

## 環境の三次元モデルと魚眼カメラを利用した 屋外複合現実感システムのためのユーザ位置推定

天目 隆平<sup>†</sup> 平岡 貴志<sup>‡1</sup> 海川 真佑<sup>‡</sup> 柴田 史久<sup>‡</sup> 木村 朝子<sup>†\*</sup> 田村 秀行<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>立命館大学総合理工学研究機構 〒575-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

<sup>‡</sup>立命館大学理工学研究科 〒575-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

\* 科学技術振興機構 さきがけ 〒332-0012 埼玉県川口市本町 4-1-8 川口センタービル

E-mail: tenmoku@rm.is.ritsumeai.ac.jp

**あらまし** 本稿では、現実世界と仮想世界を継ぎ目なく融合する複合現実感アプリケーションのための屋外環境、特に都市環境での位置合わせ手法を提案する。提案手法では、ユーザに上向きに取り付けた魚眼カメラから得られる屋外環境の魚眼画像と、環境の三次元モデルをもとに生成した仮想の魚眼画像を比較することにより、実時間でユーザ位置の推定を行う。これらの魚眼画像の比較には、各画像から検出した周囲の建物のシルエットを利用する。本稿では、提案手法によるユーザ位置計測精度および処理時間を示し、提案手法を用いたモバイル複合現実型屋外ナビゲーションについて述べる。

**キーワード** ユーザ位置推定、複合現実感、魚眼画像、三次元モデル、シルエット

## Estimation of the User's Position for Outdoor MR Systems Using 3D Models and a Fisheye Camera

Ryuhei TENMOKU<sup>†</sup> Takashi HIRAOKA<sup>‡1</sup> Shinsuke KAIGAWA<sup>‡</sup>

Fumihisa SHIBATA<sup>‡</sup> Asako KIMURA<sup>†\*</sup> Hideyuki TAMURA<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> Research Organization of Science and Engineering, Ritsumeikan University  
1-1-1 Nojihigashi, Kusatsu, Shiga, 525-8577 Japan

<sup>‡</sup> Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University  
1-1-1 Nojihigashi, Kusatsu, Shiga, 525-8577 Japan

\* PRESTO, Japan Science and Technology Agency Kawaguchi Center Building,  
4-1-8, Honcho, Kawaguchi, 332-0012, Saitama, Japan

E-mail: tenmoku@rm.is.ritsumeai.ac.jp

**Abstract** This paper describes the positioning method of the outdoor mobile users in urban environments for mixed reality (MR) which can merge real and virtual worlds seamlessly. The proposed method estimates the user's position in real time by comparing silhouettes of real and virtual fish-eye images. Real fish-eye images are captured with the fish-eye camera which is attached to the mobile user upward. Virtual fish-eye images are generated from 3D models. This paper describes accuracy and processing time of the proposed method and a mobile outdoor MR navigation application using the proposed method.

**Keyword** Estimation of User's Position, Mixed Reality, Fish-eye Images, 3D Model, Silhouette

### 1. はじめに

近年、実世界に仮想物体をシームレスに重ね合わせる技術である複合現実感(Mixed Reality; MR)の研究が盛んに行われている[1,2]。いくつかの屋内型のMRシステムは既に実用化されており、近年では急速に発展してきたウェアラブルPC、携帯端末、携帯電話等のモ

バイル端末上でMRシステムを実現しようという試みも数多くなされている[3,4]。モバイルMRシステムにより、任意の場所において実オブジェクトに対してCGで描画された注釈情報を重畳してユーザに提示したり[5]、街中や観光地等でユーザ位置に応じた情報を直感的に提示することが可能となる[6,7]。屋外でMRを実現するためには、屋外の広域環境におけるユーザ位置

<sup>1</sup>現在は KDDI 株式会社に所属。

の実時間および高レートでの計測が課題となる。

屋外環境での位置計測手法は、センサベース方式、ビジョンベース方式、それらを組み合わせたハイブリッド方式に分類される。神原らは RTK-GPS と慣性航法センサを併用したウェアラブル型複合現実感システムを提案した[8]。神原らの手法では、GPS 特有の計測周期の低さと慣性航法センサの持つ誤差が蓄積する欠点を互いに補うことで精度を向上させている。しかし、RTK-GPS の利用には特殊なインフラ整備が必要であり、周囲に高い建物がある場所ではマルチパスの影響により大きな誤差が生じるという問題がある。

ビジョンベース方式の代表例として、大江らによる、事前に撮影した映像から抽出した自然特徴点をデータベース化し、入力画像中の特徴点群からカメラ位置・姿勢を推定する手法[9]が挙げられる。しかし、現段階では実時間でのカメラ位置推定が困難なことや、データベース作成時のカメラパスから離れると精度が低下するという問題がある。また、Reitmayr らは、事前に準備した屋外環境の三次元モデルとカメラから得られるユーザの眼前の風景のエッジベースでのマッチングを行い、実時間でカメラ位置をトラッキングする手法を提案した[10]。Reitmayr らの手法は、建物が立ち並ぶ都市環境を対象としており、位置推定の誤差は 2~3メートル以内である。また、建物の壁面等のテクスチャを利用して計測精度の向上を図っており、一時的なオクルージョンに頑健であるという特徴を持つ。しかし、Reitmayr らの手法はカメラに建物が映っていないかったり、建物から離れすぎたり近づきすぎるとトラッキングに失敗することが予想される。

