

基于机器视觉的枸杞枝条识别方法研究

田志超¹, 刘玉萍², 李娟¹, 朱学岩¹

(1. 青岛农业大学 机电工程学院, 山东 青岛 266109; 2. 青岛农业大学 校医院, 山东 青岛 266109)

摘要: 目标枝条的识别定位是实现枸杞果实自动化采摘的前提, 为了实现枸杞的自动采摘, 提出了一种新的能实现首端定位的枝条识别方法; 首先, 通过对枸杞枝条特征进行分析, 实现了枝条轮廓和直径等特征的提取; 然后, 对部分非合理性间断的枝条进行了修复; 对于果实将枝条首端完全遮挡的情况, 采取最小二乘法拟合实现了枝条识别; 最后, 提出了质心差值法来获取枝条的首端坐标, 从而实现了整条枝条的识别和定位; 通过用 VC 编程进行识别算法的实验验证, 实验结果表明该算法能较好地实现对枸杞枝条的识别和定位。

关键词: 机器视觉; 枸杞; 枝条识别; 图像处理; 坐标定位

Research on Recognition Approach of Chinese Wolfberry Based on Machine Vision

Tian Zhichao¹, Liu Yuping², Li Juan¹, Zhu Xueyan¹

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China;

2. School Hospital, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract: The identification and positioning of the target branch is the prerequisite for wolfberry automatic picking. In order to realize the automatic harvest of Chinese wolfberry, a new identification approach is researched which can realize the head end positioning of Chinese wolfberry branches. First of all, the contour and diameter of the branches are extracted through analyzing the characteristics of branches. Then, the partial unreasonable disconnected branches are restored, and the least square fitting method is used to achieve branch location for the condition that the head end of the branch is covered by fruits. Finally, a kind of centroid difference value approach is presented to obtain the coordinate of head end of the branches, thus the identification and location are implemented for the whole branch. The algorithm has been programmed with VC, and the experimental results show that the algorithm can realize the position and recognition of branches of Chinese wolfberry.

Keywords: machine vision; Chinese wolfberry; identification of branches; image processing; coordinate positioning

0 引言

枸杞有着极高的药用和食用价值, 深受大众的喜爱。枸杞皮薄易损, 外形小、数量多并且生长密集, 使得枸杞的采摘成为整个生产过程中最费时费力的环节。近年来, 人工采摘的效率低、成本高以及劳动力不足等问题越来越凸显出来, 种植者对自动化作业的需求越来越迫切。因此, 研究枸杞果实、枝条的机器识别方法并实现自动化采迫在眉睫。

目前机器视觉已被广泛应用于国防工业、医疗科技^[1]、水下图像识别^[2-3]、尺寸测量^[4]以及果蔬识别与分类^[5-7]等领域。

收稿日期: 2018-02-25; **修回日期:** 2018-03-22。

基金项目: 国家自然科学基金(41674037; 61374126); 山东省重点研发计划项目(2017GNC10111); 山东省农机装备创新计划项目(2017YF006; 2016YF012)。

作者简介: 田志超(1992V), 男, 山东省潍坊市人, 硕士研究生, 主要从事智能检测与控制、图像处理方向的研究。

通讯作者: 李娟(1969-), 女, 山东省烟台市人, 教授, 硕士研究生导师, 主要从事故障诊断与容错控制、智能检测与控制、农用机器人等方向的研究。

域。然而在枸杞的识别与采摘领域相关研究较少, 目前已有的成果多是针对外部缺陷的检测以及产地的识别研究等, 例如, 文 [7] 通过提取枸杞的大小、形状、色泽等信息实现了枸杞的无损检测与分级; 文 [8] 提出一种基于形态学边缘检测的枸杞外部缺陷识别方法; 文 [9] 基于机器视觉对枸杞产地进行了识别研究等等。此外, 对枝条的识别研究也非常少见, 现有研究的识别目标一般是具有较高硬度的枝条, 例如, 文 [10] 采用半阈值分割以及边缘检测的方法识别出树干图像, 提出一种可以分割复杂背景下树干图像的方法, 初步实现了树干图像的计算机自动识别; 文 [11] 等通过亮度转换和阈值分割完成枇杷枝条框架的提取。以我们的知识, 目前还没有见到针对较软枝条进行枝条识别的报道, 更没有见到针对枸杞采摘进行枸杞枝条识别研究的报道。本文旨在此方面进行尝试, 目的是为了定位枝条的首端坐标, 从而实枸杞的机械采摘。

