

## 单摄象机三维视觉技术

李树祥 徐尚平

(自动控制系)

## 摘 要

本文针对装配机器人的实际应用情况,提出了一种利用激光结构光提供的空间几何信息和图象中包含的物体表面与物体形状的信息来综合分析中提取空间物体的三维信息的方法。该方法已经实际应用于GKD-1型机器人视觉系统中。

关键词: 图象, 结构光, 三维视觉

随着自动化生产的高度发展和机器人逐渐越来越多地被采用,对机器人三维视觉技术的研究日益受到重视。实现三维视觉一般来说有两种技术途径:使用双(多)摄象机或者利用结构光<sup>[1][2][3][4]</sup>。前者需要对多幅图象中对应于空间一点的各个象点进行匹配,计算量很大,要求具有大处理能力的计算机。本文着重研究单摄象机三维视觉技术,针对机器人视觉的实际应用情况,综合利用结构光提供的空间几何信息和物体图象中包含的表面与物体形状的信息来分析和提取空间物体的三维信息。

## 1 坐标系与空间点

机械手的工作坐标系  $O-XYZ$  称为基础坐标系,其中  $XOZ$  为水平面也称工作平面,  $Y$  轴竖直向上。为分析方便,假定摄象机轴线平行于  $OZ$  轴,焦距为  $f$ 。摄象机的成像平面平行于  $XOY$  平面,焦点  $F$  在基础坐标系内的坐标为  $(x_f, y_f, z_f)$ ,  $F$  在图象平面内的投影为  $O_f$ 。以  $O_f$  为原点建立一个图象坐标系  $O_f-X'Y'Z'$ , 其坐标轴分别与基础坐标系的三个轴相平行。

系统采用激光器产生的一组相互平行的平面结构光,光面平行于  $OY$  轴,相邻光面之间距离为  $\Delta$ ,光面与  $OX$  轴夹角为  $\beta$ 。

假设空间任一被光面照射到的目标点  $T$  的坐标为  $(x_T, y_T, z_T)$ ,如图1所示。 $T$  在

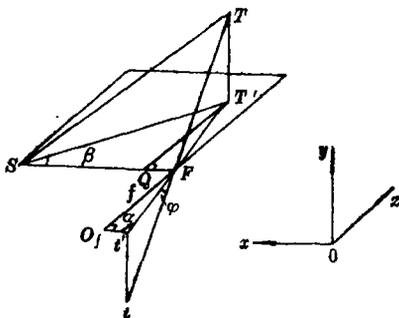


图 1

过摄像机轴线的水平内的投影为  $T'$ ,  $T$  和  $T'$  在图象平面内的投影分别为  $t$  和  $t'$ 。过摄像机焦点  $F$  作平行于  $OX$  轴的直线交光面于  $S$ , 则  $d=FS$  为焦点沿  $OX$  轴方向到光面的距离。作  $T'Q//OZ$ , 则  $T'Q \perp FS$ 。由图 1 可得

$$\begin{aligned} QS &= QT' \cdot \text{ctg}\beta \\ FQ &= QT' \cdot \text{ctg}\alpha \\ QT' &= \frac{d}{\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\beta} \end{aligned} \quad (1)$$

式中  $\beta$  和  $d=FS$  为已知的结构参数,  $\alpha$  为  $FT'$  与  $OX$  轴方向的夹角。

$$\text{ctg}\alpha = \frac{t'O_f}{O_fF} = \frac{j_i}{f}$$

其中  $f$  为焦距,  $j_i$  为  $T$  的象点  $t$  在图象坐标中的列坐标 (沿  $O_fX'$  轴), 分别为已知的结构参数和能从图象中求出的已知量。所以空间目标  $T$  的深度信息  $z_T$  可由下式求出

$$\begin{aligned} z_T &= z_f + \frac{d}{\frac{j_i}{f} + \text{ctg}\beta} \\ FQ &= QT' \text{ctg}\alpha = \frac{d \text{ctg}\alpha}{\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\beta} \end{aligned} \quad (3)$$

由空间点  $T$  的沿  $OX$  的坐标为

$$x_T = x_f + \frac{d \text{ctg}\alpha}{\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\beta} = x_f + \frac{d}{1 + \frac{f}{j_i} \text{ctg}\beta} \quad (4)$$

由图 1 知

$$\text{tg}\varphi = \frac{tt'}{t'F} = \frac{i_i}{\sqrt{f^2 + j_i^2}}$$

$$T'T = \frac{d}{(\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\beta) \sin\alpha} \cdot \frac{i_i}{\sqrt{f^2 + j_i^2}} = \frac{di_i}{(\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\beta) f}$$

故空间点  $T$  的沿  $OY$  方向的坐标为

$$y_T = y_f + \frac{di_i}{j_i + f \text{ctg}\beta} \quad (5)$$

在公式(3)(4)(5)中,  $i_i$ 、 $j_i$  分别为空间点  $T$  的象点在图象上的行与列坐标, 其余  $d$ 、 $f$ 、 $\beta$ 、 $x_f$ 、 $y_f$ 、 $z_f$  全部为已知的结构参数, 故可以由象点的图象坐标求出任何能被结构光面照射到空间点的三维坐标。

