

地上と地下街を含むパノラマビューでの 階層関係把握手法の評価

安部 陽平^{1,a)} 新井 イスマイル² 西尾 信彦³

受付日 2011年6月26日, 採録日 2012年1月13日

概要: 階層のある場所においてユーザに階層どうしの位置関係を容易に把握させることを目的とし, 各階層のパノラマ写真をシステムが保持していることを前提として, その異なる階層のパノラマビューを容易に切り替えて閲覧可能とする Worm Hole View を提案する. この提案インタフェースは, パノラマビューウインドウ内で2つの階層を同時に自由な割合で切り替えて見ることができる. また, 階層間をつなぐ施設 (階段, エスカレータ, エレベータなど) どうしを結び付けるため, その場所にアイコン (階段など) を表示して対応関係を示す. これにより, ユーザは異なる階層の情報を得ながら, 階層間をつなぐ施設とその対応について容易に認識できるため, 階層間の位置関係を理解することができる. この提案手法を評価実験で比較した結果, ユーザに階層間の位置関係を容易に把握させることができることが分かった.

キーワード: パノラマビュー, ウォークスルー, ヒューマンインタフェース, 地下街

Evaluation of a Presentation Method of Multilevel Urban Structures Using Panorama Views

YOHEI ABE^{1,a)} ISMAIL ARAI² NOBUHIKO NISHIO³

Received: June 26, 2011, Accepted: January 13, 2012

Abstract: In the place with the multilevel structures, our purpose is to make users easily understand the position between the hierarchical levels. Therefore, we propose Worm Hole View that easily switches the panorama view of the different floor layer on the assumption that the system has whole panorama shots of each level. The proposed interface enables users to see flexible multilevel panoramic views in a window, freely changing the visible ratio between a ground view and an underground view of the same place. Moreover, it effectively shows the icons which represent architectures like stairs or elevators that physically connect between the adjacent levels. Such icons can help users easily recognize the places from which to which they connect between levels. The easiness in understanding the positions between levels is clarified by conducting the assessment experiment comparing our method and others.

Keywords: panorama view, walk-through, human interface, underground city

1. はじめに

近年, 都市部を中心に地下街が発達し, また高層建築物が増加してきており, それにとまって階層的な構造を持つ, 複雑に入り組んだ場所が増えてきている. このような場所は, 訪れたことがない人に限らず, 何回か訪れたことがある人にとっても, その場所がどのような階層構造になっているかを理解することは困難である. その場所の階層構造を地図を用いて理解する場合, 一般的には異なる階

¹ 立命館大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan
University, Kusatsu, Shiga 525–8577, Japan

² 明石工業高等専門学校電気情報工学科
Department of Electrical and Computer Engineering, Akashi
National College of Technology, Akashi, Hyogo 674–8501,
Japan

³ 立命館大学情報理工学部
Department of Computer Science and Engineering,
Ritsumeikan University, Kusatsu, Shiga 525–8577, Japan

a) abebe@ubi.cs.ritsumeikan.ac.jp

層（本論文において、階層構造を構成するそれぞれの階を階層と称する）の地図どうしを見比べて対応関係を把握する。しかし、この地図どうしを見比べる作業は、ある建築物のフロアマップのようにほぼ同様のレイアウト・規模のものであれば理解しやすいが、地上の地図とその地下に広がる地下街の地図のようにレイアウト・規模が同様でない場合は理解することは困難である。そこで、本研究では、階層構造のある場所においてユーザに階層間の位置関係を容易に把握させることを目的とし、各階層のパノラマ写真をシステムが保持していることを前提として、その異なる階層のパノラマビューを容易に切り替えて閲覧可能とする Worm Hole View を提案する。この提案インタフェースは、パノラマビューウィンドウ内で2つの階層を同時に自由な割合で切り替えて見ることができる。これにより、ユーザはその割合に応じて、異なる2つの階層の映像を同時に見ることができる。また、物理的な移動により2つの空間を横切ることができる階層間をつなぐ施設（階段、エスカレータ、エレベータなど）にアイコン（階段など）を表示して対応関係を示す。これにより、ユーザは階層間をつなぐ施設とその対応を容易に認識できるため、階層をまたがっても位置関係を見失わず移動することができる。本論文では、2章で関連研究を述べ、3章で提案する Worm Hole View の概要を述べる。4章で評価実験の方法、結果、考察について述べ、最後に5章で本論文をまとめる。

2. 関連研究

複数の地図を見やすくする研究として、中村 [1] は Google maps^{*1} や Mapion^{*2} などの地図をベースとし、フロアマップや駅構内図などの他の地図や情報をシームレスに連携できるようにリンクさせている。これにより、複数の地図を見比べやすくなったが、地図どうしをつなぐ施設と位置関係については提示されておらず、ユーザがそれらを容易に認識することは困難である。

また、遮蔽物によって見えない死角領域の視覚化を行う研究は数多くなされている。ワイヤフレームを重畳することで建築物の構造を提示する Webster らのシステム [2] や、X 線画像を重畳表示することにより物体の内部を提示する Navab らのシステム [3] などがあげられる。こうした直接見ることのできない死角領域の透視は、仮想環境においても有用である。壁を半透明にすることでその壁に遮蔽されていた部分を透視できる機能が、仮想環境のナビゲーションにおいて役立つことが示されている [4]。津田ら [5] は、死角領域の透視表示手法を6種類あげ、実際にどのような表示方法がユーザにとって直感的に理解しやすいかを検討している。しかし、このような研究は本研究において階層間の遮蔽物（天井）を透視するという点においては類似し

ているが、遮蔽物の向こう側の映像を矛盾なく合成するためには大量の地点・角度における写真を撮影する必要がある。その撮影コストは街レベルのナビゲーションにおいては非現実的である。

全方位カメラにより撮影されたパノラマ写真を用いてウォークスルーを行う研究として、Ishiguro ら [6] は ODVS と呼ばれる全方位視覚センサを用いて撮影されたパノラマ写真と位置情報から、移動に沿ってユーザに画像を滑らかに提示する3つのモデリング手法を提案し、それぞれ精度やコストの比較を行っている。冨手ら [7] は、パノラマ写真とセンサ位置から任意視点の全方位画像を生成し、平面透視投影画像に変換してユーザに提示する。これらの研究は、パノラマ写真から変換した画像を用いて、あたかも滑らかに歩いているようにユーザに見せることができるが、遮蔽物があった場合において提示される画像は、カメラの撮影範囲内でその遮蔽物を迂回するように画像を提示しなければならず、遮蔽物の向こうがどのような位置関係であるかを把握することは容易ではない。

