

# 提高 CCD 糖液浓度测量系统精度的方法

林海棠<sup>1</sup>, 殷建军<sup>1\*</sup>, 项祖丰<sup>1</sup>, 汤健彬<sup>2</sup>

(1. 浙江工业大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310014;

2. 浙江工业大学 信息工程学院, 浙江 杭州 310014)

**摘要:** 为了实现糖液浓度的在线精密测量,在分析 CCD 测量原理的基础上,开发了基于 ARM 的糖液浓度测量系统,并分析了测量系统误差及对精度的影响;通过研究 CCD 信号边缘梯度特性,应用多项式插值的亚像素边缘检测算法提高了像素定位精度。实验结果表明,与传统的折光仪相比,该系统具有较高的分辨率和测量精度。

**关键词:** 糖液浓度;线阵 CCD;亚像素;误差分析

中图分类号: TH741

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2012)02-0180-03

## Method of improving accuracy of CCD sugar concentration measurement system

LIN Hai-tang<sup>1</sup>, YIN Jian-jun<sup>1</sup>, XIANG Zu-feng<sup>1</sup>, TANG Jian-bin<sup>2</sup>

(1. College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;

2. College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

**Abstract:** To realize on-line precision measurement of sugar concentration, a measurement system integrated ARM of sugar concentration was developed by analyzing CCD philosophy of measurement, then the measuring system error was analyzed which had an effect on precision. The characteristic of edge gradient of CCD was analyzed, the algorithms of sub-pixel edge detection which applied the polynomial interpolation was used to improve the positioning accuracy of pixel. The experimental result shows that this system possesses superior resolution and measurement accuracy, compared to the traditional refractometer.

**Key words:** sugar concentration; linear CCD; sub-pixel; error analysis

## 0 引言

随着现代检测技术的快速发展,糖液浓度的在线高精度测量已经成为一个重要的研究课题。线阵 CCD 以其非接触、快响应、高精度的特点而广泛应用于糖液浓度测量中,其基本原理是通过处理被测糖液图像的边缘而推算出浓度,但测量精度被像元尺寸限制。因此,不少专家提出了亚像素边缘检测算法来突破 CCD 物理分辨率的限制。通常使用的算法有空间灰度矩法、插值法、拟合法等,但是空间灰度矩法和拟合法计算量大,实时响应慢,不利于在线测量<sup>[1-2]</sup>。

笔者通过多项式插值算法对亚像素边缘定位,将

糖液浓度转化为折射率,采用 A/D 转换芯片对线阵 CCD 的视频信号进行 A/D 转换,并由 ARM 处理器对转换后的信号进行高速采集、数据处理和存储。为提高系统的测量精度及研究分析影响精度的主要因素,建立多项式插值的亚像素边缘检测算法的数学模型,并通过实验验证该算法的有效性。

## 1 测量系统原理

光学系统主要由发射光学系统和线阵 CCD 接收系统组成,如图 1 所示。光源发射出的光束经过聚光镜和入射准直镜形成光锥,并投射到检测棱镜,出现光线的折射和全反射,成像透镜将各个角度反射光汇聚到

