基于点线关系的透视图消隐算法

毛 峡 沈 巍 赵兴圆

(北京航空航天大学 电子信息工程学院, 北京 100191)

摘 要: 准确获取建筑物的三维形体信息,在军事和民用上都有非常重要的意义. 针对建筑物三维形体获取过程中的消隐问题,提出了一种基于点线关系的三维透视图消隐算法. 结合后向面判别法和光线投射算法,利用三维表面模型中点、线、面的遮挡关系和视平面域上的包含性规则,进行边界线段的显、隐程度检查,实现对模型的消隐处理. 实验结果表明,该算法数据结构简单,建立的透视投影计算模型正确且消隐算法有效,为地形地物透视图的消隐提供了一种新的方法与支持手段.

关 键 词: 三维形体; 透视投影; 消隐; 线框模型

中图分类号: TP 391

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2009)08-0925-04

Hidden-removal method of perspective drawing based on constrains between lines and junctions

Mao Xia Shen Wei Zhao Xingyuan

(School of Electronics and Information Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: It makes a significant sense to obtain the 3-D information of the building correctly either in martial and civilian field. A method to remove the hidden lines and junctions of perspective drawing was proposed. Firstly, the visibility judgment of each model surface was made using the plane formula and geometry method. Secondly, the boundary line set were generated, which come from the projection calculating to get the perspective drawing and line reconstructing to get the lines needed. Finally, the hide degree inspection according to the relationship between lines and junctions of 3-D wire-frame model were checked, from which the visibility decision of the line was determined. This arithmetic uses the simple data structure to reduce the computational amount. The experimental results show the validity of the model and the effectiveness of the algorithm. The results of performance assessment also provide a new method and supporting means for hidden-removal of the topographic features.

Key words: 3-D shape; perspective projection; blanking; wire-frame model

用计算机生成三维形体的真实图形,是计算机图形学研究的重要内容之一. 真实图形使人们更加直观、形象地认识和了解地理、工程信息,这些信息在仿真模拟、几何造型、指挥控制、科学计算的可视化等许多领域都有广泛的应用[1].

三维信息经过透视投影变换在二维表面上生成透视图. 由于投影变换失去了深度信息,会导致图形的二义性[2],使物体不能唯一确定. 另外,由于所有可见与不可见的点均按拓扑关系连线,在表示图形时将导致图形杂乱甚至失真. 要消除二义性实现具有真实感的模板图像,就必须消去模型中的隐藏线和隐藏面,这个过程简称消隐. 由于消隐的实用性和空间形体的复杂性、多样性,自第一个三维图形系统开发以来,消隐处理一直是计算机图形学研究的热点和难点之一. 目前常用的消隐算法可分为物空间算法 (object-space algorithm)和像空间算法 (image-space algorithm)两大类[3-4]. 前者包括平面公式法、径向预排序法、隔

收稿日期: 2008-06-23

作者简介: 毛 峡 (1952 -) 女,浙江义乌人,教授, moukyou@buaa.edu.cn.

离平面法、深度排序法、光线跟踪法和分解法等. 该类算法需要反复对直线、射线、线段与平面进行运算求交,计算量非常大,精度较高,适用于精密的工程应用领域. 但其相对于观察点朝向后面的物体表面是不可见的,应被隐藏;后者算法有深度缓存法、扫描线法、视线投射法和极值检测法等,该类算法在光栅扫描过程中可以充分利用画面的连贯性等性质,计算效率比较高. 但其相对比较粗糙,而且按图像空间算法得到的画面在放大后往往不能令人满意. 本文根据目标三维表面模型以及所构建数据结构的特点,提出了一种实用而高效的消隐方法,即结合后向面判别法和光线投射算法,利用三维表面模型中点、线、面的遮挡关系和视平面域上的包含性规则,进行边界线段的显、隐程度检查,最终实现对模型的消隐处理. 实验结果验证了透视投影计算模型的正确性以及消隐算法的有效性.

