

基于 CCD 和小波变换的数粒机控制系统设计

齐建虹, 蔡锦达, 李祥伟
(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: **目的** 针对数粒机高速、高精度的控制要求, 利用 TMS320F2812 型 DSP 与线阵 CCD、ARM9 微型控制器及其他硬件设备相结合, 设计基于图像处理的数粒机控制系统。**方法** 首先介绍了数粒机的机械结构和工作原理, 然后对药粒 CCD 检测计数系统进行了全面设计, 最后采用基于小波变换的图像边缘检测算法对药粒的形状和尺寸进行检测, 设计了基于 DSP 和小波变换的药粒图像边缘检测系统, 以判断是否有药粒通过检测通道。**结果** 该控制系统运行稳定, 可以用于直径在 0.32 mm 以上各种规格、形状的颗粒状药品的检测计数, 工作速度达 3000~8000 粒/分钟。**结论** 基于小波变换的图像边缘检测算法避免了噪声和伪边缘的出现, 实现了数粒机的精确计数, 计数精度达到 99.99%, 受粉尘影响小, 在实际生产中取得了明显的应用成效。

关键词: 数粒机; DSP; CCD; 小波变换; 边缘检测; 控制系统

中图分类号: TP2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)13-0116-07

Design of Control System for Counting-machine Based on CCD and Wavelet Transform

QI Jian-hong, CAI Jin-da, LI Xiang-wei

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: Objective In order to meet the control requirements of high speed and precision for counting-machine, a control system for counting-machine based on image processing was designed by using TMS320F2812 DSP combined with linear array CCD, ARM9 microcontroller and supporting hardware. **Methods** Firstly, the mechanical structure and working principle of counting-machine were discussed. Then the comprehensive design process of the pill CCD detector counting system was given. Finally, using edge detection algorithm based on wavelet transform to detect shape and size of pill, the image edge detection system based on DSP and wavelet transform was designed to determine whether there was pill passing detection channel. **Results** The control system was stable. It could be used for the detection count of pills with various specifications and shapes given that the diameter was larger than 0.32 mm, and the working speed reached up to 3000~8000 tablets / min. The edge detection algorithm based on wavelet transform could avoid the appearance of noise and false edges and achieve accurate counting of the counting-machine. The accuracy was 99.99%, hardly affected by small dusts, and it has achieved significant application results in the actual production.

KEY WORDS: counting-machine; DSP; CCD; wavelet transform; edge detection; control system

随着新 GMP (Good Manufacturing Practices) 时代的到来, 研制高速先进的药片数粒机以提高药品包

收稿日期: 2013-12-09

基金项目: 2012 国家重大科学仪器设备开发专项资助项目 (No.2011YQ150040); 上海市研究生创新基金 (JWCXSL1302)

作者简介: 齐建虹 (1990—), 女, 甘肃武威人, 上海理工大学硕士研究生, 主攻包装机械自动控制、嵌入式运动控制等。

通讯作者: 蔡锦达 (1963—), 男, 上海人, 上海理工大学教授, 主要研究方向为嵌入式系统开发、包装机械控制系统的研发等。

装质量和计数精度迫在眉睫。目前,主流的数粒机还是光电式数粒机,其主要采用 PLC 或单片机配合光电传感器来对药粒进行检测计数,不足之处有:药粒距离光电传感器较近,药粒磨损产生的粉末容易影响光电传感器的检测,计数精度不高;采用 PLC 或单片机作为其核心控制器件,控制器本身处理速度较低,限制了数粒机工作的效率^[1]。为了满足高速度、高精度的生产要求,设计了以 DSP 为控制核心,基于 CCD 和小波变换的控制系统,采用线阵 CCD 代替传统的光电传感器来采集图像信息,大大提高了分辨率;利用基于小波变换的边缘检测算法对采集到的图像进行边缘检测,进而实现数粒机的全自动计数,最终形成将线阵 CCD 成像技术、小波变换图像边缘检测算法和 DSP 图像处理技术相结合的数粒机控制系统。

1 数粒机机械结构和工作原理

1.1 数粒机机械结构

数粒机是药品全自动包装生产线中的关键设备,其主要用来对药品(药粒、胶囊等药品)进行计数和装瓶。数粒机结构包括下料通道、振动输送机构、检测计数机构、药瓶输送机构等,主要由机架、振动料斗、高频荧光灯光源、CCD 镜头与箱体、通道阀门、漏斗、药瓶、传送履带与支架、人机界面等组成。数粒机机械结构见图 1。

