

仮想俯瞰模型を用いた 3 次元位置共有方式における 情報提示手法の検討と評価

A User Study on Displaying Methods of Virtual Diorama

林 将之, 北原 格, 亀田 能成, 大田 友一

Masayuki HAYASHI, Itaru KITAHARA, Yoshinari KAMEDA and Yuichi OHTA

筑波大学大学院システム情報工学研究科

(〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1, {mhayashi | kitahara | kameda | ohta}@image.iit.tsukuba.ac.jp)

Abstract: We have been proposing an attention-sharing Mixed Reality (MR) system that uses a miniature CG model called Virtual Diorama, representing surrounding environment. This paper describes the results of experiments for evaluating the effectiveness of presentation methods of Virtual Diorama. We compared two pairs of presentation methods: MR/Non-MR and consistent/fixed orientation. Subjects were asked to take a picture of an attention point indicated on Virtual Diorama. We measured the time to complete the task as the time necessary to understand and find the attention point. After completing the task, the subjects answered a questionnaire composed from several subjective questions. The results show the superiority of the MR method and consistent orientation method.

Key Words: Outdoor Mixed-Reality, Attention Sharing, Task, View Rotation

1. はじめに

共同作業では、注目すべき地点を複数の人間で共有する必要性が高い。従来の共同作業では、指さしやレーザーポインタを用いて注目位置を指示・共有していたが、全員が注目位置を見通せる場所にいることが前提となるため、特に屋外のような広範囲な空間における作業において大きな制限となっていた。

我々は、現実空間と仮想空間を融合した映像を提示する複合現実感技術 (Mixed Reality: MR) を用いることにより、屋外の作業空間における注目位置の指示・共有作業を支援するシステムを提案している[1]。このシステムでは、図 1 のように、ユーザの周辺空間の CG モデル (これを仮想俯瞰模型と呼ぶ) を、あたかもユーザの目前に存在するように提示し、注目位置の提示や入力を行うインタフェースを提案している。MR 映像を提示する際には、頭部装着型ディスプレイ (Head Mounted Display: HMD) を用いることが一般的である。しかし、屋外作業時には、装着時の物理的な負担や視界の制限が問題となるため、提案システムでは携帯電話や PDA のようなモバイル型の端末を用いて MR 映像を提示する。本稿では、提示方式の検討とユーザ実験を通じて、屋外空間における 3 次元位置共有作業に適した仮想俯瞰模型の提示方式について述べる。

仮想俯瞰模型のような周辺環境の CG モデルを提示するインタフェースとしては、Worlds in Miniature (WIM)[2] がある。これは、HMD などの没入型ディスプレイを用い

て仮想空間を見ているユーザに、その仮想空間の縮小 CG モデルを提示してナビゲーションなどを行うものである。これまでもユーザ実験を通じて、ナビゲーションに対する WIM の有効性が確認されている[3,4]。本研究では、屋外の現実空間において仮想俯瞰模型を複合現実的に提示し、複数のユーザが情報を共有する。本稿では特に、“他のユーザの注目位置”として提示された 3 次元位置を第 3 者が理解するために重要な、現実世界と仮想世界の幾何学的関係の理解を助ける仮想俯瞰模型の提示方式について検討・評価を行う。

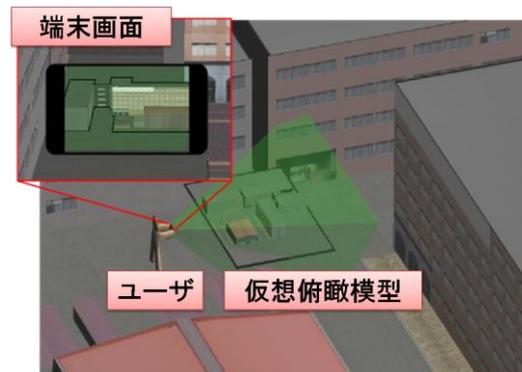


図 1 仮想俯瞰模型のコンセプト

2. 仮想俯瞰模型を用いた 3 次元位置共有

現実空間中の 3 次元位置にユーザの注意を向けさせる

ためには、MR 技術により現実空間中に矢印等のアイコンを直接重畳する方式（以降、直接重畳方式と呼ぶ）がある[5,6]。この方式と比較して、仮想俯瞰模型をユーザの目前に提示する我々の方式には、次の3つの利点があると考えられる。