1 图像采集与总体流程

1.1 图像样本的采集

本文使用佳能 Powershot SX60 HS 数码相机进行图像采集, 采集地为青海省海西州都兰县的枸杞种植基地, 图像的类型为 jpeg 格式, 为了便于处理, 将图像的分辨率设

为 640 * 480，硬件设备为联想电脑 win10 系统，基于 OpenCV 2.4.9 视觉库在 Visual Studio2010 开发环境上对采集的图像进行调试和处理。

1.2 方法设计

为了达到枝条可识别的目的，本研究针对枝条受遮挡情况的不同采取不同的处理方式，识别整体流程如图 1 所示。

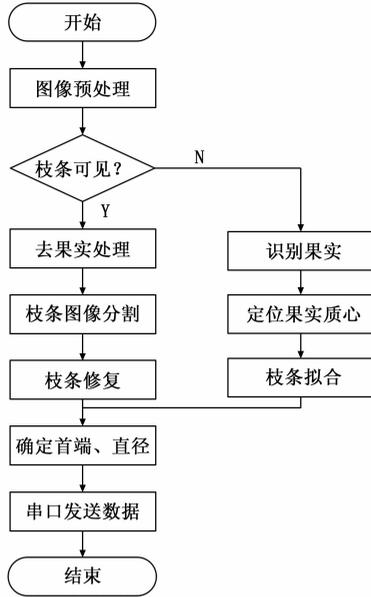


图 1 整体流程图

2 模型的选取与特征分析

2.1 颜色模型的选取

颜色处理模型种类也很多，目前常用的颜色模型主要包括 RGB^[12-13]、YCbCr^[14]、HIS^[15]、HSV^[16]、Lab^[17] 等模型。为了增强目标与背景之间的颜色特征差异，目前多数研究方法都是使用某个颜色模型各颜色分量的组合（多为线性组合）作为颜色特征进行图像分割等处理，根据不同的情况选用不同的颜色分量和不同的组合方式。通过分析、调试和综合对比，本文最终选用了相对简单且可行性较强的 RGB 颜色模型来对枸杞枝条图像进行处理。

2.2 图像特征分析

选取的枸杞树原始图像如图 2 (a) 所示。为了改善由于光照强度和遮挡等所造成的亮、暗程度分布不均的问题，增强局部逆光条件下图像的亮度而不会对整体亮度有所影响，本文采用直方图均衡化进行图像增强。增强前后效果如图 2 所示。

图 2 (b) 和图 2 (c) 两个直方图的横坐标为灰度级，纵坐标为像素数目。由图 2 可以看出，均衡化后直方图的分布更加均匀，增强了整个图像的对比度，降低了顺光逆光条件下亮度对图像分割的影响。

为了分析枸杞图像中各部分颜色特征，寻找适当的区分关系更好的进行图像分割，需要对图片中涉及到的果实、枝条、树叶等各部分的颜色特征进行获取和分析，各颜色

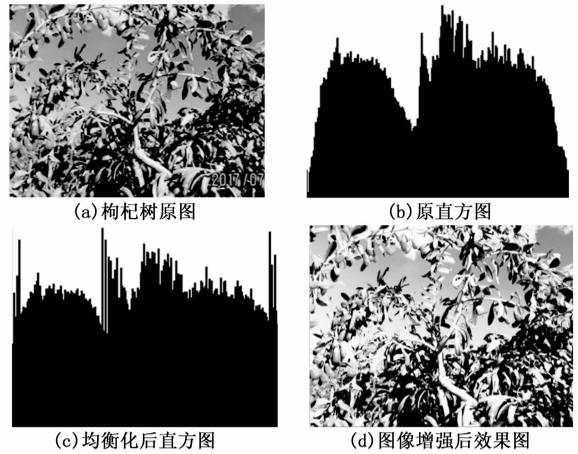


图 2 直方图分析

分量的强度值如表 1 所示。

表 1 RGB 各分量的强度值

类型	B	G	R
天空	183.994	124.456	80.746
枝条	110.399	143.049	162.500
果实	33.420	73.557	225.241
树叶	129.068	169.202	146.380
白云	208.910	197.856	191.650