3. パノラマビューの階層的視覚化の提案

本研究は提案手法を用いることで階層どうしの位置関係把握を容易にすることと、仮想世界における視点位置の移動を容易にすることの2つを目的としており、本論文では、まず前者の目的を達成することに着目している。

複数の地図を見やすくする既存研究では、2次元地図がベースとなっており、直感性に欠けるという問題がある。そこで、まず本研究では、ユーザに直感的に情報を与える方法として、Google Street View^{*3} などに利用されているパノラマビューを用いる。パノラマビューは全方位カメラによって撮影されたパノラマ写真を、3次元空間に形成された球の内面に貼り付け、球の中心からそのパノラマ写真を見ることで実現されており、実際にその場所にいるかのようなビューを提供できる。

このパノラマビューを用いた研究として、我々はすでに Gooraffiti [8] を提案している。Gooraffiti はパノラマ写真の撮影箇所付近の店舗や場所に関するコンテンツへリンクさせるアイコンを、パノラマ写真に重畳表示している（図1）。我々のビューアは Google とは別に独自に開発しており、任意のパノラマ写真を利用することができる。図1は我々のビューアで Google Street View のパノラマ写真を利用した例であるが、図2のように我々が撮影した大阪・梅田周辺地下街のパノラマ写真を利用することもできる [9]。我々は、関連研究で述べたようなシースルービジョンの研究とは異なり、あらかじめ複数のカメラを設置したり、正確なカメラの角度を計算したりせず、全方位カ

*1 <http://maps.google.co.jp/>

*2 <http://www.mapion.co.jp/>

*3 <http://maps.google.com/intl/ja/help/maps/streetview/>



図 1 Gooraffiti
Fig. 1 Gooraffiti.

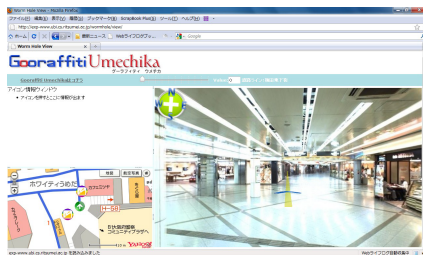


図 2 Gooraffiti Umechika
Fig. 2 Gooraffiti Umechika.

メラ（6台のカメラを内蔵）を取り付けた台車を用いてパノラマ写真の巡回撮影を行っている [9]。この全方位カメラは6台のカメラが1ユニットになっており、各カメラの方位の同期の手間なく移動式の台車を停めた後の1度の撮影で周囲360度を撮影できる。シースルービジョンなどの関連研究がなされている時期と比べハードウェアおよびソフトウェアの機能が向上しているため撮影コストが低くなっている。さらに、すでに撮影済みの Google Street View の地上パノラマ写真と、我々が撮影した地下街パノラマ写真を組み合わせることにより、本研究にあたっては新規の撮影なしにシースルービジョンの実現が可能である。

しかし一方で、階層性のある場所で階層どうしを見比べて読み取り、理解しなければならない。その問題を解決するために、本研究では階層の異なるパノラマビューを容易に切り替えて閲覧可能とする Worm Hole View を提案する。提案手法の概要を図 3 に示す。

実装方法としては、このパノラマビューの球を内包する別の階層のパノラマビューの球をもう1つ形成し、内包された球に貼り付けられているパノラマ写真（地下）を指定された部分だけ透過させることにより、外側の球に貼り付けられたパノラマ写真（地上）が見えるようにして、階層構造を擬似的に表現する。地下のパノラマ写真の天頂からどの程度を透過させるかはユーザがスライダを用いて指定でき、スライダを右に動かすほど地上のパノラマビューが足元まで降りてくるようになる。すなわち、スライダを左端から右端まで動かすと、完全に地下だけのパノラマビューから完全に地上だけのパノラマビューへと切り替わる。このとき、pitch すなわち仰角を調整することで、見上げているか、見下ろしているかの見え方が決まる。スライダをど

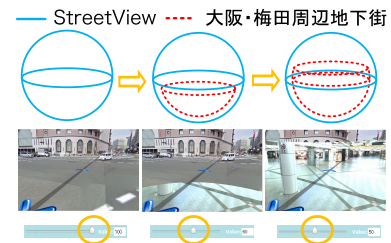
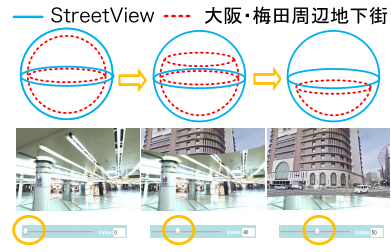
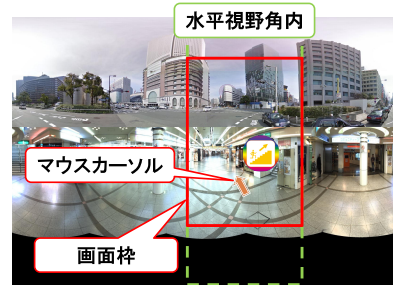


図 3 提案手法による階層表現

Fig. 3 Proposed multilevel panorama view.



マウスオーバ前



マウスオーバ後

図 4 視野角内につながりがある場合

Fig. 4 The case both ends are visible.

