

基于光谱分析的主动式距离图象获取方法*

郝颖明 朱 枫 徐心平

(中国科学院沈阳自动化研究所机器人学开放实验室, 沈阳 110015)

摘 要 Rainbow 三维摄像机是一种基于光谱分析的快速三维信息获取方法。该方法利用连续变化的彩色光谱照射景物,彩色 CCD 摄像机拍摄的景物图象将呈现出规律的颜色变化,而且不同的颜色(波长)构成了不同的空间颜色面。通过标定这些颜色面和摄像机成像模型,即可计算出图象中各点的三维坐标。该文重点讨论实现该方法的标定技术和颜色分类技术,最后给出实验结果。

关键词 颜色面 连续光谱 三维坐标

0 引 言

三维信息获取是计算机视觉的一个重要研究内容。在众多的距离信息获取技术中,立体视觉技术引起了研究者的极大兴趣,从而获得了广泛的应用。但是,众所周知立体视觉技术在三维形状恢复中一直受到特征点匹配问题的困扰^[1]。解决匹配问题的方法之一是采用结构光技术。即利用主动光源取代立体视觉的一个摄像机,将有规律的图案投射到被测景物表面,以产生容易识别的人工特征,从而使匹配问题得到简化。最简单的结构光是狭缝光,虽然无任何匹配问题,但只能恢复出光条成象点的三维坐标。为恢复景物的三维形状,可以加扫描装置,每次获得景物上不同位置的点的三维坐标^[2]。也可以采用复杂一些的结构光,^[3](如垂直条纹光、网格光、颜色编码结构光等),一次得到所有光源照射点的三维坐标。此时的匹配问题表现为寻找主动光源所发射的结构光与图象中的结构光图案之间的对应关系。

由于结构光技术只能获得光源照射点的三维信息,因此如何在简化匹配问题的基础上得到更多的三维信息获取点是结构光技术的关键。在众多结构光中,有一种被称为“Rainbow 三维摄像机”的方法较好地解决了这个问题。它的基本思想是设计可区分的不同结构光条并使其遍布整个图象,以便图象上的每一点都对应一个光条,这样,就可以在一幅图象上算出所有点的三维坐标。为此,需要一种特殊光源,这一光源由一组不同波长的垂直光谱线组成,形

成了从红到紫波长连续变化的整个彩色光谱,看起来很象雨后的彩虹。该方法的原理是由 Tajima-Iwakawa 于 1990 年提出的^[4],他利用两个彩色滤波器和一个黑白摄像机来获取彩色光谱图象,为得到景物的三维信息需在同一位置摄取两幅图象,因此只适用于静态景物三维信息的获取。1996 年 Geng^[5]用彩色 CCD 摄像机和线性变化波长滤波器实现了类似的系统。

“Rainbow 三维摄像机”在理论上解决了匹配问题和被测量点少的问题,但在实现过程中又提出了新的基本技术,如光源构建、颜色分类、色面标定等。本文将首先介绍该方法的原理,然后讨论两个重要的基本技术:颜色分类和标定,最后给出实验结果。

1 Rainbow 三维摄像机原理

当以一个线光源照射景物时,光源发出的光在空间形成了一个光平面,这一光平面与景物相交时,在景物上形成了一条亮线。这条亮线投影到图象上就成为一条平面光条。根据摄像机的针孔成象模型,任何图象点都对应一条空间直线。当已知光平面的空间方程时,空间直线与空间光平面的交点即为该图象点所对应的空间点。

当光源发出的光是整个彩色光谱所组成的一组光谱线时,其中每一条谱线都对应一个空间光平面(如图 1 所示)。由于谱线的连续性,使得图象上的所有光谱照射点都与一条特定的谱线相对应,亦即同

