

## 視覚 ID タグを利用したロボットのための環境認識

## Environment Recognition Using Visual ID Tag for Robots

渡部未央† 田中秀幸‡ 矢入健久‡ 町田和雄‡

Mio WATANABE Hideyuki TANAKA Takehisa YAIRI Kazuo MACHIDA

† 東京大学大学院 航空宇宙工学専攻

Department of Aeronautics and Astronautics, The University of Tokyo

‡ 東京大学 先端科学技術研究センター

Research Center for Advanced Science and Technology, The University of Tokyo

## 1. 序論

自律ロボットにとって、環境認識の技術は必須である。しかし現在の技術は未だ不十分であり、実社会環境でのロボット実用化を促進するためには、ロボットの認識を支援するような環境整備が不可欠である。この例として、従来視覚マーカによる認識支援が行われてきた。本研究では、位置・姿勢および ID の情報を取得可能な視覚マーカに注目し、これを活用してロボットによる形状モデリングの支援を行なう。具体的には、自己位置の情報なしで、単一カメラにより物体や空間の大まかな 3 次元形状モデルを作成する手法を提案する。また、実験を行なってその有用性を実証する。

## 2. 視覚 ID タグを活用した形状モデリング

本研究のアプローチについて概説する。

## 2.1 平面情報の統合による多面体近似モデル

本研究では、壁や物体に複数の視覚マーカが貼られた環境を認識対象とする。マーカは平面形状をしており、単一のカメラによる観測で、カメラとの相対的な位置・姿勢および ID を取得できるものとする(以下、このマーカを視覚 ID タグまたはタグと呼ぶ)。我々が提案する手法は、この視覚 ID タグが物体の接平面の一部であることに着目する。そして、タグの表側を自由空間(0)、裏側を物体(1)とみなす。こうした空間の二値化を複数タグに関して行ない、その結果を統合して論理演算を適用することで、最終的に 0,1 の境界を多面体として求める。こうして抽出した多面体領域を、空間または物体形状の近似モデルとする。提案手法のイメージを Fig.1 に示す。

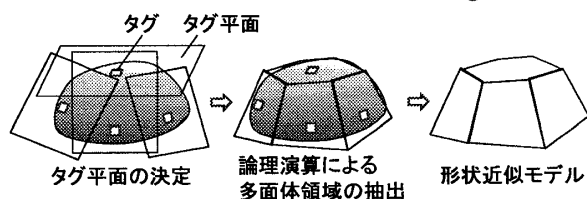


Fig.1 提案手法による形状近似モデル作成のイメージ

本手法の形状モデルは比較的粗いものである。しかし、ナビゲーションや物体把持等の簡単なタスクであれば、実用上十分に使用可能と考えられる。また、こうして作成したモデルをタグ ID と対応させて登録しておけば、それ以降はタグを観測するだけで形状モデルを呼び出せるため、物体認識を容易にすることが可能である。

## 2.2 視覚 ID タグおよび観測データ

ID および位置・姿勢が得られる視覚 ID タグとして、ARTag マーカ[1]を用いる。これは Fig.2 左のような平面タグである。ID は内部の 6×6 セルの白黒パターンに記録される。ID が  $i$  であるタグをタグ  $i$  とすると、カメラでタグ  $i$  を観測することにより、カメラ座標系  $Ca$  からタグ  $i$  に固定された座標系(タグ座標系  $i$ )への同次変換行列  ${}^Ca M_i$  が得られる

(Fig.2 右)。これがタグ  $i$  の位置・姿勢に相当する、またこれによりタグ  $i$  の規定する接平面(タグ平面  $i$ )は、タグ座標系  $i$  の原点を通り  $z$  軸を法線ベクトルとする面として認識できる。

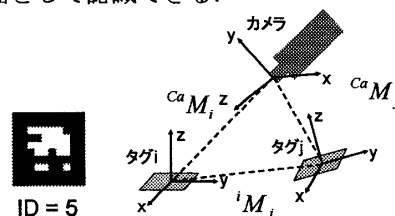


Fig.2 ARTag の一例 (左)、観測によって得られる同次変換行列 (右)

## 3. 形状モデル作成のためのデータ処理法

ここでは具体的なデータ処理内容について述べる。

## 3.1 モデル作成までの手順

- (i) 認識支援環境の整備: 物体・空間の形状に合わせて視覚 ID タグを貼る。
- (ii) 観測: カメラでタグを認識し、 ${}^Ca M_i (i=0,1,\dots,N)$  を取得する。
- (iii) 局所的相対関係の計算: カメラの 1 フレーム内で同時に観測されたタグ  $i$  とタグ  $j$  について、タグ座標系  $i$  と  $j$  の相対関係を表す同次変換行列  ${}^i M_j$  を次式によって計算する。

$${}^i M_j = {}^i M_{Ca} \times {}^Ca M_j = ({}^Ca M_i)^{-1} {}^Ca M_j \quad (1)$$

カメラの移動とともに  ${}^Ca M_i$  は変化するが、 ${}^i M_j$  は本質的には不変である。これ以降の計算では  ${}^Ca M_i$  を用いないため、本手法はカメラの自己位置に関する情報を必要としない。

- (iv) 全体的相対関係の計算: (iii) で求めた局所関係を用い、すべてのタグの位置関係のある座標系の下で記述する。詳細は 3.2 で述べる。

- (v) 多面体形状モデル作成: すべてのタグ平面による空間二値化の結果を統合し、多面体形状モデルを作成する。詳細は 3.3 で述べる。

## 3.2 全体的相対関係の計算

あるタグ座標系  $b$  を基準座標系とし、すべてのタ

グの位置関係を  $b$  の下で記述する. (1)式で求めた局所データを用い, (2)式により計算する.  $m$  は観測されたタグの総数である.

