

# 再帰性反射マーカと赤外線カメラを用いたユーザの位置姿勢同定

中里 祐介<sup>†</sup> 神原 誠之<sup>†</sup> 横矢 直和<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 奈良先端科学技術大学院大学

〒 630-0192 奈良県生駒市高山町 8916-5

E-mail: †{yuusu-n,kanbara,yokoya}@is.naist.jp

あらまし 近年、ユーザが装着可能なウェアラブルコンピュータを用いてユーザの道案内などを行うヒューマンナビゲーションに関する研究が注目を集めている。ヒューマンナビゲーションを行うには一般に、ユーザの位置と姿勢を正確に同定する必要がある。従来、実環境に多数のマーカを配置し、それらをユーザの装着したカメラで撮影することで、ユーザの位置・姿勢を求める手法が提案されているが、多くのマーカを配置する必要があるため、実環境の景観を損ねるという問題があった。そこで本研究では実環境に配置した半透明の再帰性反射材からなるマーカに赤外光を照射し、その反射を赤外線カメラで撮影・認識することで、ユーザの位置を認識する方法を提案する。その際、赤外線 LED を連続的に点滅させ、それと同期してマーカを撮影することでマーカからの反射光以外の赤外光の影響を取り除く。これによりインフラに電源を必要とせず、かつ景観を損なうことなくユーザの位置を検出することが可能である。

キーワード 再帰性反射マーカ, 赤外線カメラ, 位置同定, ウェアラブルコンピュータ

## A Localization Method Using Retro-reflective Markers and an IR camera

Yusuke NAKAZATO<sup>†</sup>, Masayuki KANBARA<sup>†</sup>, and Naokazu YOKOYA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Nara Institute of Science and Technology

8916-5 Takayama, Ikoma, Nara, 630-0192, Japan

E-mail: †{yuusu-n,kanbara,yokoya}@is.naist.jp

**Abstract** This paper describes a localization method for wearable computer users. To realize applications of wearable computers like a navigation system, the position of a user is required for location-based services. Many localization methods in indoor environments have been proposed. One of the methods estimates user's position using IR beacons or visual markers. However, these methods have problems concerning power supply and/or undesirable visual effects. In order to avoid the problems, we propose a new localization method which is based on using an IR camera and discreet markers consisting of translucent retro-reflectors. In the proposed method, to extract the regions of the markers from the captured images stably, the camera captures the reflection of IR LEDs which are flashed on and off continuously.

**Key words** Retro-reflective Marker, IR Camera, Localization, Wearable Computer

### 1. はじめに

ウェアラブルコンピュータの発達に伴い、それらを装着したユーザのための様々なアプリケーションが研究されている。その中でもナビゲーションへの応用などでは正確にユーザの位置と姿勢を同定する要求が高まっている。さらに、コンピュータグラフィックスで生成された仮想物体を、現実のシーンを撮影した映像に合成する拡張現実感 (Augmented Reality:AR) をユーザのナビゲーションに利用することで、より直感的に情報を提供するシステムも開発されている [1] ~ [3]。AR 技術を利用したナビゲーションでは、より高精度にユーザの位置と姿勢を推定

する必要がある。従来、屋外においては、広範囲で位置計測が行える GPS を利用することが一般的である [1], [4]。一方屋内では、GPS は利用できないため、さまざまな位置同定手法が提案されている [2]。その中の一つとして、環境中に設置した赤外線ビーコンから信号を受信することにより絶対位置を取得する手法 [3] が提案されている。しかし、この手法では位置検出は安定に行えるが、電源を必要とするビーコンをインフラとして設置する必要がある。また、実環境に位置・形状・色が既知のマーカを多数配置し、それらをユーザの視点付近に取り付けたカメラで撮影した映像からユーザの位置・姿勢を推定する手法が提案されている。羽原ら [5] は図 1(a) に示すように、正方マーカを



(a) 羽原らの手法 [5]



(b) Naimark らの手法 [6]

