

仮想俯瞰模型を用いた 3 次元空間の指示・共有システム

林 将之[†] 北原 格[‡] 亀田 能成[‡] 大田 友一[‡]

[†] [‡] 筑波大学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

E-mail: [†] mhayashi@image.iit.tsukuba.ac.jp [‡] {kitahara | kameda | ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

あらまし 広範囲の屋外空間における、モバイル端末を用いた複合現実型の、注目位置の指示・共有システムを提案する。注目場所を指差しやレーザーポインタ等で示す従来の方法では、注目場所や共有者が直接見通せない場所を指示できない問題がある。提案システムでは、ユーザの目前に周辺空間の CG モデルを提示し、そのモデル上で位置の指示と提示を行うことで、直接見通しの効かない場所の指示も可能とする。これを仮想俯瞰模型を利用した指示・共有システムと呼び、その実現のために慣性センサと画像処理による端末の姿勢推定法の検討を行った。また実際にシステムを実装し、簡単な注目位置共有実験を行った。

キーワード 複合現実感, 注目共有, 視野, ジャイロセンサ

Pointing and Sharing 3D Space by Using a Virtual Diorama for Outdoor Mixed Reality

Masayuki HAYASHI[†] Itaru KITAHARA[‡] Yoshinari KAMEDA[‡] and Yuichi OHTA[‡]

[†] [‡] Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573, Japan.

E-mail: [†] mhayashi@image.iit.tsukuba.ac.jp [‡] {kitahara | kameda | ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

Abstract We propose a new outdoor Mixed Reality (MR) system in which people can point a position and share it in 3D outdoor space, where they are surrounded by buildings. Pointing with a finger or with a laser pointer is commonly used to navigate the attention of co-workers to certain position in real 3D space. However, it cannot be available when he/she wants to point a place where the co-workers cannot see. We propose a new user interface called “virtual diorama” where both a pointing person and co-workers see a miniature 3D CG model of the real-space around them from arbitrary viewpoint, including bird’s-eye view. When the pointing person puts a visual icon on the surface of the virtual diorama, it is then also shown in the display of distant co-worker’s mobile computer. We have implemented a preliminary system by using a three-DOF inertial gyroscope and vision sensor to measure the orientation of mobile computer. The system has been evaluated in outdoor space.

Keyword mixed reality, attention sharing, viewing volume, gyroscope

1. はじめに

複合現実感において現実世界と仮想世界を融合した映像を提示するためには、頭部装着型ディスプレイ (Head Mounted Display: HMD) を用いるのが一般的である。しかし、装着時の物理的な負荷や視界の制限が大きいという問題から屋外の歩行者に対しては実用的ではない。そこで、携帯電話や PDA のようなモバイル端末を用いることで、歩行者が複合現実感を手軽に利用できるシステムが提案されてきた[1]。

本研究では、MR 型の情報提示が可能なモバイル情報端末を用いた MR アプリケーションとして、屋外にいるユーザ同士で周辺空間の 3 次元 CG モデル (これを仮想俯瞰模型と呼ぶ) を共有し、その中の特定位置を指示できるシステムを提案する。また、仮想俯瞰模型を MR インタフェースとして扱うときに発生する方