收稿日期:2011-08-31

作者简介:林海棠(1988-),女,浙江苍南人,主要从事检测与控制方面的研究。E-mail:lht092@163.com

通信联系人:殷建军,男,副教授。E-mail:yinjj@zjut.edu.cn

CCD感光面,呈现明暗分界线。糖液浓度发生变化,CCD明暗分界线的位置也随之改变。

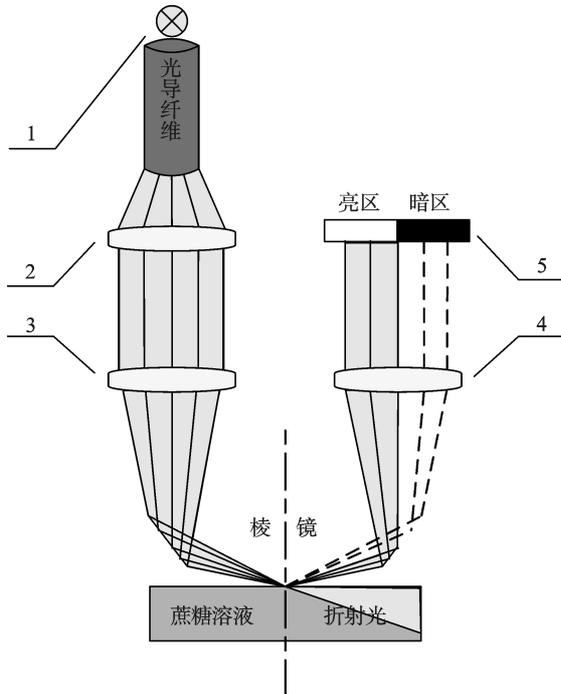


图1 折光浓度仪光路图

1—光源;2—聚光镜;3—入射准直镜;4—成像透镜;  
5—线阵CCD传感器

糖液浓度测量系统的结构图如图2所示。在煮糖过程中,考虑到糖液的温度会发生变化,溶液的折射率会随温度变化而受影响,必须对折射率进行温度校正。

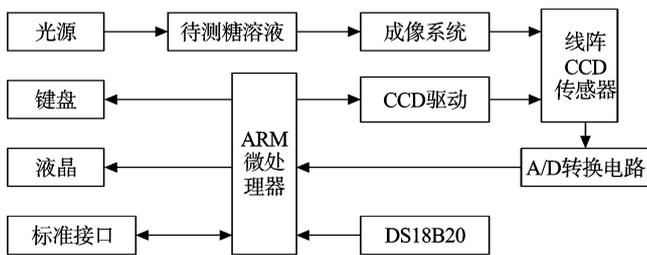


图2 测量系统结构图

## 2 系统误差分析

信号采集和数据处理是测量系统的两大任务,在实际测量中有许多影响测量精度的因素,并存在于各个环节中<sup>[4-5]</sup>。基于CCD的糖液浓度测量系统误差主要包括光机系统误差、CCD误差、数据采集和处理误差:

(1) 光机系统误差。机械件、光学镜头在制造和装配时会产生综合误差,摄像头存在镜头几何畸变情况,这种误差和畸变可以在系统的标定中得到修正。

(2) CCD误差。实际的线阵CCD存在不均匀性及非线性,各个像元的响应明显存在不同,直接影响测试系统对明暗分界线的准确判断<sup>[6-7]</sup>。同时,CCD作为

一种图像传感器,必然混杂有各种噪声或干扰成分,将会降低CCD测量系统的测量精度,影响图像信号质量等。

(3) 数据采集和处理误差。浓度检测是通过CCD成像、信号采集和处理来实现的,不可避免地会出现数据处理和算法误差。

由此看出,采用CCD检测糖液浓度的关键是明暗分界线的测定,系统的精度主要取决于CCD的精度。

## 3 亚像素边缘检测算法

根据系统测量原理可知,浓度测量实际上是线阵CCD传感器边缘测量的过程,因此浓度的测量精度取决于单次边缘测量结果的精度。提高光测系统测量精度最直接的方法是提高线阵CCD传感器的分辨率,其代价是成本数倍甚至几十倍的增加。然而通过改变软件算法比改变系统硬件简单而且有效,如果能在软件上将图像上的特征目标定位在亚像素级别,将大大提高测量精度。

为了获得亚像素的精度,本研究采用抛物插值法求出理论边缘点附近的二次多项式插值函数,然后对二次多项式插值函数求一次导,通过导数为零点确定边缘的亚像素位置 $x_0$ 。

将线阵CCD输出信号A/D转换和存储后,信号幅值的8位A/D转换值作为该点灰度值,单次边缘测量的CCD输出信号灰度如图3所示。线阵CCD传感器的输出信号并不是理想的阶跃信号,而是一个逐渐递增的信号,理论整像素边缘点就存在该递增区域内。因此,每个像素点上的梯度值通过差分求出:

