

特徴点对応を必要としない剛体の位置合せ手法

3L-7

喜多泰代

電子技術総合研究所 視覚情報研究室

1. まえがき

剛体を平行移動、回転移動して得られる任意の位置・姿勢を、特徴点や特徴セグメントの対応ペアの抽出を行わずに検出する手法について述べる。図1(a)に示すように、代表点 $P_i(x_i, y_i, z_i)$ ($i=1\sim n$, 図中●) の座標値で表された剛体が、任意の平行移動、回転移動した後の座標を $P'_j(x'_j, y'_j, z'_j)$ ($j=1\sim n$, 図中×) とする。本研究では、元の点との対応関係はわからないが、移動後のすべての点の座標値が得られた場合に、この移動量を求める問題を考える。この場合、移動前の P_i ($i=1\sim n$) と移動後の P'_j ($j=1\sim n$) のそれぞれの重心位置が求まるので、まず重心を重ねるように平行移動させ、残りの姿勢のずれを重心回りの回転移動で表すこととする。ここで、図1(b)のように重心を重ねた後の座標を改めて $P_i(x_i, y_i, z_i)$ ($i=1\sim n$) と表し初期姿勢とし、求めたい姿勢 $P'_j(x'_j, y'_j, z'_j)$ ($j=1\sim n$) を目標姿勢とする。

今、初期姿勢にある剛体に重心固定で適切な回転力を加えれば、目標姿勢に重ね合わせることができるとに着目し、目標姿勢からの任意のずれに対して、常に目標姿勢に近付ける方向の回転力を生じるような力の定義について考える。まず初めに、目標姿勢の各点 P'_j からすべての P_i に距離の2乗に反比例する吸引力(ただし距離0においては力0)を想定し実験を行った。この場合、近傍の目標姿勢の点からの影響が主に効くため、回転移動量が代表点間隔より大きくなると容易に目標姿勢とは異なる姿勢で安定する。これに対して、逆の発想から各点 P'_j からすべての P_i に距離の2乗に比例した斥力を加えると、任意の回転移動量に対して、目標姿勢(もしくは重心に関するその正対位置)に収束する現象が観測された。この斥力による目標姿勢への収束は、図2の2点A, Bからなる系を例とすると次のように説明できる。今、目標姿勢 A_0, B_0 から θ 回転してずれた場合、Aにかかる A_0, B_0 からの斥力による力モーメントは、斥力が距離に比例とした場合、図中a, bとなり大きさが等しく打ち消し合う。したがって、斥力が距離の2乗であれば必ず遠い点から受ける斥力が大きくなり、常に回転のずれを減らす方向に力が働き、目標姿勢に収束する。

2. 位置合せのアルゴリズム

P'_j からの斥力による P_i の安定位置は逐次近似で解く。具体的アルゴリズムは以下のようである。1) 目標姿勢の各点 P'_j からすべての P_i に2点間の距離の2乗に比例した斥力 $F(F_x, F_y, F_z)$ を与え、重心固定としたときこの斥力により生じる力モーメントの総和 $N(N_x, N_y, N_z)$ を剛体 P_i ($i=1\sim n$) にかかる回転力モーメントとする。2) 今、対象剛体が粘性係数 γ の流体中で回転すると仮定すると、その運動方程式は $I * d^2\theta/dt^2 + \gamma d\theta/dt = N$ (I は慣性モーメント) となり、 γ が非常に大きく第一項の加速度は無視できるとすると、 $dt=1$ の間に $d\theta = N/\gamma$ だけ回転すると近似できる。 $(\gamma$ は、 $d\theta$ が微小変移となるように適応的に自動算出する。) この変移を各 P_i に加えて新しい姿勢を算出する。この1), 2) の処理を剛体が安定姿勢になり $d\theta = 0$ となるまで繰り返す。

3. 実験結果

図3に、剛体(●)が図1(b)の初期状態から目標姿勢(×)まで収束する過程(灰色は軌跡)を示す。平面図形、対称形状なども含めたいくつかの形状の物体の、種々の姿勢からの重ね合わせ実験により、ほとんどの場合、回転移動量の3つのオイラー角成分のすべてが90度以内の片半球内なら目標姿勢に収束し、その反対側のときには、重心に対して点対象の位置で収束することが観測された。従って安定状態になった後対象との重なりを調べ、重なっていなければ点対象位置に修正することにより、任意の状態から常に正しい重なり位置が得られる。立方体のように重なり位置が複数ある場合は、最も小さい回転移動で重なる位置で安定する。ただし、対象形状によって、例外的に、目標姿勢(及びその正対位置)以外にも局所安定点が存在する場合がある。明らかな例として、平面図形を裏返した状態から元の姿勢への復元は行われず、裏返した状態での局所安定の姿勢に収束する。また、図4の平面図形Kの場合は、同じ平面内での回転移動においても、(a)に示すような異なる安定状態が存在する。ただし、後者のような局所安定状態は、斥力を距離の3乗と定義すると消失し、目標姿勢(もしくはこの重心に対する点対象の位置)だけで収束する(図4(b))。このため、一般的には、斥力を距離の3乗と定義すると良い。ただし、斥力を距離の3乗とすると正n角形を扱えない(この場合、どの位置でも力がつり合い、最適重なりは見つけられない)などの短所があるため、対象形状や目的に応じて使い分けするのが望ましいと思われる。