図 1 画像マーカを用いた研究

実環境中に配置することでユーザの位置同定を行う手法を提案した。一方, Naimark ら [6] は, 図 1(b) のような円形のマーカと加速度センサを融合することで, 安定して位置同定可能なシステムを開発した。しかし, このように画像マーカを通常のカメラで撮影する手法は, 安価でかつインフラに電源を必要としないという利点があるが, 図 1 から明らかなように実環境の景観を損ねてしまうという問題がある。

そこで本稿では, 半透明の再帰性反射材を利用した目立たない画像マーカを用いてユーザの位置検出を行う方法を提案する。提案手法では, 半透明の再帰性反射材を用いたマーカを実環境に配置し, 赤外光をマーカに照射して, その反射を赤外線カメラで撮影することで, ユーザの位置検出を行う。その際, マーカからの反射光以外の赤外光の影響を取り除くために赤外線 LED の発光, 消灯を繰り返し, それに同期してマーカを撮影する。これによりインフラに電源を必要とせず, かつ景観を損なうことなくユーザの位置を検出することが可能である。

以下 2 章では, 本研究で利用した再帰性反射マーカとそれらを用いた位置・姿勢の推定手法について詳述する。3 章では提案システムを用いて実環境において行った位置・姿勢の推定実験について述べる。最後に本論文のまとめと今後の課題を述べる。

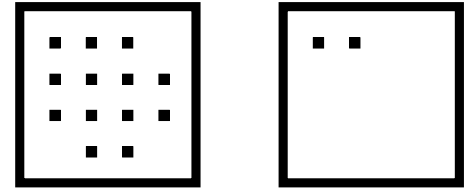


図 3 マーカのデザイン例 ( $N = 4$ ) (黒い部分が再帰性反射材)

## 2. 再帰性反射マーカを用いた位置姿勢推定

### 2.1 再帰性反射マーカ

本研究で用いるマーカは再帰性反射材からなり, 屋内環境において天井や壁などに設置することを想定する。再帰性反射材には光源方向に強く光を反射する特性がある。通常の画像マーカを天井に設置した場合, 図 2(a) のように画像マーカによって景観が損なわれてしまう。しかし半透明の再帰性反射材を用いると, 図 2(b) が示すように肉眼での視認は困難であり, 景観を損ねない。このマーカにフラッシュを当てて撮影すれば, 再帰性反射材の特性により, 図 2(c) のようにマーカをはっきり捕らえることができる。

### 2.2 マーカのパターン

本研究で今回利用したマーカの例を図 3 に示す。この図において黒色の部分が再帰性反射材に対応する。マーカは正方形の枠の内部に  $N \times N$  の格子状に正方形を配置しパターンとして利用する。内部パターンはマーカの向きを一意に決定するために格子の 4 隅の内 1 つだけに常に正方形を配置し, 残り 3 つには正方形は配置しない。よってそのパターンには  $2^{N^2-4}$  通りの ID を割り当てられる。図 3 の例のように  $N = 4$  の場合は  $2^{12} (= 4096)$  通りの ID が割り当て可能である。

### 2.3 位置検出手法

提案システムの概要を図 4 に, 処理の流れを図 5 に示す。まず環境中の天井や壁などに再帰性反射マーカを配置する。ユーザは赤外線カメラを上向きに装着し, カメラの周囲に取りつけた赤外線 LED の反射光を撮影する。再帰性反射材は照射された光を光源方向に反射するという性質を持つため, カメラ付近から発した赤外光を受けた再帰性反射材は高輝度で撮影するこ



(a) 通常の画像マーカ



(b) 半透明再帰性反射マーカ



(c) 半透明再帰性反射マーカ (フラッシュ有り)

図 2 インフラに設置されるマーカ

とが可能である。しかし、撮影される画像にはマーカだけではなく環境中にある蛍光灯や太陽光の照り返しなども含まれる。そこで、図 5 に示すように計算機により赤外線 LED を制御することで連続的に点滅させ、それと同期してマーカを撮影する。次に赤外光を照射する前後の画像の差分を求め、マーカ以外の赤外光の影響を除去する。最後に、撮影したマーカに割り当てた ID を認識することにより、マーカ (すなわち、マーカ配置位置) を同定する。また、大きさが既知のマーカの正方形の 4 隅の点から、マーカに対するカメラの相対的な位置姿勢を求めることができる [7]。