通过表 1 的数据可知，果实的 R 通道值最大，B 通道值最小，明显区别于其它背景，可以很容易的将果实分割。而其它部分背景，则很难通过初始的颜色空间分量进行图像分割，此时可以将多个颜色分量进行组合（加权或者和差运算）以增强待提取的目标与背景之间的特征差异，以找到合适的区分点进而实现图像分割。由于外界环境和选择的对象不同，使用组合的方式也大不相同，本文的图像主要涉及到枸杞果实、枝条、树叶、天空等，通过分析表 1 数据，我们可以得出以下结论：

(1) 枸杞枝条的图像特征大部分满足 $R - G > 0$ ，可以作为分离枝条与背景的标准之一。

(2) 枸杞果实图像特征满足 R 远大于 G 与 B 通道的值。可以通过 $R - B$ ， $2R - G - B$ ， $R - G$ 等对图像进行阈值分割来获取果实轮廓。

(3) 树叶颜色特征为 G 分量大于 R 和 B 分量，利用 $2G - R - B$ 进行分割。

对以上公式中出现的 $R - G$ 、 $R - B$ 以及 $2R - G - B$ 3 种组合方式的色差值进行详细分析，如表 2 所示。

表 2 RGB 各分量组合的测定数据

	$R - G$	$R - B$	$2R - G - B$
天空	-43.709	-103.247	-146.957
枝条	19.451	52.101	71.552
果实	151.683	191.821	343.504
树叶	-22.822	17.312	-5.328
白云	-6.206	-17.260	-23.466

由表2的数据可以看出,在R-G色差下天空、树叶和白云都是负值,而枝条和果实为正值,并且枝条和果实的色差值相差很大,可以很好的将背景与目标分割开来;R-B色差下枝条和树叶区分不是很明显,且因为光照强度的影响导致暗处颜色不明显的枝条无法识别出;2R-G-B色差下的识别效果则跟R-G色差下的分离数据特征基本类似,在此不在赘述。

3 枸杞枝条的提取与修复

3.1 去果实处理

枝条识别过程中,密集生长的枸杞果实会影响对枝条的识别效果,可以考虑先对果实进行提取和去除。同时,提取果实也利于后续对枝条的识别与定位。因此,对果实的识别与提取是不可或缺的一步,通过比较上文的几种分割方式,本设计最终选取计算相对简单并且操作容易实现的R-G方式来完成对果实的提取和去除。果实提取和消除的效果分别如图3(a)和3(b)所示。

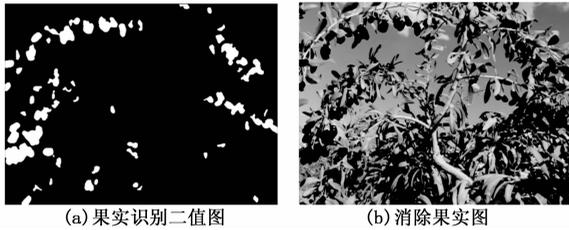


图3 去果实过程

3.2 图像分割

对输入图像到输出图像K进行如下变换,即进行阈值分割:

$$K(x,y) = \begin{cases} 255, & R-G < -4 \text{ or } R-G > 25 \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

