

文章编号: 1001 - 9081(2009)12 - 3375 - 03

基于视觉的 SMT 印刷钢网尺寸测量方法

张舞杰¹, 李迪², 叶峰²

(1. 华南理工大学 自动化科学与工程学院, 广州 510640; 2. 华南理工大学 机械与汽车学院, 广州 510640)

(zwyllht@scut.edu.cn)

摘要:为实现 SMT 钢网尺寸的精确自动测量, 提出了一种基于 Gerber 文件信息的视觉测量方法。首先, 采用 NED 公司的 NUCLi 7K 线扫描相机采集真实图像, 并通过读取 Gerber 文件提取图形的形状及大小等信息。其次, 通过坐标比例、旋转和平移变换建立 Gerber 文件图形信息坐标系和真实图像坐标系之间的坐标映射以确定图形在真实图像上的大致位置。然后, 采用 Canny 算子和 Gray moments 算子实现图形边缘的像素级和亚像素级精确定位。最后, 根据图形的亚像素边缘通过直线和圆等图元拟合方法实现图形尺寸的精确测量。实验中测量值的最大测量误差为 0.0854 pixel (0.91 μm), 均方差最大值为 0.0282 pixel (0.30 μm), 表明该测量方法具有稳定、可靠和精度高等特点, 能有效满足钢网尺寸自动测量要求。

关键词: SMT 印刷钢网; 坐标映射; Gerber 文件; 亚像素边缘定位; 图形拟合

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

Vision based dimension measurement method for SMT stencil

ZHANG Wu-jie¹, LI Di², YE Feng²

(1. College of Automation Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou Guangdong 510640, China;

2. School of Mechanical and Automotive Engineering, South China University of Technology, Guangzhou Guangdong 510640, China)

Abstract: For realizing automatic and precise dimension measurement of Surface Mounting Technology (SMT) stencil, a visual measurement method was proposed based on Gerber file information. First, the real image was grabbed by line scanning camera of NUCLi 7K made by NED company and such information as size and shape was derived from Gerber file data, and the coordinates mapping between figure information coordinates system and the real image coordinates system was erected through coordinates transform of proportion, transportation and rotation for obtaining the approximate position of figures in the real image. Then Canny operator and Gray moment operator were adopted to get the pixel and sub-pixel precision edge. Finally figure fitting methods like line and circle fitting were used to fit figures in the real image for measuring figure dimension precisely. The max measure error is 0.0854 pixel (0.91 μm) and the max STDEV is 0.0282 pixel (0.30 μm) in the experiment, which show that the stencil measurement method proposed in this paper is stable, reliable and of high precision, which can meet the requirements of automatic dimension measurement of SMT stencil efficiently.

Key words: Surface Mounting Technology (SMT) stencil; coordinates mapping; Gerber file; sub-pixel edge location; figure fitting

0 引言

随着电子技术的飞速发展, PCB 电路的集成度和复杂度加速提高, 贴片元件占到了电路板上元件总数的 50% ~ 90%。表面贴装技术 (Surface Mounting Technology, SMT) 已成为当今电子装联技术中最通用的技术, 而焊膏印刷是 SMT 基本工艺中的一道关键工序, 其质量直接影响 SMD 组装的质量和效率。SMT 印刷钢网 (以下简称 SMT 钢网) 的质量是决定焊膏印刷质量好坏的关键因素。SMT 钢网主要有 3 种制作工艺: 化学蚀刻、激光切割和电铸成形。随着间距的减小, SMT 钢网开孔的尺寸也越来越小, 同时对开孔的尺寸要求也越来越高^[1-2]。目前, SMT 钢网尺寸测量的方法主要是人工测量, 由于开孔尺寸的不断减小, 给人工测量带来了很大的困难^[3]。此外, 由于 SMT 钢网上开孔数量多, 多的高达几百个孔, 甚至

