

从遮挡边缘和局部阴影恢复表面形状*

刘辉 谈正

(西安交通大学信息工程研究所, 西安 710049)

摘要 遮挡边缘和局部阴影是表面形状估计的重要线索。本文利用不同视点下的遮挡边缘序列, 获取它们所对应的表面点的三维几何关系。并结合局部阴影分析, 对物体表面的非暴露区域进行深度(高度)计算。最终通过插值, 获得表面三维模型, 实现真实目标建模。

关键词 遮挡边缘, 形状估计

1 引言

计算机视觉的主要任务之一, 就是从图象或图象序列中获取物体表面的三维形状描述, 以达到目标识别和几何推理的目的。从二维图象恢复物体三维形状信息的研究, 长期以来受到国内外从事计算机视觉和图象处理的研究人员的高度重视, 产生了多种针对不同图象特征的形状恢复方法, 如: shape from texture、shape from shading、shape from motion、shape from contour 以及 stereopsis 等等。这些方法通过对阴影、纹理、轮廓、运动及视差等线索的分析, 以期推断物体表面形状^[1]。然而, 从单一线索来估计表面形状, 往往需要作较多的假设, 而且通常是病态问题。因此, 多种图象特征和线索的集成, 是目前 shape from X 问题研究的新趋势。同时, 随着计算机图形学和虚拟现实技术的发展, 人们正在试图从客观场景中, 获得真实目标的模型描述, 并将其应用于可视化和虚拟环境创建等与图象图形相关的各种领域。这些发展给表面形状恢复的更加广泛和深入的研究注入了更大的活力。

2 遮挡边缘和表面轮廓点的三维信息获取

所谓遮挡边缘, 主要是指图象平面上将物体和

背景分割开来的边缘, 它随着视点的变化而对应于物体表面的不同轮廓线, 对光滑表面, 通过这些轮廓点的视线与表面相切, 并把表面轮廓点投影成遮挡边缘点。

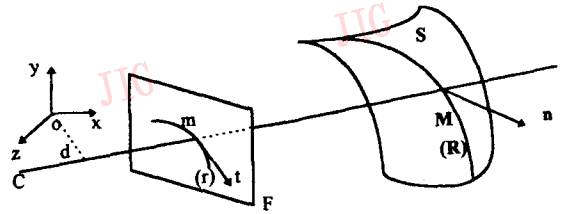


图1 表面轮廓和遮挡边缘

如图1所示, 在坐标系 $OXYZ$ 中, 摄像机中心位于 C , F 为像平面, S 为物体表面, 表面上的轮廓曲线 R 投影为像平面上的遮挡边缘 r , 轮廓 R 上的点 M 投影为边缘上的点 m 。点 M 处的切平面的法向, 由光线 Cm 和边缘 r 在点 m 处的切线 t 的矢量积确定, 单位法向量 n 用欧拉角表示为: $n = (\cos\varphi \cos\theta, \cos\varphi \sin\theta, \sin\varphi)^T$ 。假定 $d(\theta, \varphi)$ 为原点到切平面的距离, 则切平面方程为:

$$n(\theta, \varphi) \cdot X = d(\theta, \varphi) \quad (1)$$

其中: $X = (x, y, z)^T$ 为切平面上任一点, $n(\theta, \varphi) = \frac{Cs \times t}{\|Cs \times t\|}$, $d(\theta, \varphi) = OC \cdot n(\theta, \varphi)$ 。通过以上表述,

* 本文得到国家自然科学基金项目支持(No. 69773003)
收稿日期: 1997-07-24; 收到修改稿日期: 1997-10-05

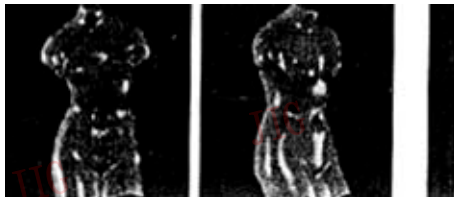
我们可得到如下定理:

定理 1: 对于非抛物点($\varphi \neq 90^\circ$), 轮廓 R 上任一点的参数方程为:

$$\begin{aligned}
 x &= d(\theta, \varphi) \cos \varphi \cos \theta - \frac{\partial d(\theta, \varphi)}{\partial \varphi} \sin \varphi \cos \theta - \frac{\partial d(\theta, \varphi)}{\partial \theta} \frac{\sin \theta}{\cos \varphi} \\
 y &= d(\theta, \varphi) \cos \varphi \sin \theta - \frac{\partial d(\theta, \varphi)}{\partial \varphi} \sin \varphi \sin \theta + \frac{\partial d(\theta, \varphi)}{\partial \theta} \frac{\cos \theta}{\cos \varphi} \\
 z &= d(\theta, \varphi) \sin \varphi + \frac{\partial d(\theta, \varphi)}{\partial \varphi} \cos \varphi
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

定理的详细证明请参见文献[2].

