V36 投影像からの円の三次元姿勢推定の一方法

済木康永[†], 高橋章[††], 石井郁夫[††], 牧野秀夫[†††] 中静真[†††]
[†]新潟大学大学院工学研究科, [††]新潟大学大学院自然科学研究科, [†††]新潟大学工学部情報工学科

1. はじめに

人間の手足などの動き解析を画像処理で計測する方法として，計測対象となる部位にマーカーを貼り付け，その位置・姿勢を計測する方法がある[1]．この方法では，センサ等の計測装置の装着が不要であるため，拘束感が少ないという利点をもつ．多角形マーカーの場合，頂点のオクルージョンが発生すると，計測精度が低下したり計測不能になる場合がある．円をマーカーに用いると，円の支持平面内の回転の情報は失われるが，部分的なオクルージョンの影響は少ない．円の投影像がコニック(円錐曲線)となることを利用し，コニックを表す行列の固有値と固有ベクトルを求めることにより，円の支持平面の位置・姿勢を計測する方法[2]が提案されているが，数値演算による固有値・固有ベクトル計算を繰り返す必要があるので，計算量が多くなり，実時間処理には向かない．そこで，本稿ではコニックに内接する複数の三角形をとり，その頂点座標を用いて2自由度の最適化により円の姿勢を推定する方法を示す．

2. 姿勢推定法

円の投影像であるコニック上で3点をとり三角形を1つ定めると，空間中で投影中心を頂点とする1つの三角錐が定まる(図2)．この三角錐を任意の平面で切断したときにできる三角形について，外心が一意に定まる．よって，コニック上に頂点をもつ複数の任意の三角形をとり，それらの作る三角錐を切断したときに外心が一致するような平面を求めることで，円の支持平面が決定できる．支持平面は2自由度で表現可能であるので，少なくとも2つの三角形をとればよい．以下では，コニック上の3点と平面が与えられたときに代数的に投影中心から外心へ向かうベクトルを求める手続きと，2自由度最適化による姿勢推定の手続きを述べる．

2.1 外心の算出

投影中心から外心へ向かうベクトルを求める手続きをベクトル演算で実現することにより，ベクトルの正規化以外は加減算，乗算のみで行えることを示す．視点Oを原点，光軸をz軸とする座標系をとり，画像面を$z=f$とする(図1)．空間中の点Pと，その投影像p，Oの3点は同一直線上に存在する．図2のように，コニック上の点$p_1p_2p_3$と，$\boldsymbol{V}_n$を法線ベクトルとするOを通らない平面Π_nが与えられたとき，3点$O, p_1, p_k (k=2,3)$が定める平面Π_{1k}の単位法線ベクトルを$\boldsymbol{U}_{1k}$とすると，直線P_1P_kの方向を表すベクトル(方向ベクトル)$\boldsymbol{w}_{1k}$は

$$\boldsymbol{w}_{1k} = \boldsymbol{V}_n \times \boldsymbol{U}_{1k} \tag{1}$$

となる．次に，ベクトル$\boldsymbol{V}_n, \boldsymbol{w}_{1k}$に垂直なベクトル

$$\boldsymbol{T}_{1k} = \boldsymbol{V}_n \times \boldsymbol{w}_{1k} \tag{2}$$

と，Oから線分P_1P_kの中点に向かうベクトル$\boldsymbol{S}_{1k}$を定めると，Oを通りベクトル$\boldsymbol{T}_{1k}$と$\boldsymbol{S}_{1k}$に平行な平面Φ_{1k}が求まる．2平面Φ_{12}, Φ_{13}の交線がOと三角形$P_1P_2P_3$の外心を通る直線となる．三角形の外心は外接円の中心に一致するので，Oと外接円の中心を結ぶ直線の方

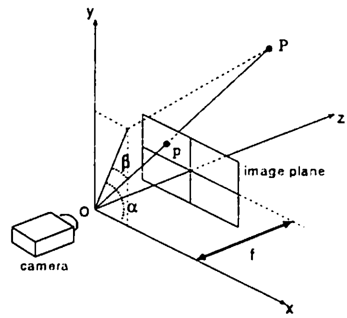


図1: 座標系

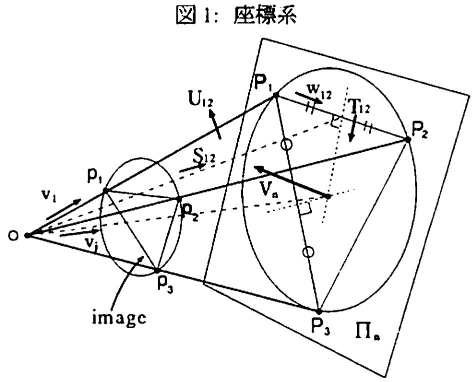


図2: 外心の算出

向ベクトルv_jが，2平面Φ_{12},Φ_{13}の法線ベクトルϕ_{1k}のベクトル積で定まる．

$$v_j = \phi_{12} \times \phi_{13} \quad (3)$$

2.2 最適化による姿勢推定

$\boldsymbol{V}_n$は図1のように定める2つの方向成分α_n,β_nを用いて

$$\boldsymbol{V}_n = (\cos\alpha_n\cos\beta_n, \sin\alpha_n\cos\beta_n, \sin\beta_n) \quad (4)$$