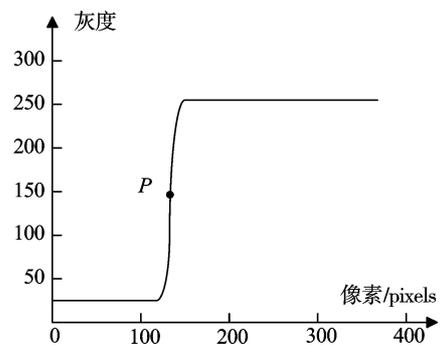


图3 CCD输出信号的灰度图

$$grad(x_n) = I(x_{n+1}) - I(x_n) \quad (1)$$

式中: $grad(x_n)$ —像素点 $x_n$ 的梯度, $I(x_n)$ —像素点 $x_n$ 幅值的A/D转换值。

对所存储的每个像素点的A/D转换值逐个代入式(1),求出最大梯度点 $P(u, v)$ ,CCD输出信号的梯度图如图4所示。将相邻点 $(x_{i+1}, grad(x_{i+1}))$ 、 $(x_{i-1}, grad(x_{i-1}))$ 和最大梯度点作为插值节点进行抛物插值,得<sup>[8]</sup>:

表1 糖液浓度标定表

浓度/(°Bx)		亮区长度/ $\mu\text{m}$			相对误差/(%)		
标准糖液	目视浓度仪	理论值	未定位	定位	目视浓度仪	未定位	定位
50.07	51.5	15 471	15 302	15 407.47	2.8	1.1	0.41
55.87	57.6	14 134	13 951	14 056.82	3.1	1.3	0.55
60.48	62.4	12 993	12 824	12 924.58	3.2	1.3	0.53
64.30	66.7	11 985	11 816	11 916.69	3.7	1.4	0.57
70.84	73.8	10 106	9 947	10 043.27	4.2	1.6	0.62
76.33	79.7	8 337	8 176	8 277.75	4.4	1.9	0.71
83.21		5 778	5 642	5 726.58		2.3	0.89
87.26		4 027	3 927	3 985.11		2.5	1.04

$$f(x) = \text{grad}(x_{i-1}) \cdot \frac{(x-u)(x-x_{i+1})}{(x_{i-1}-u)(x_{i-1}-x_{i+1})} + \text{grad}(u) \cdot \frac{(x-x_{i-1})(x-x_{i+1})}{(u-x_{i-1})(u-x_{i+1})} + \text{grad}(x_{i+1}) \cdot \frac{(x-x_{i-1})(x-u)}{(x_{i+1}-x_{i-1})(x_{i+1}-u)} \quad (2)$$

令  $df(x)/dx = 0$ , 得:

$$x^* = \frac{1}{2} \cdot \frac{\text{grad}(x_{i-1}) - \text{grad}(x_{i+1})}{\text{grad}(x_{i-1}) - 2\text{grad}(u) + \text{grad}(x_{i+1})} + u \quad (3)$$

将像素尺寸  $p$  代入式(3), 得:

$$x^* = \frac{\omega}{2} \cdot \frac{\text{grad}(x_{i-1}) - \text{grad}(x_{i+1})}{\text{grad}(x_{i-1}) - 2\text{grad}(u) + \text{grad}(x_{i+1})} + u \quad (4)$$

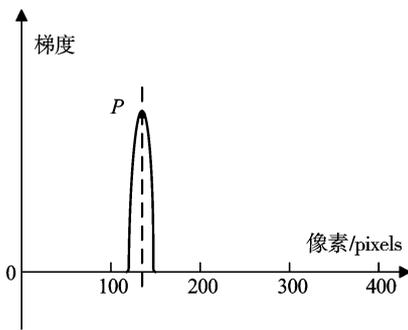


图4 CCD输出信号的梯度图

## 4 实验验证

### 4.1 亚像素定位误差

首先分析算法的理论误差, 式(3)的应用前提的满足条件是:  $\text{grad}(u) \geq \text{grad}(x_{i-1})$  及  $\text{grad}(u) \geq \text{grad}(x_{i+1})$ , 否则边缘点  $P(u, v)$  就不是边缘点, 通过对式(4)进行全微分得出定位误差为:

$$|dx^*| \leq \frac{1}{2} (3\omega |d\text{grad}(u)| + d\omega) \quad (5)$$

一般A/D转换器后的灰度量误差小于  $\pm 1$  lsb, CCD的制作精度为1%的像元间距, 因此, 最大定位误差为:

$$|dx^*| \leq \frac{1}{2} \left( 3 \times \frac{2}{256} + \frac{1}{100} \right) \omega = \frac{\omega}{59.8} \quad (6)$$

