维普资讯 http://www.cqvip.com

计算机科学1996 Vol. 23 №. 2

# 凹体轮廓线算法及实现

朱仁芝 太美花 邓益民

（中国科技大学精密机械与精密仪器系 合肥230026）

**摘 要** Concave outlines are vital to implement direct hidden-line removing and object intersecting. This paper presented an algorithm of obtaining concave outlines and presented the methods to solve a few related problems. Furthermore, the paper also gave methods to optimize this algorithm.

**关键词** Outline, Concave, Hidden-line removing, Intersecting.

对于两个或两个以上凸体的相贯问题，除了要进行自消隐之外，还存在互消隐和相贯处理的问题，对此，Roberts 算法[1]是比较理想的。但对于凹体来说，情况要复杂得多。

我们从体的轮廓线着手，研究了一套可适用于任意凸体、凹体的自消隐、互消隐及相贯线处理的新算法[2]。该算法的关键就是如何有效地寻找体的轮廓线。本文在对轮廓线进行了严格定义的基础上，总结了它的四条性质，研究了其寻找算法，同时详细讨论了各种特殊情况的处理方法，并对算法进行了优化处理。

## 1. 轮廓线的概念及其性质

计算机图形学中，轮廓线系指三维形体投影到二维平面上的"最内"和"最外"边线的集合。这些"最内"与"最外"边线所构成的轮廓线应满足以下四条性质：(1)轮廓线是可见面与不可见面的转向线；(2)轮廓线上的任意点不与体上其他点有重影。图1示出了轮廓线与重影点。棱线 $l_1$ 是轮廓线，而棱线 $l_2$ 不是轮廓线，因为 $l_2$ 上任意点 P 与体有重影点 P′。图中 $\bar{v}$ 表示投影方向；(3)轮廓线是体的可见棱和棱的可见段的集合，后者是凸体与凹体不同点的根本所在；(4)轮廓线组成一个或多个封闭环，而且在这些环中有一个且只有一个外环，它包含一个或多个或不包含内环。图2示出了轮廓线的外环与内环。图2(a)只有一个外环，图2(b)有一个外环 $h_1$，$h_1$ 又包含了两个内环 $h_2$ 和 $h_3$。

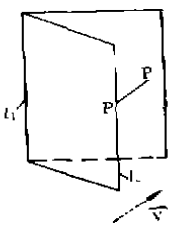
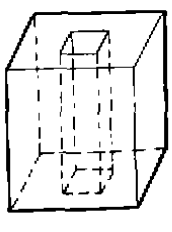
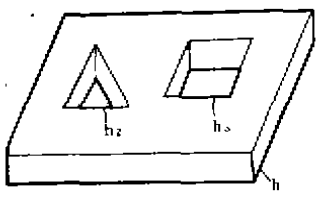



图1



(a)




(b)

图2

## 2. 轮廓线的算法及实现

为了讨论和叙述问题的方便起见，我们有必要把文献[2]中定义的有关面和线在这里简述一下。

图3示出了三维形体的面与线，$\bar{n}_1$ 和 $\bar{n}_2$ 分别表示面 $F_1$ 与面 $F_2$ 的外法线方向，$\bar{v}$ 表示投影方向。F-face 型面：若 $\bar{n}\cdot\bar{v}<0$，则该面为完全可见或部分可见，简称为 F-face 型面；B-face 型面：若 $\bar{n}\cdot\bar{v}\geq 0$，则该面为完全不可见，简称为 B-face 型面；BF-line 型线，一个 F-face 型面和一个 B-face 型面的交线称作 BF-line 型线。

关于轮廓线的求法，我们分五个步骤：

(1)根据棱线的相邻两面的性质，选出体的 BF-line 型线。

由上面的面线定义可知，只有 BF-line 型线才有可能作为轮廓线。

(2)剔除上一步中的完全不可见的BF-line型线。

维普资讯 http://www.cqvip.com

对于凸体，所有 BF-line 型线都是可见的；但对于凹体，BF-line 型线既可能是可见的，也可能由于被自身所遮挡而导致完全不可见。图4示出了 BF-line 型线完全不可见的情况，图中 $F_1$ 是 F-face 型面，$F_2$ 是 B-face 型面，故 $l$ 是 BF-line 型线，但它被该凹体自身所遮挡，因而它是完全不可见的。从这个意义上讲，凹体的自消隐可以看作是组成凹体的几个凸体的互消隐。

