

文章编号: 1002-0446(2004)05-0404-05

MEMS 装配显微图像分割与特征点提取*

江泽民, 徐德, 涂志国, 谭民

(中国科学院自动化研究所复杂系统与智能科学实验室, 北京 100080)

摘要: 介绍了 MEMS 装配显微图像的特点, 并根据其在显微镜视野内啮合装配的特点和要求, 通过将图像在不同方向上投影, 从复杂背景中分割出目标图像的轮廓区域. 进一步分析齿轮的颜色构成特点, 采用 HSV 颜色感知模型和 R-B 模型, 在齿轮轮廓区域内提取清晰齿轮二值图像. 根据齿轮齿间间距, 将齿轮二值图像分成 12 等份, 在轮廓区域内搜索齿轮外齿廓, 寻找齿轮的特征点, 为微型行星齿轮减速器的抓取、啮合装配提供位置信息.

关键词: 微齿轮装配; 图像分割; 特征点提取; HSV 模型

中图分类号: TP24

文献标识码: B

Segmentation and Features Identification for MEMS Assembly Images under Microscope

JIANG Ze-min, XU De, TU Zhi-guo, TAN Min

(Key Laboratory of Complex System and Intelligence Science, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: The assembly of the micro planetary gears under microscope, 400 μ m in diameter, is introduced briefly. To segment the outline of the target gear from the terribly degraded source image, images captured under microscope are projected into lines with different slope angles. However, the profile lacks details and important features for image understanding and object recognition but extremely decreasing the computing complexity. HSV (Hue Saturation Value) model and R-B model are applied to the analysis of the details and important features of the target. Then, based on the result of the HSV model and R-B model, target image is divided into 12 parts, and one of the gear profile is searched according to its diameter passing center point, which will offer location to the micro manipulating robot.

Keywords: micro gear assembly; image segmentation; features identification; HSV (Hue Saturation Value) model

1 引言 (Introduction)

随着 MEMS 制造技术, 特别是 LIGA (德文缩写: 深度 X 射线光刻、电铸成模、微塑铸)^[1] 工艺的发展, 微操作机器人已经成为 MEMS 器件的封装、微连接 (Bonding)、性能测试等的重要基础和手段.

为实现微型行星齿轮减速器 (直径为 400 μ m) 装配的自动化和批量化, 采用可宏微精密定位的微操作机器人进行装配, 图 1 是其示意图. 装配作业在两台显微镜下进行, 分别控制 3 台机器人协调完成操作. 机器人在显微视觉系统引导、控制下, 完成工件

粗定位、搬运和装配. 在微操作机器人进行显微视觉定位、跟踪控制时, 都需要对目标图像进行识别、测量, 为抓取、啮合装配零件提供位置信息. 因此, 目标图像的分割、识别以及特征点的提取是实现视觉定位的前提和关键. 本文根据微操作机器人在行星齿轮抓取、啮合装配过程中的要求, 对目标图像进行预处理, 消除噪声, 将目标轮廓区域从复杂的背景中分割出来, 减少搜索计算量. 然后, 根据齿轮抓取、啮合装配的要求, 提取齿轮的基于外齿廓的特征点, 为微操作机器人显微视觉系统的建立和标定、视觉系统伺服控制方法的研究与实现奠定基础.

* 基金项目: 国家 863 计划资助项目 (2002AA404450).
收稿日期: 2003-12-10

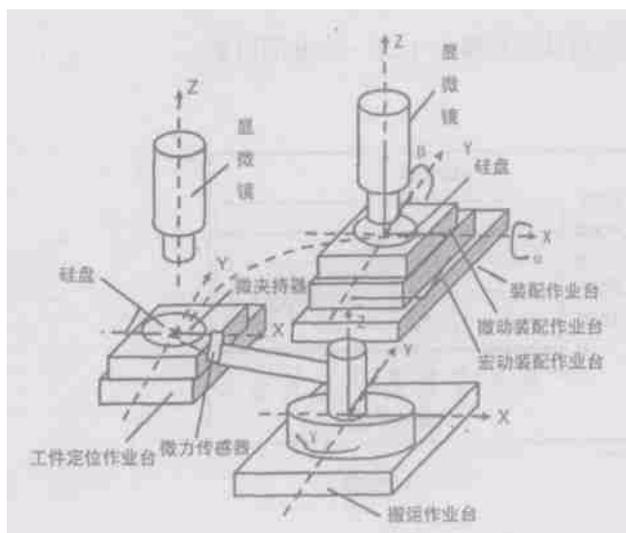


图 1 微操作机器人结构示意图

Fig.1 Structure of micro manipulation robot

2 图像预处理与分割 (Image pre processing and segmentation)