理论上该算法可以获得将近1/60的像元精度。

## 4.2 实验结果

由于糖液浓度的变化与明暗分界线位置之间的关系十分复杂, 仪器标定时, 本研究预先用上海·阿贝折光仪(精度为0.1 °Bx)作为标准计量仪对50 °Bx~90 °Bx的蔗糖溶液取样测量, 产生一组标准值。同时, 分别用目视浓度仪和本研究的折光浓度仪对同组糖液进行测量, 结果如表1所示<sup>[9]</sup>。

相对误差比较图如图5所示。从图5可知, 定位后折光浓度仪的相对误差与目视浓度仪和未定位时显著减小, 控制在1.04%以内。实验结果表明, 本研究的折光浓度仪比传统的目视浓度仪测量精度高, 测量范围更大, 而且对亚像素定位后, 准确度更高, 完全符合测量要求。ARM微处理器检测出各个浓度检测点的亮区长度后, 在50 °Bx~90 °Bx的其他点就可以通过查标定表格计算出糖液浓度值。

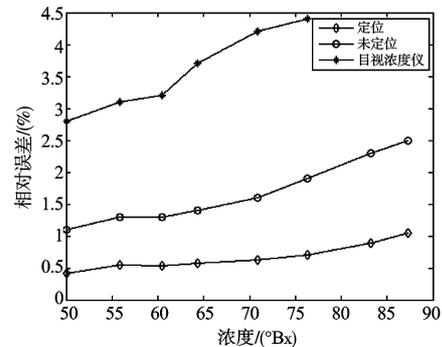


图5 相对误差值比较图

## 5 结束语

笔者从多角度分析了糖液浓度测量系统的误差产生原因及对测量精度的影响, 并给出消除或减小误差的有效方法, 增加了像素点。测量系统的精度与传统的目视浓度仪相比显著提高, 并具有在线、自动、非接触测量的优点。下一步的工作应完善系统的控制、通讯等其他功能, 使它能切实结合到生产过程控制系统中去。

(下转第 195 页)

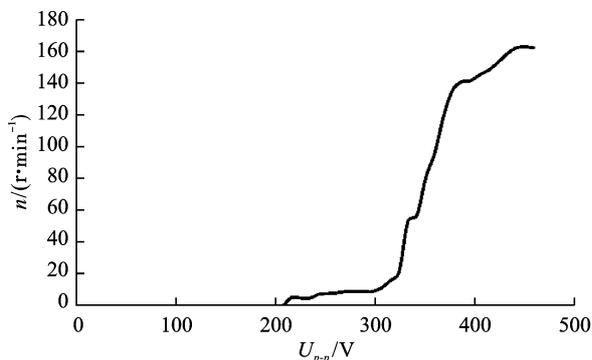


图 5 电机速度与输入电压曲线

47.5 kHz 输入频率、450 V 峰-峰值电压输入下速度相位差曲线如图 6 所示。

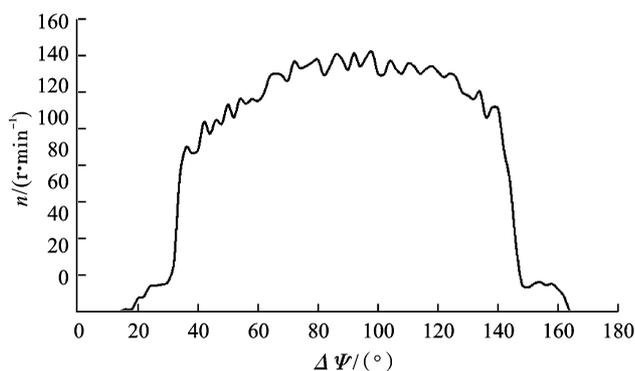


图 6 电机速度与输入电压相位曲线

## 4 结束语

本研究提出了一种基于非智能控制芯片 UCC3895 的行波型超声波电机驱动器,该驱动器具有调频、调压和调相等功能。实验结果表明,该驱动器调速性能良好,同时体积小和电路简单,具有较强的实用性。