ちらか端まで操作したとき、地上の撮影地点に沿って移動して最近傍の地下のパノラマ写真を表示する地上モードと、地下の撮影地点に沿って移動して最近傍の地上のパノラマ写真を表示する地下モードの、2つのモードを自動で切り替える。最近傍の撮影地点の緯度・経度の求め方は、地上モードでは地下の撮影地点の緯度・経度を PostgreSQL の幾何データ型として円範囲で指定して検索する。地下モードでは Google が公開している API を利用することで最近傍のパノラマ写真の緯度・経度を得ている。

また、階層間をつなぐ施設にアイコンを表示し、アイコンにマウスオーバすると、もう一方の階層の対応する場所に対となるアイコンを表示する（図 4）。この対となるアイコンとは、たとえば上の階層に通じる階段の場合、下の

階層から階段に入る入口アイコンの対として、階段から上の階層に出る出口アイコンに相当する。このような入口と出口の関係に対と表現する。対となるアイコンが水平視野角内に存在しない場合、画面の上部の端に矢印を表示し、その方向にビューを向けると対となるアイコンが存在することをユーザに提示する (図 5)。Google Street View と Gooraffiti のパノラマ写真を撮影した緯度・経度は厳密には一致しないが、階層のつながりを示すアイコンを提示することによってユーザは階層間をつなぐ施設とその対応についての確に認識することができる。詳細情報はパノラマ



図 5 視野角内につながりがない場合
Fig. 5 The case the odd end is not visible.

ビューを用いて、また周辺の大局的な情報は 2 次元地図を用いることを想定した提案手法のインタフェースを図 6 に示す。

地上と地下それぞれのパノラマ写真を持つパノラマ情報を表 1 に、階層間をつなぐ施設に表示するアイコンを持つアイコン情報を表 2 に示す。パノラマ写真撮影地点の座標は緯度・経度で記録されており、実装したパノラマビューの球の中心を示す。アイコンにも緯度・経度と高さによる座標が与えられているため、パノラマ写真撮影地点との相対的な方位と距離、そして仰角を求めることで描画できる。このときのアイコンの高さについては、パノラマ写真の大まかな水平線に合わせて 0 としている。1 つの階層間をつなぐ施設に対し、地上と地下それぞれのパノラマ写真に合わせて 2 つのアイコンの座標を計算し、描画している。地上のアイコンは地上のパノラマ写真上のみ、そして地下のアイコンは地下のパノラマ写真上のみに表示することで、モード切替えにともない球の中心となる緯度・経度がずれても、正しい位置にアイコンを描画できる。



図 6 提案手法のインタフェース
Fig. 6 The proposed interface.

表 1 パノラマ情報の詳細

Table 1 The details of a panoramic information.

名称	型	詳細
panoId	text	パノラマ写真の識別子
latlng	geometory point	パノラマ写真撮影地点の緯度・経度
yawdeg	float	パノラマ写真撮影方位 (0~360, 0:北)
link_panoId	text	隣接する panoId

表 2 DB のアイコン情報の詳細

Table 2 The details of a icon information in DB.

名称	型	詳細
id	int	DB 内の識別子
content_type	int	階層間をつなぐ施設の種類 (「0:上り階段」など)
latlng	geometory point	階層間をつなぐ施設の緯度・経度
height	double	アイコンを表示する高さ
title	text	階層間をつなぐ施設の名称と識別子
comment	text	階層間をつなぐ施設の名称
user_id	int	コンテンツ作成者の識別子
created_at	date	コンテンツ作成時刻

パノラマ写真を撮影したときの北からの方位角を $yawdeg$, 球の中心からアイコンへの水平方向を yaw とすると, 北からアイコンまでの方位角 $theta$ は

$$theta = ((90.82 + yawdeg) - yaw + 360) \div 360 \quad (1)$$

として求めることができる. Google Street View と大阪・梅田周辺地下街のパノラマビューが同様の表示方法となるように, 大阪・梅田周辺地下街のパノラマビューのパノラマ写真の解像度とオフセット処理を Google Street View に合わせている. 式 (1) で $yawdeg$ に加算しているオフセットは正面の方位を示しており, 本来は 90 であるが, Google Street View のパノラマ写真の仕様上, 正面方位のオフセットが 90.82 となっている. 球の中心からアイコンまでの緯度・経度から求まる距離を $distance$, 水平線からアイコンに対する仰角を $pitch$ とすると, アイコンの座標 $[x, y, z]$ は

$$\begin{aligned} [x, y, z] = & [-distance \times \sin(theta) \times \cos(pitch), \\ & distance \times \sin(pitch), \\ & -distance \times \cos(theta) \times \cos(pitch)] \quad (2) \end{aligned}$$

として求めることができる.

また, 経験的に 25 m 以上離れたアイコンは, 遮蔽物の向こうに位置することが多く, 表示に適さなかった. そのため, アイコンを表示する範囲は 25 m とし, アイコンが球内に十分収まるように球の半径を設定した.

4. 評価実験

本提案の有効性を従来 2 手法との比較によって評価した. 従来 2 手法の詳細は以下のとおりである.

従来手法 1 2次元地図

一般的によく使用される 2 次元地図として, Google maps と Yahoo! ロコ*4 があげられる. Google maps は地上の詳細な地図を持ち, Yahoo! ロコは大阪・梅田周辺地下街の詳細な地図を持つため, これらを併用する.

従来手法 2 パノラマビュー

前章に述べたように Gooraffiti はアイコンによりさまざまな情報を得ることができ, 地上版と地下街版ともに閲覧することができるため, これらを併用する.

4.1 実験環境

3D レンダリング速度は PC の性能に依存する. そのため, 本実験ではすべての被験者に同一 PC を利用してもらった. ノート PC (lenovo 社の ThinkPadX200, CPU: Core 2 Duo P8800 2.66 GHz, メモリ: 3 GB, OS: Windows7 (32 bit), 解像度: 1,280 × 800) で評価実験を行った. また, ブラウザは FireFox (バージョン 3.6.12) とし, “Yahoo! 地図”, “Google maps”, “地上版 Gooraffiti”, “地下街版

Gooraffiti”, “Worm Hole View” の各々をタブで開いた状態で実験を行った.

4.2 被験者

被験者は大学生 22 人 (20 代 22 人), 教職員・事務員 6 人 (30 代 3 人, 40 代 3 人) の 28 人で, 男性 21 人女性 7 人である.