在进行微操作装配时,齿轮零件采用 LIGA 工艺制作,每一个零件都以一定的数量单独制作在各自的硅片上,并按照一定的要求以点阵方式排列,硅片直径为 3 英寸.在显微镜视野下,可获得硅片上微齿轮的图像,图像大小为 640×768 像素,见图 2.

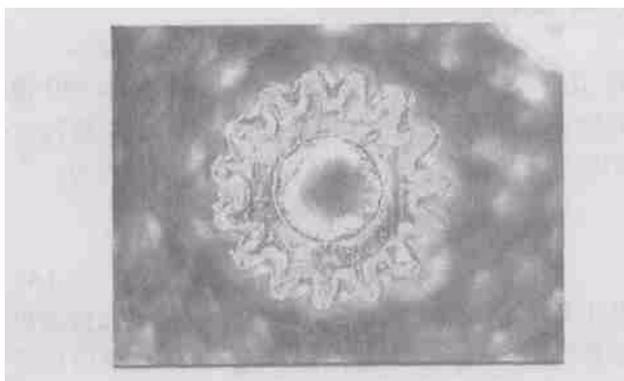


图 2 显微镜下微齿轮灰度图

Fig.2 Gray photo of micro gear captured under microscope

从图 2 可以看出,由于受到显微镜光照、齿轮加工、硅片环境等的干扰,图像的背景比较复杂,要分割出目标齿轮,需要先对齿轮图像进行预处理,尽可能降低噪声对目标的干扰.

2.1 目标背景分割

图 2 的灰度直方图见图 3.从图 3 中可以看出,目标图像的灰度分布集中在一个小范围内,而周围背景分布比较分散、不集中,不具有可分性,因此很难直接通过简单的二值化将目标图像直接从背景

中分离出来,但是由于目标的集中性,可以从背景中分离出大致区域轮廓.在灰度图像中取阈值为 225,将图像二值化:

$$B[i, j] = \begin{cases} 255 & I[i, j] > 225 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

其中, $I[i, j]$:原图像在第 i 行第 j 列像素值; $B[i, j]$:二值化图像在第 i 行第 j 列像素值.

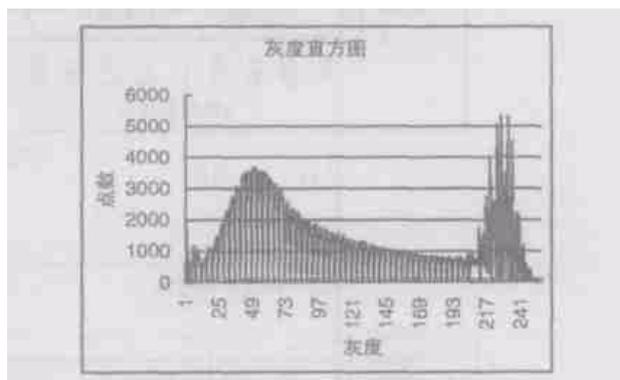


图 3 灰度直方图

Fig.3 Histograms of gray image

利用(1)式将目标图像的大致轮廓从背景中分离出来,见图 4.

从图 4 可以看出,取大阈值只能分割出目标的轮廓,细节不能分辨出来,而且由于显微镜的光照等引起的噪声还不能完全滤掉,从而影响特征点的提取.但是,该方法对齿轮轮廓区域的分隔,为进一步分析目标图像特征点缩小了搜索范围,加快了速度,提高了实时控制系统的实时性.

