

# 半球上に配置された6つの標点を用いた 人物の位置と向きへの計測

北海道大学 ○土田峻史 小野里雅彦 田中文基 伊達宏昭

## 要旨

現実世界の情報を仮想世界に反映させるため、人物の位置や向きを計測する必要性が高まっている。本稿では、半球上に配置された6つの標点の三次元位置計測を用い、室内で複数の人物の位置と向きを計測する手法と、それを実装したシステムを試作した。

## 1. 緒言

近年、様々な手法で現実世界の人物の位置、向き取得を行うことが可能になり、その情報を仮想世界に反映させて利用することが行われている。例えば、位置や向きの情報と併せて日常会話などをデジタル化し記録するライフログなどの研究<sup>1)</sup>がなされている。センサを使用して人間の位置、向きを計測する手法には赤外線センサや方位センサによる測定などがあるが、干渉や遮蔽性の問題があるため、室内で複数の人物を対象とした計測には向かない。センサ非使用の計測手法としては画像解析により人間の顔を判定する手法<sup>2)</sup>が広く研究されているが、正確な位置と向きへの取得には不向きであるほか、カメラに対し背を向けたときに計測できない問題がある。

そのようなことから、室内において複数の人物の位置、向きを計測するシステムには以下のことが要求されると考えられる。

- 家具などによる遮蔽の影響を受けにくい
- 人物がどの方向を向いても計測可能である
- 人物への負担が少ない

そこで本研究では、固有の配置を持った複数標点の三次元画像計測を用いることで、複数の人物の位置と頭の向きを求めることができるシステムを提案する。

## 2. 計測手法

### 2.1 原理

3つの標点から作られる三角形の位置関係を用いて、位置と向きを計算する手法の原理について説明する。

Fig. 1 において既知の3点  $O, A, B$  に標点が配置されているとき、それらの標点からなる三角形の位置ベクトルを  $\mathbf{O}$ 、三角形の単位方向ベクトルを  $\mathbf{D}$  とおく。ここで、 $\mathbf{D}$  は任意に設

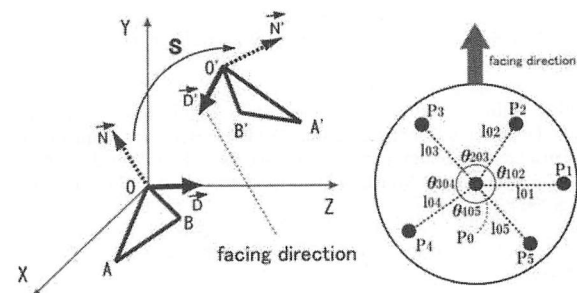


Fig. 1 位置、向き計算のイメージ Fig. 2 標点配置イメージ

定可能であり、 $\mathbf{N}$  は三角形  $OAB$  の単位法線ベクトルで、既知である。

次に、標点  $O, A, B$  が別の3点  $O', A', B'$  で計測された場合を考える。このときの三角形の位置ベクトルは  $\mathbf{O}'$  であり、また  $\mathbf{S}$  は  $\mathbf{N}$  を  $\mathbf{N}'$  に、 $\mathbf{N}$  周りの回転も含めて完全に一致させる変換行列であるとする。 $\mathbf{S}$  を計算により求めると、方向ベクトル  $\mathbf{D}'$  は以下の式で表すことができる。

$$\mathbf{D}' = \mathbf{S} \mathbf{D} \quad (1)$$

以上の原理を用いて、人物の位置と向きへの計算を行う。

あらかじめ配置した三角形  $OAB$  と、三次元画像計測により計測された三角形  $O'A'B'$  が同一の三角形であるかどうかを判定するためには、三角形の辺の長さを用いる。三角形  $OAB$  の辺の長さを  $l_0, l_1, l_2$  ( $l_0 < l_1 < l_2$ )、三角形  $O'A'B'$  辺の長さを  $l'_0, l'_1, l'_2$  ( $l'_0 < l'_1 < l'_2$ )、許容計測誤差を  $d$  と置いたとき、