上千个孔, 人工测量很难保证测量的正确率, 同时也很难给出精确的测量数据。目前大多数的 SMT 钢网生产厂家依旧采用游标卡尺、千分尺和工具显微镜等工具对 SMT 钢网进行尺寸检测, 不仅消耗大量的时间, 且人为误差不可避免, 同时这种方法也只能进行抽样检测。基于数字图像处理和计算机技术的机器视觉检测具有非接触、快速高效和检测精度等特点, 目前已经成为检测领域一个重要的研究和发展方向, 并得到广泛应用。因此, 采用机器视觉检测代替人工检测是一种必然的选择。本文提出了一种基于机器视觉的 SMT 钢网尺寸测量系统以及相关的视觉测量方法。

本文首先研究了视觉检测系统的硬件构成及其测量原理。然后对基于 Gerber 文件的定位方法、Gerber 文件图形信息坐标系和真实图像坐标系之间的坐标映射关系、基于拟合的图形测量算法等进行了研究。经实验验证, 本文提出的 SMT

收稿日期: 2009 - 06 - 03; 修回日期: 2009 - 08 - 18。

基金项目: 中国博士后基金资助项目 (20070420784); 广东省工业攻关项目 (2008B01040004)。

作者简介: 张舞杰 (1970 -), 男, 湖南长沙人, 博士, 主要研究方向: 图像处理、模式匹配、嵌入式系统、智能控制; 李迪 (1965 -), 女, 山东青岛人, 教授, 主要研究方向: 嵌入式系统、运动控制、工业过程控制; 叶峰 (1972 -), 男, 湖北十堰人, 副教授, 主要研究方向: 图像处理、运动控制、工业过程控制。

钢网自动视觉测量方法是一种快速高效、稳定可靠的测量手段,有效地解决了 SMT 钢网自动尺寸测量问题,提高了 SMT 钢网的质量。

1 视觉测量系统的构成

镜头采用 Schneider 的 Schneider MSR 5.6 /120-0058 镜头,放大倍率为 0.91 倍时,视场范围 (FOV) 是 80 mm,工作距离为 223 mm;相机为 NED 公司的 NUCLi 7K 线扫描相机,像素尺寸为 $9.325 \mu\text{m} \times 9.325 \mu\text{m}$,像素为 7500×3 ,像素分辨率为 0.01067 mm。照明采用漫射条形光背光照明。系统配置完全能够满足 SMT 钢网尺寸测量的精度要求。视觉检测系统的具体配置如图 1 所示。

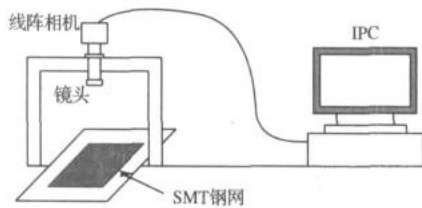


图 1 SMT 钢网视觉测量系统

2 视觉测量算法及其实现

测量过程中,首先读取 Gerber 文件信息,并进行 Gerber 文件图形信息坐标系和真实图像坐标系之间的坐标映射,以初步确定待测图形在真实图像中的位置,然后在此基础上通过图像处理算法测量待测图形尺寸。视觉测量流程如图 2 所示。

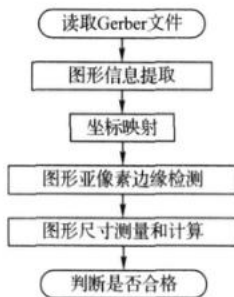


图 2 测量流程

2.1 基于 Gerber 文件的图形形状及位置信息提取

Gerber 文件是美国 Gerber 公司自行制定并给其所生产的光学绘图机使用,后演变成一种业界标准的资料格式,称之为 Gerber Format, Gerber 文件是美国电子工业协会 (Electronic Industries Alliance, EIA) 的标准格式。它是电子界之间通用的资料格式,并已成为 PCB 设计完成后与制造厂家间的媒介。

Gerber 文件有两种格式:一种是基本 RS274-D,内含两种资料,一是控制码 (极性、镜头资料、底片资料、比例等),二是坐标 (位置);另一种为扩展 RS274-X,它增强了处理多边形填充,正负图组合和自定义 D 码及其他功能。Gerber 文件结合 Aperture Reports (亦称 D-Code) 文件,定义了图形的起始点和图形形状及大小。D-Code 定义了电路中的线路、孔、焊盘和其他图形大小及形状^[4-6]。