## 参考文献(References):

- [1] 赵淳生. 超声波电机技术与应用[M]. 北京:科学出版社, 2007.
- [2] BAL G, BEKIROGLU E. A highly effective load adaptive servo drive system for speed control of travelling-wave ultrasonic motor [J]. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 2005, 20(5):1143-1149.
- [3] 胡敏强, 金龙. 超声波电机原理与设计[M]. 北京:科学出版社, 2005.
- [4] 潘鹏, 胡敏强, 徐志科. 基于 DSP 芯片的超声波电机驱动器新进展[C]第十三届中国小电机技术研讨会, 上海: [出版者不详], 2008:272-274.
- [5] 王龙帅, 史敬灼. 一种基于 DDS 的超声波电机驱动[J]. **微电机**, 2010, 43(10):1001-6848.
- [6] HSIE Y C, CHANG H L, HONG J Y, et al. Single-stage high power factor half-bridge resonant technique for linear ultrasonic motor driving circuit [J]. **Power Electronics-IEET**, 2010, 3(3):1755-4535.
- [7] JUANG P A, TSAI C C. Characterization of an asymmetric disk-type ultrasonic motor with single-phase current drive [J]. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, 2009, 58(9):3122-3129.
- [8] Texas Instruments. BiCMOS Advanced Phase Shift PWM Controller[Z]. Texas Instruments Incorporated, 2009.
- [9] 张文宇, 李弘炬, 王秀玲. 超声波电机推挽式驱动电路研究[J]. **电气传动**, 2010, 40(2):72-76.
- [10] 翁志刚, 洪尚任, 林华, 等. 超声波电机谐振升压式驱动电源的研究与设计[J]. **机械工程师**, 2008(12):1002-2333.
- [11] 顾菊平, 王德明, 王桂星. 一种环型行波超声波电机驱动电路的设计[J]. **南通大学学报**, 2007, 6(1):1673-2340.

[编辑:李辉]

(上接第 182 页)

## 参考文献(References):

- [1] 丁兴号. 基于小波变换的亚像素边缘检测[J]. **仪器仪表学报**, 2005, 26(8):801-804.
- [2] 张永宏, 胡德金, 张凯, 等. 基于灰度矩的 CCD 图像亚像素边缘检测算法研究[J]. **光学技术**, 2004, 30(6):693-698.
- [3] 王庆有. CCD 应用技术[M]. 天津:天津大学出版社, 2000:42-63.
- [4] GIANGIACOMO R. Study of water-sugar interactions at increasing by NIR spectroscopy [J]. **Food Chemistry**, 2006, 96(3):371-397.
- [5] CEDRIC D, MICHEL B. Soft-sensor for industrial sugar crystallization: on-line mass of crystals, concentration and purity measurement [J]. **Control Engineering Practice**, 2010, 18(8):839-844.
- [6] 阎树田, 王定祥, 张娜, 等. 基于 FPGA 的线阵 CCD 高速非接触检测系统的研究[J]. **电子测量技术**, 2010, 33(6):95-97.
- [7] 沈翀. 宽量程液体折射率计的研究[D]. 杭州:浙江大学信息科学与工程学院, 2007:43-45.
- [8] 吕同富, 康兆敏, 方秀男. 数值计算方法[M]. 北京:清华大学出版社, 2008:136-142.
- [9] 李志彦, 秦贯丰, 莫莉萍. 糖浆浓度激光自动检测过程的数理分析[J]. **华南理工大学学报**, 1998, 26(7):116-119.

[编辑:张翔]