判断 BF-line 型线是否完全不可见的方法是：设 BF-line 型线 $l$ 的两个端点为 $\vec{P}_1$ 和 $\vec{P}_2$，取其中点 $\vec{P}=(\vec{P}_1+\vec{P}_2)/2.0$，再把 $\vec{P}$ 和体上每一个面在二维投影平面上进行包含性测试。若中点 $\vec{P}$ 被包含在其中某个面的投影中，则说明 $l$ 与体有重影点，由性质(2)，它不可能为轮廓线，应予剔除。

需要说明的是，若 $\vec{P}$ 在某个面投影的边线上，说明它与体有重影点，故也应被判定为包含情况。

(3)对经上面两步骤选出的每一条棱线，进行部分可见性判断，求出其可见部分。

与(2)中同样的道理，除了完全可见和完全不可见之外，BF-line 型线也可能由于被凹体自身的部分遮挡而导致部分不可见，故需要求出其可见部分。

方法是简单的。求出需判断的 BF-line 型棱线上所有可能的分界点(在二维投影面上该棱线与体的所有其他棱线的交点)，然后对每一个分段进行可见性测试[2]，取其可见分段即可。

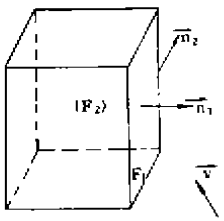


图3

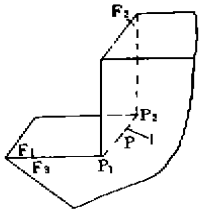


图4

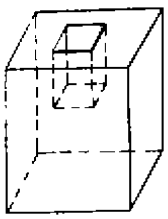


图5

(4)根据轮廓线性质(4)，从上面各步骤所选出的可见棱线或棱线可见段集之中，筛选出组成轮廓线的一个或几个封闭环。

图5示出了不构成封闭环的情况，图中两条粗线段也是通过步骤(1)到步骤(3)选出的，但因为它们不构成封闭环，因此不是体的轮廓线。由于每一个组成封闭环的相邻两条边必定有交点或重影点，因此，可以从任意一条边(所选集合中的任一条棱线或棱线段)开始，一条一条地首尾相连地找出所有封闭环来。

注意，一个封闭环的第一条棱线最好是自由棱。所谓"自由棱"，是指那些既没有遮挡任何其他棱线，也没有被其他棱线所遮挡的 BF-line 型线，其两端点是体的原始顶点，而不是棱和棱的重影点。这给最后判断是否可以构成封闭环提供很大方便。

在寻找封闭环时，对可能出现的几种情况，需分别作出相应的处理。

1)若当前环的当前线 $l_i$ 遮挡 $l_{i+1}$，如图6(a)所示，则 $l_i$ 的一端端点应改为此处的重影点 P，且下一棱线应取 $l_{i+1}$。

2)若当前环的当前线 $l_i$ 被其他棱 $l_{i+1}$ 所遮挡，如图6(b)所示，则它们的重影点 P 把 $l_{i+1}$ 分成1和2两部分，其中只能有一个可以组成轮廓线。仔细考察这两段可发现，有一段与体有重影点，而另外一段则没有。依据轮廓线性质可知，应选择没有重影点的那一段，如图6(b)中的2。

3)若从当前线 $l_i$ 搜索到两个或两个以上具有重影点的棱线，如图6(c)中的 $l'_{i+1}$ 和 $l''_{i+1}$，则应再次根据轮廓线的性质进行重影点判断，选择与体没有重影点的那条棱线作为 $l_i$ 的下一条线，如图6(c)中的 $l'_{i+1}$。

(5)对所获得的封闭环判断内环和外环。

图7给出了内环和外环的判断，取任一环的任一条线段 $l$，求该线与其他环边线的交点。

设 $l$ 的两个顶点为 $\vec{M}$ 和 $\vec{N}$，$\vec{P}$ 为其上一点，则 $\vec{P}=\vec{M}+(\vec{N}-\vec{M})\cdot t$，$0\leqslant t\leqslant 1$。

若 $l$ 与其他环无任何交点，如图7(a)中的 $l_1$；或有两个交点 $\vec{P}_1$ 和 $\vec{P}_2$，且 $t_1, t_2<0$ 或 $>1$，如图7(b)中的 $l_2$，则 $l$ 所属的那个环为外环，其他环均为内环。

若 $l$ 与其他环有两个交点 $\vec{P}_3$ 和 $\vec{P}_4$，且相应 $t_3$、$t_4$ 中有一个小于0而另一个大于1，则 $l$ 所属环为内环，该其他环为外环。如图7(a)中 $l_3$ 所属环为内环，$\vec{P}_3$、$\vec{P}_4$ 所在环为外环。有了外环，其他所有环就必然为内环了。