Gerber 文件以文本的形式保存,要从其中提取图形信息,首先必须理解 Gerber 文件的语句格式定义,在此基础上,通过编写代码读取 Gerber 文件,提取图形信息,关于 Gerber 文件的语句定义可以参考文献 [4-6]。本文根据 Gerber 文件的

语句定义,采用 VC++2008 编写了读取 Gerber 文件的程序,从 Gerber 文件中读取钢网上孔的位置、形状及大小等信息。以下 Gerber 文件实例说明了 Gerber 文件存储图形信息的方式。

```
% FSLAX33Y33 * %
% M0MM * %
% ADD73C, 0.29997 * %
G36 *
X40035Y32939D02 *
G01Y33539D01 *
X40735 *
Y32939 *
X40035 *
G37 *
G36 *
Y32039D02 *
G01Y32639D01 *
X40735 *
Y32039 *
X40035 *
G37 *
G54D73 *
X41597Y33133D03 *
M02 *
```

以上这段 Gerber 语句所绘制的图形如图 3 所示。

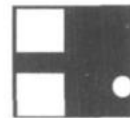


图 3 根据 Gerber 文件信息生成的图像

2.2 坐标映射

由 Gerber 文件提取的 SMT 钢网上图形的信息和由图像采集系统采集到的钢网真实图像上的图形间存在大小、比例及位置的差异,因此需要进行坐标变换后才能根据 Gerber 文件的图形信息确定真实图像上对应图形的位置。Gerber 文件图形信息坐标系和真实图像坐标系两者间的坐标变换包括三类:比例变换、平移变换和旋转变换。

假设 (x_A, y_A) 、 (x'_A, y'_A) 分别表示点 A 在实际图像坐标系和由 Gerber 文件得到的标准图像坐标系中的坐标,则它们的坐标变换关系如下。

1) 比例变换。

用 k 表示比例变换的比例,则坐标系比例变换如式 (1) 所示:

$$\begin{bmatrix} x_A \\ y_A \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k & 0 & 0 \\ 0 & k & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'_A \\ y'_A \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

2) 旋转变换。

用 θ 表示坐标系旋转的角度,则坐标系旋转变换公式如式 (2) 所示:

$$\begin{bmatrix} x_A \\ y_A \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'_A \\ y'_A \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

3) 平移变换。

用 Δx 、 Δy 分别表示坐标系沿 X 轴、Y 轴平移的距离,则坐标系旋转变换公式如式 (3) 所示:

$$\begin{bmatrix} x_A \\ y_A \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta x \\ 0 & 1 & \Delta y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'_A \\ y'_A \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

由式 (1) ~ (3) 可得坐标系变换公式:

$$\begin{bmatrix} x_A \\ y_A \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta x \\ 0 & 1 & \Delta y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k & 0 & 0 \\ 0 & k & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'_A \\ y'_A \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

同理,可将标准图像坐标系上其他点映射到实际图像坐标系上。

2.3 基于拟合的尺寸测量

通过读取 Gerber 文件信息及进行坐标映射后,实际钢网图像上每个开孔的位置就可以大致确定,图 4 中白色的矩形框就是通过读取 Gerber 文件数据及坐标映射后确定的钢网图像上开孔的大致位置。

在确定需要测量的钢网图像上开孔的大致位置后,对图像进行边缘检测,为了提高边缘定位的精度和效率,本文采用粗、精定位的方法,先采用 Canny 边缘检测算子^[7-8]对图像进行边缘检测,对检测后获得的边缘点再采用 Gray moments 算子^[9]进行边缘的精确定位,以获得亚像素级的边缘定位精度,从而更好地满足测量的精度要求。图 5 是图 4 经 Canny 算子边缘提取后的边缘图像。

