

基礎論文

広域屋外環境における複合現実型 バーチャルジオラマインタフェースの評価

林 将之*¹ 北原 格*¹ 亀田 能成*¹ 大田 友一*¹

A User Study on A Mixed-Reality Virtual Diorama Interface in Large Outdoor Environment

Masayuki Hayashi*¹ Itaru Kitahara*¹ Yoshinari Kameda*¹ and Yuichi Ohta*¹

Abstract --- Virtual Diorama (VD) interface is a new Mixed-Reality interface for mobile device, which enables users spread in large outdoor environment to share their point of interest (POI) among users. The outdoor environment is modeled in CG and POI is attached onto the CG model. Users will see POI by maneuvering the CG model (VD model). In this paper, we conduct user study and experiment for usability of our VD interface for better recognition of POI location. We compare two repositioning methods of VD model; Free shot and Dolly-round/Crane (D/C) shot. We also evaluate the usability of superimposing VD model onto the real image. As a result, D/C shot is more suitable than Free shot on our VD interface. We also found that about half of the subjects prefer superimposing of VD model onto real image.

Keywords: outdoor mixed reality, user study, mobile navigation.

1 はじめに

複数の人々が屋外で共同作業を行う場合、注目してほしい場所を指し示すことで、注目位置 (Point of Interest, POI) を他者と共有したい場面がある。我々は、これを屋外での指示共有と呼ぶ。その単純な実現方法として、指差しやレーザーポインタによる指示共有が挙げられる。しかし、こうした方法は、指示共有のために人々が集合する必要があること、POI の近くで遮蔽物のない場所で行う必要があることから、屋外など広い作業環境には適していない。この欠点を補う方法として、建築の分野では、建物のジオラマ模型を用意し、その各部を指し示しながら相談するという方法が用いられている。ジオラマ模型を用いることにより、POI の近くに居なくても指示共有が可能になるが、人々がジオラマ模型のある場所に集合しなければならない。また、ジオラマ模型は持ち運びに不向きなため、屋外で気軽に使うことができないという不便が残る。広域屋外環境に展開している人々が、各人の持ち場に居ながら、互いに指示共有を行える手法が望まれている。

我々は、カメラ付きのモバイル端末を用いて、ジオラマ模型による指示共有を仮想的に実現する、複合現実 (Mixed-Reality; MR) 型のバーチャルジオラマインタフェースを提案する。屋外で作業するユーザは、自分の

持つモバイル端末の画面を通して、CG で構築された広域屋外環境のジオラマ模型 (バーチャルジオラマモデル, VD モデル, と呼ぶ) を、あたかも自分の目前に存在しているかのように見る (図 1)。システムは VD モデル上に POI を示す矢印を表示し、その情報は無線ネットワークによりユーザ同士で共有される。これにより各ユーザが広域屋外環境中のどこに居ても指示共有を実現することができる。

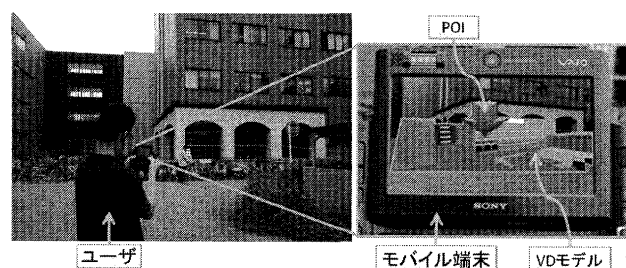


図1 バーチャルジオラマインタフェースのコンセプト

Fig.1 Concept of Virtual Diorama interface.

本インタフェースを用いるユーザは、VD モデル上に表示された矢印により、POI が広域屋外環境中のどの位置かを理解するので、VD モデルと実際の広域屋外環境との対応を把握する必要がある。このためには、複合現実型の提示が有効と考えられる。

本論文で行う評価実験の前提として、広域屋外環境中のユーザの位置と POI は与えられているものとする。この場合、VD モデルと広域屋外環境との対応の把握

*1 筑波大学 大学院システム情報工学研究科 知能機能システム専攻

*1 Department of Intelligent Interaction Technologies,
Graduate School of Systems and Information Engineering,
University of Tsukuba

に影響を与える主なパラメータとして、モバイル端末の画面内にある VD モデルの位置姿勢の操作方式とその表示方式が挙げられる。本稿では、VD モデル配置のための操作方式と、VD モデルと実写映像上との併用による表示方式について、実験的に評価する。

VD モデル配置のための操作方式では、POI をモバイル端末の画面内に見やすい形で表示できるように、VD モデルの位置と姿勢を、タッチパネルのドラッグ操作とモバイル端末の向きの制御で求める。本稿では、この操作方式として、タッチパネルのドラッグによる手動操作のみで行う Free shot 方式と、モバイル端末姿勢に合わせた自動的な再配置を併用する Dolly-round/Crane (D/C) shot 方式とをとりあげる。

一方、VD モデルと実写映像との併用による表示方式に関しては、一般的なビデオシーズルー型の MR システムで採用されている、モバイル端末のカメラで撮影した実写映像に VD モデルを重畳表示する方式の是非を検証する。比較対象として、VD モデルのみを画面に表示する方式をとりあげる。

本稿では、各方式をユーザ実験により評価し、VD モデル上に表示された POI の示す位置がわかりやすくなるような VD モデルの操作・表示方式を求める。評価方法として、広域屋外環境で POI が示す位置を見つけるのに要する時間の計測と質問紙による被験者の印象評価を用いる。

2 関連研究

2.1 屋外におけるモバイル端末を用いた位置情報指示

一般的に、空間知識は、場所の見た目に関するランドマーク知識、道筋に関するルート知識、それらを統合して環境の全体像を構築するサーベイ知識の 3 形式に分けられると言われている[29]。

屋外歩行者に対し、位置情報の指示を行う手法には、写真を用いるもの[24,26]や、MR 技術によるアノテーション表示を用いるもの[1,2,15]などがあり、いずれもランドマーク知識やルート知識の伝達に特化したものである。一方、ジオラマ型の 3 次元地図を用いるもの[3,27]は、視点を変えることでサーベイ知識を含むすべて形式の空間知識を与えることが出来る。我々の提案するバーチャルジオラマインタフェースは、MR 技術を用いて 3 次元地図を提示するものとして位置づけられる。

広域環境における位置情報の指示は、ナビゲーションにおける重要な要素技術であるため、ヒューマンファクタを考慮したその指示方法については、様々な研究がなされてきた[22,23]。Nurminen ら[3]は、3 次元地図は 2 次元地図に比べ、環境を認知しやすくする視覚情報を与える一方で、効果的なナビゲーションを実現するためには、モバイル端末を用いたインタラクションの適切な設計が必要であると述べている。我々の取り組み