センサとビジョンを組み合わせることで計測精度の向上を図るハイブリッド方式もいくつか提案されている。興枅らは、環境中であらかじめ撮影したおいた全方位画像とユーザ視点付近に取り付けられたカメラから得られる画像のマッチング、および慣性センサを利用して、ユーザ位置の実時間推定を試みた[11]。しかし、興枅らの手法は照明条件等の環境の変化に対して脆弱である。このように、屋外環境でのユーザ位置の計測手法には、いまだ決定的な手法はない。そこで本稿では、(1)屋外の広域環境、特にビルが立ち並ぶ都市環境で利用可能、(2)実時間かつ MR システムに利用可能な計測レートおよび計測精度、の 2 点を満たすユーザ位置の推定手法を提案する。想定環境である都市環境では、マルチパスの影響により GPS の精度が著しく低下する。本研究では、GPS と相補可能な実時間位置推定手法の確立を目指す。

提案手法は、事前に準備した環境の三次元モデルから得られる仮想の魚眼画像と、ユーザに上向きに取り付けた魚眼カメラから得られる魚眼画像のマッチング

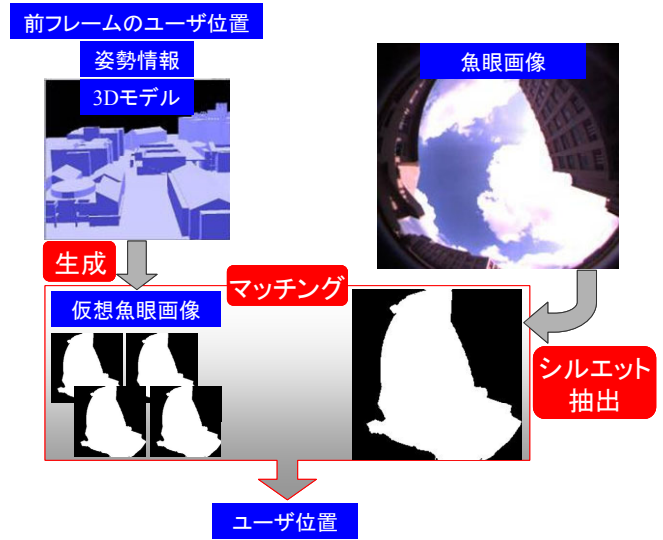


図 1:処理の流れ

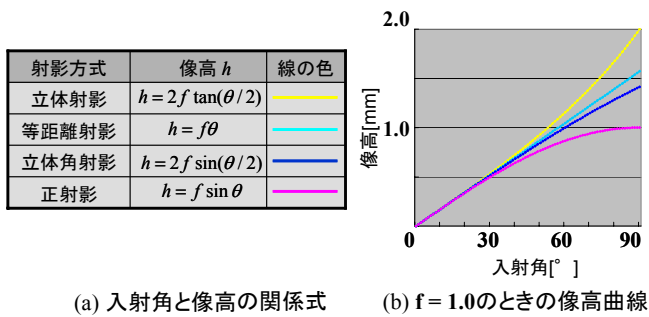
によりユーザ位置をトラッキングする。ユーザの初期位置および姿勢はセンサを用いて計測することを想定しており、計算時間の削減のため、ユーザ位置の鉛直成分は地上面から一定の高さであると仮定して、水平面上の 2 自由度においてユーザ位置のトラッキングを行う。

以下、2 章では提案する三次元モデルと魚眼カメラを利用したユーザ位置推定手法について述べる。3 章では、提案手法の計測精度および処理時間を示し、提案手法を利用して構築した屋外ナビゲーションシステムについて述べる。最後に 4 章で本研究を総括し、今後の展望について述べる。

## 2. 三次元モデルと魚眼カメラを利用したユーザ位置推定

### 2.1. 処理概要

提案手法の各フレームにおける処理の概要を図 1 に示す。提案手法では、前フレームにおいて推定されたユーザ位置・姿勢情報・環境の三次元モデルから、前フレームのユーザ位置とその近傍における現在の姿勢の魚眼画像を生成する。また、魚眼カメラから現実環境の鉛直方向上向きの魚眼画像を獲得し、周囲の建物のシルエット画像を生成する。生成された仮想の魚眼画像群と実環境の魚眼画像のマッチングを行い、最もマッチングスコアが高い点を現フレームにおけるユーザ位置であると判断する。周囲の建物のシルエットを用いて比較を行うことで、日照条件等の変化にロバストで、高速な処理を実現している。本節では、2.2 節で魚眼カメラの射影方式について述べた後、仮想魚眼画像の生成およびマッチングに関してそれぞれ 2.3 節、2.4 節で詳述する。