1つ目は、常に正確な位置の提示が行えることである。直接重畳方式では、端末の位置・姿勢の推定に誤差が生じると、矢印等のアイコンが指し示す位置がずれてしまい誤った位置へナビゲーションしてしまう可能性がある。特に、大規模な屋外環境では端末の位置・姿勢の推定が難しいため、大きな問題になると考えられる。一方、我々の方式では、端末の姿勢推定誤差が大きくても、アイコンが指し示す位置は仮想俯瞰模型上で固定されているため、正確な位置を提示し続けることができる。

2つ目は、視野外の場所も共有可能になることである。ユーザは仮想俯瞰模型を眺めることで、実際のユーザの立ち位置からは見通せない場所も仮想的に見ることができる。タッチパネルなどの入力装置を用いて、この仮想俯瞰模型上の点を指示し、そこに矢印などのアイコンを表示することにより、注目位置や互いが直接見通せない場所にいるユーザ同士での情報共有が可能になる。

3つ目は、ユーザが容易に視点を変えられることである。直接重畳方式でも視点は変えられるが、ユーザの視野と一致しているため、建物の陰など死角になっている領域を見ることができない。我々の方式にはこのような制限はなく、注目位置を取り囲むようにして見回すことで、その奥行きを正確に認識できる。

一方、我々の方式で考えられる問題として、ユーザが現実空間と仮想俯瞰模型の対応付けを行いながら注目位置を理解する必要があるという点がある。直接重畳方式では、ユーザと注目位置の相対的な位置関係を直観的に把握することができるが、我々の方式では、2次元地図を用いる際と同様に、現実空間との対応付けを行う必要がある。

2.1 評価実験に用いる提示手法

本研究は、現実世界との幾何的關係の理解が容易な仮想俯瞰模型方式を開発することにより、上述した問題の解決を目的としている。特に本稿では、以下で紹介する“MR 型”／“非 MR 型”と“方位一致方式”／“方位固定方式”の2種類の提示方式の差異が、現実世界と仮想世界の幾何的關係の理解に与える影響について検討する。各々の提示方式で指示された注目位置が現実空間のどこにあるかを把握し、その場所の写真を撮るといったタスクを繰り返すユーザ評価実験を実施することにより、幾何的關係の理解の容易さに関する評価を行う。

● “MR 型”／“非 MR 型”

“MR 型”／“非 MR 型”とは、図 2(a)に示すように、端末カメラで撮影した現実空間の映像を背景として提示する“MR 型”と、図 2(b)のように単色背景上に仮想俯瞰模型の

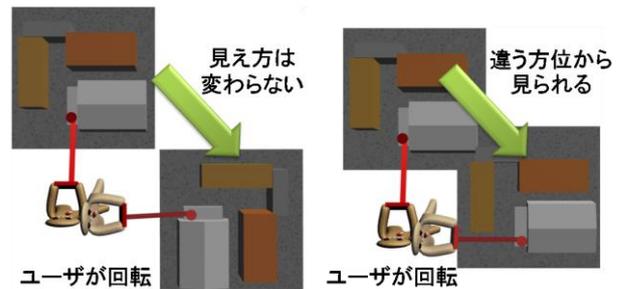
みを提示する“非 MR 型”の提示方式である。

MR 型／非 MR 型ともに、ユーザが端末を動かすとそれに合わせて仮想俯瞰模型を眺める仮想視点も移動する。端末の姿勢を水平にすると仮想俯瞰模型を眺める仮想視線も図 2 に示すように水平に近くなる。MR 型の場合、提示画面内で現実空間と仮想俯瞰模型を見比べることができるため、視線移動が少なくなり注目位置を把握しやすくなることが期待される。一方、非 MR 型は、画面構成が単純で仮想俯瞰模型を明確に提示することが可能である。評価実験を通じて両者の特性を比較することにより、ユーザにとって理解しやすい提示方式を検討する。