由于 SMT 钢网上开孔的形状主要由圆弧和直线组成,因此可以根据 Gerber 文件获得直线和直线、直线和圆弧间交点的粗略位置从而将边缘检测求得的开孔图像的边缘分成直线段和圆弧段,然后采用直线和圆弧拟合求得直线和圆弧的精确位置,然后再求取直线和直线、直线和圆的交点,就能确定直线和圆弧的准确起始位置和长度。

以图 4 中 1 号孔的尺寸测量为例,说明直线、圆弧拟合及交点的求取方法。将其亚像素边缘点采用由 Gerber 文件得到的 4 个分割点分割为 4 部分(如图 5 所示),即两段直线和两段圆弧,分别采用以下直线和圆弧拟合算法进行直线和圆弧拟合。

1) 直线拟合。

设直线方程为:

$$y = ax + b \quad (5)$$

$$\begin{cases} x_0 = \frac{(\bar{x}^2 - \bar{x} + \bar{x} - \bar{y}^2 - \bar{x}^3 - \bar{x}\bar{y}^2) (\bar{y} - \bar{y}^2) - (\bar{x}^2 \bar{y} + \bar{y} - \bar{y}^2 - \bar{x}^2 \bar{y} - \bar{y}^3) (\bar{x} - \bar{y} - \bar{x}\bar{y})}{2(\bar{x}^2 - \bar{x}^2) (\bar{y} - \bar{y}^2) - 2(\bar{x} - \bar{y} - \bar{x}\bar{y})^2} \\ y_0 = \frac{(\bar{x}^2 \bar{y} + \bar{y} - \bar{y}^2 - \bar{x}^2 \bar{y} - \bar{y}^3) (\bar{x}^2 - \bar{x}^2) - (\bar{x}^2 \bar{x} + \bar{x} - \bar{y}^2 - \bar{x}^3 - \bar{x}\bar{y}^2) (\bar{x} - \bar{y} - \bar{x}\bar{y})}{2(\bar{x}^2 - \bar{x}^2) (\bar{y} - \bar{y}^2) - 2(\bar{x} - \bar{y} - \bar{x}\bar{y})^2} \\ r = \sqrt{x_0^2 - 2\bar{x} x_0 + y_0^2 - 2\bar{y} y_0 + \bar{x}^2 + \bar{y}^2} \end{cases} \quad (9)$$

式 (9) 中的参数有如下定义:

$$\bar{x}^m \bar{y}^n = \frac{\sum_{i \in E} x_i^m y_i^n}{N} \quad (10)$$

其中: N 是所有边缘点的数量; i ∈ E, E 为所有边缘点的集合; (x_i, y_i) 表示边缘点在图像中的坐标。

为了进一步提高拟合的精度,可根据边缘点到拟合圆周的 距离进行粗大误差点去除,具体算法见文献 [10]。

3) 直线和圆弧交点的计算。

以交点 1 的计算为例来说明直线和圆弧交点的计算方法。

则根据最小二乘原理有:

$$\begin{cases} a = \frac{\bar{x} - \bar{y} - \bar{x}\bar{y}}{\bar{x}^2 - \bar{x}^2} \\ b = \frac{\bar{x}^2 - \bar{y} - \bar{x}\bar{y} - \bar{x}}{\bar{x}^2 - \bar{x}^2} \end{cases} \quad (6)$$

式 (2) 中的参数有如下定义:

$$\bar{x}^m \bar{y}^n = \frac{\sum_{i \in E} x_i^m y_i^n}{N} \quad (7)$$

其中: N 是所有边缘点的数量; i ∈ E, E 为所有边缘点的集合; (x_i, y_i) 表示边缘点在图像中的坐标。为了进一步提高拟合的精度,可根据边缘点到拟合直线的距离进行粗大误差点去除,其具体算法参见文献 [10]。

