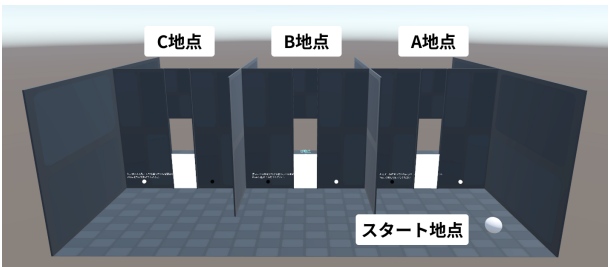


図 3: 実験用のワールドは 3 つの区切られた区画と A, B, C と表示された目的地がある。それぞれの区画のギミックを解くことでドアが開き、その先にある目的地へ移動できる。

3.2 実験の手続き

はじめに Navigation Pixie は記憶がすべて初期化された状態でスタートポジションに配置される。配置後に実験実施者から「A 地点に行ってみて」とタスク A の指示される。Navigation Pixie はメタデータから A 地点の座標を取得し、その座標に移動するが必ず移動に失敗する。その後、各条件に合わせて実験者との対話あるいは試行錯誤の行動を繰り返してギミック A を解決し A 地点へ移動することを試みる。ギミック A の解決の成否に関わらず、タスク A 終了後に実験者から「B 地点に行ってみて」とタスク B を指示される。同様の手順で Navigation Pixie はギミック B の解決を試みる。ただし、対話あり条件のときには実験者から「A 地点と同様の方法で試してみても」という助言が与えられる。同様の手順をタスク C としてギミック C に対しても行う。ただし、対話あり条件のときには実験者から「A 地点や B 地点とは逆の手順を試してみても」という助言が与えられる。最後に「A 地点のギミックを教えて」、「B 地点のギミックを教えて」、「C 地点のギミックを教えて」と実験者から指示され、Navigation Pixie はメタデータとユーザとの対話から得た知識をもとにそれぞれのギミックの効果を説明する。

3.3 評価指標

本実験では、タスクをどれだけ効率的に達成できたかを示す定量的な指標と、正しい知識を対話から獲得して別のタスクに応用できたかを示す定性的な指標を組み合わせて

評価した。

3.3.1 タスクの効率性に関する定量指標

タスク完遂の可否 全タスクを成功したかの二値。

総所要時間 各タスクの開始から終了までの所要時間の合計。

総行動数 各タスクで実行したツールの回数の合計。

総計画数 各タスクで計画を立てた回数の合計。

総会話ターン数 各タスクの会話ターン数の合計。

3.3.2 知識の獲得と応用に関する定性指標

学習プロセスの質 ユーザとの対話や試行錯誤から、ギミックの効果进行学习できたかを LLM の出力から評価する。

知識の再利用能力 ギミック A で得た知識を同じ仕組みのギミック B で利用できたか、また類似した仕組みのギミック C で利用できたかを評価する。

獲得した知識の正確性 全タスク終了後に各地点のギミックを説明させ、その内容が正確であるかを評価する。

4. 結果

表 1: 各条件における定量的評価の総計比較

評価指標	対話あり 知識あり	指示のみ 知識あり	対話あり 知識なし	指示のみ 知識なし
タスク完遂	成功	成功	失敗	失敗
総所要時間 (s)	839.21	841.82	(※)	(※)
総行動数	30	41	(※)	(※)
総総計画数	5	7	(※)	(※)
総会話ターン数	10	0	11	0

※タスクを完遂できなかったため、総計の比較は行わない。

4.1 タスクの効率性

対話の有無による差は知識を持たない状態でギミックを解決しなければならないタスク A で見られた。指示のみの条件では、自力で正解を発見するまでに 3 回の再計画を要した一方、対話がある条件では 1 回の失敗後にユーザに助

表 2: 各条件における定量的評価の比較

タスク	対話あり	指示のみ	対話あり	指示のみ
	知識あり	知識あり	知識なし	知識なし
A 地点	成功 (12 / 2)	成功 (19 / 3)	成功 (10 / 2)	失敗 (8 / 4)
B 地点	成功 (6 / 1)	成功 (8 / 1)	失敗 (6 / 2)	失敗 (14 / 4)
C 地点	成功 (12 / 2)	成功 (14 / 3)	失敗 (6 / 2)	失敗 (7 / 4)
合計	成功 (30 / 5)	成功 (41 / 7)	失敗 (※ / ※)	失敗 (※ / ※)

各セルの形式: 状態 (行動数 / 総計画数)