$$|l_i - l'_i| \leq d \quad (i = 1, 2, 3) \quad (2)$$

の条件が成り立つ場合、三角形  $OAB$  と三角形  $O'A'B'$  が同一の三角形であるとみなすことにする。

### 2.2 標点の配置

6つの標点  $P_0 \dots P_5$  を半球上に Fig. 2 のように配置する。このように配置することで、半球の上方から半球を見た場合は常に三角形  $P_0P_1P_2, P_0P_2P_3, P_0P_3P_4, P_0P_4P_5, P_0P_5P_1$  のいずれかを計測することができる。そこで、6つの標点から構成される全25個の三角形のうち、これら5つの三角形を位置と向きへの計算に使用する。それぞれに共通する位置ベクトルと方向ベクトルを定めておくことで、いずれか1つの三角形が計測されると半球の位置と向きを求めることができる。

位置と向きへの計算に使用する三角形が満たすべき条件は以下の通りである。

- 3辺の長さから3つの標点を個別に特定できる
- 自分以外の24個の三角形から自分を識別できる

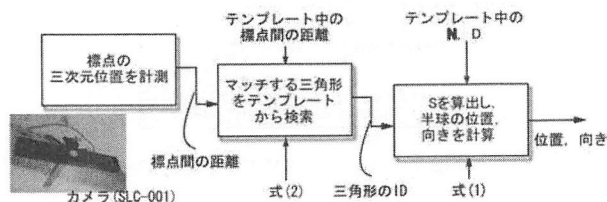


Fig. 3 位置、向き計算の流れ

これらの条件を満たし、また最も多くの人物を同時に識別することができる標点配置パターンを計算するプログラムを作成した。このプログラムでは Fig. 2 における  $l$  と  $\theta$  ( $l_{01} \dots l_{05}$ ,  $\theta_{102} \dots \theta_{405}$ ) の 9 個の値を計算して、標点配置パターンを自動生成することができる。半球の半径 10cm,  $l$  のステップ 2cm,  $\theta$  のステップ  $30^\circ$ , 計測時の許容誤差 2cm の条件で計算を行った結果、最大 3 人を同時に識別可能な配置パターンを作成することができた。

最後に、位置と向き計算の流れを Fig. 3 に示す。それぞれの三角形において構成する標点の座標と  $N$ ,  $D$  をテンプレートとして保存しておく。三次元画像計測により計測された 3 標点から作られる三角形の辺の長さを調べ、式 (2) よりテンプレートと比較する。マッチする三角形が見つかった場合、式 (1) を適用し、位置と向きを計算する。

### 3. システムの試作

#### 3.1 構成器具

今回試作したシステムでは、標点の三次元計測を行うために赤外線ステレオラベリングカメラ SLC-001 を使用した。それに伴い、標点には再帰性反射材を表面に貼り付けた半径 1cm の半球状のマーカーを使用した。標点を平面ではなく立体にすることで、平面のものに比べて赤外線の反射性を高めることができ、カメラによる標点の認識性をより向上させることができる。特にマーカーがカメラに対して傾斜した場合の認識性が高まるので (Table 1), これによって人物がカメラに対して傾斜したときに標点を見失う可能性を低減させることができる。この再帰性反射マーカーを 2.2 項で計算した標点配置パターンに基づき、半球上に配置した。

また、標点を配置した半径 10cm の半球を計測対象の人物に取り付ける目的で、既製のキャップを利用した (Fig. 4)。キャップに半球を取り付け、それを人物が装着することで、負担無く装着することができるほか、人体による標点の遮蔽を防ぐことができる。このとき、位置ベクトルは半球の頂点、方向ベクトルは Fig. 4 の矢印の方向に設定してある。