当摄像机相对物体旋转时, R 将掠过表面 S , 在图象序列中产生不同边缘 r 的序列, 因而, 我们可由此序列, 根据定理 1 得到 S 上的轮廓 R 序列上各点的三维坐标. 为方便起见, 将坐标原点选为物体中心, z 轴垂直于图象平面指向观察者, y 轴为旋转轴, 垂直向上. 图 2 和图 3 给出了图象序列及实验结果, 序列长度为 36 帧, 帧间视点相对 y 轴的旋转角度 $\varphi = 5^\circ$. 图中将 $d(\theta, \varphi)$ 变换为 $d(y, \varphi)$, 亮度表示它的绝对值.



(a) Venus 图象序列 的第 1 帧 (b) Venus 图象序列 的第 8 帧 (c) $d(y, \varphi)$
图 2 图象序列和它们的遮挡边缘变化图象

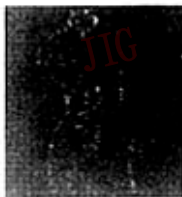


图 3 通过遮挡边缘分析获得的表面点高度(亮度表示 z 坐标)

3 非显露区的分析

从上一部分的实验结果看到, 由遮挡边缘计算的物体表面信息, 在某些局部较为稀疏, 这是由于这

部分区域在视点变化时, 始终未能投影产生遮挡边缘, 因而没有计算到这部分点的三维坐标. 我们可以通过垂直于旋转轴的切片(图 4)来说明这一情况, 图中凹陷区, 就是我们需要定位和进行局部阴影分析, 求解其三维信息的未显露表面部分. 从图中可以看到, $d(\theta, \varphi)$ 随 φ 的变化将出现角点(变号), 即: $\frac{\partial d(\theta, \varphi)}{\partial \varphi_-} \neq \frac{\partial d(\theta, \varphi)}{\partial \varphi_+}$, 利用 $d(\theta, \varphi)$ 的离散二阶导数, 可以检测该区域, 并且有^[3]:

$$\begin{cases}
 \Delta x = d_2(\theta, \varphi_2) \cos \varphi_2 \cos \theta - d_1(\theta, \varphi_1) \cos \varphi_1 \cos \theta \\
 \Delta z = d_2(\theta, \varphi_2) \sin \varphi_2 - d_1(\theta, \varphi_1) \sin \varphi_1
 \end{cases}
 \tag{3}$$

得到了非显露区在图象中的定位, 我们将用其它视觉影信息来提取它的三维信息. 在本文中我们仿照有限元方法, 用三角形基元来逼近区域表面, 得到基于阴影信息的迭代算法. 如图 5 所示, 非显露区在二维图象上的投影区 Ω , 由一系列不相覆盖的三角 T_i 形组成:

$$\Omega = \bigcup_{1 \leq i \leq M_i} T_i$$

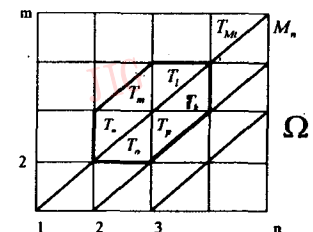
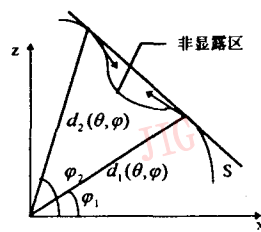


图 4 非显露区切片 图 5 表面的三角形基元逼近

其中, M_i 为三角形个数, 表面高度: $z(x, y) = \sum_{i=1}^{M_n} z_i \phi_i(x, y)$ 这里, z_i 为顶点 i 的高度, M_n 为顶点个数, ϕ_i 定义为: $\phi_i = \begin{cases} 1 & \text{Vertex } i \\ 0 & \text{other Vertices} \end{cases}$