* 本文获国家“863”计划智能机器人工程中心网点实验室项目(No. 9608)资助

收稿日期:1998-11-23;收到修改日期:1999-03-11

一个特定的空间光平面相对应。这样,对于图象中的任意象元 $P'(u, v)$,它所对应的空间点 $P(x, y, z)$ 一定既在由该点的颜色所对应的空间光平面 C_i 上,又在由摄像机参数和该点图象坐标 (u, v) 所决定的空间直线 OP 上。只要求出直线 OP 和平面 C_i 的空间方程,即可通过解线性方程组得到点 P 的空间三维坐标 (x, y, z) ,进而恢复出景物的三维形状。

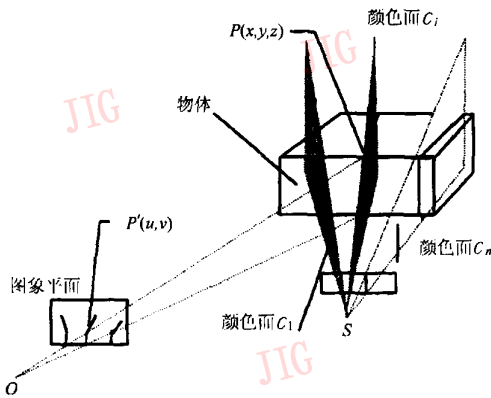


图1 三维坐标计算原理

由此可见,要实现该方法,必须解决3个问题:

① 特殊光源的构建;② 图象中颜色的分类;③ 实验系统特别是空间颜色面的标定。因为颜色面的标定要利用颜色分类的结果,而三维坐标的计算是以颜色分类和颜色面的标定结果为依据的,所以颜色分类在本方法中具有举足轻重的地位。

2 颜色分类

颜色可以分为非彩色和彩色两大类。非彩色是指黑白和各种深浅不同的灰色。彩色是指黑白系列以外的各种颜色。彩色有三种特性:明度、色调、饱和度。明度指彩色的明亮程度。色调,表示彩色彼此相互区分的性质,可见光谱不同波长的辐射在视觉上表现为各种色调,如红、橙、黄、绿、青、兰、紫等,它基本上相当于主波长的概念。饱和度,表示彩色的纯洁性,大体上相当于纯度的概念。用图2的三维枣形颜色立体可以把颜色的三种基本特性全部表示出来。在颜色立体中,垂直轴代表黑白系列明度的变化,顶部是白色,底部是黑色,中间是各种灰色的过渡。色调由水平面的圆周表示,圆周上各点代表光谱上各种不同的色调。从圆周向圆心过渡表示颜色饱和度逐渐降低。

彩色可以在不同的色度坐标系下表示,最基本

的色度坐标系是RGB坐标系,以彩色所含红、绿、蓝三个分量的多少来表示。彩色CCD摄像机摄取的图象,就是以RGB坐标系表示颜色的。但是RGB坐标系并不能直接表示彩色的三个特性,可以直接表示彩色特性的坐标系有多个,如HIS, YIQ, YUV等,它们都可以从RGB坐标系变换得到。我们选择计算比较简单的YIQ坐标系,它与RGB间的变换关系为式(1)。

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.144 \\ 0.596 & -0.274 & -0.322 \\ 0.211 & -0.523 & 0.312 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

这里, Y 为明度, I 和 Q 共同表示色调和饱和度,可以用式(2)将其分开,其中, H 为色调, S 为饱和度。

$$\begin{aligned} H &= \arctg(Q/I) \\ S &= \sqrt{I^2 + Q^2} \end{aligned} \quad (2)$$

颜色分类的目的是将景物的颜色与照射光谱线的颜色对应起来。因为景物的颜色不仅取决于照射光的颜色还取决于景物本身的颜色。为得到照射光谱线的颜色,需要对景物图象先做颜色减法以消除景物本身颜色的影响。为简化处理过程,我们仅对白色的景物做实验。这样,景物的颜色只决定于照射光谱的颜色。