は、MR 技術を用いた 3 次元地図とのよりよいインタラクションを求める研究の一つであると位置づけられる。

藤田ら[28]は、2 次元地図を用いたナビゲーションにおいて、視点の平行移動操作を拡大／縮小操作やチルト操作にも対応付けたインタフェースを提案した。彼らは、ペン入力に対応した画面を用いて 2 次元地図を見た場合の評価を行っており、室内での利用が前提となっている。我々が取り組んでいる問題は、モバイル端末を携帯するユーザが広域屋外環境中において実際の風景を見ている状況で、ユーザにとって 3 次元地図 (VD モデル) 上に表示される POI が見やすく、POI の示す位置がわかりやすいと感じられるインタラクション方式の設計である。

なお、広域屋外環境の 3 次元地図については、事前に用意できるものとして本稿ではその構築方法は扱わない。建物を素早くモデル化する手法[18,19]や、それをモバイル端末に配信する技術[20]等の研究により、3 次元地図の作成が将来は容易なものになっていくと考えられる。

2.2 複合現実感技術を用いた位置情報指示

複合現実感(MR)技術が空間中の位置情報の提示に有効であることは、これまで様々な屋内作業やその評価実験を通して明らかになっている [4-7]。

広域屋外環境では、屋内に比べ、指示された場所へユーザが移動して視認するのに要する時間や手間が増える。移動の必要が生じる状況として、指示された位置が遠い場合や、遮蔽物により指示位置が見通せない場合が考えられる。シーズルービジョン[8,9,31]や注目物体の強調表示[32]の利用により、遮蔽物と指示位置の隠蔽関係を変え、指示位置を仮想的に視ることもできるが、POI がユーザから見て建物の裏側となる壁を指している場合などにはその指示位置を理解するのが困難である。

シーズルービジョンのような MR 技術によるアノテーション表示を用いてユーザから遠い場所の指示共有を行う場合、遠い場所は見た目が小さくなるので細かい部分が見えにくく、奥行きを知覚がしにくいという映像表現の問題と、実写映像上に矢印などを重畳するために高精度の位置合わせが必要という技術的な問題がある。奥行きの知覚精度を改善する映像表現について過去に様々な評価が行われた[10-13,31]。その結果、奥行きの知覚精度を改善する映像表現はいくつか提案された。しかし、視点(カメラ)から遠い場所ほど高精度の位置合わせが必要という技術的な問題は未だ解決されていない。

一方、ジオラマ型の 3 次元地図上に表示した POI により指示共有を行う場合、位置合わせに誤差が生じて POI の示す位置は変わらないため、高精度の位置合わせ

せが必要という技術的な問題は回避される。さらに、仮想視点移動や縮尺の変更により距離の制約からも解放される。提案手法では、このジオラマ型のアプローチを採用する。

ただし、このアプローチを用いる場合、3次元地図と広域屋外環境との向きが一致していない場合、その対応関係の理解がユーザにとって困難になりうることに注意する必要がある。

提案手法は、広域屋外環境とそのVDモデルとを同時に見ることができる状況を前提としたMR型インタフェースであり、POIがユーザの視野内にある場合に最も効果を発揮する。一方、Sandorら[33]は、3次元空間を歪曲させる手法により、ユーザの視野外にあるPOIを可視化した。特に、Radial Distortと呼ばれる手法は、建物の裏側となる壁も可視化できる。このような手法は、提案手法と組み合わせることが可能であり、それぞれの手法のユーザビリティを明らかにすることで、より優れた指示共有インタフェースの検討が可能となる。

2.3 ジオラマ型の3次元地図提示

Head Mounted Display (HMD)を用いて World in Miniature (WIM)と呼ばれるジオラマ型の3次元地図をユーザの目前に提示するコンセプトは、仮想環境のナビゲーション/インタラクションを支援する技術として Stoakleyら[14]によって提案された。Wingraveら[17]は Scaled and Scrolling WIMを提案し、WIMのスケール変更や平行移動を行いながら環境を探索する際のユーザビリティについて、ユーザ実験により定量的、定性的側面から詳細に評価した。Höllnerら[15]はビデオシーサーHMDを用いてWIMをMR型の歩行者ナビゲーションへ応用した。この取り組みではWIMはワイヤフレームで描かれており、WIMを提示することの有効性の評価が行われた。一方、我々の評価実験は、MR技術を用いてモバイル端末上にテクスチャ付きの3次元地図を提示するインタフェースに関するものであり、広域屋外環境における実験である。近年では、Nilssonら[16]が地図上に作業者の配置などを重畳表示するジオラマ型のユーザインタフェースに関して、優れた評価実験を行った。しかし、このシステムは屋外作業者が携帯することを想定したものではない。

大隈ら[30]は、科学館内で3次元地図を使った展示物へのナビゲーション方式を提案し、ユーザ実験により評価した。彼らのナビゲーション方式は、3次元地図を見下ろす視点を用いる点と、ユーザの向きに合わせて視点を自動回転させるという点で本インタフェースと類似している。しかし、我々のユーザ評価実験は、広域屋外環境でPOIが見やすくなるようなVDモデルの操作・表示方式を求めるためのものであり、大隈らの実験とは評価対象と状況が異なっている。

3 バーチャルジオラマインタフェース

3.1 VDモデルを用いた指示共有

本インタフェースは、図1に示すように、VDモデルと呼ぶCGで構築された広域屋外環境のジオラマ模型がユーザの目前に存在しているかのようにモバイル端末の画面上に提示し、そのVDモデル上に矢印でPOIを表示するものである。POIの情報は、無線ネットワークによりユーザ同士で共有される。これにより各ユーザが広域屋外環境中のどこに居ても指示共有を実現することができる。VDモデル上に表示されるPOIは、図2のようにユーザ毎に異なる色の矢印で表示されるので、どのユーザが指示したPOIかを互いに判別できる。

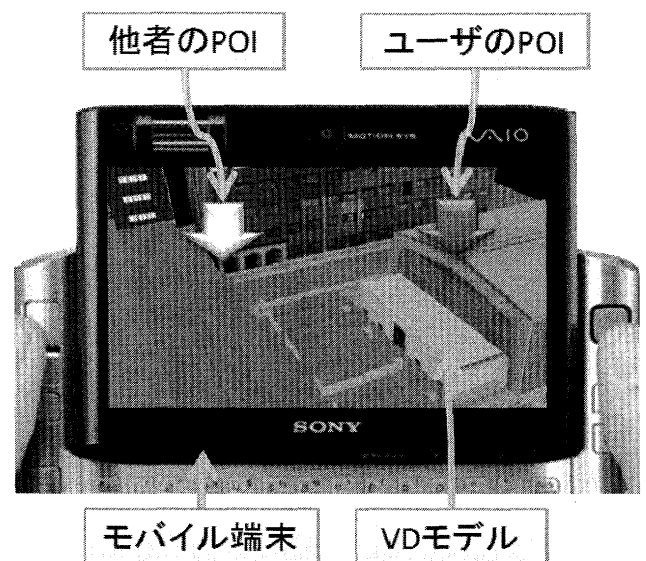


図2 ユーザ毎に異なる色で表示されるPOI
Fig.2 POIs shown by unique color for each user.