向感覚の喪失に対応できる操作法についても提案する。

本システムでは、ユーザが建物や目的地など、3 次元空間中のある場所に注目したいとき、その注目位置を仮想俯瞰模型上で指示することで、ネットワークを

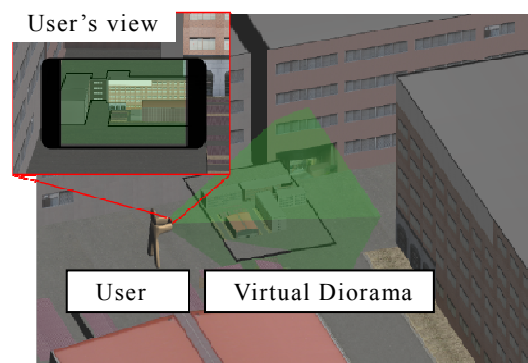


Fig.1 Concept of virtual diorama

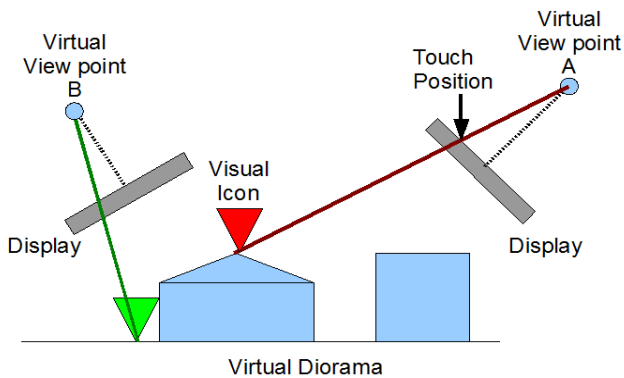


Fig.2 Pointing method on virtual diorama

通じて他のユーザとその指示位置情報を共有できる。

屋外での様々な共同作業において、複数の人間がある場所に対する注目を共有する必要性は高く、その作業は従来は指差しやレーザーポインタによって注目位置を指し示すことでなされてきた。しかし、これらの手法には全員が注目位置を直接見通すことができる場所にいないといけないという制約があり、特に広範囲な空間で作業をする場合には大きな制限となる。これに対し本システムでは、大規模 3 次元空間中で注目位置を共有でき、ユーザの位置からは見通すことができない場所でも指示・共有が可能である。

我々は、“仮想俯瞰模型”を用いたインタフェースを採用する。これは、ユーザの周辺の建物など、実空間を CG モデル化したものがユーザの目前に存在するかのよう提示するインタフェースである。

Fig.1 に示すように、ユーザが端末を通して前方を眺めると、仮想俯瞰模型である CG が表示され、端末を動かすことで俯瞰視点を含めた様々な視点から眺めることができる。この仮想俯瞰模型上で注目位置を入力・表示することで大規模な空間での位置情報の共有を行う。空間の CG モデルはあらかじめ作成しておいたものを用いる。

モバイル端末のディスプレイに表示された仮想俯瞰模型を、端末のキーボードやマウス操作によって移動・回転させた場合、現実空間に対するユーザの向きと、仮想空間中で仮想俯瞰模型を眺める視点の向きがずれる。このため、ユーザはどの方位から仮想俯瞰模型を眺めているのかといった方向感覚を喪失する恐れがある。この問題に対応するために、本システムでは、仮想俯瞰模型の方位を現実世界の方位と常に一致させるという手法を採用する。

これを実現するためには端末の姿勢を推定する必要があり、特に方位角の推定誤差は現実世界の方位と仮想俯瞰模型の方位のずれに影響する。そのため、端

末に取り付けた 3 自由度の慣性センサによる姿勢測定を行う。また、慣性センサのドリフト誤差が蓄積するため、端末に搭載したカメラの画像を用いた姿勢推定を行い、慣性センサのドリフト誤差の補正を試みる。

2. 関連研究

屋外における MR システムとして、シースルービジョン[1]や、HMD を用いたナビゲーションシステム[4]などが提案されてきた。これらのシステムでは、例えば、ナビゲーション用の矢印は現実世界の道路上に提示するなど、現実世界との高い幾何的整合性を必要とする提示方法を用いてきた。同様の方法で注目位置を現実世界の道路や建物の上に MR 技術を用いて提示した場合、端末の 3 次元位置・姿勢の推定に誤差が生じると注目位置の提示場所がずれるという問題が発生する。これに対し、提案システムでは、仮想俯瞰模型を提示し、その上で注目位置を示すことにより、端末の姿勢推定誤差に影響されない注目位置の提示が可能である。ただし、ユーザが方向感覚を喪失しやすくなる問題が予想されるため、現実空間と仮想俯瞰模型の方位を一致させることにより問題の解決を図っている。