通过对不同颜色空间提取并分析所得数据发现,目标和背景所对应的分量像素值在图像中的不同区域是不一样的,因此只使用单个阈值很难将目标与背景分开。这时可以对不同区域采用不同的阈值来进行分割,从而达到更好的分割效果。通过对RGB、HIS、YCrCb3种不用颜色空间下的枸杞枝条进行提取,虽然HSI和YCrCb方式都能检测出枝条的轮廓,但是图像中依然夹杂着树叶、天空、白云等大量噪声。此外,HSI方式明显噪声比较多,而另外两种方式在去除噪声方面明显突出。经反复实验发现,将Cb分量提取出来进行直方图均衡化后与其它两个分量合并,转回RGB颜色空间,再对RGB空间的组合通道进行阈值分割效果最好。经过实验比对,最终采用 $R-G > 25$ 或 $R-G < -4$ 进行阈值分割,通过膨胀、腐蚀运算,能够去除部分树叶、天空等背景噪声;对于仍有未完全分离的部分果实的边缘轮廓和细小的外界噪声,可以通过中值滤波和形态学处理来进一步对图像进行优化,效果如图4所示。

3.3 枝条修复和拟合

自然条件下生长的枸杞总会有许多枝条受到果实和树叶的遮挡,会导致获取图像中的枝条出现间断。机械手对

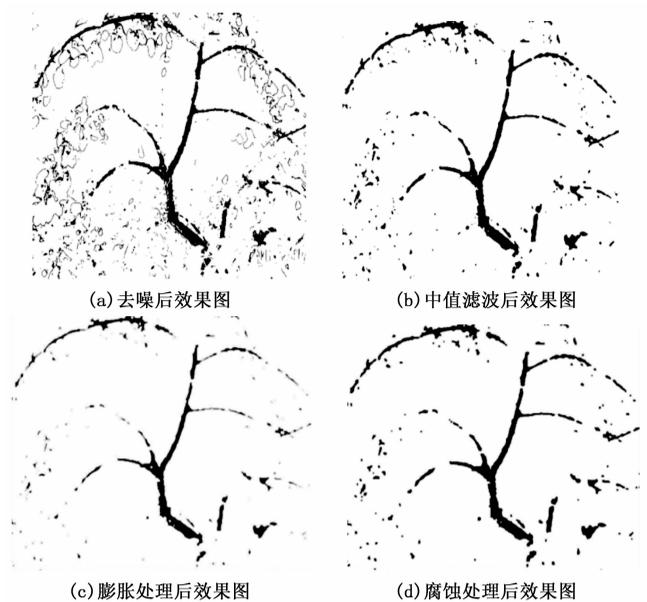


图4 图像分割及消噪过程

枸杞果实的采摘主要是通过定位枝条轮廓的首端坐标来进行抓取采摘的,遮挡所带来的间断会将图像中同一根枝条轮廓分成若干,这样以来每一个轮廓都会对应一个首端坐标,采摘时机械手就可能对同一根枝条进行重复采摘。对枝条的非合理性间断进行修复可以很好地解决这个问题,提高采摘的效率。

在修复前需要尽可能多的去除干扰,尤其是图像中的小面积区域,去除小面积轮廓区域后的结果如图5所示。



图5 去除小面积轮廓

图6 霍夫线变换修复枝条

本设计采用累计概率霍夫变换来实现对间断枝条的修复。累计概率霍夫变换是对边缘点进行概率性的选取,执行效率高,通过定义最小直线的长度和两线段之间最大间隙的距离,跟设定阈值进行比较来判定是否是一条直线并进行连接,从而获得相对完整的枝条。

下面将枝条的检测与修复分为以下两种情况:

(1) 单根枝条之间存在着间断,如图5,这种情况最好的修复方法之一就是通过对霍夫线变换来实现同一枝条上间断的连接,修复结果图如图6所示。

(2) 枝条首端被大量密集的果实遮挡,如图7所示。这种情况下用直接识别的方式就行不通了。这时可以先定位果实坐标,再用最小二乘法拟合来获取枝条的走向,进而

定位出枝条位置。

枸杞枝条的拟合可以分为直线拟合和曲线拟合两种方式。最小二乘法直线拟合是通过提取所有果实的质心坐标，根据拟合公式求出斜率和截距，进而求出直线方程，然后通过画线函数将此直线画出。Open CV 中的 line 函数是通过两个坐标点来进行画线的，用直线方程将直线的顶点坐标表示出来，两端分别与所求平方和的均值坐标进行相连即可定位出此处的首端枝条。

