

# 含误差完整画隐线图的校正处理<sup>①</sup>

刘国强, 董黎君

(太原理工大学 机械学院, 太原 030024)

**摘要:** 经过删补处理的不完整画隐线图, 往往具有边缘外部轮廓位置比较准确, 内部轮廓位置误差相对较大的特点. 针对这一特点, 提出了一种基于线图内部元素之间约束关系来校正处理含误差完整画线图的方法. 从隐含的平面立体信息之间的约束关系及平行、垂直等特殊关系, 建立相应的约束方程, 然后平面图节点位置进行最优位置的迭代处理, 直至满足设定的阈值. 通过实验验证, 证实此方法是有效的.

**关键词:** 线图; 误差; 约束方程; 迭代处理

## Correcting Approach of Complete Line Drawings with Noises

LIU Guo-Qiang, DONG Li-Jun

(School of Mechanical Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

**Abstract:** The influence of the noise is more powerful in line drawing's internal than outline. As to this character, This paper presents a constraint-based approach to correct the line drawings with noises. Establishing the corresponding basic constraint equation from the implicit affiliation of three-dimensional plane and the parallel or vertical relationship between lines. Then, starting the iteration for the optimal location of the junctions unless meets the threshold. The approach has been demonstrated by experiments.

**Key words:** line drawings; noise; constraint equation; iteration

在设计阶段的初期, 设计者所绘的草图(线图)往往不准确或有错误; 由于噪声、光照、纹理等因素的影响, 从图像中的抽取物体的线图一般是杂乱无序的, 往往存在着少线、多线的现象. 为便于恢复三维物体的结构, 需要对线图进行分析和处理, 删去多余的线, 补上缺少的线得到完整的画隐线图. 二维线图的三维重构要满足一定的几何拓扑关系, 经过删补处理之后所得到的完整画线图往往存在着一定的位置误差, 所以必须对其位置进行校正处理, 以便于后续三维重构的顺利进行.

如图1, 我们一般把其看成一棱台, 但是从严格的数学意义上讲它是不正确的. 因为图中棱线延长线并没有交于一点, 故在数学意义上线图并不是棱台的真实投影. 要想利用计算机来代替人类视觉, 要尽可能的使图形由抽象性、非独立性、歧义性和非精确性向

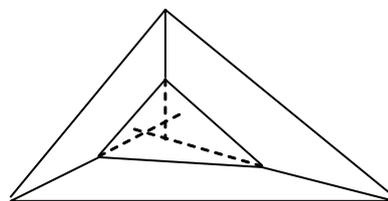


图1 含误差线图

计算机系统的具体性、无歧义性和精确性跨越.

Sugihara<sup>[1]</sup>提出一种线性系统的方法, 利用平面立体上顶点与平面之间的从属关系建立线性系统, 进而把判别线图正确性的问题转化为一个线性不等式是否有解的问题. 但此方法要求过于严格, 线图中的顶点只要有微小的波动, 便会得出不正确的结论. 针对节点位置不确定的情况 Pence<sup>[2]</sup>和 Shimshoni<sup>[3]</sup>考虑点不确定性, 即节点的位置是长度为  $2\xi$  的正方形范围内

<sup>①</sup> 收稿时间:2012-01-05;收到修改稿时间:2012-02-23

变化, 不足之处是利用 Sugihara 技术得到的等式和不等式是非线性的, 虽利用梯度空间和一些手段可以线性化, 但该方法不再是线图表示一个空间平面立体投影的充分必要条件而只是必要条件. Ros<sup>[4]</sup>提出一种校正不正确线图的方法, 通过移动所有顶点的位置得到最接近正确的线图, 最接近的标准是输入线图中每个节点的位置和它的正确位置之间的距离的平方和最小. 若正确线图上的节点和误差线图中对应节点距离过大, 原线图则被认定为是不正确的. 此方法把校正过程转化成一个无约束的有理数的最小化问题. 本文根据完整画隐线图中隐含的直线与平面之间的从属关系建立了约束方程, 联立约束方程得到了一个线性方程组. 若线图中存在垂直与平行这两种特殊关系, 将平行与垂直的约束条件添加到方程组中. 然后对线图内部节点进行最优位置的迭代处理, 直至 Dis 值小于设定的阈值 p.