由辐射度方程: $E(x, y) = R(p, q)$, 及反射率函数的线性近似^[5]: $R(p, q) \approx \alpha p + \beta q + \gamma$, Lee 等通过构造误差函数, 建立了表面高度 $z(x, y)$ 和图象亮度 $E_o(x, y)$ 间的线性关系^[4]:

$$\begin{aligned}
 \epsilon &= \iint_{\Omega} [E_o - (\sum_{i=1}^{M_n} \chi_i z_i + r)]^2 dx dy = \\
 &= \frac{1}{2} z^T A z - b^T z + c
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

其中 (p, q) 是 $z(x, y)$ 的梯度场, E_o 是图象亮度, $x_i = \alpha \frac{\partial \phi_i(x, y)}{\partial x} + \beta \frac{\partial \phi_i(x, y)}{\partial y}$, 此处, α, β 和 γ 为平均光照方向 L 的 3 个分量, 可以从周围由遮挡边缘求得的三维点坐标及灰度值, 计算法线, 并根据 $E(x, y) =$

$R(p, q) = K \cdot n \cdot L$ 进行估计 (K 为反射系数)。

为使(4)式右端的最小化等价于求解如下方程:

$$Az = b \quad (5)$$

从以上的近似和推导看到,这里的局部阴影问题的求解过程和椭圆方程边值问题的有限元方法非常相似(所需边界条件可从遮挡边缘得到的 z 值插值获取),故将(4)中的矩阵 A 和 b 称为刚度矩阵和右端向量,对每一个顶点 i (如图 5 示),其元素:

$$a_{ij} = 2 \sum_{z_i \in T_k} \sum_{z_j \in T_k} \chi_i \chi_j \quad b_i = 2 \sum_{z_i \in T_k} (E_0 - \gamma) \chi_i$$

得到了各个顶点处的局部刚度矩阵 A_i 和局部右端向量,即可由它们构成总体的刚度矩阵 A 和右端向量 b ,求解 $z(x, y)$ 。由此,我们可以得到如下局部阴影分析的迭代算法:

(1) 初始化 ($k=0$): 设置每个三角形 T_i 的参考梯度 $(p_{0i}^0, q_{0i}^0) = (0, 0)$, 构造刚度矩阵 A^0 和右端向量 b^0 , 求解方程 $A^0 z^0 = b^0$, 得结点高度 z^0 。

(2) 迭代 ($k=1, 2, \dots$): 由结点高度 z^{k-1} , 计算三角形 T_i 的参考梯度 (p_{0i}^k, q_{0i}^k) 构造相应的刚度矩阵 A^k 和右端向量 b^k , 求解方程 $A^k z^k = b^k$, 或结点高度值 z^k 。

如果 $\|z^k - z^{k-1}\|$ 小于某一门限,那么 z^k 即为所求的解,否则进行下一次迭代。

经遮挡边缘和局部阴影两步求得的表面的三维信息如图 6 所示,图中亮度表示 z 坐标。最后,再对图 6 进行插值,得到高度密度图如图 7 所示。



初始条件。在阴影分析中,我们利用线性辐射度方程,并仿照有限元方法,用三角形基元剖分非显露区,构造刚度矩阵和右端向量,得到了基于最小均方误差的迭代算法。最终的结果是表面点的三维坐标表达,它可直接用于目标的图形建模。

在对遮挡边缘的分析中,尽管本文的实验仅考虑了摄像机相对目标旋转的情况,但从(2)式看到,遮挡边缘分析方法,并不受这一局限。因此,本文对多视觉线索集成的形状估计方法而言,不失为一种有效的尝试。

参考文献

- 1 徐建华编著. 图象处理与分析 北京: 科学出版社, 1992.
- 2 Vaillant R, Faugeras O D. Using Extremal Boundaries for 3-D Object Modeling. IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell., 1992, 14(2): 168~178.
- 3 Zheng Jiang Yu. Acquiring 3-D Models from Sequences of Contours. IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell., 1994, 16(2): 157~173.
- 4 Kyoung Mu Lee, C.-C. Jay Kuo. Shape from Shading with a Linear Triangular Element Surface Model. IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell., 1993, 15(8): 815~822.
- 5 Pentland Alex. P. Linear Shape From Shading. International Journal of Computer Vision, 1990, 153~162.