### 3. 実験

提案手法を用いてマーカを認識する実験を行った。天井に再帰性反射マーカを設置し、それらを赤外線カメラで撮影し、マーカの認識および位置・姿勢推定実験を行った。

#### 3.1 実験環境

赤外線カメラとして図 6 に示す赤外線 LED 付きカメラ (Sharp 製 CCD) を使用した。カメラの画角は  $92.6^\circ$  で、カメラの周囲に赤外線投光器として LED をとりつけた。本実験ではこの赤外線 LED の点灯を制御する回路を作成し、RS-232C 接続を用いて PC と通信し、撮影と同期して点滅制御を行った。

計算機には小型ノート PC InterLink MP-XP7310 (Pentium M 1GHz) を使用した。本実験におけるマーカは  $N = 4$ 、一辺の長さ  $160\text{mm}$ 、外枠の幅  $10\text{mm}$  とし、内部パターンとして配置する正方形の大きさを  $10\text{mm}$  四方とした。

#### 3.2 マーカの認識実験

マーカを赤外光を照射せずに撮影すると図 7(a) のようにマーカは撮影することはできないが、赤外光を照射すると図 7(b) のようにマーカは高輝度で撮影することが可能である。これらの画像の差分画像を利用し、図 8 で示すように提案手法によってマーカを認識し ID を取得することができた。また同時に画像上でのマーカの形状からカメラとマーカの相対的な位置姿勢関係を求めることができるため、本実験では図 8 のように頂点が北を指す矢印を重ねて描画した。なおこの時、カメラとマーカ

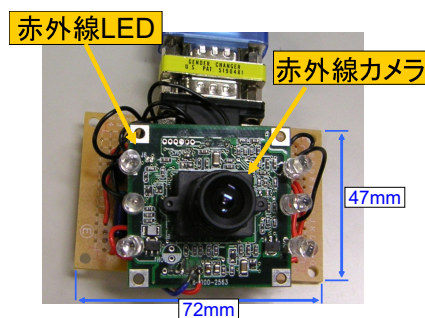


図 6 赤外線 LED 付き赤外線カメラ

の距離は約  $1.8\text{m}$ 、カメラからの入力画像は  $320 \times 240$  であり、赤外光照射前後の 2 枚の画像を取得するため、マーカの認識処理速度は約  $15\text{fps}$  であった。

#### 3.3 静止カメラ位置推定実験

カメラを鉛直上向きに固定して図 9 のように天井に設置したマーカを撮影した際のカメラ位置の推定結果を以下に示す。表 1 は 100 回の推定位置の誤差の平均と標準偏差を、図 10 は推定した静止カメラの推定位置の変動を表す。このとき、同時に認識されたマーカは 3 つであり、真値は手で計測した。

表 1 静止カメラ位置推定結果

	誤差 [cm]	偏差 [cm]
x	11	1.3
y	23	1.5
z	71	1.4

この結果より、偏りは少ないが誤差は大きくなっていることがわかる。これはカメラとマーカの距離に対してマーカが小さいことが原因であると思われる。

#### 3.4 移動するカメラ位置推定実験

鉛直上向きのカメラを平行移動して、天井に設置したマーカを撮影した際のカメラ位置の推定結果を以下に示す。開始点は  $(8, -158, 130)$  で終了点は  $(8, -8, 130)$  である (単位  $\text{cm}$ )。図 11 は推定した移動するカメラの推定位置の推移を表す。