(a) MR 型の提示 (b) 非 MR 型の提示

図 2 MR 型／非 MR 型の提示手法の比較



(a) 方位固定方式 (b) 方位一致方式

図 3 仮想俯瞰模型の提示方法

● “方位一致方式”／“方位固定方式”

方位に関する仮想俯瞰模型の提示方式について図 3 に二通りの方式を示す。図 3(a)は、仮想俯瞰模型が端末に固定されているかのように提示される方式（以降、方位固定方式）である。図 3(b)は、方位のみを現実空間と一致させる方式（以降、方位一致方式）である。

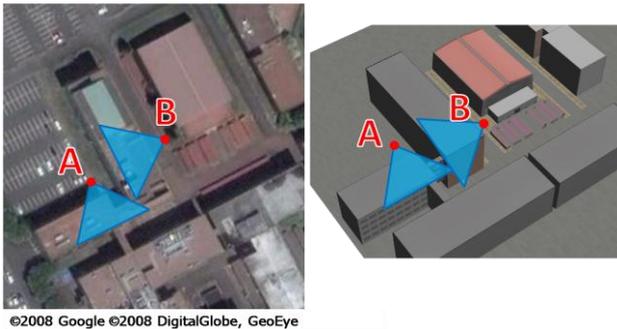
方位固定方式は、地図のノースアップと同様に、仮想俯瞰模型を端末に固定したように提示するため、ユーザの姿勢変動によらず見え方が変化しない。実装が容易で、どのような姿勢でも利用できるが、現実空間と仮想俯瞰模型の方位がずれる、運動視差による注目位置の奥行き知覚が出来ないといった問題がある。

方位一致方式は、ユーザが端末を回転させた場合、仮想俯瞰模型を平行移動させることにより、常に正面に提示される方式である。注目している地点を異なる角度から観察する場合、図 3(a)の方位固定方式ではユーザは端末を回転・平行移動させる必要があるのに対し、図 3(b)の方位一致方式では回転だけで済む。そのため、ユーザの操作量や実装

処理の軽減に加え、上述した位置検出精度に関する問題や、現実世界と仮想世界を見比べる際に、注目領域の同時視認性の問題を回避することができると考えられる。

3. 評価実験

前節で紹介した“MR 型”／“非 MR 型”と“方位一致方式”／“方位固定方式”2種類の提示方式の差異が、現実空間と仮想俯瞰模型の幾何学的関係の理解に与える影響を検証する評価実験について述べる。実験で使用した屋外複合現実感提示システムでは、モバイル端末として SONY 社の小型ノート PC (VGN-UX90PS)、3 軸慣性センサとして InterSense 社の InertiaCube3 を用いた。実験環境は、図 4(a)に示す筑波大学構内の一部である。



(a) 航空写真

(b) 仮想俯瞰模型

図 4 実験環境と仮想俯瞰模型

3.1 実験方法

本実験のユーザ（被験者）には、指示された被写体（注目位置）の写真を撮影するタスクを与える。これは、仮想俯瞰模型上で指示された注目位置が、現実空間のどこを示しているのかを把握し、報告する処理を想定したものである。仮想俯瞰模型上で注目位置を提示してから写真撮影が完了するまでの時間（ T ）を各提示方式について計測する。その際、写真撮影に要する時間の影響を減らすため、被験者には、立ち位置やフレーミングの違いによる見え方の微妙な差異は気にしないように伝えた。計測実験終了後、表 2 に示す質問 Q1 と Q2 による主観評価実験を実施する。なお、ユーザ端末は、タスク開始前に既定の初期方位に設置されているものとする。この操作は、仮想俯瞰模型と現実空間の初期方位を合わせ、慣性センサのドリフト誤差蓄積の影響を抑えるために行う。

計測実験では、注目位置を対象空間中の様々な場所に移動させながら撮影タスクを繰り返し実施する。被験者は実験環境を熟知した人を想定しているため、建物の窓の角のように類似した対象が数多く存在する領域を注目位置として選択し、記憶だけでは注目位置の特定が困難になるよう配慮した。

実験 1 では、MR 型／非 MR 型の比較を行った。被験者は図 4 中に示す A の地点に立ち、端末の初期視野を青い三角形の向きに合わせる。MR 型の提示で撮影タスクを 5 回

