

获取物体三维形状的一种方法

叶雄英 周兆英

(清华大学精密仪器与机械学系, 北京 100084)

摘要 本文提出了利用 M 系列编码光栅投影获取物体的三维形状的新方法。通过实验证明了本方法的有效性。本方法只需要两张图像, 能够快速准确地获取物体形状。

关键词: 三维形状测量、距离图像、M 系列编码

1 引言

对于智能机器人, 认识周围的环境和对象物体的形状、位置是至关重要的事情。在计算机视觉领域里, 对获取物体的三维形状的方法, 已经有了大量的研究, 而能够较精确地得到物体表面各点的坐标的方法基本都是基于三角测量原理的。这些方法可大致分为: 两眼立体视觉法、激光扫描法^[1]、空间编码法^[2-5]等。两眼立体视觉法利用匹配算法求解两幅图像上的对应点, 但实现这一匹配相当困难。激光扫描法用激光光源产生狭缝光依次扫描景物, 所需要的图像数等于扫描光条条数, 解像度提高, 所需时间也成比例地增长。空间编码法就是为了克服以上方法的缺点而提出的方法。Inokuohi^[2]和 Minou^[3]等提出的方法把 n 块模板投影到景物上, 代替 2ⁿ 条光条扫描, 节省了部分时间。米泽^[4]和 K. L. Boyer^[5]提出的颜色编码法是在一块模板上以颜色条纹编码, 虽然只需要一张彩色图像, 但这方法会因为物体的颜色而产生解码错误。

本文提出的 M 系列编码光栅投影法, 只需要一块三值光栅模板和一块半透明板及两张图像, 便能够决定光栅号码, 利用三角测量原理得到物体表面的坐标。

本文阐述了 M 系列编码光栅投影法的原理, 列举了用这方法获取物体三维形状的实验结果。

2 三维坐标的确定

本研究的测量系统如图 1 所示, 编码光栅被投影到被测物体上, 由摄像机摄取物体在模板投影下的光栅图像。通过光栅的投影, 被测空间被划分为许多细扇形区域。只要知道物体上的一点 O 所对应的图像面上的位置 Q (x_0, y_0) 及投影面上的位置 P (x_p), 根据三角测量

原理, 就能得到物体上的点 O 的三维坐标 (x, y, z) :

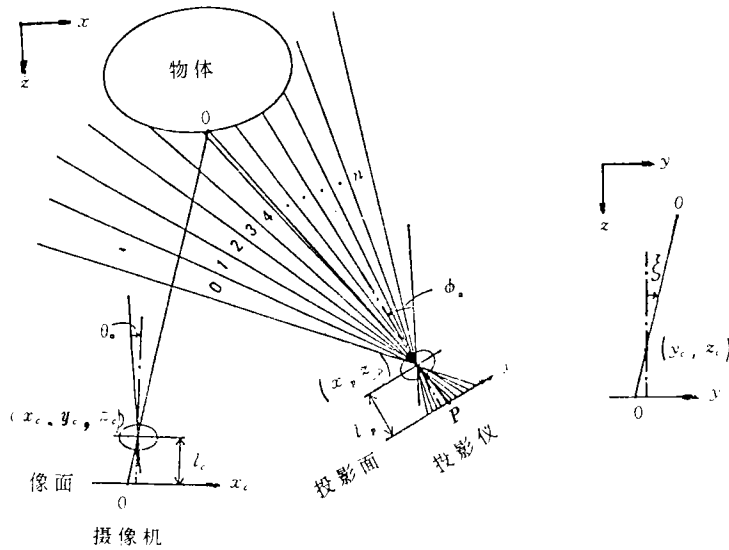


图1 三维形状测量原理

$$\begin{aligned} x &= x_0 - z' \tan(\theta + \theta_0) \\ y &= y_0 - z' \tan\hat{\xi} \\ z &= z_0 - z' \end{aligned} \quad (1)$$

$$z' = \frac{x_p - x_0 + (z_0 - z_p) - \tan(\Phi + \Phi_0)}{\tan(\Phi + \Phi_0) - \tan(\theta + \theta_0)} \quad (2)$$

$$\tan\theta = x_0/f_0 \quad \tan\hat{\xi} = y_0/f_0 \quad \tan\Phi = x_0/f_p$$

这里, 假设图像面及投影面坐标的 y 轴平行于 Y 轴。 $(X_0 Y_0 Z_0)$ 为摄像机镜头的中心坐标, $(X_p Z_p)$ 为报影机镜头的中心坐标 (Y 方向坐标不影响)。 f_0, f_p 分别为摄像机及投影机的焦距, θ_0, φ_0 分别为摄像机及投影机的光轴与 Z 轴的夹角。摄像机与投影机的这些参数, 基于实测数据, 利用非线性最小 2 乘法决定^[7]。 $(x_0 z_0)$ 为点 O 在图像上的坐标值, 从图像上能直接得到, 而 x_p 为投影在点 O 上的光栅条纹在投影面上的位置, 通过对编码光栅的解码而决定。