さらに、計測した人物の位置と向きを仮想世界に反映させるために、現実の室内をトレースした仮想空間を構築した。

Table 1 マーカーの形状によるカメラからの認識性の違い

マーカーの形状	認識可能傾斜 (垂直, 水平方向共に)
円 (平面)	$-50^\circ \sim 50^\circ$
半球	$-90^\circ \sim 90^\circ$

※カメラからの距離 1m, マーカーは同一半径のものを使用

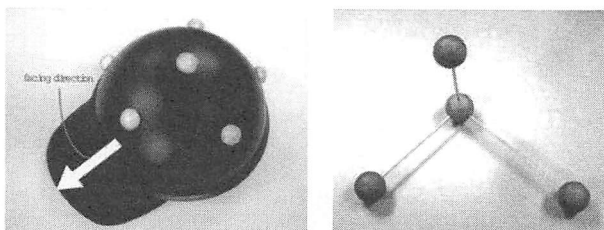


Fig. 4 半球を取り付けたキャップ Fig. 5 座標系変換に用いる器具

仮想空間中に人物の位置と向きを軌跡付きで表示

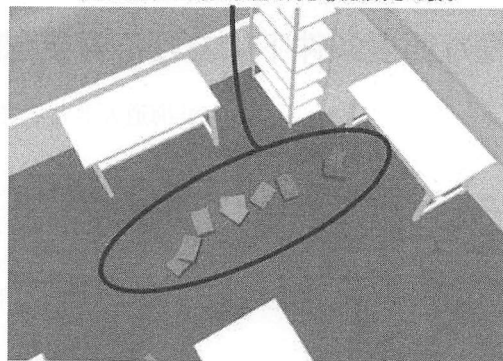


Fig. 6 実行画面

#### 3.2 カメラ座標系からワールド座標系への変換

計測された人物の位置と向きベクトルをカメラ座標系からワールド座標系へ変換するために、Fig. 5 の器具を作成した。この器具には 4 つの標点が配置されており、ワールド座標系上の既知の点に設置し計測すると、カメラ座標系からワールド座標系への変換行列が作成され、人物の位置と向きをワールド座標系で出力することが可能となる。

また、この機能によって複数台のカメラに共通の座標系を持たせることができ、マルチカメラにより測定範囲を広げることが可能となる。

### 4. 動作結果と考察

カメラを部屋の上部に設置し、3.2 節で説明した方法で座標系の変換を行った後、実際に Fig. 4 のキャップを装着して試作システムの動作実験を行った。位置と向き計算結果は数値のほか、リアルタイムで仮想空間上に表示される (Fig. 6)。

動作実験の結果、標点を配置した半球がカメラの測定範囲を出ない限り、人物がどの方向を向いても高い確率と精度で位置と向きが計測された。標点が頭部に複数配置されているため、遮蔽や人物の向きによる標点の計測失敗が少なく、また今回のシステムでは画像計測に赤外線を利用しているため照明変化の影響を受けにくいことが理由として挙げられる。

### 5. 結言

標点の三次元画像計測を用いることで、複数の人物の位置と向きを求めるシステムを試作した。標点を半球上に 6 つ配置することで、人物の向きによる標点の計測失敗が起きる可能性を低減し、また標点の形状を半球にすることでカメラによる標点の認識率を向上させた。さらに試作システムでは人物へのキャップを使用することで人物への負担を減少させ、同時に家具などによる標点の遮蔽も発生しにくくすることができた。

今後の予定としては、本システムで計測される人物の位置と向きの情報を利用し、会話の中で対象としているオブジェクトを仮想空間上で推定することに取り組む。

#### 参考文献

- 1) 相沢清晴, 体験の記録とコンテキストに基づく効果的な検索, システム/制御/情報 Vol.50 pp7-11, 2006
- 2) 飯尾淳 谷田部智之 比屋根一雄, 顔の向きと頭部位置の 3 次元情報を利用したユーザインタフェースの試作, SSII2002 pp573-576, 2002