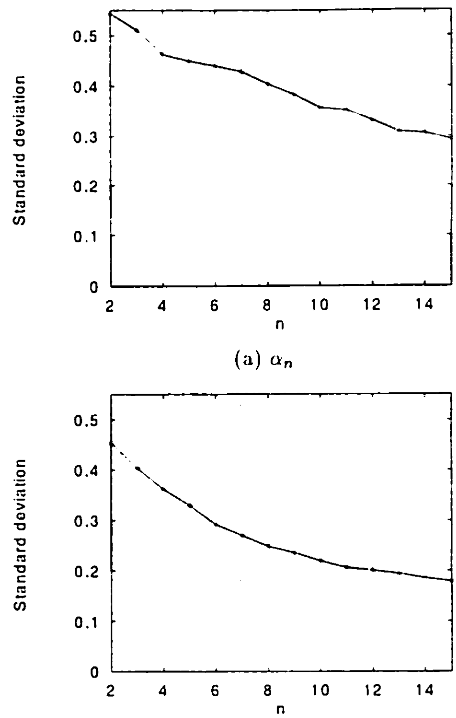
と表せるので，支持平面の姿勢は2自由度をもつ．よって，2変数からなるベクトル$\boldsymbol{X} = (\alpha,\beta)$を考え，2自由度最適化により$n$個の三角形の外心が一致するような$\boldsymbol{X}$を求めることで，円の姿勢を推定できる．今回は，最適化手法として滑降シンプレックス法を用いる．この方法では3組の初期ベクトルを用意する必要があるが，そのとり方は任意である．最適化の目的関数として，n個の三角形のそれぞれの外心に向かうベクトルv_jの成分の分散を用いる．$v_j = (A_j, B_j, C_j)$ $(j = 1,2,\cdots,n)$とすると，目的関数$F(\boldsymbol{X})$は，

$$F(\boldsymbol{X}) = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}(A_j^2, B_j^2, C_j^2) - (\overline{A_j}^2, \overline{B_j}^2, \overline{C_j}^2) \quad (5)$$

で表される．姿勢推定を行うには少なくとも2つの三角形が必要である．姿勢が推定できると，位置推定はスケール推定問題に帰着できる[1]．

3. シミュレーション

上で示した姿勢推定のアルゴリズムの有効性を確認するために，空間中の円に内接するn個の三角形の投影像から姿勢推定を行うシミュレーションを行った．円上の三角形の頂点を透視投影した点に正規分布$N(0,0.5^2)$に従う誤差を加え，$n = 2 \sim 15$について1000回ずつ反復し，三角形の姿勢の真値との差の平均と標準偏差を調べた．シミュレーションは，半径200，中心(20,0,1000)，姿勢の真値(50°,50°)の円を用い，円に内接する三角形は正三角形をランダムに選んで行った．三角形の個数nと，方向成分の標準偏差の関係を図3に示す．(a)がα_n，(b)がβ_nに関する結果である．真値との差の平均はα_n,β_nともに0.003°未満であり，推定が正しく行われていることが確認できた．グラフから三角形の個数が増えるにつれて精度が向上することがわかる．最適化計算の収束回数は，$n = 2$の場合が平均128回程度で，$n \geq 3$では45回前後であった．最適化の収束に要する時間は，PC-AT互換機(486DX2-66MHz)上で$n = 3$のとき約7ms，$n = 9$のときは約11msであった．これは実測に十分耐えうる速度といえる[1]．



(a) α_n

(b) β_n

図3: シミュレーション結果

4. まとめ

コニック上の複数の三角形の頂点座標を用いて三次元空間上の円の姿勢を推定する方法について述べた．シミュレーションでは，本方法による姿勢推定法が有効であること，計算時間は実測に十分耐えうること，三角形の数を増やすと精度が向上することがわかった．今後の課題として，コニック上の三角形のとり方やコニックの一部が隠れた場合の姿勢推定精度を調べること，奥行きの算出法の検討を行うこと，実際の計測へ適用することが挙げられる．

参考文献

[1] 高橋章，石井郁夫，牧野秀夫，中静真:" 人工現実感インターフェースのための画像処理による頭部や手指の位置・姿勢の計測法", 信学技報, MVE95-23,pp.97-102(1995-05)

[2] 劉武，金谷健一:" コニックの三次元解釈とその応用", 情処研報, 92-CV-76,1992-01