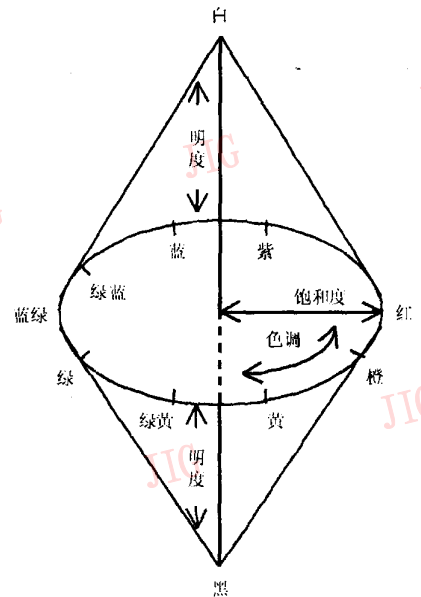


图2 颜色立体

因为色调对应于主波长,所以在颜色分解过程中我们以色调作为颜色分类的主要依据,采用聚类的方式实现颜色分割。对于用于标定的图象的颜色

分类和用于三维计算的图象的颜色分类稍有不同。前者可以根据每条谱线都是直线且色调逐渐变化的限制去除一些不合理的象素点,而且需要对分类的结果做直线拟合,最后给出各颜色类在图象平面上的直线方程。而后者则要求所分得各类必须是经过标定的颜色类,否则,需要以最小误差准则将其归于某一标定过的颜色类。

3 标定技术

该方法的标定技术包括摄像机标定和颜色面的标定两部分。待标定参数的选择取决于三维计算的需要。由于我们采用空间“视线”与空间光平面的交点来计算三维坐标,待标定参数即为摄像机的 C 矩阵和各谱线所对应的空间颜色面的空间方程。

3.1 摄像机参数的标定

$$\begin{bmatrix} ut \\ vt \\ t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

根据式(3)的摄像机模型,空间任何一点 P 的三维空间 (x, y, z) 坐标与其二维图象坐标 (u, v) 的关系可以用一个被称为 C 矩阵的矩阵 3×4 来表示。只要标定出 C 矩阵,即可对任意图象点建立其空间视线的直线方程。反过来,如果已知一点的空间坐标和图象坐标,就可以得到两个关于 C 矩阵参数的线性方程。对于具有 11 个未知数的 C 矩阵(C_{34} 可以设成 1),只要已知至少 6 个不在同一平面上的点,即可通过求解线性方程组来得到 C 矩阵。

标定装置如图 3 所示,摄像机固定在支架上。标定板是可以沿导轨移动且垂直于导轨的平面,由多个标定圆组成的标定标志贴在标定板上。幻灯机作为特殊光源在摄像机标定过程中是关闭的。定义世界坐标系的 Z 轴平行于导轨,当标定板沿导轨移动时,其上各标定圆圆心的空间三维坐标已知。根据 CCD 摄像机摄取的标志图象,通过图象处理可求得各标志圆圆心的图象坐标。从而得到多个关于 C 矩阵参数的线性方程。并通过最小二乘法求得 C 矩阵。

3.2 颜色面的标定

由于直线光源可以在空间形成一个光平面,我们所采用的连续光谱中,每一条垂直的谱线都对应

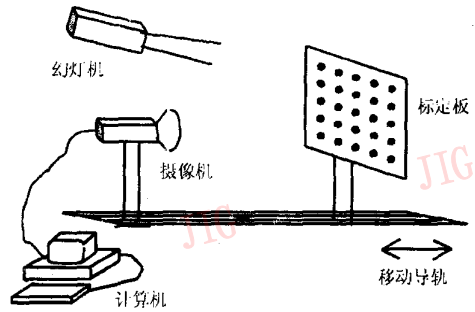


图 3 标定装置示意图

于空间的一个光平面,如图 4 所示。设该连续光谱中共包括 n 条谱线,图中画出了从点 S 发出的波长分别为 $\lambda_1, \lambda_i, \lambda_n$ 的三个空间颜色面 C_1, C_i, C_n 。我们用两个平行的空间平面 $z = z_a$ 和 $z = z_b$ 截这些平面,得到两组空间直线。设截颜色面 C_i 所得的两条空间直线分别为 L_{ia} 和 L_{ib} , 则这两条空间直线必然在颜色面 C_i 上,由两条直线的空间方程可以求得颜色面 C_i 的空间方程。