1 投影变换计算模型的建立

透视投影变换是将真实世界坐标系中的实体投影到屏幕坐标系的过程. 采用观察坐标系作为过渡,经过平移和旋转,世界坐标系中的物体转换到观察坐标系内,然后把观察坐标系中的实体投影到视平面(像面)上,使形体产生透视效果,视平面就是视点与实体之间垂直于观察方向的面,观察方向由视点指向世界坐标系的原点.

1.1 坐标系的三维几何变换

透视投影变换为两个右手坐标系之间的一种转换. 将实体坐标系转换到观察坐标系,需要通过三维坐标系的平移和旋转变换实现. 首先,将观察坐标系原点平移至视点 $P_0(X_0, Y_0, Z_0)$,然后观察坐标系依次围绕 Y轴和 X轴旋转,旋转角度分别表示为 α(称为方位角,按照右手螺旋法则,拇指指向 OY,四指指向为正)和 β(称为俯仰角,按照右手螺旋法则,拇指指向 OX,四指指向为正),其相对位置关系如图 1所示.

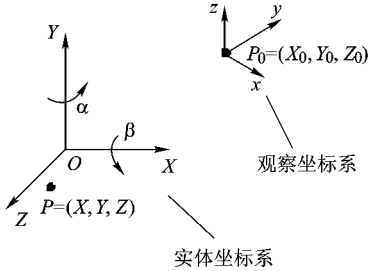


图 1 实体坐标系与观察坐标系的相对位置

T, R_x, R_y 分别表示平移矩阵、绕 x轴旋转矩阵和绕 y轴旋转矩阵:

$$T=\begin{pmatrix}1&0&0&-X_0\\0&1&0&-Y_0\\0&0&1&-Z_0\\0&0&0&1\end{pmatrix}$$

$$R_x=\begin{pmatrix}1&0&0&0\\0&\cos\beta&-\sin\beta&0\\0&\sin\beta&\cos\beta&0\\0&0&0&1\end{pmatrix}$$

$$R_y=\begin{pmatrix}\cos\alpha&0&-\sin\alpha&0\\0&1&0&0\\\sin\alpha&0&\cos\alpha&0\\0&0&0&1\end{pmatrix}$$

图中任意一点 P在实体坐标系和观察坐标系中的坐标分别为 (X, Y, Z)和 (x, y, z),则观察坐标系经平移和旋转后总的几何变换关系式为

$$\begin{pmatrix}x\\y\\z\\1\end{pmatrix}=R_xR_yT\begin{pmatrix}X\\Y\\Z\\1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}c_{11}X+c_{12}Y+c_{13}Z+c_{14}\\c_{21}X+c_{22}Y+c_{23}Z+c_{24}\\c_{31}X+c_{32}Y+c_{33}Z+c_{34}\\1\end{pmatrix}\tag{1}$$

其中,c_{ij}为总变换矩阵 $C=R_xR_yT$的矩阵元.

1.2 透视投影计算

依据透视投影关系,物体的正立实像成像在位于视点与实体坐标系原点连线(称为"中心投影线")上的像平面内,物像之间的投影关系如图 2所示. 图中的像面坐标系以中心投影线与像平面的交点为原点,其 x轴和 z轴分别与观察坐标系的 x轴和 z轴平行.