繰り返し（Task1～5）、その後非 MR 型の提示で撮影タスクを 5 回繰り返す（Task6～10）。その後、二つの提示手法を比較する質問「Q3. どちらの方が見やすかったですか？」と「Q4. どちらの方が注目位置がわかりやすかったですか？」を用いた主観評価を実施する。Q3 と Q4 の評価尺度は 2 (MR)～0～2 (非 MR)である。提示の順序による学習効果の影響を取り除くために、別の日に提示方式の順序を入れ替えて同様の撮影タスクと、質問 Q3 と Q4 を用いた主観評価実験を実施する。

実験 2 では、端末の初期位置・視野を図 4 中に示す B の地点とし、方位一致／方位固定方式の比較を行った。実験 1 と同様に、方位一致方式で 5 回、方位固定方式で 5 回の撮影タスク（Task11～15 および Task16～20）を行わせ質問 Q3 と Q4 を用いた主観評価を実施する。実験 2 についても、別の日に方式の順序を入れ替えた実験を実施する。実験 2 における Q3 と Q4 の評価尺度は 2 (方位一致方式)～0～2 (方位固定方式)である。

3.2 実験結果

実験環境を熟知した 20 代の男性 7 名を被験者として行った実験結果（全体の平均と標準偏差）を表 1 および表 2 に示す。まず、実験 1 の結果について述べる。撮影タスクに要した時間 T の全体での平均は非 MR 型の方が短く、有意差が認められた。また、主観評価に関する質問 Q1 の結果から、背景画像の有無は注目位置を探す難易度への影響は大きくはないと考えられる。また、質問 Q2 の結果から、MR 型では非 MR 型に比べ、より画面に注目する傾向が認められる。そのため、撮影すべき空間を撮している背景画像は、ユーザが注目位置を探すために必要な情報を提供していたと考えられる。質問 Q3 の結果は 1.2 (SD:1.1)、Q4 は 1.1 (SD:1.1)となり、MR 方式の方が見やすく、わかりやすいという結果が得られた。

次に、実験 2 の結果について述べる。時間 T の全体での平均には有意差が認められなかった。また、質問 Q1 において方位一致方式が有意差有りで僅かに優れていた。また、質問 Q2 の結果から、仮想俯瞰模型の方位は画面への注目度には影響していないと考えられる。質問 Q3 の結果は 1.4 (SD:0.8)、Q4 では 1.1 (SD:0.9)となり、方位一致方式の方が見やすく、わかりやすいという結果が得られた。

実験 1 における注目位置毎の時間 T について考察する。図 5 に示すように、Task1～5 で MR 型の結果が悪くなっているが、この原因として、注目位置によって見つけやすさが影響している、もしくは被験者がまだ操作に不慣れであることが考えられる。そこで、Task1～2 を練習フェーズとして無視すると、表 1 の T_2 に示すようになり有意差は無くなった。実験 2 においても同様に、注目位置毎の時間 T は図 6 のように Task11～14 で方位一致型の結果が悪くなっていた。Task11～12 を練習フェーズとして無視すると、表 2 の T_2 に示すようになり、有意差有りで方位一致方式の方が優れているという結果となる。

今回の実験では、後半に提示された注目位置ほど時間 T が短くなる傾向があった。被験者の操作への慣れによる影響が疑われるが、注目位置の見つけ難さなどの要因と明確に区別することができなかった。今後の実験では、あらかじめ被験者に十分に操作を練習させ、慣れの影響を排除する処置が必要であると考えられる。

4. まとめ

仮想俯瞰模型を用いた 3 次元位置共有システムにおいて、現実空間と仮想俯瞰模型の幾何的な関係の理解に影響を与える提示手法の検討と評価実験を行った。現実空間と仮想俯瞰模型の対応付けを支援する提示手法として MR 型提示と方位一致方式を挙げ、それぞれ非 MR、方位固定方式と比較する評価実験を行った。その結果、MR 型、方位一致方式ともに注目位置の見やすさ、わかりやすさについて優れていることが確認された。なお、今回の結果では操作への慣れの影響と注目位置発見の難易度の影響を排除することができなかったため、今後の実験ではこれらに配慮して行う必要があると考えられる。