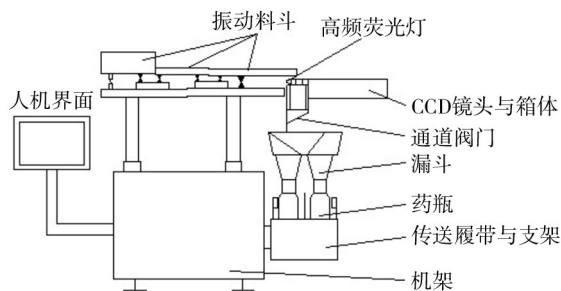


图1 数粒机机械结构

Fig.1 Mechanical structure of counting-machine

1.2 数粒机工作原理

数粒机正常工作前,根据机器类型设置通道类型(包括 2×8 , $12, 2 \times 12, 2 \times 6$ 等 4 种通道类型),然后根

据药品类型和尺寸以及瓶装量,通过触摸屏设置数粒模式、阈值、瓶装量和通道最大缓存量等参数,启动自动数粒功能,DSP 检测通道光照是否正常及内部是否存在异物,并检测药瓶履带上是否有瓶;检测完毕后,通过 3 级振动料斗将药粒分离输送到检测计数通道中,CCD 对进入检测通道的药粒进行检测,DSP 对 CCD 拍摄到的各通道图像信息进行 AD 转换和图像处理,以判断是否有药粒下落,并计算通过通道的药粒数。同时,通过 DSP 通讯子程序将当前粒数、当班量和总产量传送给触摸屏,并在触摸屏上显示^[2]。当计数值达到用户设定值时,DSP 控制通道阀门使药粒进入空瓶;装瓶结束后,通过控制瓶限位阀门将已经装好的药瓶送走,并将空瓶送到装瓶位置并固定,为下次计数动作做好准备。

2 数粒机控制系统设计

2.1 控制系统总体结构

数粒机控制系统主要由送料系统、CCD 检测计数系统、触摸屏人机界面系统、装瓶系统等组成,控制系统结构见图 2。DSP 作为控制系统的核心,主要功能是控制 3 级振动送料系统和装瓶系统,对 CCD 的视频信号进行采集,以及完成与人机界面的通信等^[3-4]。人机界面系统采用笔者实验室研制的嵌入式触摸屏系统,CPU 采用 ARM9 S3C2416 微处理器。该控制系统集机械技术、计算机技术、电子技术、气动技术和光学技术为一体,是高度集成化的控制系统。

2.2 检测计数系统设计

CCD 检测计数系统是数粒机的关键部分,其主要对被检药粒进行检测计数^[5]。它由 12 个检测通道、DSP、CCD、CPLD 和高频荧光灯等部分组成。CCD 镜头远离检测通道,不易受到药灰污染,确保了检测部件的寿命和精度。

2.2.1 光路设计

采用高频荧光灯作为照明光源,数粒机检测光路设计见图 3。CCD 选用 TCD1209 黑白线阵 CCD,CCD 光敏单元数为 2048 个,每个光敏单元尺寸为 $14 \mu\text{m} \times 14 \mu\text{m}$ ^[6],故 CCD 成像长度为:

$$L=28.672 \text{ mm} \quad (1)$$

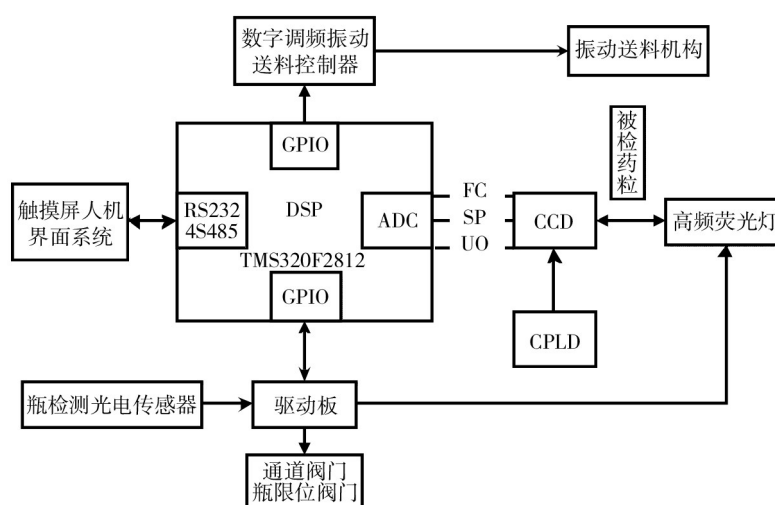


图2 数粒机控制系统结构

Fig.2 Control system structure of counting-machine

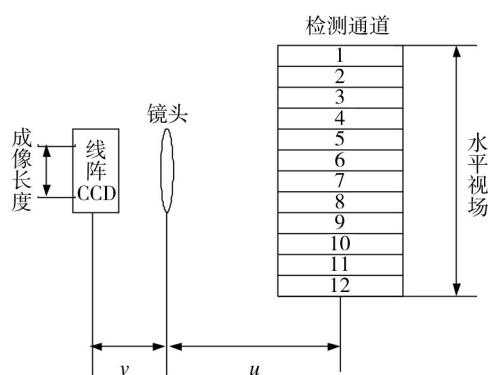


图3 数粒机检测光路设计

Fig.3 Detection light path design of counting-machine

以12个通道数粒机为例,实际设计12个通道的宽度为315 mm,为了使12个通道完全处于镜头扫描范围内,将水平视场每边扩展10 mm,即水平视场FOV变为335 mm。

