4P-6

ガウス写像における曲面の姿勢パラメーターを推定する方法について

九州大学　長田　正　○査　紅彬

1．まえがき

測光学ステレオ法を利用して，あるいはレーザービームやレンジファインダなどを用いて，曲面における面素の傾きや距離などを抽出することができる．このような三次元情報に基づく対象物の局所的な表現はすべて定量表現（quantitative representation）である．物体を認識するためには，これをより抽象的な定性表現（qualitative representation）に変換して，記述する必要がある．本稿では，機械部品など人工物体によくある円柱曲面と回転面のガウス写像（Gaussian projection）を求め，このような曲面の記述を得ることを試み，さらに，ガウス球上の平面曲線を含むその平面のパラメーターを推定することにより円柱面と円錐面の姿勢パラメーターを決める方法について述べる．

2．円柱曲面と回転面のガウス写像

曲面の面素における単位法ベクトルを始点位置と関係ないように三次元空間の原点に平行に移動すると，このベクトルの端点は半径が1である球面，つまりガウス球面上にのる．対象物としている曲面の全体にわたって求められるこのような単位法ベクトルの端点分布をこの曲面のガウス写像と呼ぶ．曲面の法ベクトル分布が分かると，ガウス球面空間は曲面を表現する有力な道具になっている[1]．

円柱曲面は，切断面が直線の中心軸と直交し，かつ中心軸に沿って切断面の形が変わらない一般化円筒面のサブクラスである．任意の姿勢である円柱曲面のガウス写像は原点を通る平面がガウス球面と交わる大円であり，大円を含む平面の法線方向は常に円柱曲面の中心軸と一致する．

回転面も一般化円筒面のサブクラスであり，切断面が円でなければならないが，掃引規則は任意の関数で与えられる．回転面の全体のガウス写像はガウス球面上であるまとまった領域を構成する．しかし，回転面のある緯度円にそって曲面上の点をガウス球面上に射影すると，ガウス写像は平面曲線であり，原点から平面までの距離は回転面の掃引規則を表す曲線の傾斜率に依存する．さらに，この平面の法線方向は常に回転面の中心軸の方向と一致する．

円柱面と円錐面は回転面，あるいは円柱曲面の特殊例であり，これらのガウス写像もまた平面曲線である．従って，ガウス写像において平面のパラメーターを推定することにより，円柱面と円錐面の姿勢パラメーターを求めることができる[2]．

3．ガウス写像における平面パラメーターの推定

画像から求められる曲面のガウス写像は点

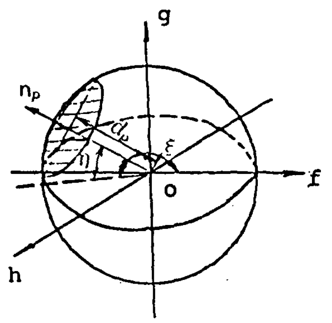
$$\mathbf{g}_i=(f_i, g_i, h_i) \qquad i=1,\cdot,\cdot,\cdot,n$$

の集合 $\{\mathbf{g}_i \mid i=1,\cdot,\cdot,\cdot,n\}$ で表され，これは画像の特徴空間におけるサンプルとみられる．一般に，最小二乗法を用いて，これらのサンプルから平面のパラメーターを推定することができる．しかし，実際に得られるガウス写像には雑音が多く含まれている．これに対して，雑音の影響を受けにくい平面のパラメーター空間におけるクラスタリング法（clustering method）を使うことが考えられる．平面を表すパラメーターは三つある．例えば，図（1）のような極座標系を選べば，法ベクトルの方向 (η,ξ) と原点から平面までの距離 d_p がそれらのパラメーターとなる．この座標系を用いて，平面の法ベクトル $\mathbf{n}_p(\eta,\xi)$ は

Estimating the Orientation Parameters about Surfaces in the Gaussian Projection

Tadashi NAGATA, Hongbin ZHA
Kyushu University

$$\mathbf{n}_p(\eta,\xi)=(cos(\eta)sin(\xi),sin(\eta),cos(\eta)con(\xi))$$



図（1）

で与えられる．法ベクトルのパラメーター空間(η,ξ)において，各サンプル$\mathbf{g}_i$と$\mathbf{n}_p(\eta,\xi)$との内積を求める．これは$\mathbf{g}_i$　の$\mathbf{n}_p(\eta,\xi)$への射影$d_i(\eta,\xi)$であり，

$$d_i(\eta,\xi)=\mathbf{n}_p^t(\eta,\xi)\mathbf{g}_i$$
$$=f_i cos(\eta)sin(\xi)+g_i sin(\eta)+h_i cos(\eta)con(\xi)$$