### 1 完整画隐线图的约束

平面线图棱线的分为两类, 特殊棱线与一般棱线. 特殊棱线指通过验证具有平行或垂直关系的棱线.

平面线图中交点按是否真实存在分为两类: 实交点(节点)与虚交点. 节点指三维实体中真实存在的顶点; 虚交点指现实中不存在而平面线图中相交的交点. 按位置分为内部交点与外部交点. 节点的坐标在二维图中有 4 个极限位置(可能多余四个极限坐标)左、右、上、下, 处于极限位置的节点称为外部节点, 其余的称为内部节点. 外部节点往往是边缘轮廓线的交点, 相对位置误差较小; 由于噪声、光照、纹理等因素的影响内部交点位置误差较大, 是校正处理的重点.

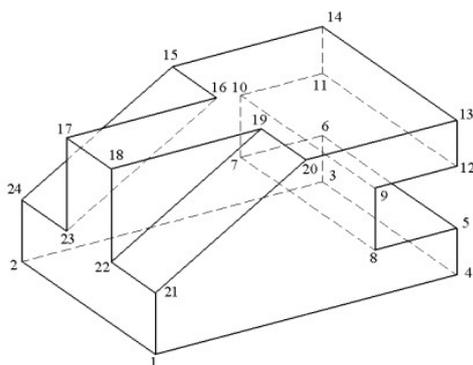


图 2 线图标记图例

标记方法<sup>[5]</sup>: 选取线图中的最低点 1 所在的位置

作为线图外围轮廓线搜索的起始点. 根据同一条棱线的两端标记始终不变的一致性原则, 利用约束传播原理按顺时针方向由外向里传递到相邻的节点, 然后根据合法的节点形式对属于后者的棱线进行标记, 标记完成后如图 2 所示.

从画隐线图恢复平面立体的三维信息之前需要在对画隐线图标记的基础上建立线图的平面结构. 一幅标记后的完整画隐线图可以用数据结构<sup>[6]</sup>:  $D=(V,E,F,U_1,U_2,EV,EVV,FV,FVV,FE,FE,FEE,H,IE,CE,C F,CEF,CVF,R)$ 来表示. 平面结构 D 中有些元素并不是完全独立的, 如从 E V 可以推出 E V V, 从 F V 可以推出 F V V 等. 之所以将各种元素全部列出, 是因为在恢复平面立体三维结构信息时, 基于不同的二维信息需要不同的线图平面结构. 对实际问题可选择其中的几个元素. 平面结构 D 中元素的具体含义: V 是线图中节点的集合; E 是线图中直线段的集合; F 是线图中面的集合;  $U_1$  是指顶点的坐标参数;  $U_2$  直线段的坐标参数; EV 是指节点与棱线的从属关系; EVV 指连接某一棱线的一组有序顶点的集合; FV 是指顶点与面的从属关系; FVV 是指组成面的有序顶点的集合; FE 指线图中直线与面的从属关系; H 指线型; IE 指交于顶点的两条棱线所组成的集合; CE 表示相交但不交于顶点的有序集合; CF 是有序 3 元  $CF(f_1, f_2, \delta)$ , 其中  $f_1, f_2 \in F, \delta \in (\text{Behind}, \text{Front})$ ; CEF 是有序 3 元  $CEF(e, f, \delta)$  集合, 其中  $e \in E, f \in F, \delta \in (\text{Behind}, \text{Front})$ . 表示直线段部分或全部位于平面内; CVF 是有序的 3 元  $CVF(v, f, \delta)$  集合, 其中  $\delta \in (\text{Behind}, \text{Front}), v \in V, f \in F$ . 用来表示节点与平面的位置关系; R 是线图中存在的一些特殊关系, 如线段的平行与垂直等.

在正轴测投影下, 由于平面不能与 Z 轴平行, 平面每一个 FV 的元素可以提供一方程  $A_i x_i + B_i y_i + Z_i + C_i = 0$ , 将所有的 FV 关系方程联立起来, 得到一个线性方程组:

$$AW=0 \tag{1}$$

其中,  $W=(z_1, z_2 \dots z_n, A_1, B_1, C_1 \dots A_m, B_m, C_m)^T$ ,

A 是一个大小为  $|FV| \times (3m+n)$  的常数矩阵.