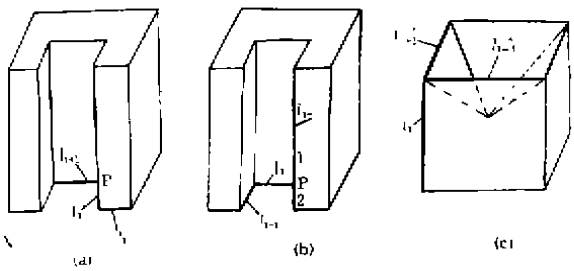


图6 寻找封闭环中几种情况的处理

维普资讯 http://www.cqvip.com

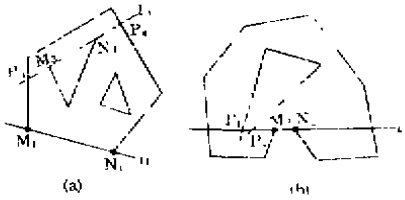


图7

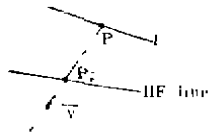


图8

## 3. 算法的优化处理

上述求取轮廓线的五个步骤中，可以进行如下的优化处理，以提高算法速度与效率。

（1）步骤(2)进行包含性测试时，对 BF-line 型线中点$\bar{P}$，不必与体的所有面进行测试，而只要与体的可见面进行测试，并且应该把与该棱线 $l$ 相邻的两个面排除在外。

（Ⅰ）步骤(3)中，为了避免不必要的繁琐计算，提高计算与判断的稳定性，求棱线可能的分界点时，我们只求真正改变线段可见性的分界点，这些点是该棱线与体的可见 BF-line 型线的重影点，且必须满足棱线 $l$ 上的点 $P_1$ 较 BF-line 型棱线上点 $P_2$ 离观察点远的条件，如图8所示。这样，每相邻两段的可见性互为相反，即可见与不可见段交替出现，从而没有必要对每一个分段进行可见性测试，而只需对第一段进行可见性测试即可。

上述两个优化算法的结果，大大提高了轮廓线的求取速度。

## 参 考 文 献


[1]D. F. 罗杰斯[美]著，梁友栋等译，计算机图形学的算法基础，科学出版社，1987

[2]朱仁芝等，三维形体消隐及相贯线的一种新算法，中国科技大学学报，22(3)，1992

[3]谭浩强，C 程序设计，清华大学出版社，1991年


---

（上接第88页）

证明思路：考虑到 $n_b \leqslant 3$ 时结论易于验证，可设 $n_b \geqslant 4$。由于 M 的对偶 D(M) 为拟正则3-均匀超图，可以证明：对超图 D(M) 有，①$\lambda_e(D(M)) \geqslant 3\lfloor 3n_p/n_b \rfloor - 3$，与最优值（$\leqslant 3\lfloor 3n_p/n_b \rfloor - 1$）至多相差二，②$d(D(M)) = 2$ 和 $d(D(M)) = 2 - 6n_p/(n_b^2 - n_b)$ 都达到最小值。对超图 G，(4)式亦成立，结合(1)式，定理得证。

该定理说明：对于任意的总线条数 $n_b$、处理机个数 $n_p$ 满足(5)式而不满足(6)式，同时具备下列性质的三端口多总线结构 M 是普遍存在的：①容错性最佳（较佳）；②通信延迟很小；③极易扩充性。同时，可以证明：在(5)式成立、(6)式亦成立时仍有上述结论。因此：在(5)式成立时，综合指标很好的三端口容错多总线结构具有广泛存在性。

注意，与二端口情形相同：①当(5)式成立时，并非所有的三端口多总线结构都具有很好的综合指标。②当(5)式不成立时，综合指标很好的三端口容错多总线结构不具有广泛存在性。

本文得到：在处理机较多时，综合指标很好的2/3端口容错多总线结构具有广泛存在性，并相信此结论可推广到三端口以上情形。

## 参 考 文 献


[1]Pradhan D. K., Communication structures in fault-tolerant distributed systems. Networks, 23(1993)

[2]Chen Tinghuai, Fault diagnosis and fault tolerance: a systematic approach to special topics, Berlin: Springer-Verlag, 1992

[3]陈廷槐等，超图的连通性和容错多总线系统的设计，中国科学(A 辑)，1987，12

[4]何中市等，多总线系统的最优总线容错性分析与设计，重庆大学学报，1995，1

[5]扬晓帆等，一类容错多总线结构，计算机科学，1996，No. 1

[6]扬晓帆等，容错多总线结构与超图，同上

[7]Berge C., Graphs and hypergraphs, North-Holland Publishing Company, 1973