4.3 実験手順

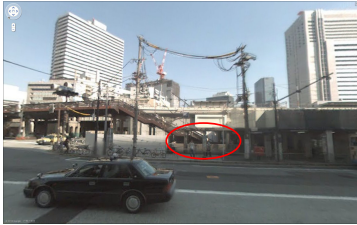
実験対象の大阪・梅田周辺の理解度によって, タスクの正答率・完了時間に差があると考えられるため, まず実験前に各被験者に大阪・梅田周辺の理解度について 5 段階評価してもらい, さらに大阪・梅田周辺のおよその訪問回数を回答してもらった. また, 記憶によって問題を回答できるほど大阪・梅田周辺に詳しい被験者が提案手法や比較手法をほとんど操作せずに問題に回答している場合は, 評価結果から除外するものとする. なお, 4.4.4 項での結果のとおり, 除外対象の被験者はいなかった. そして, 被験者に 3 つの手法ごとにタスクを行ってもらう前に, インタフェースの操作に慣れてもらうため, 被験者に操作方法を説明して被験者が満足するまで練習してもらった.

次に, タスクを行ってもらった. 同じ被験者が 1 度回答した問題を再度回答することがないものとし, 被験者ごとに問題の出題順序と回答に使用する手法の順序も変更した. タスクは地上タスク (問題番号: 1 番, 2 番, 3 番) と地下タスク (問題番号: 4 番, 5 番, 6 番) の 2 種類を用意し, 3 つの手法ごとに地上タスクと地下タスクをそれぞれ 1 つずつの計 6 つを, 地上タスク, 地下タスクの順に回答してもらった. 地上タスクとして, まず各手法ごとに Google Street View のある撮影地点から見える階段の画像と, 同一地点から見えるランドマークの画像 2 つの計 3 つの画像をそれぞれ提示した (図 7). 画像内の円は, 階段の場所またはランドマークとなる建物を表示している. 問題は, その地点から見える階段を下りた場所がどのような風景なのかを答えるというものである. その後, 被験者は問題となる場所を探索し, 与えられたランダムに選ばれた不正解画像 9 個と正解画像 1 個の計 10 個の回答選択肢の階段画像を見て, その画像の記号を 1 つ回答する. 地下タスクの場合も同様に, 各手法ごとに地下街版 Gooraffiti のある撮影地点から見える 3 つの画像 (階段も含む) を被験者に提示し, 被験者は階段を上った場所の景色を 10 個の画像から 1 つ回答する. 1 つのタスクにおける制限時間は 10 分とし, 分からない場合は被験者は勘で回答することなく投了してもらうものとする. 実際に用いられた回答選択肢の画像群を図 8 に, 実験問題の出題範囲を図 9 に示す. 回答選択肢の画像内の円は, 階段の場所を表示している. タスクはできるだけ速く行うことを求め, 各手法ごとのタスクの正答率および完了時間を計測した. また, すべてのタスクにお

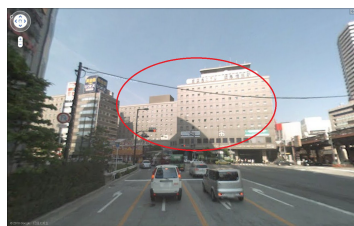
*4 <http://loco.yahoo.co.jp/>



ヨドバシカメラ



問題となる階段



新阪急ホテル

図 7 問題例

Fig. 7 Sample question.

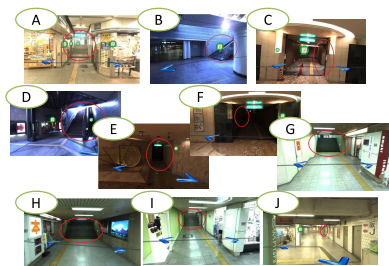


図 8 回答用の選択肢

Fig. 8 Choices for answer.

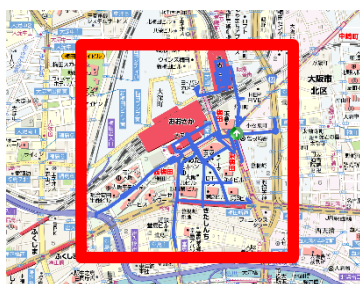
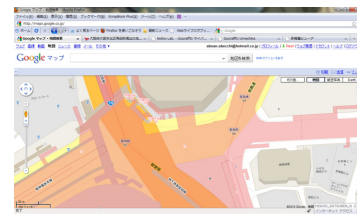


図 9 実験問題の出題範囲

Fig. 9 Operational area of the experiment.

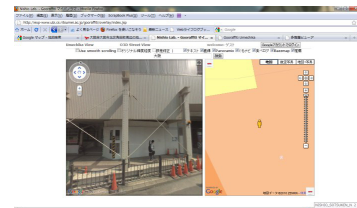
いて、タスク開始時は縮尺をすべて最大ズームとし、ズームした画面の中心を、Google maps と Gooraffiti 地上版では“阪急百貨店大阪うめだ本店”の南側にある道路付近に、Yahoo!ロコと Gooraffiti 地下街版、提案手法では“阪急百貨店大阪うめだ本店”の南側にある道路下の地下街付近に



Google maps



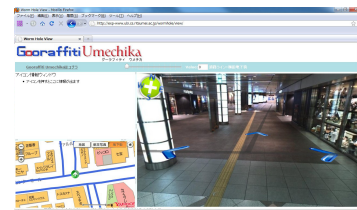
Yahoo!ロコ



地上版 Gooraffiti



地下街版 Gooraffiti



提案手法

図 10 タスク開始画面

Fig. 10 Start point of the tasks.

なるように設定した (図 10)。これらはブラウザのブックマークを読み出すことで初期描画される。なお、提案手法は地下タスク、地上タスクどちらを開始するときも初期描画が地下になり、地上タスク開始時には、まず地下モードへの切替えが必要となるが、この切替えはスライダを操作するだけででき、また被験者は事前に十分練習できているため実験には影響しないと考えた。初期位置として“阪急百貨店大阪うめだ本店”を選んだ理由は、それ自体が大阪・梅田周辺において有名なランドマークであり、問題とした 3つのランドマークとの距離が 500m 以内と離れすぎないためである。

すべてのタスクが終了した後に、主観的な評価を行うた

め、以下の質問に対しての評価と自由記述によるアンケートを行った。質問1と質問2は“Yes”か“No”の2択を、質問3と質問4は(ア)提案手法と(イ)2次元地図と(ウ)パノラマビューの3つを並べ替えた記号列を回答してもらった。