直线拟合的公式如下：

$$k = \frac{n \sum_{i=1}^n xy - \sum_{i=1}^n x \sum_{i=1}^n y}{n \sum_{i=1}^n x^2 - (\sum_{i=1}^n x)^2} \quad (2)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y}{n} - \frac{k \sum_{i=1}^n x}{n} \quad (3)$$

$$y = kx + b \quad (4)$$

其中： y ：所有果实质心纵坐标的平均值； x ：所有果实质心横坐标的平均值； k ：拟合直线的斜率； n ：果实的个数； b ：拟合直线截距。

直线拟合的结果如图 8 所示。由图可以看出，拟合出的线条与原枝条位置基本吻合。



图 7 枝条首端完全遮挡

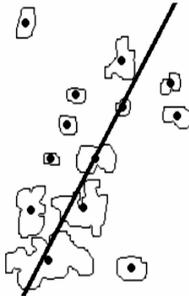


图 8 直线拟合

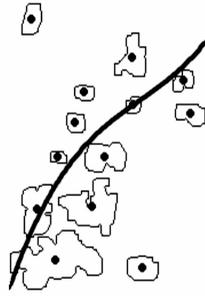


图 9 曲线拟合

此外，最小二乘法多项式曲线拟合是常见的曲线拟合方法，在实际生活中有着广泛的应用。根据给定的 m 个点，并不要求这条曲线精确地经过这些点，而是要求曲线 $y = f(x)$ 的近似曲线 $y = \varphi(x)$ 。按偏差平方和最小的原则选取拟合曲线，并且采取二项式方程为拟合曲线，拟合结果如图 9 所示。

3.4 枝条首端坐标和直径的获取

要想实现对果实的精准采摘，就需要提取出枝条的首端坐标以及长度，这样采摘时机械手前进的距离就可以确定。本文提出一种质心差值法来获取枸杞枝条的首端坐标，现将处理过程分为三步：1) 将修复后的枝条轮廓进行提取，通过计算力矩来获取各枝条的质心坐标；2) 遍历所有枝条的轮廓并对其面积进行比较，一般情况下面积最大的为枝干，提取枝干的质心坐标；3) 以枝干质心坐标为中心点，计算每根枝条质心与枝干质心的横坐标之差，若差值为负值，则此枝条轮廓最左侧边缘坐标为枝条的首端坐标，

若差值为正值，则此枝条轮廓最右侧边缘坐标为枝条的首端坐标。对于比较极端枝条，如正好跟枝干质心的横坐标重合，可以先不采取处理，在多角度识别采摘的过程中这种极端情况的问题就迎刃而解了。实际上采摘枸杞果实时不可能仅对一个平面进行识别就能将整棵枸杞树全部识别、采摘完，而是需要从多个角度来采集图像进行识别采摘。

对于枝条直径的测量，调用 Open CV 库中的 contour Area () 和 arch Length () 函数，可分别计算出各个轮廓的面积和周长。因为平面中将弯曲的枝条进行拉伸形状近似于矩形，而矩形的宽度即可认为是枝条截面的直径。因此，设 S 为轮廓面积， C 为轮廓的周长， L 为长度， J 为截面直径，通过面积和周长公式列二元一次方程即可求出矩形的宽度，即枝条的直径，公式如下：

$$S = L \cdot J \quad (5)$$

$$C = 2 \cdot (L + J) \quad (6)$$

$$2J^2 - CJ + 2S = 0 \quad (7)$$

$$J = \frac{C - \sqrt{C^2 - 16S}}{4} \quad (8)$$

获取枝条的相关数据，如图 10 所示。

总共识别枝条个数 8

枝干质心为：(358, 264)