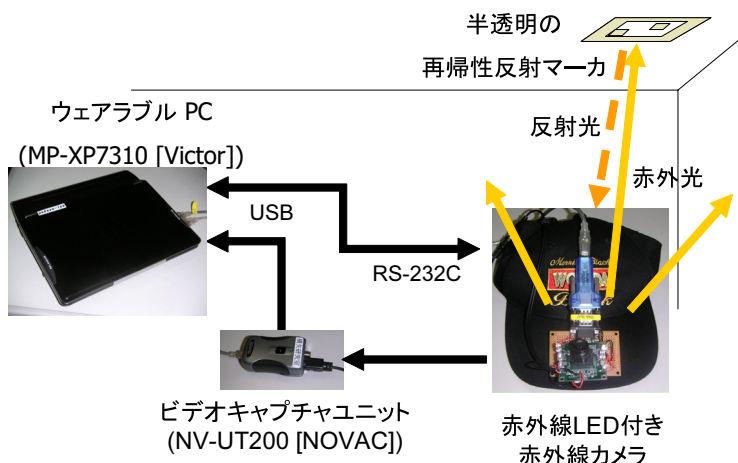


図 4 システムの概要

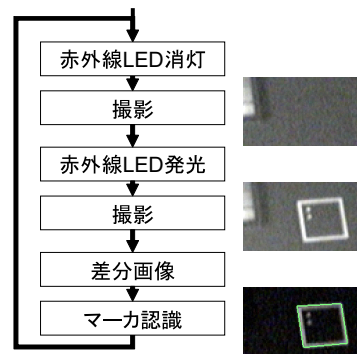
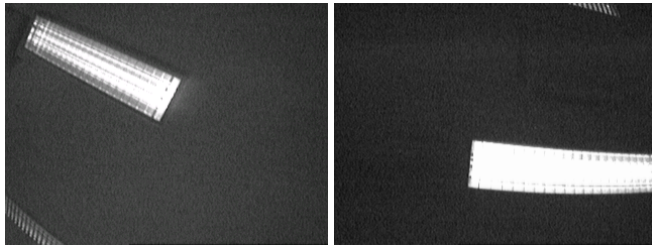
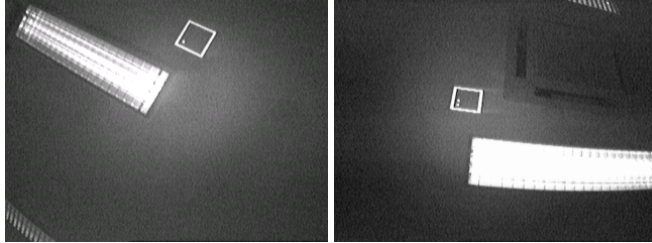