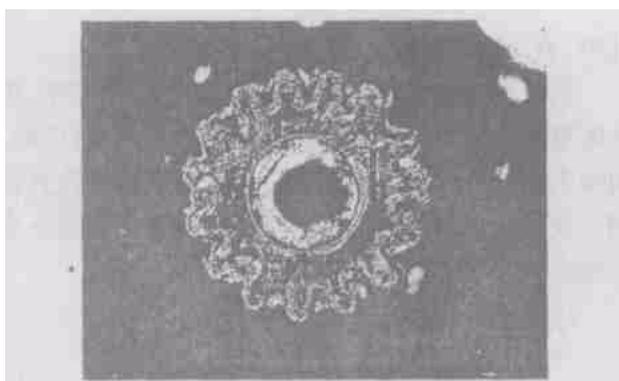


图 4 二值化图像

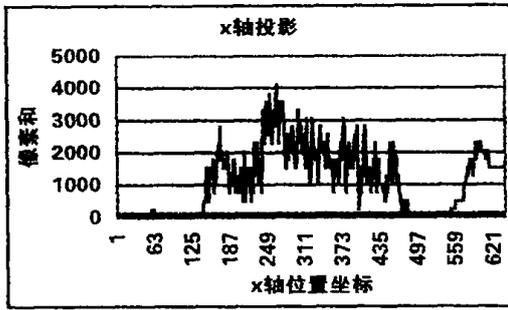
Fig.4 Binary image

2.2 目标区域分割

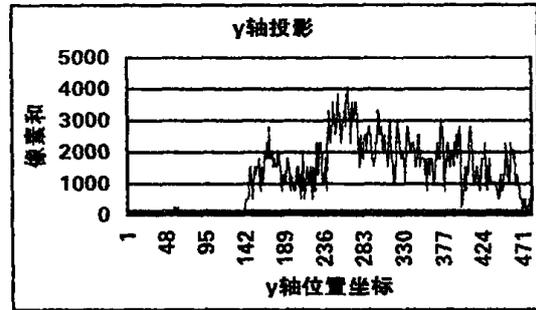
从图 4 二值化的图像中可以看出,取阈值 225 时,能够基本上把齿轮的轮廓区域从周围的背景中分割出来,但是还是存在噪声,而且二值化后齿轮轮廓区域部分损失了齿轮的重要细节信息,不利于齿轮特征点的提取.噪声和目标点分散在图像的不同

区域,并且噪声较集中,因此,可以利用圆在各方向上的投影不变性,将图像沿不同方向进行投影,将齿

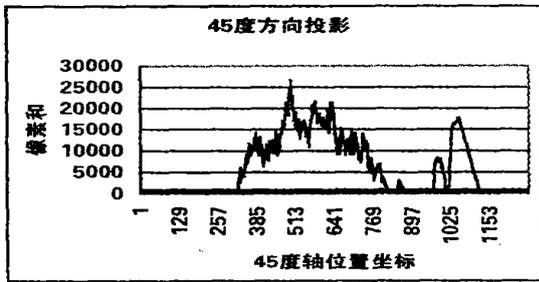
轮轮廓从背景噪声中进一步分割出来.



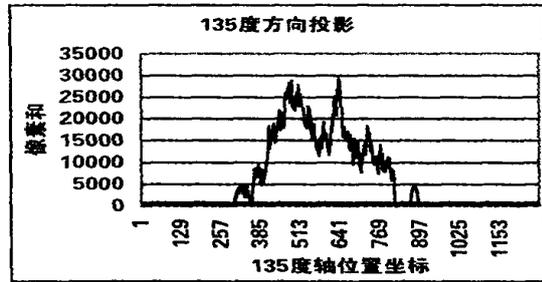
(a) x轴投影



(b) y轴投影



(c) 45°方向投影



(d) 135°方向投影

图5 图像4在4个方向上投影结果

Fig.5 Results of Fig.4 projected into 4 lines with different slope angles

1)沿 x 轴投影,方程为:

$$f[i, j] = \sum_{i=0}^{N-1} I[i, j] \quad (2)$$

其中, N:图像高度 480 像素.

从图 5(a)可以看出,根据式(2)的投影结果,齿轮区域连续分布在一个和其直径对应大小的区域,而噪声则分布其两侧,不连续,分布区域和齿轮直径相比较小,可以根据这两点确定齿轮轮廓区域 x 坐标位置,滤掉远离齿轮的区域的左上角噪声.