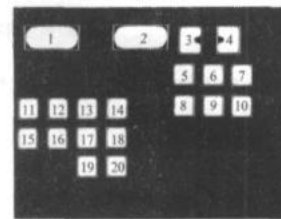


图 4 由 Gerber 文件生成定位矩形框的钢网图像

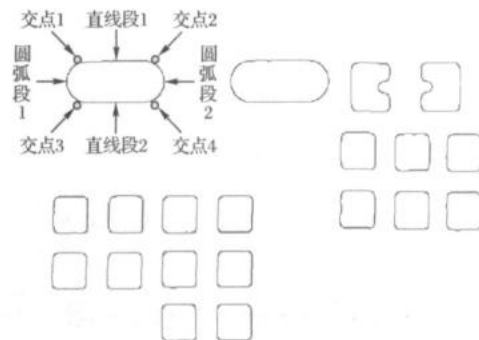


图 5 Canny 算子提取的边缘图像

2) 圆弧拟合。

设圆弧的圆心坐标为 (x₀, y₀), 半径为 r, 则圆的方程为:

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = r^2 \quad (8)$$

在求得交点 2 和交点 4 的坐标后,为了更精确的计算两直线间的圆弧段,将交点 2 和交点 4 间的圆弧边缘点进行最小二乘拟合。拟合后圆的参数为:

法。设直线段 1 的方程为:

$$y_1 = a_1 x_1 + b_1 \quad (11)$$

设圆弧的圆心坐标为 (x₀, y₀), 半径为 r, 则圆的方程为:

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = r^2 \quad (12)$$

由于圆和直线段 1 相切,则直线和圆的交点一定在圆周上,则有:

$$(x_1 - x_0)^2 + (a_1 x_1 + b_1 - y_0)^2 = r^2 \quad (13)$$

(下转第 3387 页)

3 结语

本文介绍了一种利用 Google Earth 提供的二次开发能力来实现航迹监视和飞行仿真的新方法。系统采用 B/S 架构,所有开发都在服务器端进行,客户端采用 Google Earth 浏览器,增加了系统的通用性。不必做地形建模、视景仿真、航迹绘制等便能得到飞机实时三维航迹以及六自由度飞行仿真。小结如下:

1) 利用 Google Earth 做仿真平台,用 KML 语言描述三维航迹和飞行姿态;

2) 通过把飞机真实监视数据引入到 Google Earth 中得到飞机实时三维航迹及六自由度飞行仿真;

3) 通过飞机前后两个位置点空间连线矢量近似计算出飞行姿态;

4) 3 个姿态坐标和 3 个位置坐标一起形成六自由度飞行仿真,飞机采用三维模型表示。

此系统既可以用于三维航迹研究分析、实时航迹监视以及六自由度飞行仿真,还可以把它作为一种新的航班动态查询工具。由于 Google Earth 的形象直观并包含了实时天气信息,因此非常便于公众理解实时航班动态,是否可能因为天气

出现延误等。

参考文献:

- [1] 黄葵,朱兴动. 应用 OpenGL 再现三维航迹 [J]. 计算机应用, 2002, 22(4): 48 - 49.
- [2] 田甜,曹宁. 基于 OpenGL 实现雷达目标航迹的三维动态仿真 [J]. 河海大学常州分校学报, 2006, 22(2): 30 - 33.
- [3] 梁伟,李新国. 直升机三维航迹规划与可视化仿真 [J]. 计算机辅助工程, 2008, 17(2): 73 - 76.
- [4] 邱震宇,杨红雨,刘强. 三维大地形下的飞行航迹优化仿真 [J]. 计算机仿真, 2008, 25(2): 59 - 62.
- [5] 江宽,龚小鹏. Google API 开发详解: Google Maps 与 Google Earth 双剑合璧 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [6] 王艳,何凭宗. 基于 VC++ 的 Google Earth KML 地标文件的自动生成及应用 [J]. 北京测绘, 2009(2): 32 - 34.
- [7] 薛亚婷. 基于 Google Earth 及 KML 的数字校园设计与实现方法研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2007.
- [8] 赖德军. 基于 KML 格式的开滦煤矿土地利用信息系统研究 [D]. 成都: 成都理工大学, 2008.
- [9] 苑严伟,张小超,毛文华,等. 超低空无人飞行器虚拟现实技术实现与仿真 [J]. 农业机械学报, 2009, 40(6): 147 - 152.