3 M 系列编码

我们提出的 M 系列编码光栅投影法, 根据 M 系列的 0、1 符号, 对光栅的暗纹进行编码。

M 系列^[8]是 Maximun Length Sequence 的略写, 被称为最大长系列或最大周期系列。M 系列用原始多项式生成。 k 次的 M 系列的周期长为 $2^k - 1$, 1 周期里所含有符号列有以下性质:

(1) 在 1 周期里, 长度为 k 的各种符号列 (除了全部 0) 正好各有一个。

(2) 在 1 周期里, 长度 n ($1 \leq n \leq k$) 的符号列有:

1) 全 0 符号列: $2^{k-n} - 1$

2) 其它的各种符号列: 2^{k-n}

根据性质(1)可知:从一周期的M系列符号列里抽出长度k以上的部分系列,这个部分系列在原符号列里的位置能唯一地决定。

基于这个性质,利用M系列编码光栅就能把图像上的连续k条以上光栅条纹与光源上的光栅对应上。因为M系列是最大长系列,以同样的符号长能给最多的光栅编码,故我们利用M系列来编码。

编码光栅模板的明度分布如图2所示。光栅的明纹作为区划各个M系列符号的信号,这里称之为“归零(Return To Zero)”(RTZ)信号。根据M系列符号的0或1决定光栅暗纹的明度。M系列编码光栅模板为三个明度的光栅模板。

为了使光栅图像的三值化简单,我们用一块半透明板,把均匀光投影到景物上,获取一张均匀光图像。

4 信号处理法

信号处理的步骤为:对光栅图像进行三值化,检测出RTZ信号和0、1符号系列;把符号系列与投影光栅的M系列匹配,生成部分系列群;对均匀图像检测棱线,根据棱线的位置,决定对应于物体的部分系列。这样就能把图像上的光栅与投影光栅匹配,再利用(1)和(2)式计算出对应于各光栅条纹中点的物体点的坐标。

4.1 光栅图像的三值化

光栅图像及均匀光图像的明度分布一般如图3所示,光栅图像明度峰谷交替出现,均匀光图像明度比较平滑地变化。三值化时,首先对光栅图像检测出峰和谷,峰对应于RTZ信号,再把谷的明度用平滑化后的均匀光图像的明度为阈值进行二值化。反二值化得到的0、1系列作为符号系列L,把均匀光图像明度为0(黑)的部分视为不存在物体,作为符号系列的分界点。

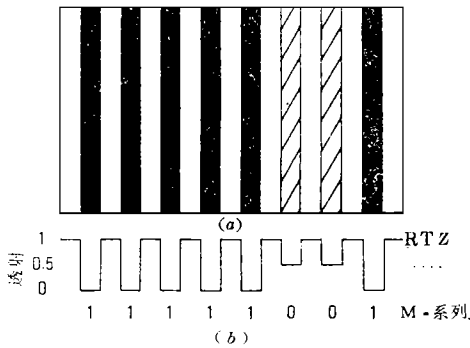


图2 M系列编码光栅模板

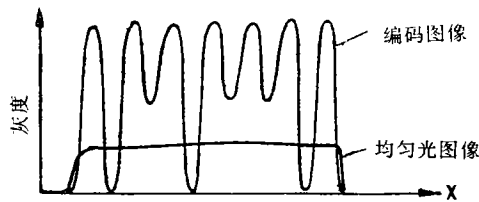


图3 光栅图像及均匀光图像的明度分布

4.2 部分系列的匹配

为了把符号系列L与光栅的M系列M匹配,我们把L分为能对应上M,长度为k或k以上的部分系列。

部分系列用以下方式记录:

$$MAT_n = (i_n, j_n, l_n)$$

- i_n : 第 n 个对应上 M 的 L 的部分系列的最初的光栅条的号码;
- j_n : 与 i_n 对应的 M 系列上的号码;
- l_n : 对应上的 M 的 L 的部分系列的长度。