(a) 入射角と像高の関係式 (b)  $f = 1.0$  のときの像高曲線

図 2: 入射角と像高の関係



(a) 正射影方式 (b) 立体射影方式

図 3: 魚眼画像の例

## 2.2. 魚眼カメラの射影方式

魚眼カメラには立体射影方式，等距離射影方式，立体角射影方式，正射影方式の 4 つの射影方式がある．それぞれの方式における，焦点距離  $f$  としたときの入射角  $\theta$  と像高  $h$  の関係式および， $f = 1.0$  のときの像高曲線を図 2 に示す．入射角  $\theta$  は魚眼カメラの光軸と入射光がなす角である．図 2 より， $\theta$  が 30 度を越えたあたりから，像高に差が出始める．正射影方式では撮画

像の中心部の情報量に比べて周辺部の情報量が少なく，立体射影方式ではその逆となる．図 3 にそれぞれの方式の魚眼カメラで撮影した魚眼画像を示す．提案手法では，使用する魚眼カメラの射影方式に合わせて仮想の魚眼画像を生成する．

## 2.3. 仮想魚眼画像の生成

提案手法では，ユーザ位置のトラッキングを行うために，仮想の魚眼画像を生成して実画像との比較に用いる．仮想魚眼画像は，仮想環境内の前フレームでのユーザ位置およびその近傍点において，センサで計測された姿勢の仮想魚眼カメラに環境のモデルを投影して生成する．提案手法では，地表面に平行で高さが一定（ユーザに取り付けたカメラの高さ）であるような水平面を図 4 に示すように正方格子または三角格子に区切り，その格子点上に仮想カメラを移動させて仮想魚眼画像を生成する．以後，これらの探索方式をそれ

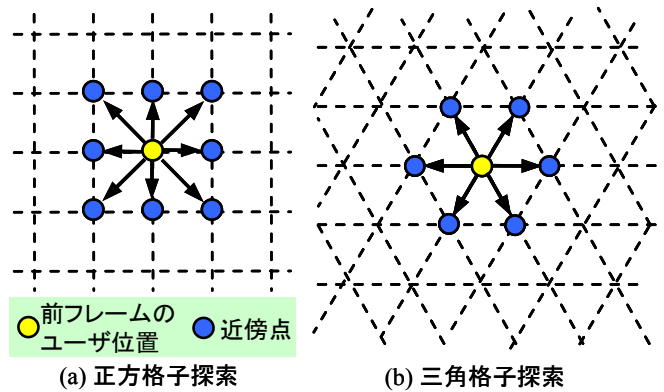


図 4: 前フレームのユーザ位置と近傍点の例

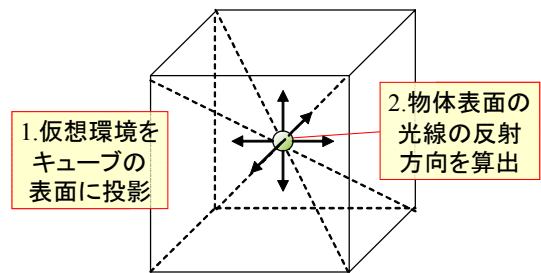


図 5: キューブマッピングの概念

ぞれ正方格子探索，三角格子探索と，また，これらの格子点の間隔を探索幅と呼ぶ．探索幅は提案手法の位置計測分解能となるが，これはユーザが 1 フレームの間に移動できる距離をもとに設定する．ユーザが 1 フレームの間に探索幅以上の距離を移動すると，正しくトラッキングできない．すなわち，探索幅を  $h[m]$ ，1 フレームの処理にかかる時間を  $t[s]$ ，ユーザの歩行速度を  $v[m/s]$  とすると， $v \leq h/t$  であるならば，ユーザが立ち止まっていようと，急に歩行方向を変えようと，ユーザ位置をトラッキングすることが可能である．屋外環境の三次元モデルは，建物の CAD データに基づいて事前に作成しておく．このモデルを実環境と同じスケールで配置した仮想環境内の前述の各地点においてキューブマッピングを利用して仮想の魚眼画像を生成する．図 5 に示すキューブマッピングにより，物体の表面各点の法線ベクトルをもとに光線の反射方向を算出することで，キューブ内部の物体への環境の映りこみを実時間でシミュレートすることができる．提案手法では，仮想魚眼画像の生成を行う地点から各方向画角 90 度で仮想空間を映したテクスチャをキューブの内側に貼り，これをキューブ中央に配置した仮想魚眼カメラに投影することで，仮想の魚眼画像を生成する．仮想魚眼カメラの各頂点における法線ベクトルは，レンズメーカーから提供される像高曲線の実測値を多項式近似して求める．