从 CVF 的元素  $(P_i, f_i, \text{Front})$  可得:

$$A_i x_i + B_i y_i + Z_i + C_i > 0 \tag{2}$$

从 CVF 的元素  $(P, f, \text{Behind})$  可得:

$$A_i x_i + B_i y_i + Z_i + C_i < 0 \tag{3}$$

联立不等式得到一个不等式组:

$$BW > 0 \quad (4)$$

空间平面有 3 个参数, 以这 3 个参数建立一个 3 维空间, 称为对偶空间, 该空间对应的四维齐次空间称为四维齐次对偶空间. 在四维齐次对偶空间中, 空间一个平面对应一个点, 空间一条直线对应一条直线. 设平面立体的结构参数为:

$$(a_1, b_1, \rho_1, \theta_1, \dots, a_m, b_m, \rho_m, A_1, B_1, C_1, \dots, A_n, B_n, C_n)$$

在平面立体所在的三维空间中, 平面立体上的棱线  $l_i$  与平面  $f_{i1}$  和  $f_{i2}$  的交线是重合的, 因此在四维齐次对偶空间中, 上述 4 个点应该共线  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$  即它们应满足下列条件:

$$dis = \begin{vmatrix} A_{j1} & B_{j1} & C_{j1} & 1 \\ A_{j2} & B_{j2} & C_{j2} & 1 \\ a_j & b_j & f(a_j \cos \theta_j + b_j \sin \theta_j / \rho) & 1 \\ f \cos \theta_j f \sin \theta_j & -\rho & & 1 \end{vmatrix} = 0 \quad (5)$$

(j=1, \dots, m)

对整个平面立体, 则应有:

$$Dis = \sum_{j=1}^m |dis_j| = 0 \quad (6)$$

垂直约束与平行约束:

在平面立体线图中, 若两直线平行则斜率满足:

$$K_1 - k_2 = 0 \quad (7)$$

若两条直线垂直则斜率满足:

$$K_1 \times k_2 = -1 \quad (8)$$

由于线图中存在误差线图垂直或平行不能严格满足(7)、(8)两个式子, 所以本文对其设置一个阈值 Z 若满足如下两式:

$$K_1 - k_2 = |Z| \quad (9)$$

$$K_1 \times k_2 = |Z| - 1 \quad (10)$$

则认为这两条棱线平行或垂直.

## 2 有误差完整画隐线的解释方法

本文讨论的误差为节点位置误差. 节点有三类: 1)特殊棱线与特殊棱线(垂直)的交点; 2)特殊棱线与非特殊棱线的交点; 3)非特殊棱线与非特殊棱线的交点. 对于三种不同的节点其误差大小及分布区域有差异. 对于第一类节点误差很小可以忽略不计(即可认为不存在位置误差); 对于第二类误差分布在如下图 3( $L_1$  特殊棱线,  $L_2$  非特殊棱线)所示的矩形区域范围内; 第三

类误差分布在如图 4( $L_3, L_4$  均为非特殊棱线)所示的圆形区域范围内.

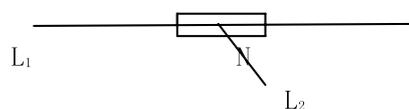


图 3 特殊与非特殊棱线交点误差分布图

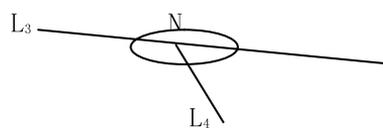


图 4 非特殊棱线交点误差分布图

由于线图中存在误差, W 不是线性方程组(1.1)的精确解, 而是一个最优解. 以 W 为参数的直线和平面不能构成一个平面立体, 所以它们的参数不满足(1.5). 本文通过建立完整画隐线图所隐含的平面立体信息的约束方程, 并且考虑了棱线之间的平行垂直等特殊约束关系, 从而得到了与真实的平面立体投影一致的线图.