図 5 処理の流れ



(a) 赤外光を照射しないときの撮影画像



(b) 赤外光を照射したときの撮影画像

図 7 赤外線カメラによる撮影

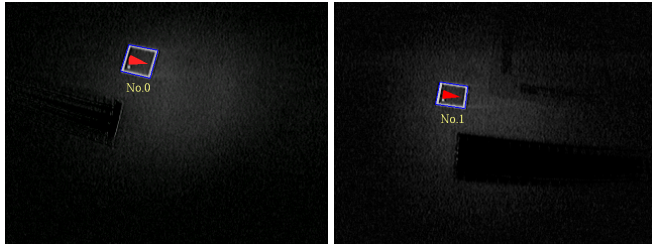


図 8 マーカ認識の結果

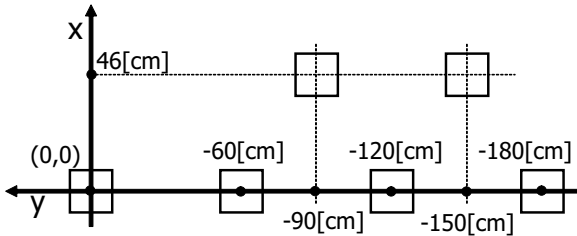


図 9 天井に設置したマーカの配置図

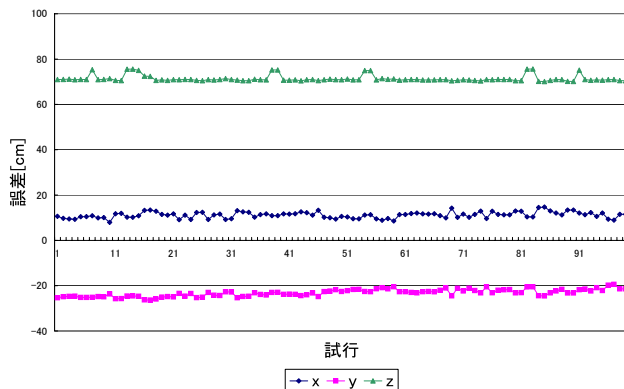


図 10 静止カメラの位置推定結果

カメラ移動によるマーカ検出精度の低下により推定位置の誤差は静止時よりも大きくなっている。y 方向の推定位置が段階的に推移しているのは撮影しているマーカとマーカの切り替え

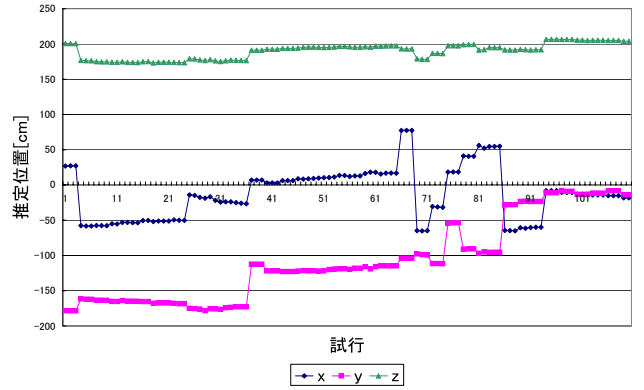


図 11 平行移動するカメラの位置推定結果

のためと思われる。よって、マーカの適切な配置方法についても検討する必要がある。

#### 4. まとめ

本稿では、半透明の再帰性反射マーカに赤外光を点滅照射し、その反射光を撮影することによって蛍光灯などの赤外光を発する物体に影響されことなく位置検出を行うことが可能な方法を提案した。さらに実験を通して大がかりなインフラが必要なく、かつ景観を損なうことなく、マーカ ID を認識し、ユーザの位置・姿勢を推定することができることを確認した。今後の課題としては、ロバスト性の向上およびマーカの配置方法の検討などが挙げられる。

謝辞 研究の一部は、科学技術振興機構 (JST) の戦略的創造研究推進事業 (CREST) 「高度メディア社会の生活情報技術」プログラムの支援による。

#### 文 献

- [1] P. Daehne and J. Karigiannis: "Archeoguide: System architecture of a mobile outdoor augmented reality system," Proc. 1st IEEE/ACM Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2002), pp. 263-264, 2002.
- [2] M. Kourogi and T. Kurata: "Personal positioning based on walking locomotion analysis with self-contained sensors and wearable camera," Proc. 2nd IEEE/ACM Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 03), pp. 103-112, 2003.
- [3] R. Tenmoku, M. Kanbara and N. Yokoya: "A wearable augmented reality system using positioning infrastructures and a pedometer," Proc. IEEE Int. Symp. on Wearable Computers, pp. 110-117, 2003.
- [4] 小田島, 神原, 横矢: "拡張現実感技術を用いた屋外型ウェアラブル注釈提示システム", 画像電子学会誌, Vol. 32, No. 6, pp. 832-840, 2003.
- [5] 羽原, 町田, 清川, 竹村: "ウェアラブル PC のための画像マーカを用いた広域屋内位置検出機構", 電子情報通信学会 技術研究報告, ITS2003-76, 2004.
- [6] L. Naimark and E. Foxlin: "Circular data matrix fiducial system and robust image processing for a wearable vision-inertial self-tracker," Proc. 1st IEEE/ACM Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2002), pp. 27-36, 2002.
- [7] H. Kato and H. Billinghurst: "Marker tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system," Proc. 2nd IEEE/ACM Int. Workshop on Augmented Reality (IWAR'99), pp. 85-94, 1999.