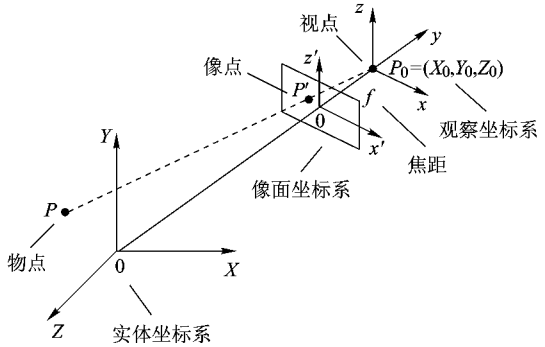


图 2 像点与物点之间的透视投影关系

设像点 P在观察坐标系的坐标为 (x_p, y_p, z_p),根据关系式(1),可得到关系式:

$$\begin{pmatrix}x_p\\y_p\\z_p\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\frac{x}{y}\cdot(-f)\\-f\\\frac{z}{y}\cdot(-f)\end{pmatrix}=$$

$$\begin{pmatrix} \dfrac{c_{11}X+c_{12}Y+c_{13}Z+c_{14}}{c_{21}X+c_{22}Y+c_{23}Z+c_{24}}\cdot(-f) \\ -f \\ \dfrac{c_{31}X+c_{32}Y+c_{33}Z+c_{34}}{c_{21}X+c_{22}Y+c_{23}Z+c_{24}}\cdot(-f) \end{pmatrix} \tag{2}$$

设像点 P的像面坐标为 (x', z'),可以得到物点 P的实体坐标系坐标与像点 P的像面坐标之间的关系式:

$$\begin{pmatrix} x \\ z \end{pmatrix}' = \begin{pmatrix} \dfrac{c_{11}X+c_{12}Y+c_{13}Z+c_{14}}{c_{21}X+c_{22}Y+c_{23}Z+c_{24}}\cdot(-f) \\ \dfrac{c_{31}X+c_{32}Y+c_{33}Z+c_{34}}{c_{21}X+c_{22}Y+c_{23}Z+c_{24}}\cdot(-f) \end{pmatrix} \tag{3}$$

该式描述了物点与像点之间的透视投影关系.依据关系式进行相应的计算,可以得到目标三维模型各个顶点在像面上的透视投影点,再将各个投影点按原来点与点之间的关系用线段一一连接,即得到目标三维模型的透视图.

2　消隐算法实现

2 1　三维模型数据结构表示

地面普通建筑物屋顶一般为矩形或由矩形基元构成,其主要特点是具有规则的多面体外形,边缘均为直线构成.从二维图像中提取物体的顶点和边界信息[5]可以直接用于表面表示法中建立目标的三维表面模型.以长方体为例构建三维表面模型的数据结构.首先建立长方体目标的表面模型,如图 3所示.

采用右手坐标系,规定坐标系原点位于长方体几何中心,对长方体的各个元素 (面、棱边、顶点)按照一定的顺序 (顺时针或针逆时针)进行编号.

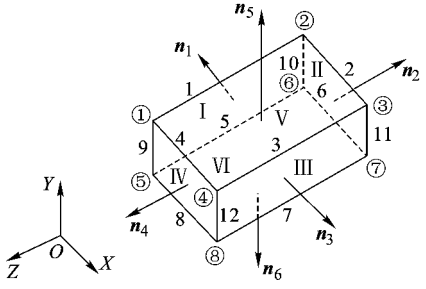


图 3　长方体目标的表面模型

表示目标的几何空间位置,构建如图 4所示的目标表面模型的数据结构.

2 2　消隐算法实现过程

给定目标的三维表面模型,应用后向面判别法对模型实现初步消隐;经过投影计算,得到目标

面编号	棱编号				外法向量
Ⅰ	1	10	5	9	n_1
Ⅱ	10	2	11	6	n_2
Ⅲ	11	3	12	7	n_3
Ⅳ	12	8	9	4	n_4
Ⅴ	1	2	3	4	n_5
Ⅵ	5	6	7	8	n_6

棱编号	顶点编号	
1	①	②
2	②	③
3	③	④
4	④	①
5	⑤	⑥
6	⑥	⑦
7	⑦	⑧
8	⑧	⑤
9	①	⑤
10	②	⑥
11	③	⑦
12	④	⑧

顶点编号	坐标值		
	x	y	z
①	…	…	…
②	…	…	…
③	…	…	…
④	…	…	…
⑤	…	…	…
⑥	…	…	…
⑦	…	…	…
⑧	…	…	…

图 4　表面模型的数据结构

三维模型在当前视点下的二维视图,此时边界线段在视图中相互交叉;断开各交叉点进行线段重构得到新的边界线段集;判断线段可见性.即实现对目标三维模型的消隐.