質問1 提案手法において、スライダを触って階層間の境界線を動かしたか

質問2 提案手法において、階層間をつなぐ施設(階段、エレベータなど)に表示していたアイコンを利用したか

質問3 自分の今いる階層がどこであり、その上または下の階層がどのようなか把握しやすかった順に提案手法と従来手法の計3つをすべて並べ替えよ

質問4 現在いる階層と、違う階層の位置との結びつき(階層間をつなぐ施設)を把握しやすかった順に提案手法と従来手法の計3つをすべて並べ替えよ

質問1, 質問2は被験者が提案手法のアプローチを用いているかどうかを確認する。質問3, 質問4は本研究の要件において提案手法が比較手法より有効であるかどうかを確認する。

4.4 実験結果と考察

4.4.1 全被験者の正答率と正答者の平均タスク完了時間

図11, 図12に手法ごとの回答割合と正答者の平均タスク完了時間をそれぞれ示す。正答率は提案手法, パノラマビュー, 2次元地図でそれぞれ67.8%, 64.2%, 25.0%であり, 提案手法が最も高い結果となった。正答者の平均タスク完了時間はそれぞれ約288.7秒, 約370.9秒, 約312.6秒であり, これも提案手法が最も高い結果となった。

正答率において, Bartlett 検定により各群の分散が等

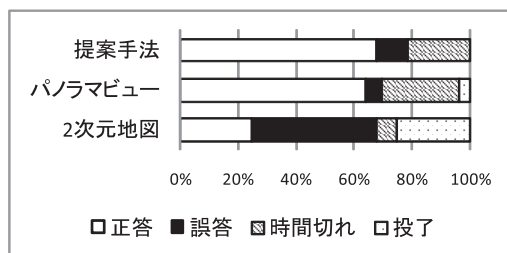


図11 手法ごとの回答割合

Fig. 11 The answer ratio of each method.

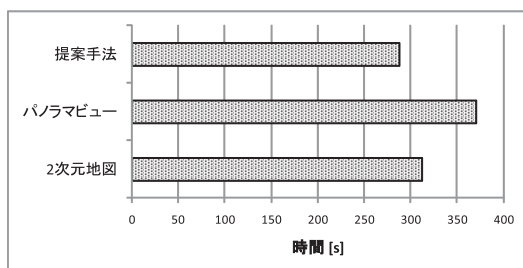


図12 手法ごとの正答者の平均タスク完了時間

Fig. 12 The average task completion time of each method.

しいことを確認したうえで, 手法を要因とした一要因分散分析により分析した結果, 手法の効果は有意であった ($F(2, 165) = 14.689, p < 0.05$). これについて多重比較検定 (Dunnnett 法) を用いた結果, 提案手法と2次元地図の間に有意差が確認された ($p < 0.05$) が, 提案手法とパノラマビューの間に有意差は確認できなかった。

正答者の平均タスク完了時間において, Bartlett 検定により各群の分散が等しいことを確認したうえで, 手法を要因とした一要因分散分析により分析した結果, 手法の効果は有意であった ($F(2, 85) = 3.947, p < 0.05$). これについて多重比較検定 (Dunnnett 法) を用いた結果, 提案手法と2次元地図の間に有意差は確認できなかったが, 提案手法とパノラマビューの間に有意差が確認された ($p < 0.05$).

これらのことから, 提案手法を含めパノラマビューを用いることは2次元地図を用いることよりも正答率を向上させることができ, またパノラマビューを用いる手法の中でも提案手法はタスクに要する時間が短くなるといえる。

4.4.2 タスクごとの分析

本項では地上タスクと地下タスクに細分化した結果の分析を行う。図13, 図14に地上タスクと地下タスクにおける手法ごとの回答割合と正答者の平均タスク完了時間を示す。正答率は提案手法, パノラマビュー, 2次元地図の地上タスクにおいてそれぞれ60.1%, 50%, 21.4%となり, 地下タスクにおいてそれぞれ75%, 78.6%, 28.6%となった。平均タスク完了時間は地上タスクにおいてそれぞれ310.8

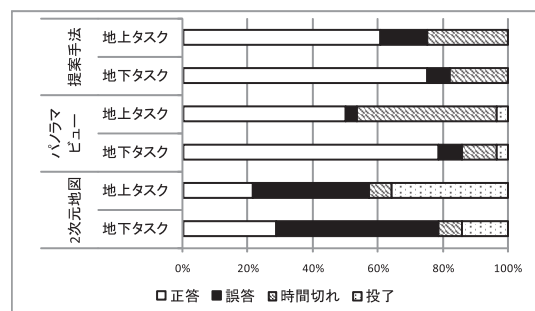


図13 手法・タスクごとの回答割合

Fig. 13 The answer ratio of each method/task.

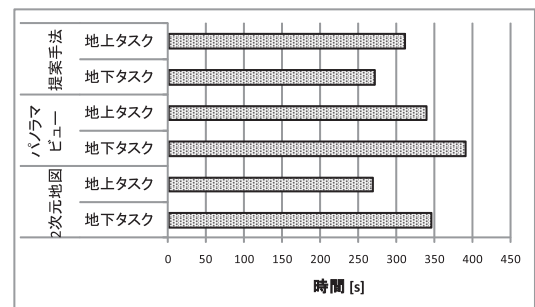


図14 手法・タスクごとの正答者の平均タスク完了時間

Fig. 14 The average task completion time of each method/task.

秒, 339.0 秒, 268.3 秒, 地下タスクにおいてそれぞれ 270.9 秒, 391.2 秒, 345.8 秒であった。

正答率において, Bartlett 検定により各群の分散が等しいことを確認したうえで, 手法を要因とした一要因分散分析により分析した結果, 手法の効果は地上タスク ($F(2, 81) = 5.085, p < 0.05$), 地下タスク ($F(2, 81) = 11.255, p < 0.05$) とともに有意であった. 両方のタスクについて多重比較検定 (Dunnnett 法) を用いた結果, 地上タスクにおいて提案手法と 2 次元地図の間に有意差が確認され ($p < 0.05$), 地下タスクにおいても提案手法と 2 次元地図の間に有意差が確認された ($p < 0.05$). 提案手法とパノラマビューの間には, 4.4.1 項と同様に地上タスク, 地下タスクともに有意差は確認できなかった.