World in Miniature[5]は、仮想現実空間中で周辺の仮想環境の縮小モデルを提示するシステムである。これは、HMD を用いた没入型の仮想現実環境において仮想物体の操作に用いられた。これに対し、提案システムは、屋外環境における MR システムであり、モバイル端末に固定されたハードウェアのみで実現可能である。

MR 技術を用いた協調作業支援としては、屋内にいるユーザが屋外を歩行するユーザに指示するシステムが提案されてきた[6][7][8]。Höllerer[7]らは屋内ユーザに対象空間の 3 次元モデルを提示し、その上で仮想物体の設置や強調表示する現実物体の選択を行った。屋外のユーザは現実空間中でこの仮想物体や強調表示を見ることができる。これらのシステムでは、指示をするユーザは屋内の端末の前に居る必要がある。これらに対し、提案システムでは、屋外にいるユーザ同士で指示・共有が可能である。

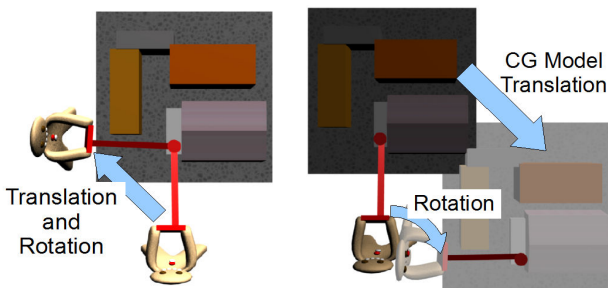
3. 仮想俯瞰模型

仮想俯瞰模型は、ユーザの目前にその周辺の建物などの模型が存在しているかのように提示する CG である。本システムでは仮想俯瞰模型の方位を対象となる現実空間の方位と合致させるため、ユーザ端末の現実空間中での姿勢情報が必要となる。なお、仮想俯瞰模型は対象となる空間をあらかじめ CG モデル化したものを用いる。HMD による提示のようにユーザの視線方向に依存させることなく、常に端末のディスプレイと正対した位置に仮想視点があるとして提示する。

本システムでは、ユーザが示したい空間中の一点への指示を、モバイル端末のディスプレイ上で行う。ユーザが注目位置を指示すると、仮想俯瞰模型上の位置に注目位置のアイコンが表示される。

例えば、Fig.2のようにユーザの視点が仮想視点 A にあるとき、仮想視点とユーザがタッチしたディスプレイ上の位置を通る直線が仮想俯瞰模型と交わる最初の点を注目位置とする。建物の陰など、現在の仮想視点 A からは見通すことが出来ない場所は、指示者が仮想視点 B のように見通しの効く位置に端末をまず移動させてから指示するものとする。他のユーザが指示した注目位置は、ユーザ毎にアイコンの色や形を変えて仮想俯瞰模型上に表示される。

対象となる現実空間と仮想俯瞰模型との方位を一致させることを考えると、提案する GUI には、仮想俯瞰模型の位置・向きを実空間に固定する Fig.3(a)の方法と、向きだけ実空間に固定し、位置は常にユーザの正面に来るように移動させる Fig.3(b)の方法の 2 通りが考えられる。本システムでは建物の裏など、遮蔽物の向こう側を指示する際に、同じ位置を違う角度から見る必要がしばしば生じる。Fig.3(a)の方法では端末の移動と回転が必要であるが、Fig.3(b)は回転だけで済み、ユーザの操作量が少なくなる利点がある。また、屋外において端末の姿勢を測定する場合、回転量は慣性センサによって高精度に求めることが出来るが、移動量の高精度な測定は困難である。そこで、今回は Fig.3(b)の方法を用いる。このとき、仮想俯瞰模型の位置は常に端末の先にあるものとする。