Registration method for rigid objects without point matching

Yasuyo Kita

Electrotechnical Laboratory

1-1-4 Umezono, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

4. 安定状態に関する考察

対象剛体が目標姿勢にある状態では、剛体中の任意の2点の組合わせにおいて相互に斥力が及び、この斥力のペアが同じ大きさで逆向きの力モーメントを発生するため、任意の点数の剛体において回転力が0の安定状態である。次にずれた位置での振舞いを、2次元座標系で対象物が代表点3点で表される場合について検討した。図5(a)のように、重心を原点とし、三角形の2点を $(1,0), (r_1 \cos \theta_1, r_1 \sin \theta_1)$ と置く(最後の一点は重心条件により必然的に決まる)と、 r_1, θ_1 の2つの変数で3点系の一般的な場合を考えることができる。この三角形が今、 $d\theta$ 回転して元の位置を最終状態とした時にかかる力モーメントの変動を r_1 と $d\theta$ の2変数の関数として表し、 θ_1 が $m\pi/10$ ($m=1\sim 10$)の各値に対して算出した結果を図5(b)に示す。図5(c)は、 $r_1 = 5.0$ における断面図である。この図より $d\theta$ が0度と180度において、その点における力モーメントが0でありかつ、その前後で回転のずれに対して常に逆向きの力モーメントが作用することがわかり、これら2点が唯一の安定点であることを示している。

5. まとめ

各部分の点对応関係を求めることなく、単純な計算により剛体の位置合せを行うことができる手法について述べた。現在、この手法を用いて、観測レンジデータからの対象物体の位置・姿勢検出の実験を行っている。

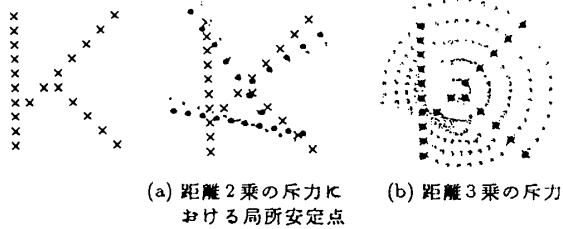


図4: 目標姿勢以外の安定状態がある例

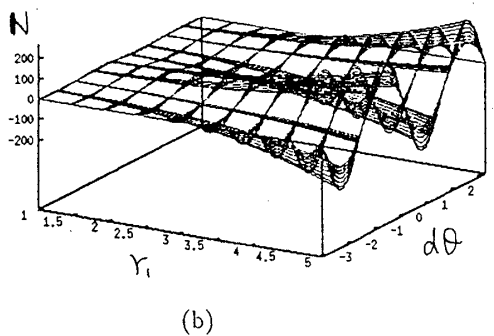
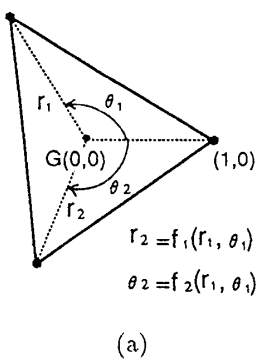


図5: 3点からなる系の力モーメントの変動

<謝辞> 有益な御助言をいただいた、藤村是明主任研究官、喜多伸之主任研究官、また、高瀬国克知能システム部長および視覚情報研究室の皆様へ深く感謝いたします。

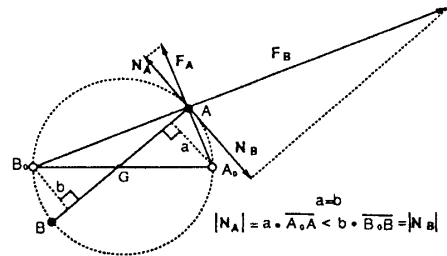
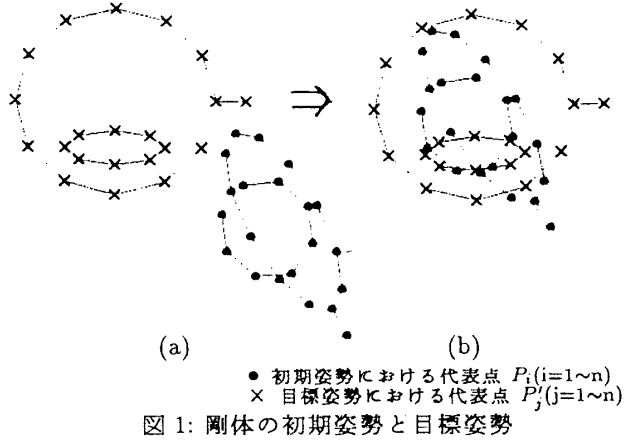


図2: 2点系の場合

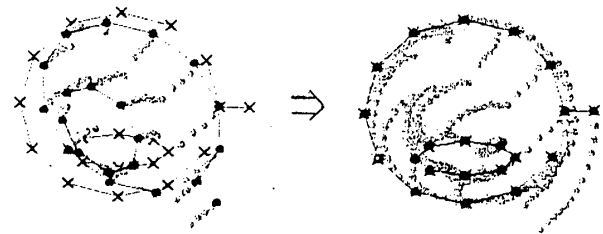


図3: 目標姿勢への収束過程