3.2 VDモデル上のPOIによる位置の指示

本インタフェースでは、POIをVDモデル上に矢印で表示するため、ユーザは自分の立つ位置からPOIがどこにあっても自由に仮想的に視ることができる。本インタフェースでは、POIとVDモデルの建物が重なってしまう場合に、VDモデルの建物を透過させて表示する(図3a)。矢印が示す先にVDモデルの建物が1つしかない場合、POIはその建物上の点を示している(図3b)。

一方、矢印が示す先にVDモデルの建物が複数見える場合、固定視点ではPOIがどちらの建物上の点を示しているのか判断できない(図3c)。この場合でも、ユーザは仮想視点を操作して異なる視点から視ることで、POIがどの建物上の点を示しているのかを確認することができる。図3(c)の例では、図3(c')のように少し仮想視点を横に動かすことで、矢印が手前の建物の角であることがわかる。

仮想視点を操作する際、ユーザの向きとVDモデル

の向きのずれに注意する必要がある。大隈ら[30]が科学館内ナビゲーション実験において、ユーザの向きに合わせて3次元地図を自動回転させることでナビゲーションがわかりやすくなったという結果を得たように、ユーザの向きと3次元地図の向きを一致させることで目的地の方向判断がしやすくなることは、空間認知の分野では整列効果[21]として知られている。本インタフェースは整列効果を考慮し、ユーザの向き(モバイル端末の向きと同じであると仮定する)とVDモデルの向きを常に一致させて提示する。

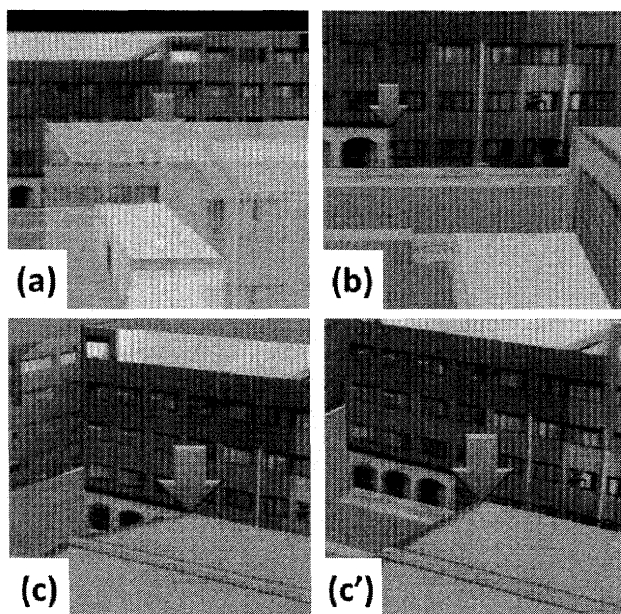


図3 VDモデル上の矢印によるPOIの表示例

Fig.3 Examples of POI shown by an arrow on VD model.

3.3 VDモデルの操作

本稿では、VDモデル配置のための操作方式として、タッチパネルのドラッグによる手動操作のみで行うFree shot方式と、モバイル端末姿勢に合わせた自動的な再配置を併用するDolly-round/Crane (D/C) shot方式とを取り上げる。

図3(c)のように固定視点からの映像ではPOIの示す位置が曖昧な場合、VDモデル上に表示された矢印を異なる視点からも視ることで、POIがどの建物上の点を示しているのかを確認する必要がある。そのためには図4(a)のようにユーザがモバイル端末を回転・平行移動させる必要がある。本稿では、ユーザがその場所に居ながら指示共有を行うために、モバイル端末の平行移動は入力として使用せず、代わりに図4(b)のようにVDモデルを広域屋外環境に対して平行移動する手法を提案する。この際、モバイル端末の画面中ではVDモデルは見かけ上回転することになるので、その回転中心をアンカーポイントと呼ぶ。

本稿では、アンカーポイントが常に画面の中心になるようモバイル端末の向きに合わせて自動的に再配置するDolly-round/Crane (D/C) shot方式(図5左)と、自動的な再配置を行わないFree shot方式(図5右)とをユーザ実験により比較し、ユーザにとってPOIの示す位置がわかりやすく、使いやすいと感じられるVDモデルの操作を求める。

Free shot方式(図5右)は、平行移動を行わない限り、広域屋外環境に対してVDモデルが位置姿勢とも固定されるため、一般的なMR方式に近い。そのため、ユーザにとって操作が分かりやすく、印象評価に優れると考えられる。ただし、POIの示す位置を確認するためには、アンカーポイントを水平移動する必要があり、これをタッチパネルのドラッグ操作により行うため、D/C shot方式に比べて操作に時間を要すると考えられる。

D/C shot方式(図5左)は、アンカーポイントを中心に回転するような視点操作を、モバイル端末の向きだけで行う方式である。タッチパネルのドラッグ操作をせずともアンカーポイントの水平移動が行えるため、操作時間は短くなるが、印象評価については一般的なMR方式に近いFree shot方式の方が優ると考えられる。

POIとユーザの位置関係によってはD/C shot方式やFree shot方式で用意する操作だけではVDモデル上のPOIが見えない場合があるので、モバイル端末の画面上でのスライドバー操作によるVDモデルの拡大/縮小操作、およびタッチパネルのドラッグによるアンカーポイントの水平移動操作も用意する。

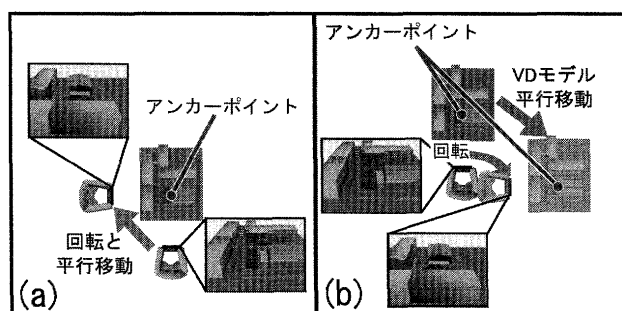


図4 視点の回り込み操作例

Fig.4 Viewpoint manipulation to look around anchor point.