正答者の平均タスク完了時間において, Bartlett 検定により各群の分散が等しいことを確認したうえで, 手法を要因とした一要因分散分析により分析した結果, 手法の効果は地上タスク ($F(2, 81) = 0.633, p > 0.05$) では有意ではなかったが, 地下タスク ($F(2, 81) = 5.063, p < 0.05$) では有意であった. 地下タスクについて多重比較検定 (Dunnnett 法) を用いた結果, 提案手法と 2 次元地図の間に有意差は確認できなかったが, 提案手法とパノラマビューとの間に有意差が確認された ($p < 0.05$).

正答者の平均タスク完了時間において, 提案手法とパノラマビューの間で地上タスクの有意差が確認できなかったのは, 提案手法の実装上の問題であるといえる. 地上の写真は Google Street View によって 10m 間隔で撮影が行われており, 地下の写真は我々が 5m 間隔で撮影を行っている. 提案手法において地上タスクを回答する場合, 大半の被験者は地上の道路に合わせて Google Street View 同様に 10m 間隔で移動する. その地上の緯度・経度に合わせて最近傍の地下の風景を自動で選ぶため, 地下の道路に合わせて移動しなければ見えない地下の場所が存在する. この場所に出題した問題の場所があてはまる場合, 回答に時間がかかってしまうものと考えられる. したがって, 今後は最近傍の場所だけにこだわらず, 柔軟に近傍の場所を表示する必要があると考えられる.

4.4.3 タスクの出題問題の分析

図 15 に問題別の正答率を示す. 問題別の正答率は, 1 番と 4 番以外の問題は提案手法がパノラマビューと 2 次元地図に比べて高かった. また, 2 番の問題は他の問題に比べてどの手法も正答率が最も低かった. 4 番の問題で, 提案手法がパノラマビューと比べて 40%以上正答率を落としていることについては, 問題となった場所の地上が一般道路と高速道路とで立体交差していることが原因であると考えられる. 提案手法の地上と地下の風景はそれぞれの緯度・経度の最近傍の場所を自動で選ぶため, 地下の場所の緯度・経度から最近傍の地上の場所の写真を選んだ際, 高速道路の風景が表示されてしまう場合がある. たとえば図 16,

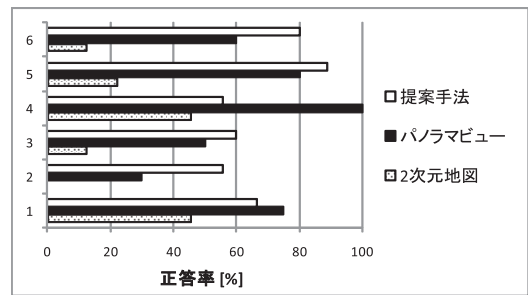


図 15 問題別の正答率

Fig. 15 The answer ratio of each question.

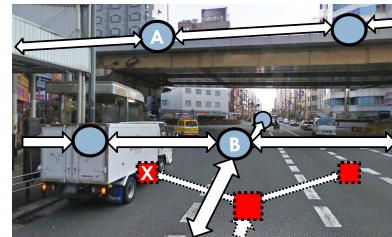


図 16 実際の立体交差点

Fig. 16 The grade separation.

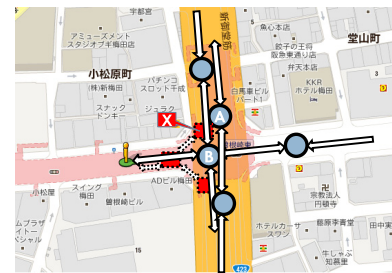


図 17 2次元地図で見た立体交差点

Fig. 17 The grade separation on the 2D map.

図 17 のような場所では, 地下撮影地点 X の最近傍として地上撮影地点 B のパノラマ写真を表示しなければならないが, 緯度・経度では高速道路上の撮影地点 A の方が近いので A のパノラマ写真が表示されてしまう. そのため, 4.4.2 項でも述べたように今後は最近傍の場所だけにこだわらず, 柔軟に近傍の場所を表示する必要があると考えられる. また, 2 番の問題が他の問題に比べて正答有意差率が低かった理由として, ランドマークとなる阪神百貨店の規模が地上と地下で同一でないことが起因していると思われる. 地上よりも地下街における阪神百貨店の敷地が大きいので, 地上で阪神百貨店前にある階段と認識して地下の階段を探してしまうと, 阪神百貨店の敷地に食い込んでいる正解の階段の場所に到達することが困難であると思われる.

4.4.4 大阪・梅田周辺の理解度ごとの分析

図 18, 図 19, 図 20 に大阪・梅田周辺の理解度, 理解度別における各手法ごとの回答割合と正答者の平均タスク完了時間を示す. 図 18 に示すとおり, 大阪・梅田周辺の理解度は「3. 普通」と答えた人が 12 人と 1 番多く, 次に

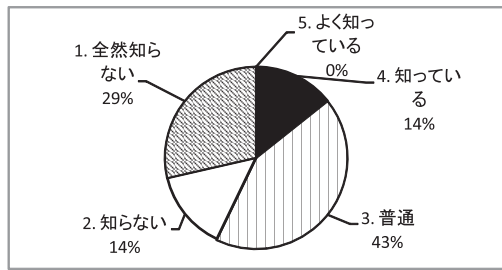


図 18 大阪・梅田周辺の理解度
Fig. 18 Familiarity of Osaka Umeda.

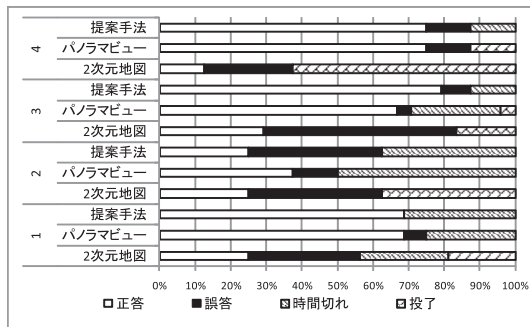


図 19 理解度別の回答割合
Fig. 19 The answer ratio of each familiarity.