枝条1 质心坐标：(532, 399) 面积0=785.50, 为：(566, 393)	长度=148.81	枝条直径为：12.7376	首端坐标
枝条2 质心坐标：(443, 379) 面积1=467.50, 为：(452, 356)	长度=125.36	枝条直径为：8.65354	首端坐标
枝条3 质心坐标：(524, 308) 面积2=624.00, 为：(555, 324)	长度=202.17	枝条直径为：6.60467	首端坐标
枝条4 质心坐标：(169, 295) 面积3=313.00, 为：(148, 313)	长度=124.02	枝条直径为：5.54283	首端坐标
枝条5 质心坐标：(581, 217) 面积4=413.00, 为：(619, 211)	长度=153.88	枝条直径为：5.80584	首端坐标
枝条6 质心坐标：(595, 119) 面积5=149.00, 为：(610, 132)	长度=80.57	枝条直径为：4.1201	首端坐标为

图 10 枝条数据

4 结论

本文提出了一种基于机器视觉的枸杞枝条识别方法，实现了枸杞枝条的识别与被遮挡枝条修复，在此基础上提出了质心差值法定位枝条首端坐标，为机械手准确抓取枝条提供了必要条件，为实现枸杞的自动化采摘提供了新的思路。但该研究还处于理论阶段，枝条识别率受复杂环境的影响较大，因此在本文的基础上，可进一步研究如何提高系统在复杂环境中的识别率等问题。

参考文献：

[1] Wang Qingzheng, Li Shuai, Qin Hong, et al. Robust multi-modal medical image fusion via anisotropic heat diffusion guided low-rank structural analysis [J]. Information Fusion, 2015, 26 (C): 103-121.

[2] Wang Nan, Zheng Haiyong, Zheng Bing. Underwater Image Restoration via Maximum Attenuation Identification [J]. IEEE Access, 2017, 5: 18941-18952.

[3] Zheng Haiyong, Sun Xue, Zheng Bing, et al. Underwater image segmentation via dark channel prior and multiscale hierarchical decomposition [A]. Oceans 2015 [C]. Genova, 2015.

[4] 张婧婧, 李勇伟. 基于机器视觉的马体尺测量系统设计与研究 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (12): 17 - 20.

[5] 纪超. 温室果蔬采摘机器人视觉信息获取方法及样机系统研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2014.

[6] 虞玲. 基于计算机视觉的果蔬自动分类技术中的特征分析的研究 [D]. 南京: 东南大学, 2015.

[7] 弋伟国, 张冬, 何建国等. 基于机器视觉的枸杞检测分级系统 [J]. 中国农机化学报, 2015, 36 (4): 100 - 105.

[8] 陈璞, 刘立波. 基于形态学边缘检测的枸杞外部缺陷识别方法 [J]. 湖北工程学院学报, 2015, 35 (6): 32 - 37.

[9] 陈晓峰, 张东峰, 郝明明等. 基于机器视觉的枸杞产地识别研究 [J]. 农业科技与装备, 2013 (11): 33 - 35.

[10] 穆易. 复杂背景下树干图像分割算法及其识别系统的研究 [D]. 天津: 天津理工大学, 2015.

[11] 黄彪, 邵明, 宋雷. 枇杷枝条修剪机器人的视觉识别和框架提取 [J]. 华南理工大学学报 (自然科学版), 2015, 43 (2): 114 - 119.

[12] Lv Jidong, Xu Liming. Method to acquire regions of fruit, branch and leaf from image of red apple in orchard [J]. Modern Physics Letters B, 2017, 31: 19 - 21.

[13] Wang Qingzheng, Li Shuai, Qin Hong, et al. Super-Resolution of Multi-Observed RGB-D Images Based on Nonlocal Regression and Total Variation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2016, 25 (3): 1425 - 1440.

[14] 熊俊涛, 邹湘军, 陈丽娟, 等. 基于机器视觉的自然环境中成熟荔枝识别 [J]. 农业机械学报, 2011, 42 (9): 162 - 166.

Xiong Juntao, ZouXiangjun, Chen Lijuan, et al. Recognition of Mature Litchi in Natural Environment Based on Machine Vision [J]. Transactions of the CSAM, 2011, 42 (9): 162 - 166. (in Chinese with English abstract)

[15] 李昕, 李立君, 高自成, 等. 基于偏好人工免疫网络多特征融合的油茶果图像识别 [J]. 农业工程学报, 2012, 28 (14): 133 - 137.