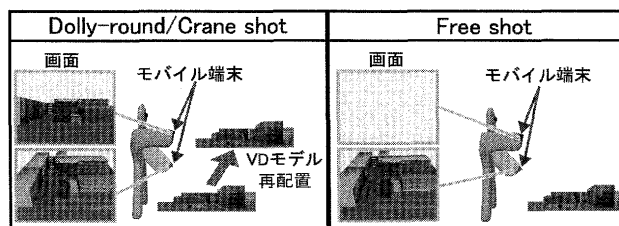


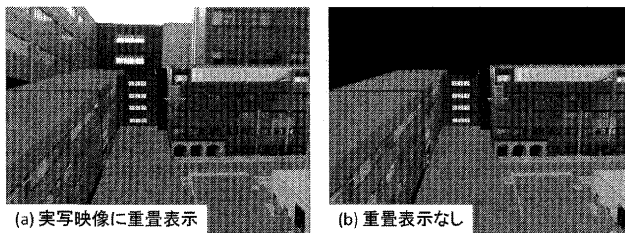
図5 Dolly-round/Crane shot方式とFree shot方式

Fig.5 Dolly-round/Crane shot and Free shot.

3.4 VDモデルと実写映像の併用による表示

本稿では、一般的なビデオシースルー型の MR システムで採用されている、モバイル端末のカメラで撮影した実写映像に VD モデルを重畳表示する方式(図 6a)の是非を検証する。原則としては、実写映像を表示することにより画面内で広域屋外環境と VD モデルを見比べることが出来るため、画面から目を離す必要が減り、POI の示す位置がわかりやすくなると考えられる。

しかし、モバイル端末は画面のサイズが小さいことや、屋外での使用時に画面のコントラストが低くなる場合があることから、実写映像と VD モデルの境界が見分けにくくなる場合があり、必ずしも POI が見やすくなるとは限らない。特に、D/C shot 方式の場合、Free shot 方式に比べて画面中で VD モデルが占める面積が大きく、実写映像の見える部分が小さいことから、D/C shot 方式を用いた場合について、実写映像に VD モデルを重畳表示する方式の是非をユーザ実験により検証する。



(a) 実写映像に重畳表示

(b) 重畳表示なし

図6 実写映像上への重畳表示

Fig.6 Superimposing of VD model onto the real image.

4 ユーザ実験

4.1 目的

本実験では、VD モデル上に表示された POI の示す位置がわかりやすくなるような VD モデルの操作・表示方式を求める。

本稿では、3.3 節で述べた VD モデル配置のための操作方式である Free shot 方式と D/C shot 方式を対比較する実験と、3.4 節で述べた実写映像に VD モデルを重畳表示する方式の是非を検証する実験の 2 つを実施する。

POI が示す位置を見つけるのに要する時間として、1 回のタスクに要する作業時間を計測する。また、タッチパネルによる拡大/縮小操作の回数およびアンカーポイントの水平移動の回数を記録する。質問紙を用いたユーザの印象評価も行う。

4.2 実験環境

本実験で用いるバーチャルジオラマインタフェースは、4.5 型のタッチパネルディスプレイを搭載した SONY 社の小型ノート PC (VGN-UX92NS) と、InterSense 社の 3 軸慣性センサ InertiaCube3 を用いて実装した。モバイル

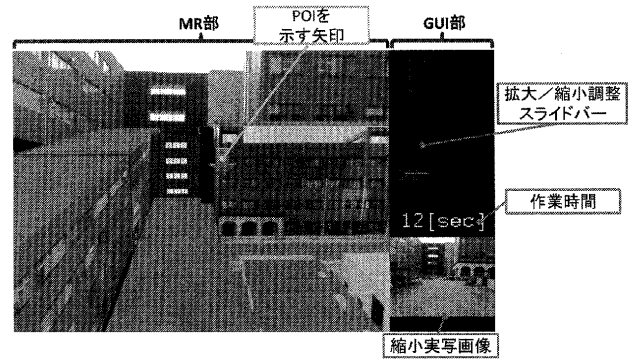
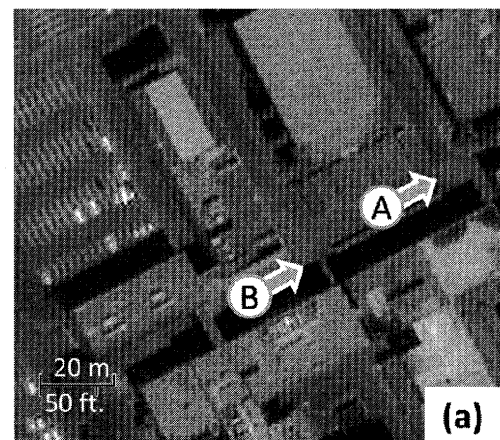


図7 実験で用いるバーチャルジオラマインタフェースの画面構成

Fig.7 Screenshot of our experimental VD interface.



©2008 Google ©2008 DigitalGlobe, GeoEye

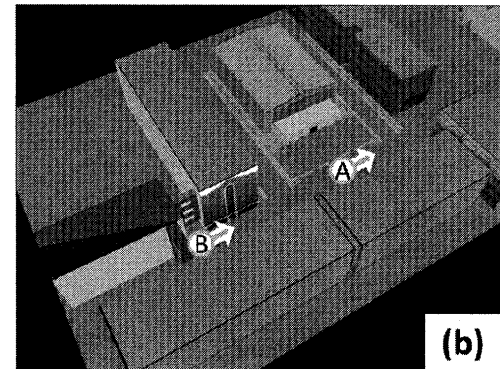


図8 実験環境と VD モデル

Fig.8 Experimental environment and VD model.

端末の画面は図 7 に示すように、VD モデルを提示する MR 部と、VD モデルの拡大/縮小を調整するスライドバー、作業時間、カメラで撮影した実写画像を縮小表示する GUI 部からなる。ユーザはスライドバーをタッチパネルで操作し、VD モデルを拡大/縮小して視ることが出来る。また、MR 部をタッチしてドラッグすることで、アンカーポイントの水平移動が可能である。

本実験では、図 8 に示す筑波大学構内の一部 (120[m]x100[m]程のエリア) を広域屋外環境として VD モデル化した。図中の A 地点は周囲の建物まで十〜数

十メートルの距離がある比較的開けた地点である。B 地点は三方が建物で囲われた建物の密集する地点で、VD モデルを建物毎に透過して表示する図 3(a)のような状況が発生しやすい。

本実験で評価する VD モデルの操作・表示方式は、MR 型のインタフェースであることを前提としており、広域屋外環境中でユーザから直接 POI が見えている状況で最も効果的な方式である。そのため、図 9 に示すように、どちらの地点でも、POI はユーザの立つ位置から見える場所を指定した。POI の示す位置が最も分かりにくい状況として、図 3(c)のように、矢印が示す先に VD モデルの建物が複数見える状況も実験に含めた。建物の窓枠のように見た目の類似した場所が周囲に複数ある箇所も POI として指定した。