(a) Fixed on real world (b) Consistent orientation
Fig.3. Position and pose of virtual diorama

4. 姿勢推定と仮想俯瞰模型の表示

4.1. システムの概要

本システムはユーザが携帯する端末と、無線ネットワーク、サーバからなる。Fig.4に本システムの構成図を示す。ユーザが、モバイル端末のディスプレイに提示された仮想俯瞰模型を用いて注目場所の 3次元位置を指示すると、端末はその位置を模型上に表示すると同時に、無線ネットワークを通じてサーバへ注目位置

の座標を送信する。それぞれに端末を持った複数のユーザが 1つのサーバに接続しており、各ユーザ端末はその位置情報を受け取る。端末が受信した他ユーザの注目位置を仮想俯瞰模型上に表示することで注目位置の共有を実現する。ユーザ端末には、ディスプレイ、キーボード、カメラ、慣性センサを備えたモバイル PC を用いる。

我々の提案する方式で仮想俯瞰模型の提示を行うには、ユーザ端末の姿勢情報を獲得する必要がある。今回は慣性センサを用いた姿勢測定と、慣性センサと画像処理を併用した姿勢推定を検討した。

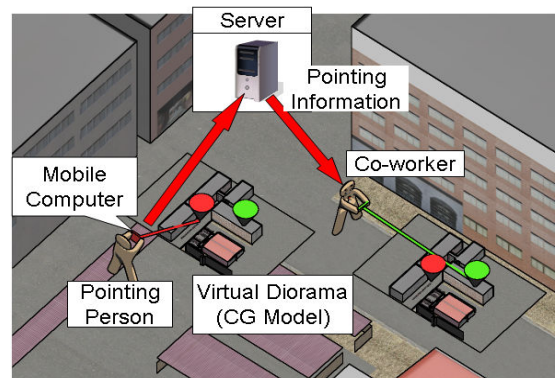


Fig.4 System overview

4.2. 慣性センサによる姿勢測定

ここでは、ユーザ端末に固定された 3軸の慣性センサを用いて端末の姿勢を測定し、仮想俯瞰模型を提示する方法について述べる。

仮想俯瞰模型の提示のために、世界座標系 C_W 、端末座標系 C_T 、慣性センサ座標系 C_S 、および仮想俯瞰模型座標系 C_D の 4つの座標系を導入する。それらの関係を Fig.5 に示す。ここで求めるものは C_D から C_T への変換である。

世界座標系 C_W は現実空間に即した座標系であり、方位・原点とも事前に与えられるものとする。

端末座標系 C_T は原点 O_T をディスプレイの中心とし、ディスプレイ下方向を Z_T 軸、ディスプレイ右方向を X_T 軸、それらに垂直な軸を Y_T 軸とする。本システムではユーザ視点をディスプレイに正対していると仮定するので、ユーザ視点 V は Y_T 軸上の 1点とみなすことができ、原点 O_T と V との距離は事前に与えた一定値を用いる。

慣性センサ座標系 C_S は慣性センサを原点とする座標系であり、慣性センサを端末に固定することから、式(1)に示す C_T と C_S との関係を表す剛体変換行列 M_{TS} は既知である。ここで、 T_{TS} は平行移動、 R_{TS} は回転を表す同次変換行列である。

$$C_T = M_{TS} \cdot C_S = (T_{TS} \cdot R_{TS}) \cdot C_S \quad (1)$$

慣性センサには C_S と C_W との間の回転行列 R_{SW} を測定することができるものを利用する。

仮想俯瞰模型座標系 C_D は仮想俯瞰模型を提示するために用いられる座標系であり、3節の議論から、 C_D の方位は常に世界座標系 C_W の方位と一致している必要がある。このことは、 C_S と C_D との間の回転行列 R_{SD} と R_{SW} とが等値であると見なすことに等しい。この関係を式(2)に示す。ここで、 R_{DW} は C_W と C_D の間の回転行列、 I は単位行列である。