[16] 张铁中, 林宝龙, 高锐. 水果采摘机器人视觉系统的目标提取 [J]. 中国农业大学学报, 2004 (2): 68 - 72.

[17] 崔永杰, 苏帅, 吕志海等. 基于 hough 变换的猕猴桃毗邻果实的分离方法 [J]. 农机化研究, 2012, 34 (12): 166 - 169.

(上接第 249 页)

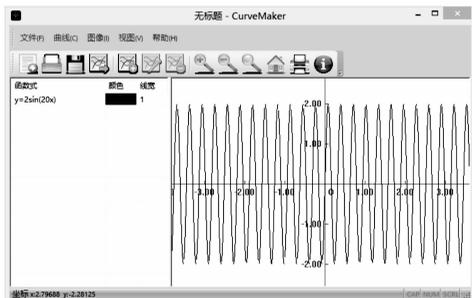


图 8 $y=2\sin(20x)$ 测试截图

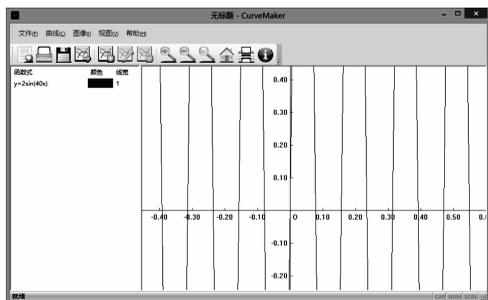


图 9 放大 10 倍坐标后的 $y=2\sin(40x)$ 测试截图

度不够, 令图像产生紊乱时, 可以通过放大坐标精度, 产生更精确的图像

6 结论

本课题所研究的函数曲线绘图算法, 实现了任意形如 $y=f(x)$ 的函数曲线的绘制, 支持常用数学三角函数、多项式、指数对数函数及其相互的嵌套, 并能够一次显示多条

函数曲线。本课题所实现的软件具有可操作性和实用性, 完成了课题任务的基本要求。

课题未来可继续深入研究的方向有, 对任意参数曲线的绘制、极坐标下的任意方程曲线绘制、隐函数的求解和曲线绘制等。这些有待研究的问题, 极富挑战性, 具有很深刻的研究意义。

参考文献:

[1] 刘勇奎, 石教英. 曲线的整数型生成算法 [J]. 计算机学报, 1998, 21 (3): 270 - 280.

[2] 刘勇奎, 周晓敏. 逐点生成参数曲线的双步算法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2002, 14 (7): 619 - 623.

[3] 刘勇奎. 直线与曲线的逐点生成算法 [J]. 工程图学学报, 2005, 26 (6): 41 - 51.

[4] 敬茂华, 陶文金. 中缀式到逆波兰式的转换及求值 [J]. 电脑编程技巧与维护, 2010, (7): 14 - 16.

[5] 柳钰, 王明辉. 基于 GDI+ 的快速图形图像绘制技术研究 [J]. 现代显示, 2006, (11): 66 - 69.

[6] 张仁忠, 常明志, 许德新. 利用 MFC 实现双缓存机制改善图形的显示效果 [J]. 应用科技, 2005, 32 (1): 47 - 49.

[7] 高伟卫, 杨胜强, 张满栋. 基于 VC++6.0 基础类库的图像显示 [J]. 机械管理开发, 2006, (5): 84 - 85, 87.

[8] 沈维详. 基于 AutoCAD 与高级语言接口的各种函数曲线生成器 [J]. 计算机工程, 1992, 18 (1): 14 - 17.

[9] 朱红. 具有估计功能的 SCADA 曲线生成器的研制及应用 [D]. 西安: 西安科技大学, 2010.

[10] 杜铁塔, 刘明亮. 函数生成器的优化设计 [J]. 国防科技大学学报, 1994, 16 (3): 65 - 67.