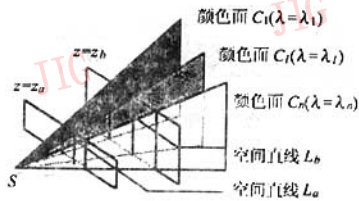


图 4 颜色面标定原理

具体的实现过程为:将图 3 的标定板上的标志换成白色的平面背景,打开幻灯机用连续光谱照射标定板,当标定板沿导轨移动时,在两个不同的位置 $z = z_a$ 和 $z = z_b$ 上用 CCD 摄像机分别取两幅图象,通过颜色分解分别求出两幅图象中各彩色谱线在图象平面上的直线方程,设 $z = z_a$ 时空间直线 L_{ia} 在图象平面的直线方程为 $v = k_{ia}u + b_{ia}$, $z = z_b$ 时空间直线 L_{ib} 在图象平面的直线方程为 $v = k_{ib}u + b_{ib}$ 。根据(3)式的摄像机模型,可以分别计算出空间直线 L_{ia} 和 L_{ib} 上各点的空间三维坐标。因为这些点都在空间平面 O_i 上,可以通过平面拟合的方式求得该平面的空间方程(4)式中的对应参数 A_i, B_i, C_i, D_i 。

$$A_i x + B_i y + C_i z = D_i \quad (4)$$

4 实验结果

我们利用 PC 作为主机,配以 i860 加速板和

VISIONplush-AT CFG 图象采集板、F10 彩色 CCD 摄像机构成图象处理系统,以 FH-50 自动幻灯机做特殊光源实现了该距离图象获取方法,成功地得到了白色景物的距离图象。

实验中的幻灯片是通过在图象监视器上画出彩色光谱,通过照像获得的。由于这些光学过程改变了原图象的性质,使得最后所得到的彩色图象上,经颜色分类而得到的谱线不是直线而是曲线。为此,我们首先在图象平面上将其拟合为二次曲线,而将整个空间颜色面拟合为空间二次曲面。对于空间颜色面 O_i 我们以式(5)的标准方程来拟合。标定过程中,我

们在 $z=40\text{mm}$ 和 $z=100\text{mm}$ 处各取两幅图象,分别将其量化为 138 种颜色,对应于 138 个空间二次曲面。

$$a_{11}x^2 + a_{12}y^2 + a_{13}z^2 + 2a_{14}xy + 2a_{15}yz + 2a_{16}xz + 2a_{17}x + 2a_{18}y + 2a_{19}z + a_{110} = 0 \quad (5)$$

图 6 为利用该方法获得的距离图象,其原始图象如图 5 所示,为一本翻开的书。原始图象中的阴影是彩色光谱照射的结果。由实验结果可以看出,图 6 基本上再现了图 5 的形状,但个别点仍存在较大的误差。误差的产生有两个原因:(1)由于如前所述的光源的原因;(2)由于颜色分类中分出的颜色不够多。

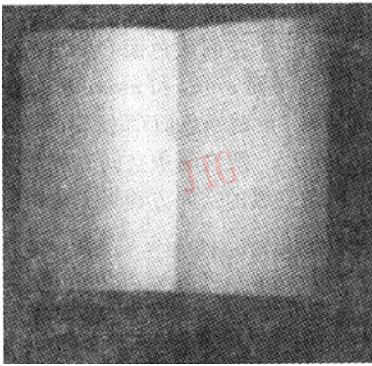


图 5 原始图象



图 6 实验结果

5 结束语

本文介绍了一个基于光谱分析的快速三维信息获取方法。该方法克服了一般距离图象获取方法只能获取图象中部分点的三维坐标的缺点,使得景物三维形状的恢复不再需要插值。同时,该方法又不需要多幅图象间的匹配,简化了计算过程,也避免了匹配误差。它的实现,不仅为距离图象获取方法的理论研究开辟新的领域,也将因其三维信息获取全面,结构简单,计算速度快等特点,在机器人视觉、工业检测等领域将得到广泛应用。

参考文献

- 游素亚,徐光佑. 立体视觉研究的现状与进展. 中国图象图形学报, 1997, 2.
- Masaki Oshima, Yoshiaki Shirai. Object recognition using three-

dimensional information. IEEE PAMI, 5(4).