$$R_{DW} = I, \quad R_{SW} = R_{SD} \cdot R_{DW} = R_{SD} \quad (2)$$

一方、仮想俯瞰模型座標系 C_D と端末座標系 C_T の位置関係は回転行列 R_{TD} と平行移動行列 T_{TD} で表す。 $R_{TD}=I$ の時、 C_D の原点から C_T の原点までの平行移動ベクトルを $t_{TD0}=(0, distance, 0)^T$ とする。 $distance$ は仮想俯瞰模型の大きさに合わせて事前に設定した一定の値である。本システムでは、ユーザはキーボードの十字キー操作により端末座標系 C_T の X_T 軸、 Y_T 軸に沿って視点を平行移動させるものとする。この移動ベクトルを $m=(mx, my, 0)^T$ とする。 mx, my は各軸の移動量である。以上より C_D と C_T との平行移動表す同次変換行列 T_{TD} は式(3)のように表される。

$$T_{TD} = \begin{bmatrix} I & R_{TD}(t_{TD0} + m) \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

C_D から C_T への変換を表す剛体変換行列 M_{TD} は、式(4)のように表現される。

$$C_T = M_{TD} \cdot C_D = (T_{TD} \cdot R_{TD}) \cdot C_D \quad (4)$$

また、式(2)のより、 R_{TD} は式(5)のようになる。

$$R_{TD} = R_{TS} \cdot R_{SD} = R_{TS} \cdot R_{SW} \quad (5)$$

式(5)を式(4)に代入すると、最終的に仮想俯瞰模型座標系 C_D から端末座標系 C_T への変換を示す式(6)が得られる。

$$C_T = (T_{TD} \cdot (R_{TS} \cdot R_{SW})) \cdot C_D \quad (6)$$

慣性センサが測定する回転量 R_{WS} にはドリフト誤差が蓄積するという問題があり、動作時間が長くなるにつれて仮想俯瞰模型の向きと現実世界の向きがずれてくる。今回使用する慣性センサの場合、重力方向ベクトルを含む平面内の回転量については常に重力方向ベクトルによる補正が行われるため、重力方向ベクトル周り回転量のドリフト誤差のみが蓄積する。これは、別のセンサによって補正する必要があり、今回はユーザ端末に搭載されたカメラ画像を用いた補正を検討した。

4.3. SURF と 8 点アルゴリズムによる姿勢推定

慣性センサのみで姿勢を測定した場合、重力方向ベクトル周りの回転量にセンサのドリフト誤差が蓄積する。これを補正するために、端末カメラの画像から

SURF[2]による特徴点の追跡と 8 点アルゴリズム[3]を用いて姿勢推定を試みた。SURF は Bay らが開発した画像の回転、拡大縮小、コントラスト変化などにロバストな特徴量である。以下に姿勢推定の手順を示す。

まず、端末カメラから得られる動画像において、SURF 特徴量を用いて、空間中の自然特徴点をフレーム間で追跡する。ここでは、静止物体を撮影したシーンを想定している。追跡結果から 8 点アルゴリズムを用いてエピポーラ幾何の基礎行列 F を算出し、事前に求めたカメラの内部パラメータを使って基本行列 E を求める。

これを回転行列 R と平行移動ベクトル t に分解し、カメラの位置・姿勢の変化を求める。このうち、 R はフレーム間の回転量に相当するので、これを時間方向に積分することで R_{WS} を得ることが出来る。

以上の方法では、特徴点の追跡誤差により基本行列 E の推定誤差が生じる。そのため、SURF 特徴点の少ないシーンや、類似した模様が多数存在するようなシーンでは対応付けの誤りにより姿勢の推定が困難になると予想される。そのような場合には慣性センサの測定値を R_{WS} として採用する。