総計画数の最大値は対話あり条件では 2, 指示のみ条件では 4 である。

けを求めることで 1 回の再計画でタスク A を達成できた。知識の有無による差は、タスク A と同じ知識が使用できるタスク B で現れた。知識がある条件では、タスク A の知識を活かし、1 度の再計画でタスク B を成功させた。LLM のログには「黒いボールを操作した後に白いボールを操作することで扉が開くという過去の成功例があるため、この手順を試みる」とあり、知識を明確に再利用していることが確認できる。一方、知識がない条件では、ユーザの助言からタスク A を成功させたにもかかわらず、タスク B やタスク C ではその記憶を利用できずに失敗した。

4.2 ギミック知識の獲得と応用能力

Navigation Pixie がギミックの因果関係を正しく学習し、それを類似した状況に応用できるかという点でも、対話の有無と知識の有無による差が見られた。

4.2.1 学習プロセスの質

対話あり/記憶あり条件ではユーザとの対話を通じて、ギミックの正しい知識を獲得することが確認された。例えば、実験者から「扉が開いた」というフィードバックを得た後、「スタート地点近くの黒いボールを操作後、白いボールを操作したら扉が開いた」というアイテム同士の因果関係について正しい知識を生成できた。一方、指示のみの条件では、ユーザからのフィードバックがないため、「関連するドアが開いたかは不明」という自身の行動の結果を確信できないまま知識を生成していることが確認された。

4.2.2 知識の再利用と応用能力

対話あり/記憶あり条件ではギミック C の解決において、実験者から「A や B とは逆の手順を試して」と助言を得て、「『白いボールを操作してから黒いボールを操作する』ということではよろしいでしょうか?」と対話で意図を確認した後、白から黒のボールを触ることでギミック C を解決することに成功した。他方、指示のみ/記憶あり条件では対話による軌道修正は行われず、黒から白のボールを触ることを複数回繰り返したため、白から黒のボールを触るパターンが発生し、偶然ギミック C を解決するに至った。

4.2.3 獲得した知識の正確性

対話あり/記憶あり条件では C 地点のギミックを「まず白いボール、その後に黒いボールを操作すると扉が開きます」と正しく説明した。他方、指示のみ/記憶あり条件では C 地点のギミックを「A 地点や B 地点と同様に、まず黒い

ボールを操作し、その後に白いボールを操作する」と誤って説明した。これは試行錯誤の末にギミック C を解決したが、その背後にある正しい因果関係の知識を獲得できなかったことを示している。記憶を持たない条件では、メタデータの情報から白いボール、黒いボール、ドアが関連していることのみを説明し、因果関係については説明しなかった。

5. 考察

対話的知識獲得ループは、探索行動の削減とギミックの因果関係の理解の 2 点に寄与することでタスクの完遂に貢献した。ユーザに助言を求めることや目的の明確化といった対話を通じて自力での試行錯誤を回避し、行動回数を削減したことが確認できた。また、対話がない条件ではタスク C を偶然解決したが、フィードバックがなかったため誤った因果関係のギミック知識を獲得した。これはフィードバックのない知識の獲得手法が誤った知識の獲得に繋がる可能性を示している。このような誤った知識による案内はユーザを混乱させ、メタバース体験の質を低下させる可能性がある。

今後の展望として、今回の実験は各条件 1 試行のみであり、結果の一般性を高めるには、より多様なユーザやギミックを用いた検証が必要である。また、得られる知識の質がユーザとの会話に依存するため、ユーザが誤った情報を与える場合や非協力的な場合の会話戦略について検討する必要がある。

6. おわりに

本研究では、ソーシャル VR における複雑なギミック体験を含めて空間を案内するため、ユーザとの対話を通じて動的に知識を獲得し案内行動へ利用する手法を提案した。アブレーション実験の結果、対話を通じたギミック知識の獲得と知識の再利用を組み合わせることで、類似した解法をもつギミックを効率的に解決でき、またその仕組みを正確に説明できることを確認した。今後は、多様なギミックをもつ UGC ワールドでの堅牢性を高めるとともに、ユーザ体験をより向上させるために対話戦略を改善する。

謝辞 本研究は JST ムーンショット型研究開発事業 JPMJMS2013 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Jijia Liu et al. Llm-powered hierarchical language agent for real-time human-ai coordination, 2024.
- [2] Georg David Ritterbusch and Malte Rolf Teichmann. Defining the metaverse: A systematic literature review. *IEEE Access*, Vol. 11, pp. 12368–12377, 2023.
- [3] Hikari Yanagawa, Yuichi Hiroi, Satomi Tokida, Yuji Hatada, and Takefumi Hiraki. Navigation pixie: Implementation and empirical study toward on-demand navigation agents in commercial metaverse, 2025.
- [4] Zi-Ming et al. Ye. Pavai: Position-aware virtual agent locomotion for assisted virtual reality navigation. In *2021 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, pp. 239–247, 2021.