刘 辉 1969 年生, 分别于 1991 年 7 月和 1994 年 7 月获得学士学位和硕士学位, 现为西安交通大学通信与电子系统专业博士研究生, 主要研究领域: 三维立体视觉、纹理图象分析、表面形状恢复等。在国内外期刊、会议发表论文 20 余篇。



图 6 经遮挡边缘和阴影分析得到的表面高度 图 7 对图 6 进行插值得到的高度密度图

4 总 结

在本文中,我们介绍了一种基于多视觉线索融合的表面形状估计方法,它首先利用图象序列中遮挡边缘的微分特性,估计出某些表面轮廓点的三维坐标,并对不能呈现为遮挡边缘的非显露表面区域进行定位,为以后的阴影分析提供了较好的边界和

谈 正 1939 年生,教授,博士生导师,现为西安交通大学 3DTV-VR 研究中心负责人。主要研究领域为数字图象处理与分析、三维立体显示技术、图象图形融合。近年来在国内外期刊、会议上发表论文 30 余篇,并编译《模式识别与神经网络》(机械工业出版社)一书。



Recovering Surface Shape from Occluding Edges and Local Shading Information

Liu Hui, Tan Zheng

(Institute of Information Engineering of Xi'an Jiaotong University, Xian 710049)

Abstract The occluding edge and local shading information are the important cues for surface shape estimation. In this paper, we use the occluding edge sequence at different view points to acquire the 3-D geometry relations of the responding points on the object surface. And then integrating the local shading information analysis, we can compute the depth of the unexposed areas on the surface. Eventually, by interpolating we can acquire the 3-D model of the surface and implement the objects modeling.

Keywords Occluding edge, Shape estimation, Shape from shading

惠普工作站采用 ELSA 高档图形卡

ELSA(艾尔莎公司)日前宣布,ELSA GLoria Synergy 图形加速卡将集成在惠普公司最新的 Kayak XW PC 工作站上。配备这种图形卡的工作站是最适于 Windows NT 应用的高性能产品。它可提供颇具成本效益的高性能价格比解决方案,以及显著的 2D CAD 和 3D 视像软件所需要的图形性能,高速支持诸如 Autodesk、Kinetix、Bentley、PTC、SDRC、EDS Unigraphics 和 SolidWorks 等知名软件。

ELSA GLoria Synergy 采用 AGP 总线、3Dlabs 的 PERMEDIA 2 处理器和 8MB SGRAM。在高达 230MHz 像素时钟下,使色彩分辨率高达 1 920 × 1 200。它也可以在多屏方式下运行,并支持 16:10 宽屏显示器。ELSA GLoria Synergy 能在硬件中提供双线性的纹理映射,并加快 OpenGL、HEIDI 以及 Direct3D 的运行。迄今为止,ELSA GLoria Synergy 已在德国、英国、美国和中国台湾赢得 7 个国际奖项和最佳推荐。

艾尔莎公司总裁兼首席执行官 Beisch 表示:“惠普需要的是非常高标准的供应商。产品质量、性能、对市场的快速反映,加上出类拔萃的性能价格比,以及连续的产品开发和技术支持能力至关重要。惠普选择 GLoria Synergy 正是著名厂商对艾尔莎能力的充分肯定。随着惠普的成功,我们也在国际市

场上迈出了坚实的一步。”

HP Kayak XW PC 工作站总经理 Jean-Charles Miard 说:“惠普已将 GLoria Synergy 的图形卡进行集成以促进客户由 2D 转向符合当今市场趋势的 3D 应用。GLoria Synergy 是 HP Kayak XW PC 工作站家族在图形处理方面的一个颇具吸引力的新选择。”

惠普的客户通过使用 HP Kayak XW PC 工作站,能够获得艾尔莎在 Autodesk 和 Kinetix 两大软件的技术优势。艾尔莎独自开发的 POWERdraft 完全支持 Autodesk R13 和 R14 硬件加速,它在 CAD 和视像应用方面具有完善的图形性能。此外,ELSA MAXtreme 工具箱也专门支持 3D Studio MAX 2.0。

装有 ELSA GLoria Synergy 图形卡的新型 HP Kayak XW PC 工作站配置有一个 333MHz 奔腾 II 处理器,63MB SDRAM 和 4.5GB/10 000ppm 的硬盘。

有关 ELSA GLoria Synergy 的进一步信息请联络: +886-2-27685730, 或访问 <http://www.elsa.com>。

有关 HP Kayak XW PC 工作站请访问: <http://www.hp.com/go/kayak/xw>。