2)沿 y 轴投影,方程为:

$$f[i, j] = \sum_{j=0}^{M-1} I[i, j] \quad (3)$$

其中, M:图像宽度 640 像素.

图 5(b)是图像根据方程(3)得到的投影结果,从图 5(b)可以看出,投影结果分布在两个区域,由于原图像右上角的噪音离轮廓区域太近,虽然经过投影,但还是不能从轮廓中分割出来,只能确定一个坐标.

3)沿 45°方向轴投影

由于原图像长度和宽度不相等,图像成矩形分

布.为了便于投影计算,将图像扩展成 640 × 640 像素的正方形图像,当 N > 480 时, I[i, j] = 0.将经过扩展的图像沿其对角线 45°方向投影,其方程为:

$$f[i, j] = \sum_{j=0}^{j=2M-1} I[j, j] \quad (4)$$

且当 i > M 或 j > N 时, I[i, j] = 0

从方程中可以看出,将图像扩展成正方形后,搜索更简便.图 5(c)是 45°方向投影结果.从结果可以看出,投影区域也分布在 3 个不同的区域,可以滤掉一小部分噪声.

4)沿 135°方向轴投影

在沿 135°方向投影时,也采取 45°方向投影的方法,扩展原图像成正方形,然后投影,投影方程为(5)式.

$$f[i, j] = \sum_{j=M-1}^{j=1-M} I[M-j, j] \quad (5)$$

且当 i > M 或 j > N 时, I[i, j] = 0

图 5(a)是将图像沿 135°方向投影得到的结果,可以看出,135°方向上的投影也可以滤掉右上角大的噪声.

根据图像沿不同角度投影的结果,求出其最小

区域,可以分割出目标的区域,如图 6 所示.这为以后进一步分析创造基础,而且加快了速度,因为可以只在目标小区域内分析,而不是在大范围内搜索.

2.3 齿轮轮廓分割

从图 4 二值化的图像中可以看出,经过二值化后的图像,虽然能从大背景中分离出来,但是轮廓不清晰、不连续、噪声大,很难满足齿轮特征点的提取要求,因此,必须在图 6 的局部小区域进一步分析.

分析原彩色图可以看出,齿轮的主颜色为金黄色,颜色很深,而背景和干扰噪声和目标都有较明显的区别,可以利用图像的 HSV 颜色感知模型来分析原彩色图. HSV 模型是通过图像的亮度 (brightness)、色调 (hue) 和色饱和度 (saturation) 来定量描述颜色对人眼的视觉作用.其中色调是由物体反射光线中占优势的波长决定的,不同的波长产生不同的颜色感觉.色调是彩色的重要属性,是决定颜色本质的基本特性^[2].因此,可以利用图像 HSV 模型中的 H 来分割目标图像.

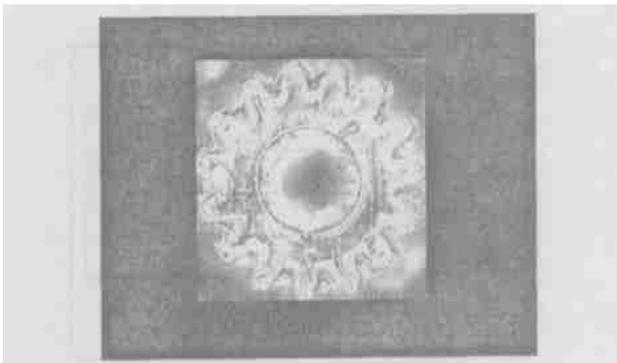


图 6 目标区域分割

Fig. 6 Target area segmented from source image

图 7 是 HSV 颜色感知模型三角形图.