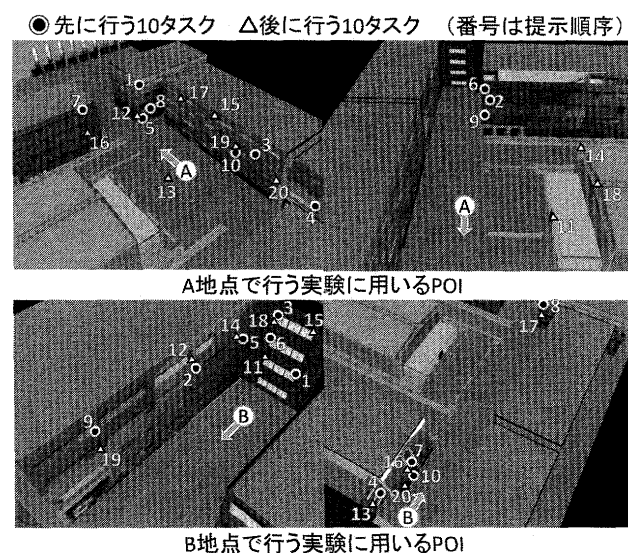


図9 各地点における実験で用いた POI

Fig.9 POIs used for experiments at position A and B.

4.3 ユーザタスク

本実験では、被験者は図 8 に示す A 地点(または B 地点)に立ち、VD モデル上に表示された POI の示している位置がどこであるかを理解し、その場所にカメラを向けて写真を撮るとい、写真撮影タスクを用いる。カメラはモバイル端末に組み込まれたものを使い、スペースキーを押して撮影する。被験者には、作業時間を計測しているため、できるだけ早くタスクを終えるよう指示する。また、移動はせずその場で向きだけ変えて撮影をすること、タスクを始める前に必ず決められた方向(図 8 の A, B 地点に矢印で示す方向)に向くことを指示する。アンカーポイントの初期位置はユーザの立つ位置とする。

実験手順

実験では被験者に対し、方式 I と方式 II の 2 種類の方式で VD モデルを提示する。被験者は、各方式で操作に慣れるまで数回練習し、写真撮影タスクを 10 回繰り返す。その後、質問紙による印象評価を行う。POI の表示順序の影響を考慮し、被験者を先に方式 I を行うグループと、先に方式 II を行うグループの 2 つに分けて実施する。

5 実験結果

5.1 Free shot と Dolly-round/Crane shot の比較

本稿では VD モデル配置のための操作方式として、タッチパネルのドラッグによる手動操作のみで行う Free shot 方式と、モバイル端末姿勢に合わせた自動的な再配置を併用する Dolly-round/Crane (D/C) shot 方式とを取り上げ、POI の示す位置がわかりやすく、VD モデル配置を操作しやすい方式を求める。

VD モデル配置のための Free shot 方式を方式 I、D/C shot 方式を方式 II とした。主観的印象に関する設問は以下の 3 問とした。評価はいずれも、1:明らかに方式 I、2:どちらかと言えば方式 I、3:わからない、どちらともいえない、4:どちらかと言えば方式 II、5:明らかに方式 II の 5 段階とした。

設問1 指示された場所がわかりやすいのはどちらでしたか？

設問2 どちらの方が思い通りの視点にしやすかったですか？

設問3 今後使うとしたら、どちらを使いたいですか？

図 8 中の A 地点で行った実験の結果を示す。被験者は当研究室の 20 歳代の学生 13 名(男性 12 名女性 1 名)である。図 10 は各設問に対して、1~5 の評点を付けた人数の割合である。設問 1 で 9 割、その他の問いでも 6 割以上のユーザが D/C shot 方式の方が良いと答えた。Wilcoxon の符号付き順位和検定の結果、設問 1 ($p=0.000$, $\alpha=0.01$)と設問 3($p=0.016$, $\alpha=0.05$)で有意差があり、設問 2 は有意差なし($p=0.446$)となった。表 1 に示すとおり、1回のタスクに要する作業時間に有意差は見られなかった。表 2 にタッチパネルの操作による VD モデルの拡大/縮小、およびアンカーポイントの水平移動を利用した被験者数と平均タスク数を示す。拡大/縮小を利用した被験者数には両方式とも違いは見られなかったが、アンカーポイントの水平移動を利用した被験者数は Free shot 方式で 8 名、D/C shot 方式で 3 名となり、D/C shot 方式の方が少ない傾向が見られた。

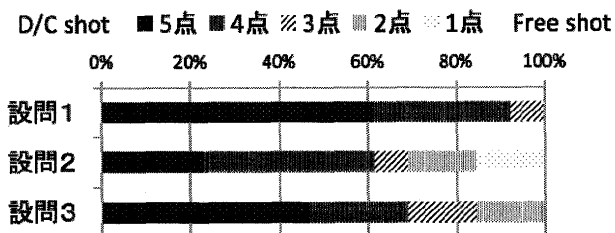


図10 印象評価 A 地点 Free shot と D/C shot 方式の比較
Fig.10 Results of questionnaires. Point A, Free vs D/C shot.

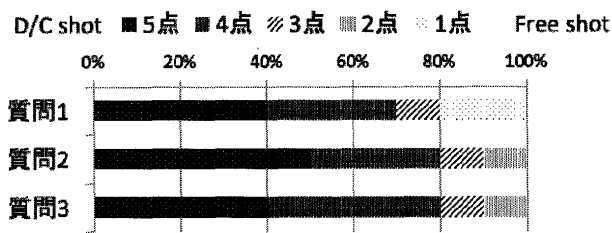


図11 印象評価 B 地点 Free shot と D/C shot の比較
Fig.11 Results of questionnaires. Point B, Free vs D/C shot.

表1 タスクに要する平均時間 Free shot と D/C shot の比較

Table 1 Mean time to complete each task.

Point A and B, Free vs D/C shot.

	Free shot	D/C shot	p 値
A 地点	8.7 秒 (1.5 秒)	7.9 秒 (2.0 秒)	p=0.357
B 地点	16.2 秒 (6.2 秒)	12.5 秒 (3.5 秒)	p=0.032

()内は標準偏差. t 検定.

表2 タッチパネル操作 A 地点 Free shot と D/C shot の比較

Table 2 Touch screen operation. Point A, Free vs D/C shot.

利用状況	拡大/縮小	アンカーポイントの水平移動
使用せず	5 名	4 名
Free shot のみ	3 名 (2.0)	5 名 (3.4)
D/C shot のみ	3 名 (3.0)	0 名
両方で使用	1 名 (Free:3.0, D/C:1.0)	3 名 (Free:6.0, D/C:3.3)

()内は 10 タスク中の平均利用タスク数

表3 タッチパネル操作 B 地点 Free shot と D/C shot の比較

Table 3 Touch screen operation. Point B, Free vs D/C shot.