(上接第 3377 页)

在式 (13) 中,由于参数 a_1 、 b_1 、 x_0 、 y_0 、 r 均已知,因此求解二元一次方程就可求得交点 1 的 x 坐标,然后将其代入式 (5) 就可求得交点的 y 坐标。同理可求得交点 2、3、4 的坐标。

3 实验结果和分析

实验中对图 4 中 1 号开孔的尺寸进行测量,测量中连续采集 8 幅图像,并分别对 8 幅图像中的 1 号开孔进行测量,以评估测量的重复精度,测量结果如表 1 所示,从表 1 中的数据可以看出,测量的最大值和最小值间的差值 ($Max-Min$) 的最大值为 0.0854 pixel (像素分辨率为 0.01067 mm 时,其值为 $0.91 \mu\text{m}$), 均方差最大值为 0.0282 pixel (像素分辨率为 0.01067 mm 时,其值为 $0.30 \mu\text{m}$), 两者的值均很小,表明本文提出的 SMT 钢网尺寸检测方法是稳定、有效和可靠的,达到了快速、有效的实现钢网尺寸自动测量的目的。

表 1 测量结果 像素

测量次数	圆弧 1 半径	圆弧 2 半径	直线段 1 长度	直线段 2 长度
1	24.7104	24.8380	73.7104	73.7098
2	24.7106	24.8375	73.7189	73.7172
3	24.7120	24.7998	73.7264	73.6956
4	24.6997	24.8506	73.7651	73.7213
5	24.7018	24.8179	73.6985	73.6895
6	24.6995	24.8539	73.7258	73.6714
7	24.7806	24.7968	73.6897	73.7568
8	24.7093	24.8005	73.7598	73.6732
均值	24.7167	24.8244	73.7243	73.7019
均方差	0.0268	0.0236	0.0268	0.0282
$Max-Min$	0.0809	0.0571	0.0754	0.0854

4 结语

在分析 SMT 钢网及其现有测量方法的基础上,提出了一

种基于视觉的快速、高效的 SMT 钢网自动视觉测量方法。在获取钢网 Gerber 文件信息的基础上,建立其与实际图像间的坐标映射关系,并采用 Gerber 文件图形信息在真实图像上确定其对应图形的大致位置以减少测量的图像处理时间,在此基础上采用粗、精亚像素定位方法及图形拟合算法实现钢网尺寸的快速测量。实验结果表明,本文所开发的基于视觉的 SMT 钢网自动视觉测量系统及相关算法能快速准确的实现钢网尺寸测量,从而有效地提高了钢网的测量效率及质量,为实现 SMT 钢网的自动测量提供了一种有效的方法。

参考文献:

- [1] 张晟. 精细间距 SMT 模板的制作研究 [J]. 印制电路信息, 2003(11): 59 - 61.
- [2] 胡宏宇,花梁,迟志君. 适合高质量高速度印刷高聚物模版 [J]. 电子工艺技术, 2002, 23(1): 20 - 23.
- [3] CHO I K-J, LEE Y-H, MOON J-W, et al. Development of an automatic stencil inspection system using modified Hough transform and fuzzy logic [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2007, 54(1): 604 - 611.
- [4] 王德胜. 运用 CAM 解决 GERBER 数据读入问题 [J]. 计算机与数字工程, 2006, 34(10): 186 - 188.
- [5] 鲜飞. 利用 Gerber 文件提高电子组装生产效率和质量 [J]. 电子与封装, 2006, 6(10): 58 - 60.
- [6] 周冬莲. DXF 与 Gerber 数据格式的转换 [J]. 集成电路通讯, 2002, 20(3): 19 - 22.
- [7] 陈亮,郭雷,高世伟. 一种基于多尺度梯度的边缘提取方法 [J]. 计算机应用, 2008, 28(12): 3129 - 3131.
- [8] CANNY J. A computational approach to edge detection [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679 - 698.
- [9] TABATABAIA J, MITCHELL O R. Edge location to subpixel values in digital imagery [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1984, 6(2): 188 - 201.
- [10] 张舞杰,杨义禄,李迪,等. 自动影像测量系统关键算法 [J]. 光学精密工程, 2007, 15(2): 294 - 301.