一个部分系列 MAT_n 对应完后, 接着的部分系列的开始点为 $i_n + l_n - (k - 1)$ 。部分系列对应到符号系列 L 完为止。图 4 是部分系列匹配结果的一例, 这里 $k = 6$ 。图 4 的各 MAT 的括号的位置对应于各自所表示的 L 的部分系列的位置。

4. 3 不连续位置的决定

图 4 的符号系列 L 是由 M 系列的不连续的三部分组成的。所得到的部分系列 MAT_n 却不完全对应于这三部分。图 4 的 MAT_2 和 MAT_3 不对应于实际的部分, 是由 I 和 I 交接处附近的符号组成的。这样的部分系列的长度不会比 k 长多少, 长度越长出现的概率就越少。设: 对应实际物体的部分系列 MAT_n 的长度 l_n 大部分都大于某阈值 D , 挑出 $l_n \leq D$ 的 MAT_n , 重新排列为:

$$MAT_{n_1}, MAT_{n_2}, \dots, MAT_{n_p}, \dots, MAT_{n_q}$$

图 4 为:

$$MAT_1, MAT_4。$$

若相邻的两个部分系列 MAT_{n_p} 和 $MAT_{n_{p+1}}$ 的端部重叠, 则对均匀图像检测棱线, 根据棱线的位置决定 MAT_{n_p} 和 $MAT_{n_{p+1}}$ 对应于实际物体的边界。若端部不重叠, 则对这两个部分系列之间检测棱线:

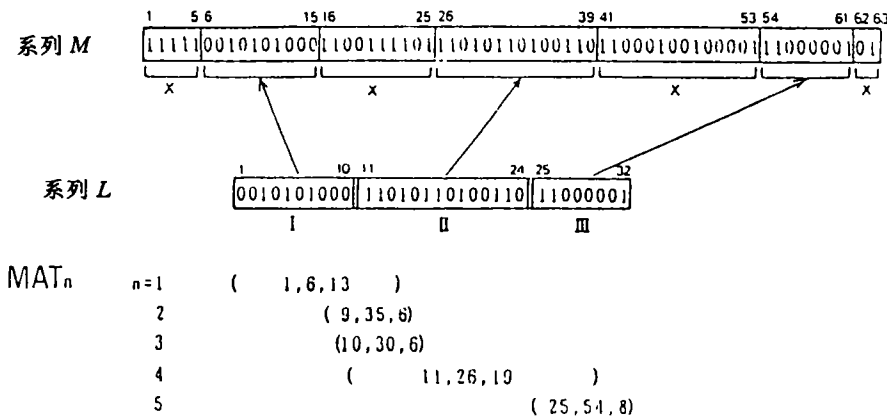


图 4 符号系列与 M 系列的匹配

- a) 没有棱线且 $i_{n_{p+1}} - i_{n_p} = j_{n_p} + 1 - j_{n_{p+1}}$ → 连接 MAT_{n_p} 和 $MAT_{n_{p+1}}$
- b) 1 根棱线 → 根据棱线的位置修改 MAT_{n_p} 和 $MAT_{n_{p+1}}$ 的端部
- c) 2 根棱线 → MAT_{n_p} 和 $MAT_{n_{p+1}}$ 之间还有狭于 D 的物体, 故从 MAT_{n_p} 与 $MAT_{n_{p+1}}$ 之间的小于 D 的 MAT 里挑出位置与棱线相符的 MAT 。再根据棱线位置修改 MAT_{n_p} 和 $MAT_{n_{p+1}}$ 的端部。

MAT_{n_p} 和 $MAT_{n_{p+1}}$ 与符号系列 L 的头和尾也作同样处理。这样就能把符号系列 L 分为与实际物体相对应的部分系列而且与对应的 M 系列的符号列匹配上。

图 4 的最终结果为：

(1, 6, 10) (11, 26, 14) 25, 54, 8)

在此，对于 $k = 6$, 定 D 为 9。

5 实验与结果

本实验用 $k = 6$ 的 M 系列，其系列长为 $2^6 - 1 = 63$ ，编码后的明暗光栅为 127 条。

图 5 为一扫描线上的图像信号和测量结果的例子。(a) 的上段为光栅图像和均匀光图像的灰度分布，下段为三值化结果。(b) 为这一扫描线上的结果的断面图。实线为物体的实际位置，点为测量结果，测量结果与实际位置一致。