となる．もし$\mathbf{n}_p(\eta,\xi)$　が検出する平面の法ベクトルであれば，$d_i(\eta,\xi)$はすべて同じ値になる．これを確かめるために，確率変数のエントロピー（entropy）の性質を利用して，次のように評価関数$E(\eta,\xi)$　を導入する．

$$E(\eta,\xi)=\frac{H(\eta,\xi)}{S(\eta,\xi)}+\log(S(\eta,\xi))$$

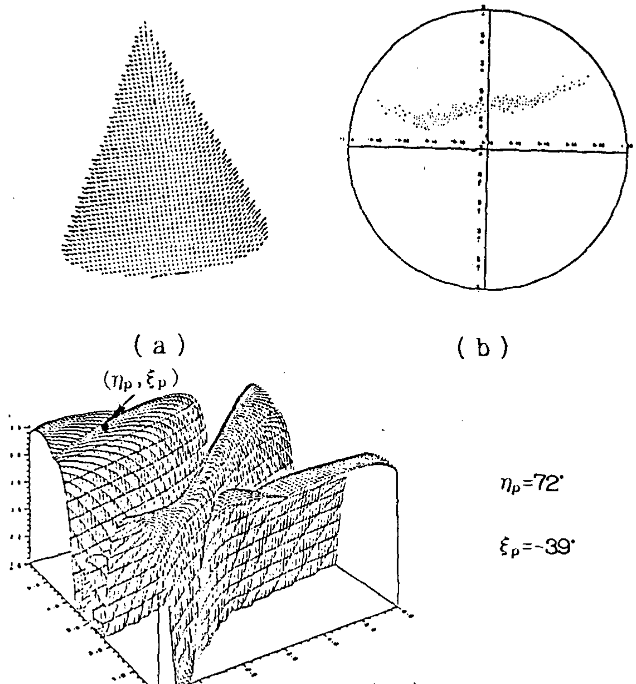
ここに，

$$S(\eta,\xi)=\sum_{i=1}^{n}|d_i(\eta,\xi)|$$

$$H(\eta,\xi)=-\sum_{i=1}^{n}|d_i(\eta,\xi)|\log|d_i(\eta,\xi)|$$

である．

$d_i(\eta,\xi)$の値が等しくなるほど$E(\eta,\xi)$　の値は大きくなる．従って，平面のパラメーター空間において，$E(\eta,\xi)$　の最大値を検出することにより，そのパラメーターの値を推定することができる．図２（ａ）には，測光学ステレオ法を用いて得られた円錐面の法ベクトル分布を示している．図２（ｂ）には，この円錐面のガウス写像の(f,g)座標面への射影が示されている．図２（ｃ）は(η,ξ)空間における$E(\eta,\xi)$の形である．$E(\eta,\xi)$が最大値をとる(η_p,ξ_p)は円錐面の中心軸の方向と一致する．



（ａ）　（ｂ）

（ｃ）

図２

４．むすび

本稿では，幾何学的な拘束条件を利用して，曲面の法ベクトルの分布から曲面の姿勢などより抽象的なパラメーターの値を求める一つの方法について述べた．この方法は単純な局所的な計算なので，曲面が一部分隠される場合にも利用できる．また，基本曲面から組み立ててできた物体のガウス写像を回転させながら，物体のモデルと照合することにより，もっと複雑な物体の姿勢を求めることも可能である．しかし，この方法の有効性は法ベクトルを抽出する手法の精度に依存するので，曲面の法ベクトルを求める方法をより有効的に改善することが実用化のための一つ重要な課題になる．

参考文献

（１）．Horn, B. K. P, "Extended Gaussian Images", Proceeding of the IEEE, vol. 72, no. 12, December 1984

(2). 長田 正，査 紅彬，木室 義彦，"勾配空間とガウス写像を利用する基本曲面の表現と検出"，計測自動制御学会九州支部学術講演会予稿集(1985)