含误差完整画隐线图校正处理的基本步骤:

- ① 利用 Objectarx 应用程序的功能从 AutocCAD 数据库中提取线图的信息, 求出每条棱线的斜率 k;
- ② 判定平面线图中棱线之间是否满足垂直或平行的特殊关系;
- ③ 依次对线图内部节点进行一定次数 N 的迭代处理, 若 N 次迭代中所有节点的 Dis 值比 Dis 初值更接近 0, 则用更为接近 0 值的 Dis 值替代 Dis 初值
- ④ 判断 Dis 值是否小于阈值 p, 若小于阈值 p, 迭代终止; 否则提高对内部节点迭代次数 N, 继续进行迭代处理直至 Dis 值小于阈值 p.

迭代处理的步骤:

输入: 有位置误差的完整画隐线图

输出: 真实的平面立体投影线图

Step1: 确定平面立体空间坐标系的位置;

Step2: 根据约束建立方程组(1.1)和线性不等式方程组(1.2);

Step3: 计算 Dis 值作为初值, 对内部节点进行 N 次迭代处理, 若求得 Dis 满足设定的 p 值约束则迭代终止; 否则转 step4;

Step4: 提高内部节点的迭代次数, 直至求得的 Dis 小于设定的阈值 p.

Step6: 结束

### 3 实验结果

图 5 所绘草图用 AutoCAD 绘制. 理论上直线段. 理论上  $L_4, L_6, L_8$  的延长线应交与一点, 但图中并未相交, 说明画隐线图中一些直线和节点存在位置误差.

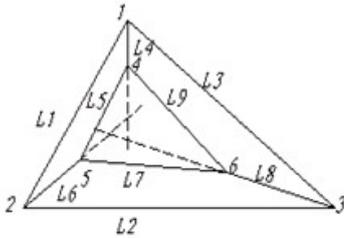


图 5 含有位置误差的线图

输出:

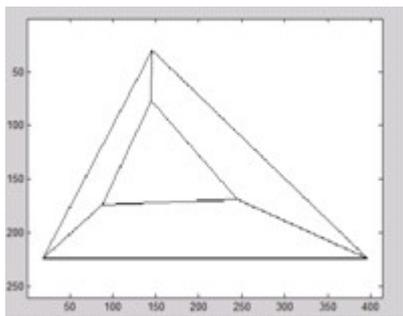


图 6 校正处理后的线图

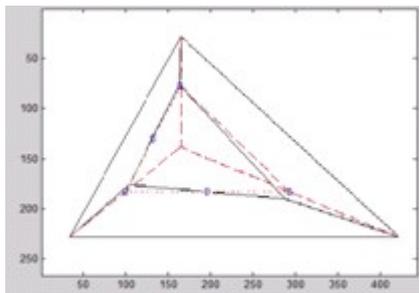


图 7 输入线图与校正后线图的对比图

### 4 结语

从算例的结果我们可以看出, 基于约束关系的线图误差迭代修正方法, 能够从含有位置误差的完整画隐线图得到满足三维重构几何约束关系的真实投影线图, 为进一步的三维重构奠定了基础.

### 参考文献

- 1 Sugihara K. Machine Interpretation of Line Drawing. USA: MIT Press, 1986.
- 2 Shimshoni I, Ponce J. An Algebraic Approach to Line-Drawing Analysis in the Presence of Uncertainty. IEEE, International Conference on Robotics and Automation, 1992, 5: 1786-1791.
- 3 Shimshoni I, Ponce J. Recovering the Shape of polyhedral using line drawing Analysis and complex Reflectance Models. Computer Vision and Image Understanding, 1997, 65(2): 296-310.
- 4 Ros L, Tomas F. Analyzing spatial realizability of line drawings through edge concurrence tests. Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation. LeuVen, Belgium, 1988, 4: 3559-3566.
- 5 鲁宇明, 储珺, 高满屯. 立体线图的标记研究. 西北工业大学学报, 2002, 20(4): 677-679.
- 6 储珺, 高满屯. 基于迭代技术的有误差单幅线图的计算机解释. 模式识别与人工智能, 2005, 18(5): 615-620.