- Mouaddib E, Battie J, Salvi J. Recent progress in structured light in order to solve the correspondence problem in stereo vision. In: Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation.
- Johji Tajima, Masato Iwakawa. 3-D data acquisition by Rainbow Range Finder. In: Int Conf Pattern Recognition, 1990.
- Geng Z J. Rainbow three-dimensional camera: new concept of high-speed three-dimensional vision system. Optical Engineering, 1996, 35(2).



郝颖明 助理研究员。主要研究领域为图象处理,机器人视觉,三维测量等。



朱 枫 副研究员。主要研究领域
为图象处理,机器人视觉,虚拟现实等。

徐心平 研究员。主要研究领域为机器人学等。

An Active Range Image Acquiring Method Based on Spectral Analysis

Hao Yingming, Zhu Feng and Xu Xinping

(Robotics Lab, Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110015)

Abstract "Rainbow Range Finder" is a method for rapidly acquiring 3D information based on spectral analysis. It uses a special light with continuous spectrum to project across the objects, and its image will present the regular change of colors. One color forms a line in the color image and responds to a light plane structured by a wave band in the spectrum. When all the light planes are calibrated and the camera model is known, we can calculate 3D coordinates of all image points in the scene. This paper mainly discusses the light plane calibration and color classification techniques for implementation of these methods.

Keywords Continuous spectrum, Light plane, Camera calibration, Range image

富士 MX-2900zoom 专业数码相机 新一代数码相机王风范

富士摄影器材有限公司联合北京中恒讯视科技发展中心继富士数码相机之王 MX-2700 之后,隆重推出解象度高达 230 万像素(1800×1200dpi),兼拥有 3 倍光学变焦(3×Optical Zoom)及 2.5 倍数码变焦功能(Digital 2.5×Telephoto Mode)的富士 MX-2900zoom 专业数码相机。

富士 MX-2900zoom 专业数码相机可说是富士 MX-2700 的升级版,完全附合专业用家的要求。富士 MX-2900zoom 除拥有与 MX-2700 一样强劲的相机功能外,还备有 1 秒 3 张的连环快拍功能,最多可连拍摄高达 9 张相片。相机又提供了两级(F/4 及 F/8)或自动的光圈先调校,以及快门先决由 3 秒到最多 1/1000 秒共 36 级或自动的数值调校,操作简易。相机除配备了内置闪光灯功能外,亦另配备热靴(Hot Shoe),可随时加添外置闪光灯,适合在专业影楼内使用。

此外,富士 MX-2900zoom 备有富士独有的四种内置式滤镜功能,包知彩虹闪光(Rainbow Cross)、银色闪光(Silver Cross)、黑白(B/W)及怀旧(Sepia),可即时改变相片效果,而相片的原来影像亦会自动被储存至另一个档案名称,避免因相片影像被更改后失掉原来档案等问题。

富士 MX-2900z 采用镜镁合金外壳,以黑、银两色相配,像机一部单镜反光相,十分专业。虽然加入了 3 倍光学变焦镜头,机身体积只为 129.5mm×68.5mm×59.8mm,重量亦只有 385 克(包括电池),非常轻巧。相机又采用了可充电的锂电池,较笔芯电持久耐用,可拍摄约 200 张图象。采用高质量富士镜头,配备 2 英寸特大彩色液晶显示屏(LCD),可即时重播或预览相片。配备日本原厂 8MB SmartMedia Card,最高可支援 32MB 记忆卡储存容量。相机可支援 1/5、1/10 和 1/20 三种 JPEG 格式压缩储存及无压缩的 TIFF 格式储存。富士 MX-2900zoom 以这么轻巧的机身便能拥有多项优秀专业功能,加上外表有型有款,对专业用户来说,实在有吸引力。