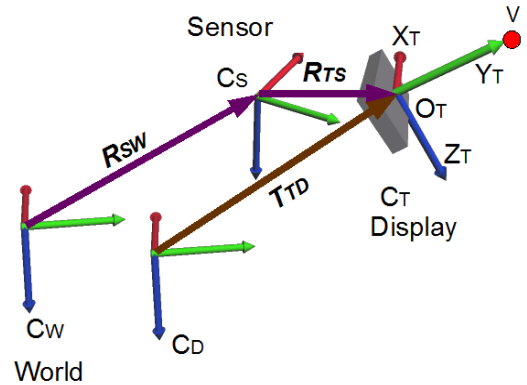


Fig. 5 Relationship of coordinates

5. 実験

5.1. 実験環境

提案システムを実装し、機能の確認を行った。ユーザ端末には SONY VGN-UX90PS, サーバとして Panasonic CF-W2, 慣性センサに InterSense InertiaCube3 を用いた。慣性センサに搭載された電子コンパスは、端末の磁気ノイズの影響を受けることが予想されるため、今回は使用していない。また、仮想俯瞰模型には、Fig.6 の斜線で示した範囲の建物と地面の CG モデルを用いた。本稿では、慣性センサのドリフト誤差の影響、仮想俯瞰模型の提示確認、システムを用いた注目位置共有、の 3 項目についての評価実験を行い、その結果を示す。

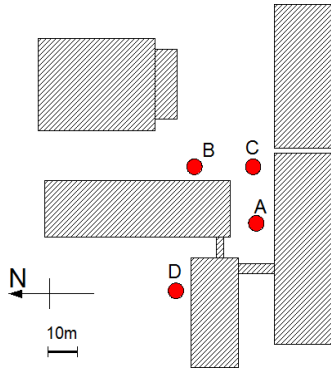


Fig.6 Test area

5.2. 慣性センサの方位角誤差測定

慣性センサ方位角誤差の計測を行い、仮想俯瞰模型の提示における方位角補正の必要性について検討した。実験では、水平な台の上に慣性センサ (InertiaCube3) を固定し、その初期方位を 0[deg]とした。これを水平面上で時計回り、反時計回りにそれぞれ θ [deg]回転させて元の方位に戻し、検出角度を記録した。 θ は 90, 180[deg]とし、それぞれ 1 回ずつ測定した。その結果、センサの出力角度は Fig.7 のようになり、回転後の初期方位における出力は $\theta = 90$ [deg]の時 1.63[deg]、 $\theta = 180$ [deg]の時 3.93[deg]であった。本システムでは、端末は 6 自由度で運動し、今回の計測よりも長時間の稼働が想定されるため、さらに大きな誤差が生じることが予想される。仮想俯瞰模型の方位角のずれはユーザの方向感覚を狂わせる原因となるため、これを補正する必要がある。

5.3. 仮想俯瞰模型の提示実験

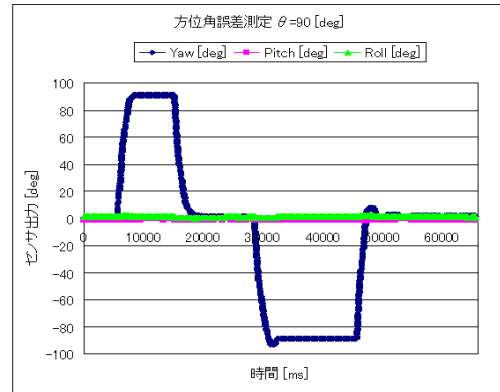
仮想俯瞰模型の提示による GUI の機能を確認するため、実際に端末のカメラで撮影された画像上に仮想俯瞰模型を重畳した実験結果を示す。

ユーザはまず、仮想俯瞰模型と現実世界の建物が同じ向きになるように端末を持ち、初期状態とする。次に、キーボード操作による仮想視点の移動を行い、仮想俯瞰模型上の仮想視点位置を、ユーザの所在地の真上付近に来るように手で合わせ、その状態で端末を回転させ、仮想俯瞰模型の表示を確認した。まず、4.2 節で示した慣性センサのみを用いたシステムを用いて実験を行った。