图 6 为一个测量结果的三维表示，对像物体是一个涂了绿漆的盆、一个圆柱和一长方盒。三个物体都再现出来了。只有涂漆的盆有一小块反射投影机的强光，抽不出光栅条，再现结果缺落了一小块。

本实验系纵深方向精度为 1%，横向为 0.75%。

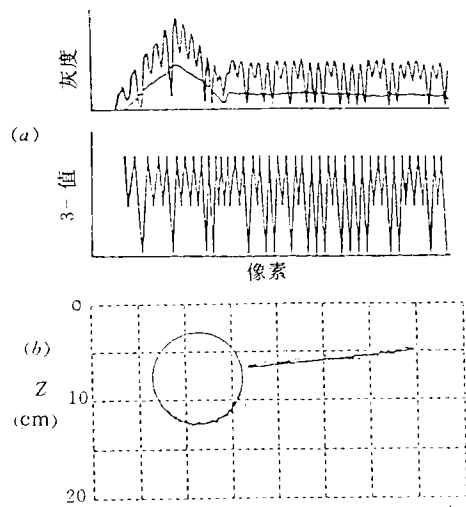


图 5 一扫描线上的信号与结果

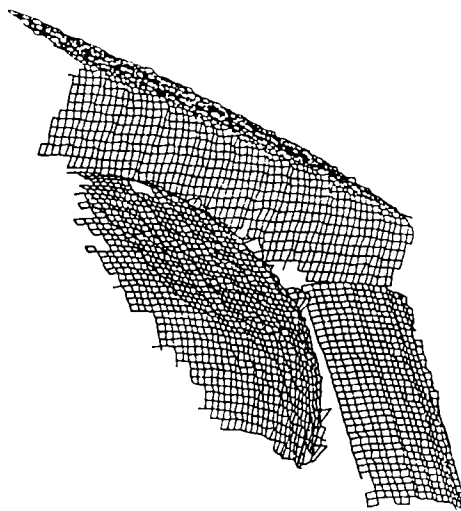


图 6 三维形状测量结果

6 结束语

本文叙述了 M 系列编码光栅投影获取物体三维形状的方法，通过实测实验，证明了本方法是有效的。本 M 系列编码法有以下优点：

- 1) 只需要 2 张图像，能减少输入和处理时间，提高测量速度。
- 2) 用的是三值光源，不易受环境光和物体颜色的影响。

今后的课题是：解决连续长度为 M 系列的次数 k 以下的符号列的对应问答，使微小面的位置形状也能唯一地确定。

参 考 文 献

- [1] Y. Shirai, Recognition of Polyhedra with Range Finder. *Pattern Recognition*, 1992, 4 (2): 243—250
- [2] S. Inokuchi, K. Sato and F. Matsuda, Range-imaging System for 3-D Object Recognition. 7th Inter. Conf. on PR, Montreal, 1984: 806—808
- [3] M. Minou, T. Kanade and T. Sakai, A Method of Time-Coded Parallel Planes of Light for Depth Measurement. *Trans. IECE Japan*, 1981, E64 (8): 521—528
- [4] 米泽, 玉邑, 符号化格子を用いた物体形状の計測. *电子通信学会论文志*, 1987, J61-D (6): 411—418
- [5] K. L. Boyer and A. C. Kak, Color-Encoded Structured Light for Rapid Active Ranging. *IECE Trans, Pattern Anal, Machine Intell*, 1987, PAM1-9 (1): 14—28
- [6] 宫川, 岩垂, 今井, 《符号理论》. 昭晃堂, 1987: 481
- [7] 叶雄英, 藤村贞夫, M系列符号化投影法による3次元物体の計測. *計測自动控制学会论文集*, 1980, (6): 644—650

A New Method For Measuring 3D Shape of Objects

Ye Xiongying and Zhou Zhaoying

(Dept. of Precision Instrumens and Mechanology, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract

A new method for measuring three dimensional shape of objects is proposed. The method projects uniform light and a grid pattern coded in a pseudo random M-sequence on objects, and determines deformation of the grid pattern on the objects from the images by CCD camera based on the decoding of the M-sequence. The coordinates of the object points are calculated by triangulation. The validity of the method is confirmed by experiments. the advantages of the method are that it needs only two images obtained by two projections and that the decoding is not influenced by the color and/or the reflectance of objects.

Key words: measurement of 3D-shape, range-image, M-sequence coded grid