

2V-5

水平3眼ステレオによる
プロフィールからの曲面形状復元

植芝俊夫 富田文明
電子技術総合研究所

1. はじめに

従来の2眼ステレオ法では、テクスチャを持たない物体を観測する場合、その3次元情報は観測された画像のエッジ点上でしか得ることができない。したがって、表面形状を復元できる物体は各面がそれを囲む境界線で一意に決定できる立体、すなわち多面体に限られていた。さらに、観測している物体表面が平面なのか曲面なのかという定性的判断すら困難であった。本報告では、同一の水平直線上に3台のカメラの投影中心を配した水平3眼ステレオによって、①観測している面の種類の判別を行ない、②さらに対象物体のクラスを限定すればその面の3次元形状を定量的に復元できることを述べる。

2. 水平3眼ステレオ

水平3眼ステレオとは、3台のカメラの投影中心を同一直線上(基線)に設置した撮像系である(Fig.1)。3次元空間中の点Pに対してPと基線を含む平面(エピポーラ面)が決まり、各カメラにおけるPの像は投影面とエピポーラ面の交線上に現れる。また、距離の測定精度を上げるためには、できるだけ異なった方向から対象点を観測する必要がある。そのため、3台のカメラの光軸は互いに平行ではなく、内向きの角度(輻輳角)を持たせて配置されている。

この撮像系によって得られた3枚の画像を境界線表現(B-Rep)に変換し、セグメントと呼ばれる線の単位でこれらの画像間の要素の対応関係を得ることができる^[1]。

3. 曲面形状の復元

3.1 面の種類の判別

基線を含み3台のカメラの投影面と交差する任意の平面を考える。この平面(エピポーラ面)上における3枚の画像の対応点: P_l, P_c, P_r が得られたとすると、これらの点と各カメラの投影中心を通る3本の視線が決定する(Fig.1)。 P_l, P_c, P_r が3次元空間中の同一の点: Pの像である場合に限り、これら3本の視線は1点(P)で交わる。この事実を用いることにより、着目している点がどのような種類の面の境界上の点であるかを以下のように判定することができる。

① 3本の視線が1点で交われば平面または凹曲面の境

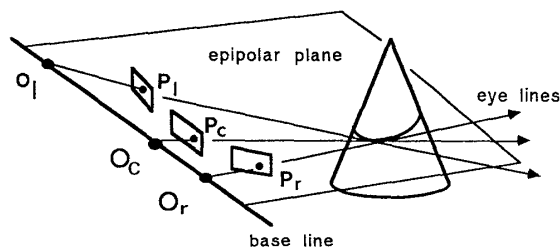
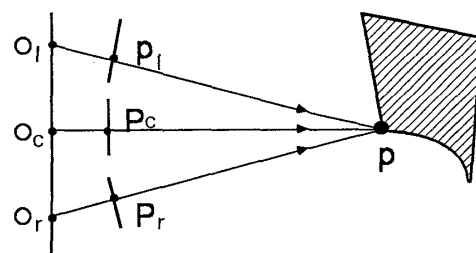
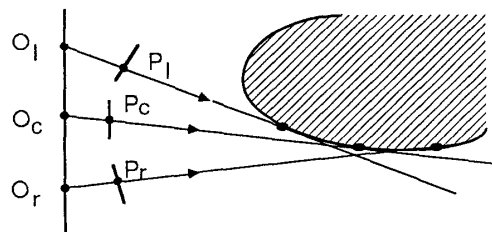


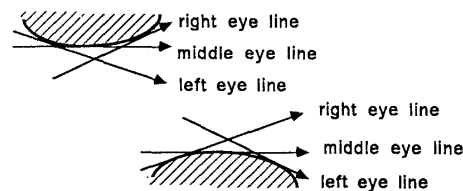
Fig.1 Trinocular Stereo



(a) Case 1: Planar or Concave Surface



(b) Case 2: Convex Surface



(c) Decision of the side occupied by the object

Fig.2 Decision of Surface Type

界点(Fig.2 (a))である。

②交わらなければ凸曲面の境界点(Fig.2 (b))である。この場合はさらに、左カメラと右カメラの視線の交点の中カメラの視線のどちら側にあるかによって、曲面が画像上の境界線(プロフィール)に対してどちらの側に存在するのかわかることができる(Fig.2 (c))。

3. 2 凸曲面の形状復元

上記②の場合は、各カメラの視線は対象物体をこのエピポーラ面で切断した切口に対する接線になっている。よって、これらの視線を包絡線とする曲線がこの切口を囲む曲線となる。複数の接線を与えてもそれらを包絡線とする曲線は一意に決まらないが、対象物体のクラスを「任意の平面で切断した切口が楕円になる立体」に限れば、それらの接線(視線)に楕円を当てはめることによりそのエピポーラ面における断面形状が求まる。さらに基線を軸としてエピポーラ面を上下方向に回転走査すれば対象物体の表面の形状が3次元的に復元できる。