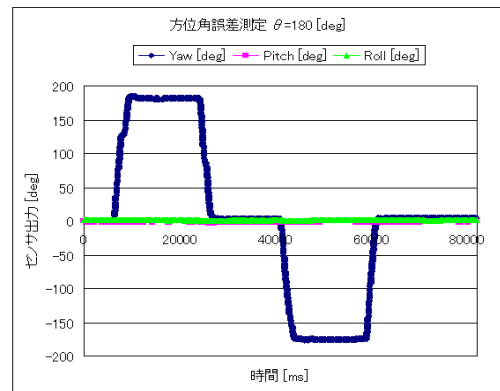
Fig.8 は方位角を約 90 度回転させた時の提示例である。模型の方位角は実際の方位角とほぼ一致していることがわかる。ユーザが端末を自由に動かした後では方位角誤差が蓄積し、実空間の建物と仮想俯瞰模型上の建物の向きが大きくずれる現象が確認できた。

今回は、4.3 節で述べた画像処理による姿勢推定処理を用いた実験も行ったが、その結果は慣性センサによる姿勢測定結果と大きく異なり、両方の結果を用いて

提示を行うと仮想俯瞰模型が操作できなくなるという問題が発生した。この原因として、特徴点の追跡誤差や基本行列 E の分解時の数値不安定性などが考えられる。今後、画像処理による姿勢推定のために、誤差の原因追究と姿勢推定精度の改善を行っていく予定である。また、回転時と平行移動時の特徴点の軌跡を区別しやすくするため、カメラを广角にすることや、端末上にカメラを複数搭載して撮影範囲を広げることも検討していく予定である。



(a) $\theta = 90$ [deg]



(b) $\theta = 180$ [deg]

Fig.7 Gyroscope output in horizontal rotation

5.4. 注目位置の共有実験

無線 LAN を介して、注目位置の共有実験を行った。2 台のユーザ端末を無線 LAN でサーバに接続し、一方のユーザを指示者、もう一方を共有者として注目位置の送受信を行った。受信した注目位置は、仮想俯瞰模型上にユーザ毎に違う色のついた円錐形のアイコンを表示することでユーザに伝える。ユーザの立ち位置と注目位置には、Fig.6 中に示した A,B,C,D の各地点を用いた。今回は以下の 4 つの配置を用いた。

- 配置 1: 指示者 A, 共有者 B, 注目位置 C
- 配置 2: 指示者 C, 共有者 A, 注目位置 B
- 配置 3: 指示者 A, 共有者 C, 注目位置 B
- 配置 4: 指示者 A, 共有者 B, 注目位置 D

配置 1 では指示者・共有者とも注目位置を見通すことが出来、配置 2 では指示者のみから注目位置を見通せる。配置 3 では共有者のみから注目位置を見通すことができ、配置 4 では指示者・共有者ともに注目位置を見通すことが出来ない。

まず、指示者、共有者とも南を向いて仮想俯瞰模型と現実空間の向きを揃えた。次に、指示者が注目位置を指示した。指示者の端末から注目位置情報がサーバに送信され、サーバはその位置情報を共有者の端末に送信した。共有者の端末がその位置情報を受信し、仮想俯瞰模型上にアイコンを表示した時点から、共有者が注目位置を把握したと判断し、端末のスペースキーを押すまでの時間を計測した。

その結果、共有者の端末に注目位置が表示されてから、ユーザがそれを把握するまでに要する時間は Table 1 のようになった。配置 1 から 3 までは 2 秒以内に把握することができるが、配置 4 では 5 秒以上の時間を要している。配置 2 と配置 4 では、どちらも共有者は注目位置を見通す事が出来ないが、注目位置のアイコンを見つけるまでに必要な端末の操作量が異なり、配置 4 ではアイコンを見つけるまでにより長い時間を要したと考えられる。今後は注目位置を見つけるまでの操作量も考慮して実験を行う予定である。