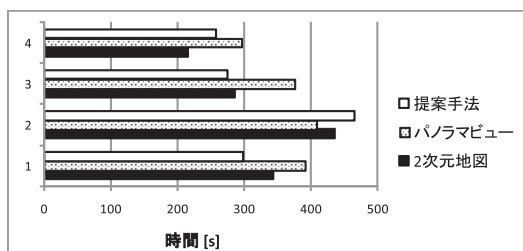


図 20 理解度別の正答者の平均タスク完了時間
Fig. 20 The average task completion time of each familiarity.

「1. 全然知らない」が8人、「2. 知らない」と「4. 知っている」が4人であり、「5. よく知っている」と回答した人は0人であった。また、実験中に被験者28人が提案手法または比較手法のインタフェースを操作しながら回答する様子が観測された。このことから、記憶によって回答することができる被験者は存在しないと判断した。図19に示すとおり、理解度別の正答率は理解度が3では提案手法がパノラマビューと2次元地図よりも高く、1, 4では提案手法が2次元地図よりも高かった。図20に示すとおり、理解度別の平均タスク完了時間は理解度が1, 3では提案手法がパノラマビューと2次元地図よりも短く、4では提案手法がパノラマビューよりも短かった。理解度1, 3, 4と大阪・梅田周辺の理解度が深まるにつれて正答率、平均タスク完了時間ともに良い結果となった。理解度2が理解度1より正答率、平均タスク完了時間ともに悪い結果となったのは単に理解度2の被験者の数が4人と少なく、結果が偏ってしまったものと考えられる。

表 3 質問3, 質問4によるアンケートの結果

Table 3 The result of questions 3, 4 in work sheet.

回答パターン	質問3	質問4
ア>イ>ウ	1人	9人
ア>ウ>イ	26人	17人
イ>ア>ウ	0人	0人
イ>ウ>ア	0人	1人
ウ>ア>イ	0人	1人
ウ>イ>ア	1人	0人

4.4.5 アンケートごとの分析

質問1では被験者28人のうち27人が「Yes」と回答し、全被験者の96%を占めた。また、質問2では被験者28人のうち22人が「Yes」と回答し、全被験者の79%を占めた。質問1と質問2の結果から、多くの被験者が提案手法のアプローチを用いて行っていることが分かった。質問1, 2ともに「Yes」と回答した22人のうち、提案手法を用いて地上タスクと地下タスクそれぞれ1問ずつの計2問の回答結果を見ると、22人全員が必ず1問は正答していた。残りの6人(質問1, 2ともに「No」と回答:1人, 質問2のみ「No」と回答:5人)のうち1問以上正解できたのは3人だった。また、質問1, 2ともに「No」と回答した被験者は2問とも不正解だった。したがって、スライダと階層間をつなぐ施設のアイコンの両方を活用することが望ましいことが分かった。

質問3, 質問4のアンケート結果を表3に示す。質問3, 質問4ともに提案手法>パノラマビュー>2次元地図という回答が最も多く、質問3では被験者28人のうち27人が、質問4では被験者28人のうち26人が提案手法が最も良いと回答した。質問3, 質問4のアンケート結果を数値化(1~3)し、提案手法と比較手法ごとにウィルコクソンの符号付き順位検定をしたところ、質問3では提案手法はパノラマビュー ($T = 27.5 < 116, \alpha = 0.05$), 2次元地図 ($T = 1.5 < 116, \alpha = 0.05$) との間にそれぞれ有意差が確認された。また、質問4でも提案手法はパノラマビュー ($T = 19.5 < 116, \alpha = 0.05$), 2次元地図 ($T = 20 < 116, \alpha = 0.05$) との間にそれぞれ有意差が確認された。これにより、ユーザの主観においては提案手法が最も上下の階層を把握しやすいインタフェースであることが確認できた。

年齢と性別に関してそれぞれ考察したところ、結果の差異を見出すことができなかった。今回の評価実験では、被験者は28人(20代:22人, 30代:3人, 40代:3人)となり、そのうち女性は7人(20代:4人, 30代:1人, 40代:2人)であったことから、年齢や性別による結果の差異を見出せるほどの被験者数ではなかったと考えられる。そのため、今後は年齢と性別も意識して被験者を集め、評価実験を行いたい。

また、階層ごとに厳密に同じ緯度・経度のパノラマビューを用意したり、天井などの遮蔽物を透過したときに見える

風景を正確な方向や角度での見え方を計算したりしなくても、およその方向と角度が合っていれば、ユーザにとって実利用上問題ないことが明らかになった。本提案インタフェースの実装は、異なる2地点で撮影されたパノラマ写真を同心球として扱っており、パノラマ写真の撮影位置および方位の記録が正確だったとしても、両パノラマ写真で同期できるのは方位のみとなる。高さは地上と地下で1階分のズレが均等に生じる。地下のパノラマ写真は本研究の目的に合わせて撮影したものではないため不均質に緯度・経度のズレが発生しており、問題として出題した階段に対し最近傍である場所においては最小で1.4m、最大で7.8m、平均4.2mとなっている。しかし、アンケートの自由記述には、このズレに関しての言及が1つもなかったことから、少なくともタスク遂行の障害にはならなかったといえる。これは、そもそも正解となる映像（地表が透けた映像）を被験者が知りえず、ズレを認識できなかったことが主な理由と考えられる。しかし、より大幅なズレが生じた場合には同様の結果が得られるとはいえないため、さまざまな種類の階層関係において、それぞれの程度のズレが許容されるかについて今後評価したい。また、上記のズレが許容できない階層関係の表現が必要な場合には、3次元モデルを構築することが今後の課題となる。

アンケートによる自由記述では、「(提案手法は)比較手法に比べて移動する時間が遅い」や「(画像の)ロードに時間がかかる」などの意見があったが、これは比較対象のパノラマビューと比べてパノラマ写真のテキストチャ画像の分割数が多く、Webサーバにアクセスする回数が多いため、その分のオーバーヘッドが発生しているものと思われる。そのため、テキストチャへのアクセス回数を減らしてパノラマビュー間の移動の処理時間を改善する必要があることが分かった。