三角形上一点 P 表示空间上的某一颜色的位置, $p = (r, g, b)$ 是到三角形上 P 点的矢量, w 表示到白色的三角形中心点的矢量, p_r 表示全色饱和和红色对应的三角形顶点的矢量.色调 H 是矢量 $p_r - w$ 到矢量 $p - w$ 的夹角.色调的余弦值为:

$$\cos H = \frac{(p - w) \cdot (p_r - w)}{\|p - w\| \cdot \|p_r - w\|} \quad (6)$$

式(6) R、G、B 的简化方程为:

$$\cos H = \frac{2R - G - B}{2\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \quad (7)$$

将式(7)的结果二值化:

$$H[i, j] = \begin{cases} 255, & (H \times 180 / \pi) < 60 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

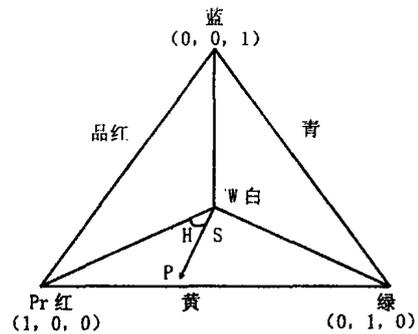


图 7 HSV 模型三角形

Fig. 7 Triangle of HSV model

图 8 为 HSV 模型的 H 结果按阈值为 60 的二值化结果,见式(8).利用 HSV 模型,基本上能够将齿轮的轮廓分割出来,但是还是存在轮廓不连续、噪声大等缺点.

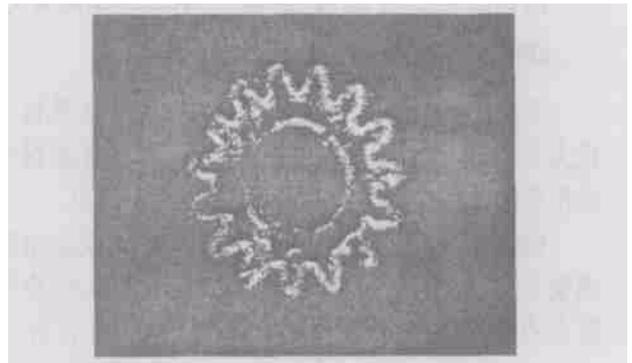


图 8 HSV 和 R-B 模型复合

Fig. 8 Combination of HSV model and R-B model

根据颜色构成的特点,黄色应该主要由红色、绿色构成,蓝色分量很少,因此,可以利用这一特点,将原图红色分量减去蓝色分量并将其二值化,阈值取 [75, 180],见式(9),使得原图 R、G、B 分量中不存在蓝色的分量,可以看出,这种 R-B 模型能够很好地滤掉原颜色中的蓝色分量,将齿轮的轮廓分割出来.

$$RB[i, j] = \begin{cases} 255, & 75 < |R[i, j] - B[i, j]| < 180 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (9)$$

其中, $R[i, j]$ 为原彩色图像中第 i 行第 j 列像素中红色分量; $B[i, j]$ 为原彩色图像中第 i 行第 j 列像素中蓝色分量; $RB[i, j]$ 为 R-B 二值化结果.为了利用两种模型的优点,将两个模型的结果取与运算:

$$RBH[i, j] = H[i, j] \& RB[i, j] \quad (10)$$

得到最后的结果,见图 8,可以看出,两种结果取与运算后,保留了各自优点,得到最后比较清晰的齿轮轮廓图像.

对图 8 进行高斯滤波、开和闭运算,最后得到能够基本满足齿轮轮廓特征点提取要求的比较清晰的齿轮轮廓图,见图 9。

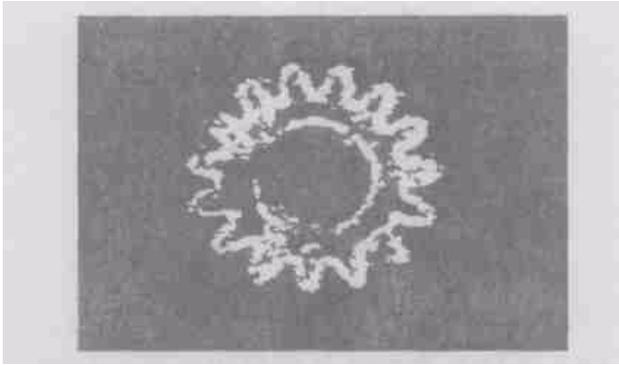


图 9 最终的轮廓图

Fig.9 Final profile

3 齿轮轮廓特征点提取 (Identification of gear feature points)