利用状況	拡大/縮小	アンカーポイントの水平移動
使用せず	2 名	1 名
Free shot のみ	1 名 (2.0)	3 名 (8.0)
D/C shot のみ	1 名 (1.0)	0 名
両方で使用	6 名 (Free:4.5, D/C:3.3)	6 名 (Free:9.5, D/C:2.3)

()内は 10 タスク中の平均利用タスク数

図 8 中の B 地点で行った実験の結果を示す。被験者は当研究室の 20 歳代の男子学生 10 名である。被験者には POI がどこを指しているかわからなくとも 1 分間は諦めずに POI を探すように指示した。図 11 は各設問に対して、1~5 の評点を付けた人数の割合である。設問 1 で 7 割、その他の問いでは 8 割のユーザが D/C shot 方式の方が良いと答えた。Wilcoxon の符号付き順位和検定の結果、設問 2 ($p=0.019, \alpha=0.05$) と設問 3 ($p=0.023, \alpha=0.05$) で有意差があり、設問 1 は有意差なし ($p=0.277$) となった。表 1 に示すとおり、1 回のタスクに要する作業時間は D/C shot 方式の方が有意水準 5% で有意に優れていた。表 3 にタッチパネルの操作による VD モデルの拡大/縮小、およびアンカーポイントの水平移動を利用した被験者数と平均タスク数を示す。拡大/縮小を利用した被験者数は両方式とも違いは見られなかった。アンカーポイントの水平移動を利用した被験者数は Free shot 方式で 9 名、D/C shot 方式で 6 名であり、Free shot 方式の場合、10 タスク中平均 9 タスクで利用していた一方で、D/C shot 方式の場合は 10 タスク中

平均 2.3 タスクでしか利用していなかった。

考察

Free shot 方式と D/C shot 方式の比較実験の結果、印象評価については図 10、図 11 に示すように、A 地点、B 地点とも Free shot 方式の方が印象評価に優ると答えた被験者もいたものの、多くは D/C shot 方式の方が優れていると評価した。Free shot 方式の方が印象評価に優るという予想に反し、D/C shot 方式の方が被験者らに好印象で受け入れられたと言える。一方、1 回のタスクに要する作業時間を見ると、表 1 より A 地点では有意差はないものの D/C shot 方式の方が短い傾向にあり、B 地点では D/C shot 方式の方が有意に短かった (有意水準 5%)。A 地点の実験で有意差が見られなかったことから、所要時間の面では不利と予想された Free shot 方式も、状況によっては D/C shot 方式と大差ないという興味深い結果が得られた。B 地点では、Free shot 方式、D/C shot 方式とも、1 回のタスクに要する作業時間が A 地点よりも長かった。これは、B 地点の方が POI の把握が難しい環境であるためと考えられるが、D/C shot 方式は Free shot 方式に比べて時間の増加を抑えていることが確認できる。これらの結果より、POI の示す位置がわかりやすく、VD モデル配置を操作しやすい方式は D/C shot 方式であることが明らかである。

タッチパネル操作を見ると、表 2、表 3 に示す通り、Free shot 方式の方がアンカーポイントの水平移動の利用者が多かった。しかし、全く使用しなかった被験者も

いた。アンカーポイントを水平移動させずとも POI の示す位置を理解できた原因として、今回の被験者らが実験環境をよく知っていたため、図 3(a)のような透過処理だけで十分に理解できた可能性がある。これについては、実験環境をよく知らない被験者による追加実験により検証する必要がある。

地点別に見ると、A 地点より B 地点の方がアンカーポイントの水平移動の利用が多く、Free shot 方式においては 10 名中 9 名の被験者が 10 回中 8~9 回のタスクで利用していた。B 地点は、VD モデル上に表示した POI と建物とが重なりやすい場所であり、POI の示す位置が透過させて表示した建物にあるのか、またはその奥の建物にあるのかが固定視点からでは判断できなかったために移動が必要となった可能性があり、実際にそのようなコメントをした被験者がいた。

5.2 VD モデルと実写映像の併用による表示の評価

VD モデルと実写映像との併用による表示方式に関しては、一般的なビデオスルー型の MR システムで採用されている、モバイル端末のカメラで撮影した実写映像に VD モデルを重畳表示する方式の是非を検証する。

VD モデルを重畳表示する方式(実写映像あり)を方式 I(図 6a)、実写映像を表示しない方式(実写映像なし)を方式 II(図 6b)とし、当研究室の 20 歳代の男子学生 9 名を被験者として実験を行った。被験者には POI がどこを指しているかわからなくとも 1 分間は諦めずに POI を探すように指示した。VD モデル配置のための操作方式には D/C shot 方式を用いた。主観的な印象に関する設問は、5.1 節の実験に用いた 3 問に、以下の 1 問を加えた。

設問4 どちらの方が見やすい映像だと思いますか？

図 8 中の B 地点で行った実験の結果を示す。図 12 は各設問に対して、1~5 の評点を付けた人数の割合である。いずれの設問に対しても、被験者らの意見は分かっていた。Wilcoxon の符号付き順位和検定の結果、設問 1($p=0.847$)、設問 2($p=0.992$)、設問 3($p=0.502$)、設問 4($p=0.441$)となり、有意差は見られなかった。表 4 に示すとおり、1回のタスクに要する作業時間に有意差は見られなかった。表 5 にタッチパネルの操作による VD モデルの拡大/縮小、およびアンカーポイントの水平移動を利用した被験者数と平均タスク数を示す。VD モデルの拡大/縮小を利用したユーザは実写映像ありで 5 名、実写映像なしで 6 名であった。アンカーポイント水平移動の利用に違いは見られなかった。

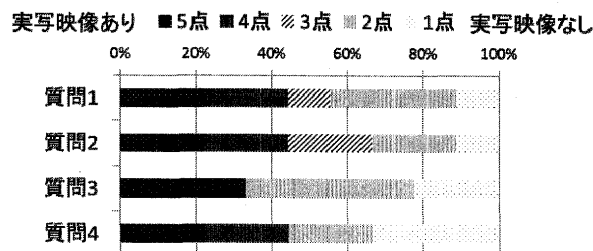


図12 B 地点における実写表示の有無の印象評価比較

Fig.12 Results of questionnaires. Point B, superimpose evaluation.

表4 タスクに要する平均時間 実写表示の有無比較

Table 4 Mean time to complete each task. Point B, superimpose evaluation.

	実写映像あり	実写映像なし	p 値
B 地点	9.9 秒 (4.5 秒)	10.8 秒 (4.2 秒)	$p=0.357$

()内は標準偏差。 t 検定。

表5 タッチパネル操作 B 地点 実写表示の有無比較

Table 5 Touch screen operation. Point B, superimpose evaluation.