また、「アイコンが(正しい階段の場所から)ずれていて分かりにくい」という意見があったが、これは今回我々が階層間をつなぐ施設に対して地下側の緯度・経度を保持し、対となる入口アイコンと出口アイコンの表示に同一の緯度・経度を用いてしまったことに起因する。たとえば地下から地上に出る階段では、直線的に真直ぐ上がる階段もあれば、螺旋状に曲がりながら上がる階段も存在し、対となるアイコンが同一の緯度・経度に存在するとは限らない。そのため、入口と出口の正しい位置にそれらのアイコンを表示する必要がある。

5. おわりに

本研究では、ユーザに階層どうしの位置関係を容易に把握させることができるインタフェースを提案した。被験者実験によってこれを評価した結果、正答率では2次元地図との間で有意差が確認され、平均タスク完了時間ではパノラマビューとの間に有意差が確認された。これらのことか

ら、提案手法の有効性を確認できた。

今後は、階層間をつなぐ施設を指し示すアイコン対のより正確な位置への修正やそれらのアイコンの効果的な見せ方、階段の入口と出口の方角が異なる場合の提示方法、3つ以上の複数の階層が存在する場所においても正しくユーザに階層どうしの位置関係を伝えられる方法、そしてパノラマビューとの組合せ方や2次元地図など他のビューとの連携方法を考慮し実現していく。また、Worm Hole Viewを、パノラマビューを用いたナビゲーションの機能として組み込んだり、水道管やガス管の場所を把握する都市空間の学習システムに用いたりするなど、応用例を見出していく。さらに、本研究のもう1つの目的である仮想世界における視点位置の移動を容易にするため、より効果的な移動方法とその見せ方について模索していく。そして、現状の実装では同時に表示する地上と地下のパノラマ写真の撮影地点にズレが生じているが、どの程度のズレが許容されるのかを調査するとともに、正確な3次元モデルの構築をふまえた実装についても検討したい。また、本論文では被験者として大学生以外にも採用し女性も4分の1含ませたが、特に年齢や性別による結果の違いを見出せなかったため、今後はより多くの幅広い被験者を集め実験を行いたい。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金若手(B)(23700093)の支援によるものである。また、本システムの実装にあたってフィールドを提供いただいた「地下街マップ検討協議会」に感謝いたします。

参考文献

- [1] 中村友一：複数地図サービスを用いた地図連携プラットフォームに関する研究，慶應義塾大学環境情報学部卒業論文(2005)。
- [2] Webster, A., Feiner, S., MacIntype, B., Massie, W. and Krueger, T.: Augmented reality in architectural construction, Inspection, and Renovation, *Proc. ASCE 3rd Congress on Computing in Civil Engineering*, pp.913-919 (1996)。
- [3] Navab, N., Bani-Hashemi, A. and Mitschke, M.: Merging Visible and Invisible: Two Camera-Augmented Mobile C-arm (CAMC) Applications, *IWAR1999*, pp.134-141 (1999)。
- [4] Zhai, S., Buxton, W. and Milgram, P.: The Partial Occlusion Effect: Utilizing Semi-transparency in 3D Human Computer Interaction, *ACM Trans. Computer-Human Interaction*, Vol.3, No.3, pp.254-284 (1999)。
- [5] 津田崇博, 山本治由, 亀田能成, 大田友一: 死角を透視表示する屋外型複合現実感システムにおける提示手法の比較検討, Technical report of IEICE, Multimedia and virtual environment, Vol.105, No.256, pp.41-47 (2005)。
- [6] Ishiguro, H., Ng, K.C., Capella, R. and Trivedi, M.M.: Omnidirectional image-based modeling: Three approaches to approximated plenoptic representations, *Machine Vision and Applications*, Vol.14, No.2, pp.94-102, DOI: 10.1007/s00138-002-0103-0 (2003)。
- [7] 冨手 要, 山澤一誠, 横矢直和: 複数の全方位画像を用いた広範囲な任意視点画像の生成, 電子情報通信学会技術研究報告 ITS, Vol.101, No.625, pp.65-70 (2002)。

- [8] 西尾信彦, 坂本憲昭, 新井イスマイル: Google Street View とマッシュアップした実世界指向 CMS, 情報処理学会インタラクティブ 2009 論文集, pp.77-78 (2009).
- [9] 新井イスマイル, 堀磨伊也, 河合紀彦, 安部陽平, 市川昌宏, 里中祐輔, 新田竜規, 新田知之, 藤井陽光, 向井政貴, 堀見宗一郎, 牧田孝嗣, 神原誠之, 西尾信彦, 横矢直和: 人が消える地下街パノラマビューアの開発, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2010) シンポジウム論文集, pp.1183-1189 (2010).



安部 陽平 (学生会員)

1987 年生. 2011 年立命館大学情報理工学部情報システム学科卒業. 同年立命館大学大学院理工学研究科情報理工学専攻計算機科学コース博士前期課程に進学. 現在に至る. 拡張現実, ユーザインタフェースに興味を持つ.



新井 イスマイル (正会員)

1980 年生. 2002 年明石工業高等専門学校専攻科機械・電子システム工学専攻卒業. 2008 年奈良先端科学技術大学院大学博士後期課程修了. 同年立命館大学総合理工学研究機構ポストドクトラルフェロー. 2011 年明石工業高等専門学校電気情報工学科助教. 現在に至る. 博士 (工学). コンテキストウェアサービス, センサフュージョン等ユビキタスコンピューティングの研究開発に従事. ACM 会員.



西尾 信彦 (正会員)

1962 年生. 1986 年東京大学工学部計数工学科数理工学コース卒業, 1988 年東京大学大学院理学系研究科情報科学専攻修士課程修了. 同博士課程単位取得退学後, 1992 年より (有) アクセス研究開発室, 1993 年より慶應義塾大学環境情報学部および政策・メディア研究科に勤務. 博士 (政策・メディア). 2003 年より立命館大学に勤務. 現在, 情報理工学部教授. 2000~2004 年 JST さきがけ研究 21 「協調と制御」領域研究者. 2007~2008 年 Google Inc. Visiting Scientist. 自律分散協調システム, ユビキタスコンピューティングとセンシングネットワークの研究開発に従事. 1994 年山下記念研究賞. ACM, IEEE 各会員.