1) 后向面判别法做初步消隐

在当前视点处,对目标三维模型各顶点坐标进行坐标变换,由式 (2)求得模型在观察坐标系下的数据结构表示.通过后向面判别法分析模型数据结构中存储的各表面外法向量 y分量 (观察方向平行于观察坐标系的 y轴),判断各个表面的可见性,保留属于可见表面的棱边.

2) 边界线段重构

通过透视投影计算模型,对初步消隐后的目标模型进行投影计算,得到模型的透视图,此时三维模型中各边界线段已映射为视平面域上的线段.对于视平面域上的有限线段,求出它们之间的交点,将各线段在交点处断开,生成新的边界线段集.为便于后续计算,新边界线段集中的每条线段既要记录自身的端点坐标,还要记录其所属原始线段的编号和端点坐标.

3) 线段可见性判断

视平面域上新边界线段集中的任何一条线段只可能属于全段可见和全段不可见中的一种,通过判断每条线段中点的可见性来确定该线段是否可见.如图 5所示,假设通过计算得到视平面上任一线段 AB中点 C的坐标为 (x_m, z_m),根据光线投射算法,计算场景中是否存在与过视点 D和像点

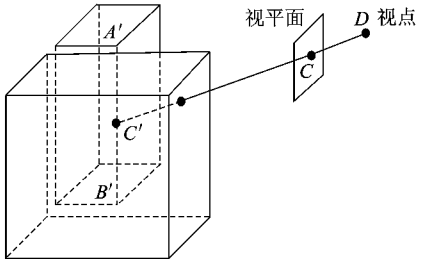


图 5　像点 C与物点 C的关系图

C的投影射线相交的对象,并判断该对象是否对像点 C对应的物点 C存在遮挡. 图 6是像点 C与对应的物点 C的可见性检查的算法流程.

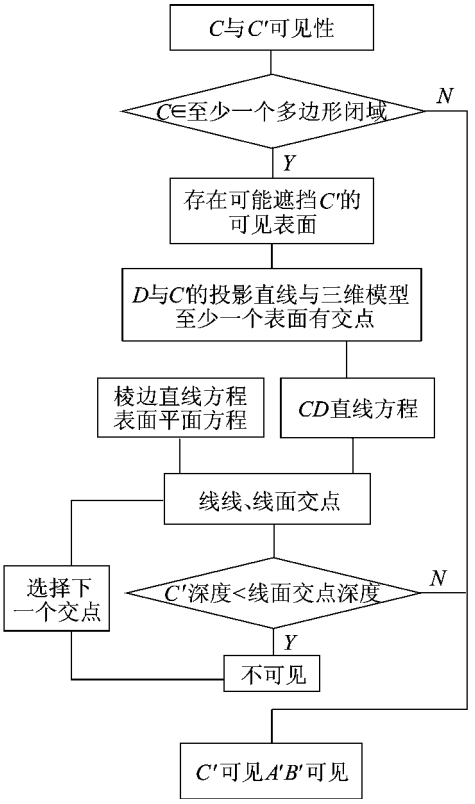


图 6 像点 C与物点 C的可见性检查算法

采用凸多边形包含性检查的夹角求和法[6],快速实现了点位于某多边形闭域上包含性检查;通过比较物点 C的深度与线面交点的深度判断该点的可见性,亦即其所在直线可见,从而实现目标三维模型的消隐.