利用状況	拡大/縮小	アンカーポイントの水平移動
使用せず	3 名	2 名
実写映像ありのみ	0 名	2 名 (1.0)
実写映像なしのみ	1 名 (2.0)	2 名 (1.0)
両方で使用	5 名 (あり:5.6, なし:3.6)	3 名 (あり:3.0, なし:3.0)

()内は 10 タスク中の平均利用タスク数

考察

実写映像上へ VD モデルを重畳表示する方式(実写映像あり)が印象評価に与える影響は、図 12 に示す通り、被験者らの間で意見が分かれた。被験者らのコメントによると、実写映像ありについては「VD モデルが画面の多くを占める時は実写映像があまり見えない」「VD モデルと実写映像の境界が分かりにくい」など、具体的な問題点の指摘があった。また、実写映像ありに対する好意的なコメントとしては、「縮小表示だと大まかな方向しかわからないため、知らない場所では苦労しそうだと感じた」など、GUI 部の縮小表示よりも大きく実写映像を観察できる点を評価する意見がほとんどであった。1回のタスクに要する作業時間やタッチパネル操作に関しては、両方式で大きな違いは見られなかった。以上より、実写映像上へ VD モデルを重畳表示する方式は、POI の見やすさや VD インタフェースの使いやすさに貢献していると考えているのは半数程度であった。設問 3 では

実写映像表示なしを選んだものの、「実写映像ありの場合には VD モデルと広域屋外環境を見比べやすかった」とコメントした被験者もいた。このことから我々は、実写映像と VD モデルの境界を強調してわかりやすくすることや、実写映像と VD モデルが画面中に占める面積比などに注意することで、重畳表示を POI の見やすさ向上に結び付けられるよう方式を改善できる可能性があると考えている。

おわりに

本稿では、広域屋外環境において注目位置 (POI) の指示共有を行うためのバーチャルジオラマインタフェースに対し、ユーザ実験により、指示位置のわかりやすさを評価した。実際には、VD モデル上に表示された POI が見やすくなるような VD モデルの操作・表示方式をユーザ実験により評価した。VD モデル配置のための操作方式として、タッチパネルのドラッグによる手動操作のみで行う Free shot 方式と、モバイル端末姿勢に合わせた自動的な再配置を併用する Dolly-round/Crane (D/C) shot 方式とを取り上げた。VD モデルと実写映像との併用による表示方式に関しては、一般的なビデオシースルー型の MR システムで採用されている、モバイル端末のカメラで撮影した実写映像に VD モデルを重畳表示する方式の是非を検証した。

ユーザ実験の結果、被験者の大半は D/C shot 方式を好んだ。また、建物が密集している地点において D/C shot 方式は、POI が示す位置を見つけるのに要する時間の増加量を減らし、タッチパネルによるアンカーポイントの水平移動操作の増加を抑えることが確認された。この結果より、D/C shot 方式は Free shot 方式に比べ、バーチャルジオラマインタフェースの使いやすさを改善したと考えられる。

一方、実写映像上へ VD モデルを重畳表示する方式については、POI が示す位置を見つけるのに要する時間への有意な影響は見られず、被験者らの印象評価は意見が分かれた。そのため、VD モデルと実写映像との併用による表示方式はユーザビリティを改善するとは限らず、実写映像の見やすさに注意したインタフェース設計の必要性が明らかとなった。今回の被験者らは実験環境をよく知っていたため、今後、実験環境を知らない被験者による追加実験が必要である。VD モデルを重畳表示する方式は、実写映像と VD モデルの画面中に占める面積比などを考慮するなど、より注意深いインタフェースのデザインを行うことで、重畳表示を POI の見やすさ向上に結び付けられるよう方式を改善できる可能性があると考えている。

謝辞

本研究の一部は特別研究員奨励費 (23・310) の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] K. Makita, M. Kanbara, N. Yokoya, "View management of annotations for wearable augmented reality," Proc. of IEEE Intl. Conf. on Multimedia and Expo (ICME), pp.982-985, 2009.
- [2] R. Tenmoku, M. Kanbara, N. Yokoya, "A Wearable Augmented Reality System Using Positioning Infrastructures and a Pedometer," Proc. of 7th IEEE Intl. Symp. on Wearable Computers (ISWC), pp.110-117, 2003.
- [3] A. Nurminen, A. Oulasvirta, Designing interactions for navigation in 3D mobile maps, In L. Meng, A. Zipf, S. Winter (Eds.), "Map-based Mobile Services: Design, Interaction and Usability," Springer, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, pp.198-224, 2008.
- [4] B. Schwerdtfeger, R. Reif, W. A. Günthner, G. Klinker, D. Hamacher, L. Schega, I. Böckelmann, F. Doil, J. Tümler, "Pick-by-Vision: A First Stress Test," Proc. of the 8th IEEE/ACM Intl. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), pp.115-124, 2009.
- [5] B. Schwerdtfeger, G. Klinker, "Supporting order picking with Augmented Reality," Proc. of the 7th IEEE/ACM Intl. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), pp.91-94, 2008.
- [6] J. Tümler, R. Mecke, M. Schenk, A. Huckauf, F. Doil, G. Paulk, E. A. Pfister, I. Böckelmann, A. Roggentin, "Mobile Augmented Reality in Industrial Applications: Approaches for Solution of User-Related Issues," Proc. of the 7th IEEE/ACM Intl. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), pp.87-90, 2008.
- [7] S. J. Henderson, S. Feiner, "Evaluating the Benefits of Augmented Reality for Task Localization in Maintenance of an Armored Personnel Carrier Turret," Proc. of the 8th IEEE/ACM Intl. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), pp.135-144, 2009.
- [8] Y. Kameda, T. Takemasa, Y. Ohta, "Outdoor See-Through Vision Utilizing Surveillance Cameras," Proc. of the 3rd IEEE/ACM Intl. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), pp.151-160, 2004.
- [9] P. Barnum, Y. Sheikh, A. Datta, T. Kanade, "Dynamic Seethroughs: Synthesizing Hidden Views of Moving Objects," Proc. of the 8th IEEE/ACM Intl. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), pp.111-114, 2009.
- [10] B. Avery, B. H. Thomas, W. Piekarski, "User Evaluation of See-Through Vision for Mobile Outdoor Augmented Reality," Proc. of the 7th IEEE/ACM Intl. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), pp.69-72, 2008.
- [11] J. E. Swan II, J. L. Gabbard, "Survey of User-Based Experimentation in Augmented Reality," Proc. of 1st Intl. Conf. on Virtual Reality, pp.1-9, 2005.
- [12] T. Tsuda, H. Yamamoto, Y. Kameda, Y. Ohta, "Visualization methods for outdoor see-through vision,"