楕円は5つの自由度(長軸および短軸の半径、傾き、中心位置)を有するので、当てはめには5本以上の視線が必要である。画像中で対象曲面の右側、左側の両方の境界が見えていれば6本の視線が得られるので、最小二乗法を用いて最適な楕円を当てはめる。

任意の楕円は $(x-t)^t A(x-t) = 1$ (t : 中心位置 A : 2次元正值対称行列)と表わされる。与えられた視線の方程式を $n_i^t x = d_i$ ($|n_i| = 1$)とすれば、この楕円と視線の距離: l_i (Fig.3)は、

$$l_i = |\sqrt{n_i^t A^{-1} n_i} + n_i^t t - d_i| \quad (i=1,2,\dots,6)$$

となるので、

$$J \equiv \sum_{i=1}^6 l_i^2 = \sum_{i=1}^6 (\sqrt{n_i^t A^{-1} n_i} + n_i^t t - d_i)^2$$

を最小にするような楕円を求める。

4 数値実験

予備の評価実験として、2次元平面上で直線群を与えこれに対して上記の評価関数を最小にする楕円を求めるシミュレーションを行った。評価関数が未知数Aについて2次形式にならないため最適解を解析的に得ることはできず、適当な初期値から出発して逐次的に求めざるを得ない。Fig.4にこの過程を示す。初期値は各直線からの距離の二乗和が最小になる真円(これは解析的に求める。)とした。数回の繰り返しで正しい解に収束することがわかる。

5 おわりに

切口が楕円になる立体には、任意の姿勢で置かれた楕円柱および楕円錐、楕円体(球を含む)等が含まれる。また、必ずしも軸が直線にならない筒状物体の中にもその切口を近似的に楕円とみなせるものが多いので、本手

法はかなり広いクラスの曲面物体に適用可能である。

<参考文献>

[1] 杉本, 高橋, 富田: 水平三眼ステレオ画像のB-Repに基づく対応, 情報処理学会第36回全国大会5V-7, 1988

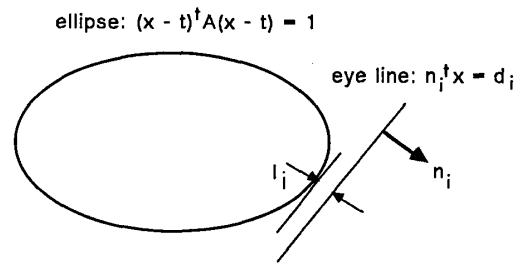


Fig.3 Distance between Ellipse and Eye Line

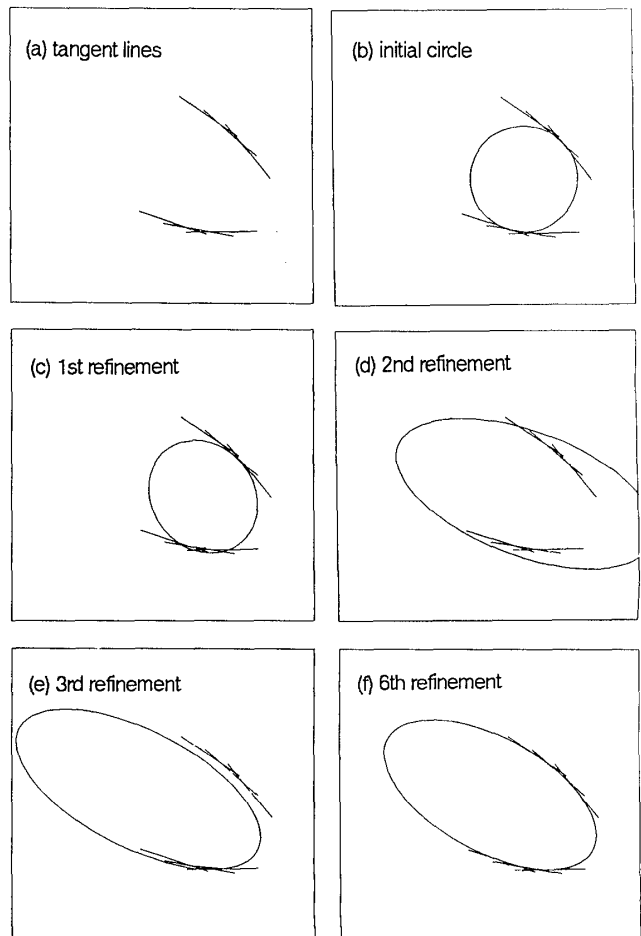


Fig.4 Iterative Fitting of Ellipse