微操作机器人在进行齿轮装配时,关键是利用视觉系统确定齿轮的当前位置坐标,实现显微视觉定位和跟踪控制,因此必须提取图像的特征点。

微操作机器人在装配齿轮时,主要完成齿轮的抓取、啮合装配两个动作,需要齿轮的重心、轮廓特征点的位置坐标。从图中可以看出,齿轮总共有 15 个齿,齿间间距为 24° 。在搜索过程中,采用极坐标,将根据齿间距将齿轮分割成 12 等分,每份角度 30° 。任意取一份,可以看出每份中必定包含一个齿轮的轮廓,在该轮廓内,完成齿轮单轮廓的搜索,当要寻找其他的轮廓时,只要旋转一个齿间距角度(24°)就可以遍历整个齿轮。

在搜索齿轮轮廓时,重心是关键的信息,因此必须先求出重心的坐标。通过对图像进行“全局”运算可以得到目标的区域重心,重心对噪声具有不敏感性^[2]。根据式(11)可以求出图 10 齿轮的重心为 (250, 310),如图 10 所示。

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} jI[i, j]}{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} I[i, j]} \quad (11)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} iI[i, j]}{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} I[i, j]}$$

如图 10 所示,搜索 30° 角范围内的齿轮外边廓。以圆心为极坐标中心,在 30° 范围内作射线,和齿轮外接矩形相交。沿射线,由外接矩形边向圆心搜索齿

轮外轮廓特征点,并求出该外轮廓点到圆心的距离,如图 11 所示,外轮廓特征点到圆心的距离可以勾画出齿轮轮廓图,图中距离等于 0 的点是搜索中的奇异点,应该忽略。

微操作机器人将上述所搜索的图像特征点通过坐标变换,获得齿轮在基坐标系内的三维坐标,实现齿轮装配的定位控制。

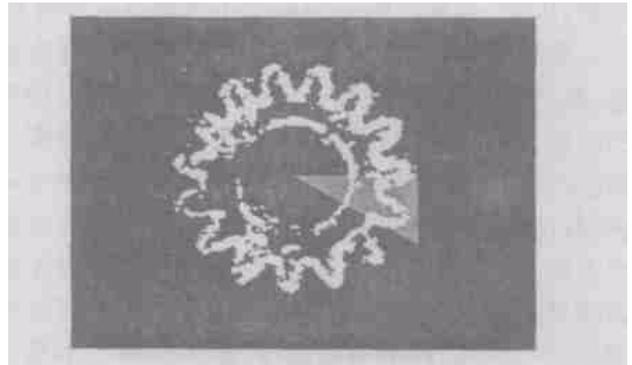


图 10 齿轮轮廓搜索

Fig.10 Searching gear profile

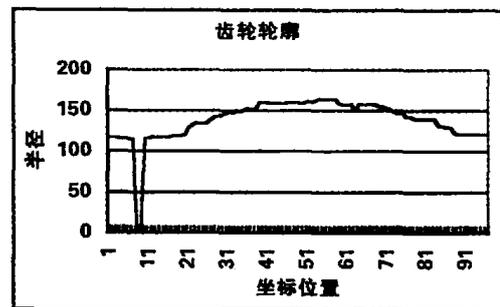


图 11 齿轮轮廓半径曲线

Fig.11 Radius curve of the gear profile

4 结论 (Conclusion)

本文为减少复杂背景对提取微齿轮特征点的干扰,通过将图像在不同方向上进行投影,分割出微齿轮的轮廓区域,减少搜索特征点时的计算量。通过 HSV 模型和 R-B 模型,在轮廓区域内分割出清晰的齿轮轮廓图像。根据齿轮轮齿分布特点,在极坐标系 30° 区域范围内搜索齿轮单齿外轮廓特征点,为下阶段微操作机器人装配过程中的微齿轮夹持、啮合装配齿轮奠定了基础。

参考文献 (References)

- [1] 刘刚, 田扬超, 等. LIGA 技术制造活动微结构的研究 [EB/OL]. <http://www.nsrll.ustc.edu.cn/download/%C1%F5%B8%D5.doc>. (下转第 473 页)