$${}^b M_i = {}^b M_{a_1} \times {}^{a_1} M_{a_2} \times \dots \times {}^{a_{p-1}} M_i \quad (p=1,2,\dots,m-2) \quad (2)$$

$a_1 \sim a_p$  には  $b, i$  以外のタグが当てはまる. (2)式が計算可能となるためには, 計算に必要な同次変換行列が(1)式で計算されていないなければならない. (2)式によって  ${}^b M_i$  は複数計算できる. これらの重み付け平均をとることで  ${}^b M_i$  を決定する.

### 3.3 多面体形状モデル作成

すべてのタグ平面による空間二値化の結果を統合し, 論理演算を適用することで多面体形状モデルを作成する. タグ平面の表側を空間(0), 裏側を物体(1)とみなす.

Fig.3 の左で示される空間について考える.  $i$  によって 0 となる領域を  $0i$  と表記する. この表記法に従い, Fig.3 の左において黒いタグで示されたタグ  $i$  とタグ  $j$  によって分割される領域を Fig.3 の右に示す. このとき物体側となる領域を求める論理演算の方法は以下のとおりである. タグ面  $ij$  が凹面をなすとき, 物体側となるのは論理和の結果が 1 の領域である (Fig.4 左). またタグ面  $ij$  が凸面をなすとき, 物体側となるのは論理積の結果が 1 の領域である (Fig.4 右).

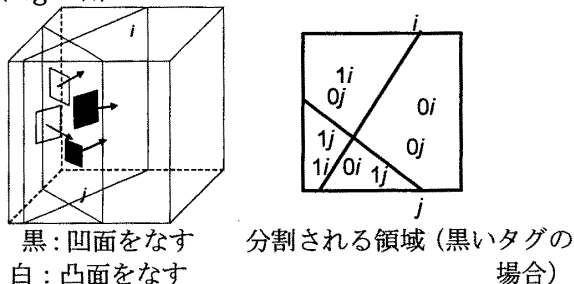
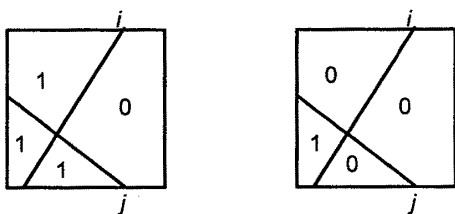


Fig.3 複数のタグによる空間二値化



黒いタグの場合 (凹面) 白いタグの場合 (凸面)

Fig.4 論理演算の結果

## 4. 実験

提案した手法の有効性を示すために実験を行う.

### 4.1 実験の概要

#### i. モデリング

カメラを使用して, 物体に貼られた視覚 ID タグを観測し, モデルを作成する.

実験対象となる物体を Fig.5 に示す.

#### ii. 形状の登録

モデル作成後に, ある ID のタグにモデルの情報を登録し, その他のタグを全て外す.

### iii. 物体認識

モデルの情報を登録したタグをカメラで撮影することで物体認識を行う.

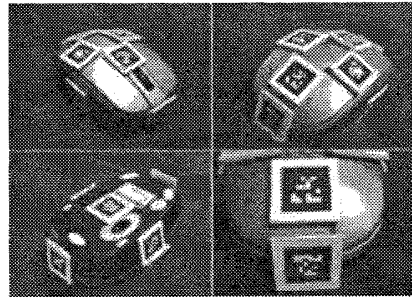


Fig.5 対象となる物体

## 4.2 実験結果

### i. モデリング

タグをカメラで撮影して提案した手法を適用することにより, Fig.6 のモデルが作成できた.

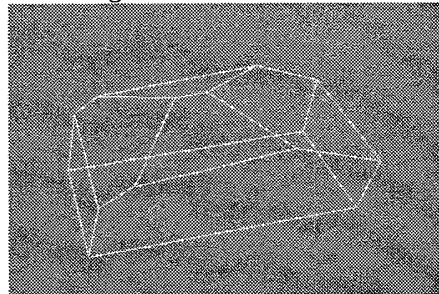


Fig.6 作成したモデル

### ii, iii. 登録した情報による物体認識

ある ID のタグに作成したモデルの情報を登録した後, カメラで撮影すると Fig.7 に示すような情報が提示され, 物体認識ができた.

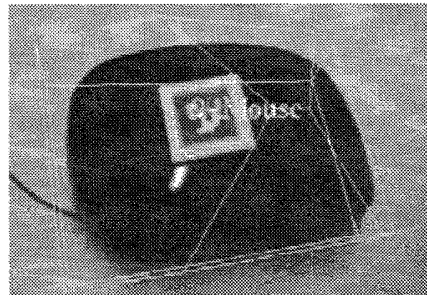


Fig.7 タグにより得られたモデル

## 5. 結論

視覚 ID タグを物体・空間に配置することで形状認識を多面体近似によって行う手法を提案した.

実験により, 形状のモデルを作成でき, その情報を利用することで物体認識ができることを示した.

凸面のみ, 凹面のみで構成される物体・空間に関して手法が適用できるが, 凹凸が混在した物体への対応が今後の課題である.

### 参考文献

- [1] Fiala, M. "ARTag, a fiducial marker system using digital techniques", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition vol.2, 2005