参考文献

- [1]林, 北原, 亀田, 大田, “仮想俯瞰模型を用いた 3 次元空間の指示・共有システム”, 日本バーチャルリアリティ学会第 13 回大会論文集, pp.644-647, 2008.
- [2]R.Stoakley, M.J.Conway, and R.Paush, “Virtual Reality on a WIM: Interactive Worlds in Miniature,” Proceedings of ACM CHI'95, pp.265-272, 1995
- [3]R.P.Darken, and H.Cevik, “Map Usage in Virtual Environments: Orientation Issues,” Proceedings of IEEE Virtual Reality (VR'99), pp.133-140, 1999.
- [4]E.Haik, J.Sapsford, and S.Trainis, “Investigation into Effective Navigation in Desktop Virtual Interfaces,” Proceedings of Seventh International Conference on 3D Web Technology (Web3D'02), pp.59-66, 2002.
- [5]神原, 横矢, “RTK-GPS と慣性航法装置を併用したハ

イブリッドセンサによる屋外型拡張現実感システム”, 電子情報通信学会技術研究報告 PRMU, パターン認識・メディア理解, pp.37-42, 2005.

- [6]G.Reitmayr and D.Schmalstieg, "Collaborative Augmented Reality for Outdoor Navigation and Information Browsing," Proceedings of Symposium on Location Based Services and TeleCartography, pp.31-41, 2004.

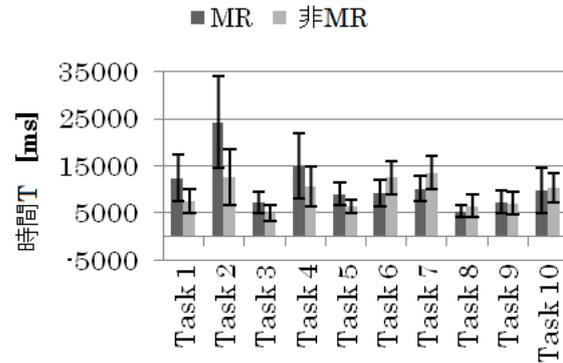


図 5 実験 1 注目位置毎の時間 T

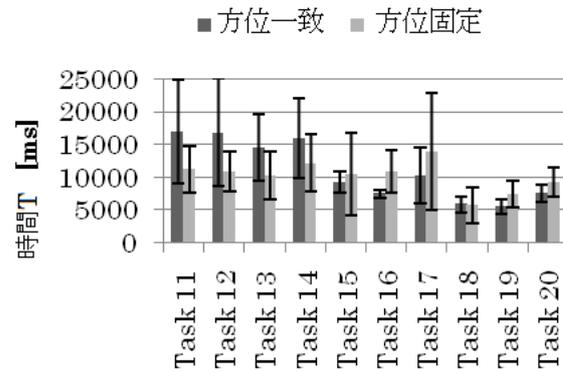


図 6 実験 2 注目位置毎の時間 T

表 1 計測実験の結果 (対応有り t 検定)

*有意水準 1%

	MR	非 MR	t 検定	方位一致	方位固定	t 検定
T[秒]	11.1 (SD:7.0)	9.2 (SD:4.4)	*	11.0(SD:6.5)	10.2(SD:5.0)	p=0.24
最初の 2 回のタスクを練習として無視した T ₂ [秒]	9.2 (SD:4.5)	9.0 (SD:4.2)	p=0.81	7.3 (SD:2.8)	9.4 (SD:5.5)	*

表 2 タスク毎に行った質問と結果 (対応有り t 検定)

*有意水準 1% **有意水準 0.1%

質問	リッカート尺度	MR	非 MR	t 検定	方位一致	方位固定	t 検定
Q1. 注目位置を探すのは簡単でしたか?それとも難しかったですか?	非常に簡単 (2)~非常に難しい (-2)	0.9 (SD: 1.0)	0.7 (SD: 1.0)	p=0.11	0.7 (SD: 1.0)	0.2 (SD: 1.2)	*
Q2. 画面と現実のどちらを頼りに探しましたか?	画面 (2) ~現実 (-2)	0.9 (SD: 0.9)	-0.4 (SD: 1.2)	**	0.7 (SD: 1.1)	0.5 (SD: 1.0)	p=0.40