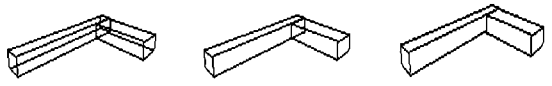
3 生成目标模板图像

通过透视投影计算模型和消隐算法计算出目标三维模型每个可见顶点的像点坐标,再将各个像点按原来顶点与顶点之间的关系用线段一一连接,得到具有一定真实感的目标二维透视投影图像. 处理数字图像时采用的坐标系是像素单位,建立的坐标系以米 (m)为单位,建立像素坐标 (i, j)和像面坐标 (x', z')对应关系为

$$\left.\begin{aligned} i &= \frac{z'}{L_z}\cdot N_i + \frac{N_i}{2} \\ j &= \frac{N_j}{2} - \frac{x'}{L_x}\cdot N_j \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

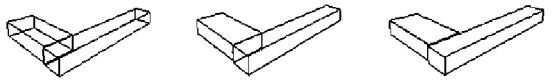
其中, $(L_x \times L_z)$为 CCD (Charge Coupled Device)图像感光器尺寸, m; $N_i \times N_j$为生成图像的尺寸,像素.

航空建筑物图片通过基于模糊决策的方法进行目标提取[5],得到矩形建筑物目标信息. 通过相应的数据结构,实现目标的三维重建[7]生成建筑物目标的三维模型,在不同的视点位置,得到建筑物目标的三维模型进行透视投影后生成的模板图像 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ,如图 7～图 10,其中图 7a、图 8a、图 9a和图 10a为未进行消隐处理的投影结果,模型中棱边都被投影到像平面上;图 7b、图 8b、图 9b和图 10b为只采用后向面判别法进行消隐的处理结果,模型中未有效消隐被遮挡的表面棱边;图 7c、图 8c、图 9c和图 10c为本文消隐算法进行消隐的结果,从实验结果可以看出,此算法可有效地对模型中的隐藏面或隐藏线进行消隐,所得结果能够很好地满足本文研究对象的要求.



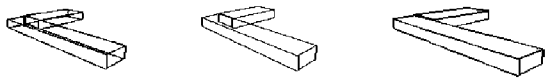
a 未消隐 b 后向面判别法消隐 c 本文算法消隐

图 7 建筑物目标的模板图像 Ⅰ



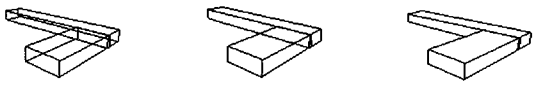
a 未消隐 b 后向面判别法消隐 c 本文算法消隐

图 8 建筑物目标的模板图像 Ⅱ



a 未消隐 b 后向面判别法消隐 c 本文算法消隐

图 9 建筑物目标的模板图像 Ⅲ



a 未消隐 b 后向面判别法消隐 c 本文算法消隐

图 10 建筑物目标的模板图像 Ⅳ

4 结束语

三维消隐算法是图形学中最复杂的算法之一,本文建立了适用于研究对象的透视投影计算模型,结合目标三维表面模型特点,建立了三维模型的数据结构,在此基础上提出了一种基于后向面判别法和光线投射算法的模型消隐方法. 由于三维图形的消隐运算复杂度随图形复杂性以指数形式增长,采用的数据结构和模型消隐方法有效减少了计算量,可以高效地完成消隐计算. 实验结果亦表明本文的方法效果良好,透视投影计算模型的正确性以及消隐算法的有效性,将有利于更高层次的图像分析处理工作.

(下转第 937页)

补充,然后在涡内随着涡量扩散而缓慢减小.

5 结　论

为了能更好的解释流动特征,本文用场的观点和拉各朗日观点来分析低雷诺数圆柱绕流,考察了等压线中压心与流动发展的关系,通过空间位置的变化分析了下游速度随时间的变化,解释了染色线的多次折回现象,从而纠正了之前文献中的某些错误或不足.本文指出,即使是低雷诺数绕流,由于在不同时刻受不同流动结构的控制,部分流体之间的相对位置变化较大,从而增加了流动的复杂性.而后,对近尾迹部分进行了分区界定,分析了其中部分流体的运动过程.本文的分析主要是定性的,若结合不同流动方程定量考虑则可进一步细化.