## 2 空间平面与物体

图 2 给出了二个平行光面照射到一个空间物体上的情况。假设物体的一个表面  $ABCD$  是平面, 则平行光面在  $ABCD$  上形成二根光条  $KL$  和  $MN$ 。如果能在图象上找

到 $K$ 、 $L$ 、 $M$ 、 $N$ 的对应象点,则可由上节讨论计算出这四个点在空间的三维坐标。任取其中三个点就可以准确地确定物体表面 $ABCD$ 在空间的位置。假设选取的三个点的坐标为 $x_i, y_i, z_i (i=1,2,3)$ ,则该平面的三点式方程为

$$\begin{vmatrix} x-x_1 & y-y_1 & z-z_1 \\ x_2-x_1 & y_2-y_1 & z_2-z_1 \\ x_3-x_1 & y_3-y_1 & z_3-z_1 \end{vmatrix} = 0 \quad (6)$$

整理得平面方程为

$$Ax + By + Cz + D = 0 \quad (7)$$

其中系数完全可以由已经求出的这三点的空间坐标来确定。当这个平面确定之后,就可分析与计算这个平面上若干特征点。

图3给出了物体的两个顶点 $A$ 和 $B$ 在图象平面上的投影 $a$ 和 $b$ 。由于焦点 $F$ 和图象平面的空间位置都是正确的,所以可以由象点 $a, b$ 的图象坐标计算出它们的空间坐标,分别记为 $(x_a, y_a, z_a)$ 和 $(x_b, y_b, z_b)$ 。

直线 $aF$ 的两点式方程为

$$\frac{x-x_f}{x_a-x_f} = \frac{y-y_f}{y_a-y_f} = \frac{z-z_f}{z_a-z_f} \quad (8)$$

直线 $aF$ 与平面 $ABCD$ 的交点即为物体的顶点 $A$ ,将(7)(8)两式联立求解,就可以得出 $A$ 点的空间坐标。同理,可以求出其它顶点 $B, C, D$ 的空间坐标。一般地讲对于物体的平面表面,只要能够找到这个表面上三个不共线的光点的相应象点,就可以确定这个表面,并从而确定那些凡是能够找到对应象点的所有该表面特征点的空间坐标。如果能够这样找到的表面的特征足够多,就不难在空间重构出这个物体。这样三维视觉的核心问题识别与定位(包括三维坐标和空间角度)就能够解决。

### 3 结 束 语

本文提出的算法已经实际应用于GKD-1型机器人视觉系统中,由于篇幅限制本文没有涉及与图象处理有关的问题。

工业机器人面对大多数的工作对象是机器零件,多数机器零件表面具有比较规则的形状,如平面、球面、柱面、锥面等等。对于这些具有数学解析表达式的表面来说,其上光点的空间坐标计算是与第1节的讨论一样的。对于曲面表面如能计算出足够的面上光点,仍能用数学方法确定或近似确定出空间表面,然后用第2节讨论的方法计算出这些表面上能够找到象点的各个特征点,进而重构或近似地重构出这些具有曲面表面的空间物体。

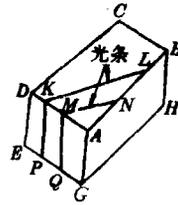


图 2

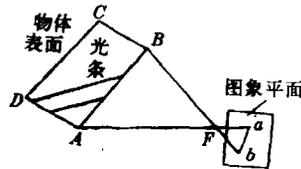


图 3

参 考 文 献

- [1] Ballard, Brown. Computer vision, 1982
- [2] M. Levine. Vision in Man and Machine, 1985
- [3] V. Hunt. Industrial. Robotics. Handbook, 1983
- [4] P. Coiffet. Interaction. With the Environment, 1983

## Single Camera 3-D Vision

Li Shuxiang Xu Shangping

### Abstract

A simple and straightforward algorithm for single camera 3-D vision has been introduced. The approach uses both the information of the single image and the information provided by a few laser planes. The analysis of the image information creates the correspondence between the feature points of a solid in space and their image points. The structured light provides a spatial coordinate system to measure these feature points in the working space. The algorithm has been used in GKD-1 robot vision system working with a RM-501 robot.

**Key words:** Image, Structured light, 3-D vision

## The Application of Digital Filtering in the Measurement of Spindle Rotating Accuracy

Li Jun Yin Goubao Liu Guiqiu

### Abstract

The measurement of spindle rotating accuracy of machine tool is one of the important items in the field of mechanical measurement. In this paper, a digital measuring system is introduced. Here the digital filtering technique is successfully used to solve the problems which are difficult to be solved by the analog measuring method. The precision of measuring is  $0.1\mu\text{m}$ .

**Key words:** Mechanical measurement, Spindle, Machine tools