- Proc. of the intl. conf. on Augmented tele-existence (ICAT), pp.62-69, 2005.
- [13] M. A. Livingston, Z. Ai, "The Effect of Registration Error on Tracking Distant Augmented Objects," Proc. of the 7th IEEE/ACM Intl. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), pp.77-86, 2008.
- [14] R. Stoakley, M. J. Conway, R. Pausch, "Virtual Reality on a WIM: Interactive Worlds in Miniature," Proc. of the ACM CHI'95, pp.265-272, 1995.
- [15] T. Höllerer, S. Feiner, D. Hallaway, B. Bell, M. Lanzagorta, D. Brown, S. Julier, Y. Baillet, L. Rosenblum, "User interface management techniques for collaborative mobile augmented reality," COMPUTERS AND GRAPHICS, 25(5): pp799-810, 2001.
- [16] S. Nilsson, B. Johansson, A. Jonsson, "Using AR to support cross-organisational collaboration in dynamic tasks," Proc. of the 8th IEEE Intl. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), pp.3-12, 2009.
- [17] C. A. Wingrave, Y. Haciahmetoglu, D. A. Bowman, "Overcoming World in Miniature Limitations by a Scaled and Scrolling WIM," Proc. of the IEEE Symp. on 3D User Interfaces (3DUI), pp.11-16, 2006.
- [18] N. Cornelis, B. Leibe, K. Cornelis, L. V. Gool, "3D Urban Scene Modeling Integrating Recognition and Reconstruction," Intl. Journal of Computer Vision, 78(2-3): pp.121-141, 2008.
- [19] M. Carlberg, J. Andrews, P. Gao, A. Zakhor, "Fast Surface Reconstruction and Segmentation with Ground-Based and Airborne LIDAR Range Data," Proc. of the 4th Intl. Symp. on 3D Data Processing, Visualization and Transmission (3DPVT), pp.97-104, 2008.
- [20] A. Nurminen, "Mobile, hardware-accelerated urban 3D maps in 3G networks," Proc. of the 12th Intl. Conf. on 3D web technology (Web3D), pp.7-16, 2007.
- [21] D. H. Warren, T. E. Scott, "Map alignment in traveling multisegment routes," Environment and Behaviour, 25(5), pp.643-666, 1993.
- [22] R. P. Darken, J. L. Sibert, "Navigating large virtual spaces," Intl. Journal of Human-Computer Interaction, 8, pp.49-71.
- [23] D. Kirsh, P. Maglio, "On distinguishing epistemic from pragmatic action," Cognitive Science, 18, pp.513-549.
- [24] H. Hile R. Grzeszczuk, A. Liu, R. Vedantham, J. Košecka, G. Borriello, "Landmark-Based Pedestrian Navigation with Enhanced Spatial Reasoning," Proc. of the 7th Intl. Conf. on Pervasive Computing, pp.59-76, 2009.
- [25] J. Müller, M. Jentsch, C. Kray, A. Krüger, "Exploring factors that influence the combined use of mobile devices and public displays for pedestrian navigation," Proc. of the 5th Nordic Conf. on Human-computer interaction: building bridges, pp.308-317, 2008.
- [26] Y. Miyazaki, T. Kamiya, "Pedestrian Navigation System for Mobile Phones Using Panoramic Landscape Images," Proc. of the Intl. Symp. on Application on Internet, pp.102-108, 2006.
- [27] J. Baus, K. Cheverst, C. Kray, "A Survey of Map-based Mobile Guides," In L. Meng and A. Zipf and T. Reichenbacher (eds.): "Map-based Mobile Services". Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp.197-216, 2005.
- [28] K. Fujita, K. Takashima, T. Tsukitani, Y. Itoh, Y. Kitamura, F. Kishino, "Anchored Navigation: Coupling Panning Operation with Zooming and Tilting Based on the Anchor," Proc. of Graphics Interface, pp. 233-240, 2010.
- [29] S. Werner, B. Krieg-Brückner, H. A. Mallot, K. Schweizer, C. Freska, "Spatial Cognition: The Role of Landmark, Route, and Survey Knowledge in Human and Robot Navigation," Informatik aktuell, Springer, Berlin pp.41-50, 1997.
- [30] 大隈, 興侶, 七田, 蔵田, "科学ミュージアムガイドにおける三次元地図提示のための仮想視点制御と体験誘導コンテンツ提示の効果," 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 14(2): pp.213-221, 2009.
- [31] C. Sandor, A. Cunningham, A. Dey, V. V. Mattila, "An Augmented Reality X-Ray System Based on Visual Saliency," Proc. of the 9th IEEE/ACM Intl. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 10 pages, 2010.
- [32] 天目, 神原, 横矢, "ウェアラブル拡張現実感システムのための注目オブジェクトへの直感的な注釈提示手法", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 10(3): pp.305-312, 2005.
- [33] C. Sandor, A. Cunningham, U. Eck, D. Urquhart, G. Jarvis, A. Dey, S. Barbier, M. R. Marner, S. Rhee, "Egocentric Space-Distorting Visualizations for Rapid Environment Exploration in Mobile Mixed Reality," Proc. of the IEEE Conf. Virtual Reality (IEEE VR), pp.47-50, 2010.

(2010年12月13日受付)

[著者紹介]

林 将之 (学生会員)



2010年筑波大学大学院システム情報工学研究科修了。現在、筑波大学大学院システム情報工学研究科博士後期課程に在籍。日本学術振興会特別研究員(DC2)。屋外環境における複合現実感に関する研究に従事。修士(工学)。

北原 格 (正会員)



1996年筑波大学大学院理工学研究科了。同年シャープ(株)入社。2000年筑波大学先端学際領域研究センタ助手。2003年ATR専任研究員。2005年筑波大学大学院システム情報工学研究科講師。2008年同准教授。コンピュータビジョン、複合現実感の研究に従事。2001年電子情報通信学会学術奨励賞。2003年IEEE VR2003 Honorable Mention Award。2009年度本会論文賞受賞。博士(工学)。

亀田 能成 (正会員)



平3京大・工・情報卒。平8同大大学院博士後期課程認定退学。同年同大学助手。平13-14米国MIT客員研究員(併任)。平15筑波大学講師。平16同大学大学院助教授、現准教授。博士(工学)。複合現実感や知的画像処理、マルチメディア処理等の研究に従事。バーチャルリアリティ学会、電子情報通信学会シニア会員、情報処理学会、画像電子学会、IEEE会員。

大田 友一 (正会員)



1977年京都大学大学院博士課程了。京都大学情報工学科助手、筑波大学電子・情報工学系講師、同助教授を経て、1992年同教授。2004年同大学院システム情報工学研究科教授。視覚情報メディア、複合現実感の研究に従事。パターン認識国際連盟フェロー、電子情報通信学会フェロー、情報処理学会フェロー。工学博士。