参考文献 (References)

[1] Perry A E, Chong M S, Lim T T. The vortex shedding process behind two-dimensional bluff bodies[J]. Journal of Fluid Mechanics, 1982, 116: 77 - 90

[2] Williamson C H K. Vortex dynamics in the cylinder wake[J]. Annual Review of Fluid Mechanics, 1996, 28: 477 - 539

[3] Pedram R, Wu X L. Universal wake structures of Kármán vortex streets in two-dimensional flows[J]. Physics of Fluids, 2005, 17(7): 073601-1 - 073601-8

[4] Grove A S, Shair F H, Petersen E E, et al. An experiment investigation of the steady separated flow past a circular cylinder[J]. Journal of Fluid Mechanics, 1964, 19: 60 - 80

[5] Braza M, Chassaing P, Haminh H. Numerical study and physical analysis of the pressure and velocity fields in the near wake of a circular cylinder[J]. Journal of Fluid Mechanics Digital Archive, 1986, 165: 79 - 130

[6] Anagnostopoulos P. Computer-aided flow visualization and vorticity balance in the laminar wake of a circular cylinder[J]. Journal of Fluids and Stuctures, 1997, 11(1): 33 - 72

[7] Donald R. Vortex formation in shallow flow[J]. Physics of Fluids, 2008, 20(3): 031303-1 - 031303-8

[8] David J, Morteza G. On the relationship between the vortex formation process and cylinder wake vortex patterns[J]. Journal of Fluid Mechanics, 2004, 519: 161 - 181

(责任编辑:李　晶)

(上接第 928页)

参考文献 (References)

[1] 夏小玲. 三维消隐算法研究[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2002, 28(2): 137 - 142
Xia Xiaoling. Hidden surface removal for 3D object[J]. Journal of Donghua University, 2002, 28(2): 137 - 142 (in Chinese)

[2] 孙家广,杨长贵. 计算机图形学[M]. 北京:清华大学出版社, 1997
Sun Jiaguang, Yang Changgui. Computer graphics[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1997 (in Chinese)

[3] Hearn Donald, Baker M Pauline. 计算机图形学[M]. 3版. 蔡士杰译. 北京:电子工业出版社, 2005: 431 - 451
Hearn Donald, Baker M Pauline. Computer graphics with openGL[M]. 3rd ed. Translated by Cai Shijie. Beijing: Electronic Industry Press, 2005: 431 - 451 (in Chinese)

[4] 靳海亮,高井祥. 图形消隐算法综述[J]. 计算机与数字工程, 2006, 34(9): 27 - 31
Jin Hailiang, Gao Jingxiang. A summary of algorithms for removing the hidden lines and surfaces[J]. Computer and Digital Works, 2006, 34(9): 27 - 31 (in Chinese)

[5] 毛峡, 赵兴圆, 沈巍. 一种基于模糊决策的矩形目标提取算法[J]. 北京航空航天大学学报, 2008, 34(6): 699 - 702
Mao Xia, Zhao Xingyuan, Shen Wei. An extraction method of rectangular building based on fussy decision-making[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2008, 34(6): 699 - 702 (in Chinese)

[6] 杨吉新,刘杰,陈定方. 一种高效实用的有限元模型消隐方法[J]. 武汉理工大学学报, 2002, 24(8): 60～62
Yang Jixin, Liu Jie, Chen Dingfang. An efficient and applied hidden method for FEM models[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2002, 24(8): 60 - 62 (in Chinese)

[7] Mohan R, Nevatia R. Using perceptual organization to extract 3-D structures[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989, 11(11): 1121 - 113

(责任编辑:娄　嘉)