今回の計測時間内には、ネットワーク通信に要した時間は含まれていないため、今後は通信に要する時間も含めたシステム全体の評価が必要である。

また、実験の被験者は対象となる空間をよく知る 2 名によって行ったため、さらにユーザを増やして評価実験を行うなどし、より使いやすい位置入力システムとして改善していく予定である。

Pattern	Time [sec]
1	1.4
2	1.7
3	1.8
4	5.3

Table 1: Time needed to confirm the sharing point.

6. おわりに

本論文では、大規模な 3 次元空間中で注目位置を指示・共有するシステムのために、仮想俯瞰模型を提示する GUI の提案を行った。本方式の特徴は、ユーザの周辺の現実空間を仮想俯瞰模型として提示することで、注目点の共有が行えるようにしたことである。仮想俯瞰模型の方位は、ユーザが方向感覚を失わないように、対象となる空間の方位に一致させている。これらの実現に際しては、慣性センサの方位角ドリフト誤差の補正が問題となるため、カメラ画像から SURF と 8 点アルゴリズムによる姿勢推定によって補正する処理を試

みた。画像による姿勢推定の精度は、現時点の我々の取り組みでは、本システムに用いるのに不十分であり、改善の余地が残されている。慣性センサを用いて構築したシステムで仮想俯瞰模型表示の確認と注目位置の共有実験を行った結果、仮想俯瞰模型と注目位置共有システムの有効性が確認できた。

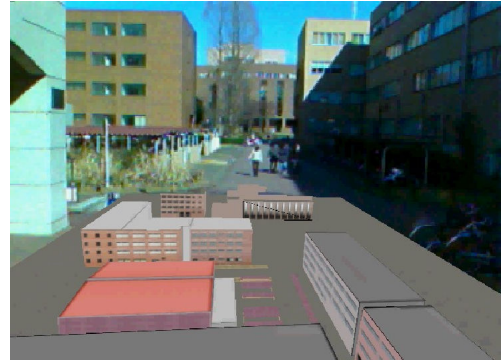


Fig.8 Result: Displayed virtual diorama

謝辞

本研究は科研費基盤研究(A) (18200011) の助成を受けたものである。

文 献

- [1] Y.Kameda, T.Takemasa, and Y.Ohta, "Outdoor See-Through Vision Utilizing Surveillance Cameras," IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2004), pp.151-160, 2004.
- [2] H.Bay, T.Tuytelaars, and L.V.Gool, "SURF: Speeded Up Robust Features," 9th European Conference on Computer Vision(ECCV2006) Proceedings, pp.404-417, 2006.
- [3] H. C. Longuet-Higgins, "A computer algorithm for re-constructing a scene from two projections," Nature 293, pp.133-135, 1981.
- [4] 神原誠之, 横矢直和, "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.
- [5] R.Stoakley, M.J.Conway, and R.Pausch, "Virtual Reality on a WIM: Interactive Worlds in Miniature," Proceedings of the ACM CHI'95, pp.265-272, 1995.
- [6] T.Kurata, T.Oyabu, N.Sakata, M.Kouroggi, and H.Kuzuoka, "Tangible Tabletop Interface for an Expert to Collaborate with Remote Field Workers," CollabTech2005 in Tokyo, pp.58-63, 2005.
- [7] T.Höllerer, S.Feiner, T.Terauchi, G.Rashid, and D.Hallaway, "Exploring MARS: developing indoor and outdoor user interfaces to a mobile augmented reality system," Computers & Graphics 23, pp.779-785, 1999.
- [8] A.Stafford, W.Piekarski, and B.H.Thomas, "Implementation of God-like Interaction Techniques for Supporting Collaboration Between Outdoor AR and Indoor Tabletop Users," IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2006), pp.165-172, 2006.