由成像长度 L 和水平视场FOV可以计算出放大倍数为^[7]:

$$A = \text{FOV}/L = 11.684 \quad (2)$$

物距 u 为镜头的工作距离,像距 v 为镜头至CCD的距离,实际测量得像距 v 为35 mm,故工作距离为:

$$u = v \times A = 408.94 \text{ mm} \quad (3)$$

由镜头焦距公式得出:

$$f = \frac{u}{1/A + 2 + A} = 29.70 \text{ mm} \quad (4)$$

以上分析得出:镜头的工作距离为410 mm,焦距

为29 mm,放大倍数为12。

由于CCD的分辨率 $R = 28 \mu\text{m}$,可以得出对物体的最小分辨率为 $A \times R = 327 \mu\text{m}$,因此,该控制系统可以分辨毫米级的药品颗粒。

2.2.2 CCD驱动时序设计

采用Altera公司EPM7064SLC44-10型号的CPLD芯片进行CCD驱动时序设计。驱动信号和同步信号都由CPLD芯片产生。CCD驱动器的外部接口有行同步脉冲FC、像元同步脉冲SP及CCD模拟信号输出 U_0 等3个基本输出。CCD驱动器工作原理见图4。象元转移脉冲SH、时钟脉冲 ϕ_1 和 ϕ_2 (ϕ_{2B})、复位脉冲RS和钳位脉冲CP用于CCD的驱动^[8];行同步脉冲FC和象元同步脉冲SP用于DSP采集CCD信号。各驱动脉冲必须严格满足TCD1209的时序要求,才能保证CCD芯片的正常工作,其工作时序见图5。在CCD视频信号输出端OS输出的信号经过运放后,即为模拟量输出 U_0 。然后,DSP对CCD产生的模拟量 U_0 进行AD转换^[9]。

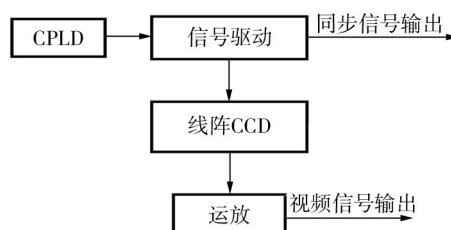


图4 CCD驱动器工作原理

Fig.4 Working principle diagram of CCD driver

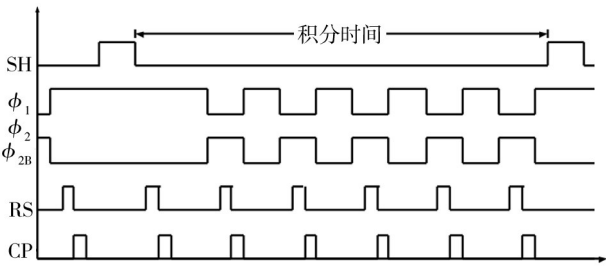


图5 CCD工作时序

Fig.5 Working time sequence chart of CCD

2.2.3 检测计数软件设计

数粒机正常工作时,药粒在振动料斗的振动下进入检测通道,CCD采集检测通道的图像数据,DSP将采集到的药粒图像数据进行A/D转换^[10]。A/D转换结束后,可以得到2048个数据,以12通道为例,将数据分成12部分进行处理,即对12通道中每个通道范围内的数据进行处理计数,当几个通道内有药粒同时落下

时,优先级高的通道内药粒先被计数。在软件中设置了2个标志位 sign1 与 sign2 来判断通道中药粒状态,当 CCD 检测到药粒时 sign1 和 sign2 均置 1,否则 sign1 置 0。通过判断标志位的下降源来判断此时有 1 颗药粒经过检测通道,与此同时,通道计数值与药粒计数值加 1,2 个标志位清零。当计数值将要达到瓶装量时,设此时还需 $n(n<12)$ 粒计数值达到瓶装量,当最后 1 次有 m 粒药粒通过检测通道时,若 $m>n$,则有 $m-n$ 粒药是属于下一瓶的,DSP 根据通道优先级,将通道内药粒依次检测处理。属于当前瓶的药粒使其顺利通过阀门,落入瓶中,再关闭阀门;属于下一瓶的药粒,需要关闭通道阀门将其留在通道内。若空瓶未到达装瓶位置时,药粒数已经达到最大缓存量(最大缓存量宜设定为瓶装量的 2/3),则停止振动料斗的振动直至空瓶到达指定位置;若空瓶到达指定装瓶位置,阀门全开,这样可以提高数粒的效率。其检测计数软件流程图见图 6。

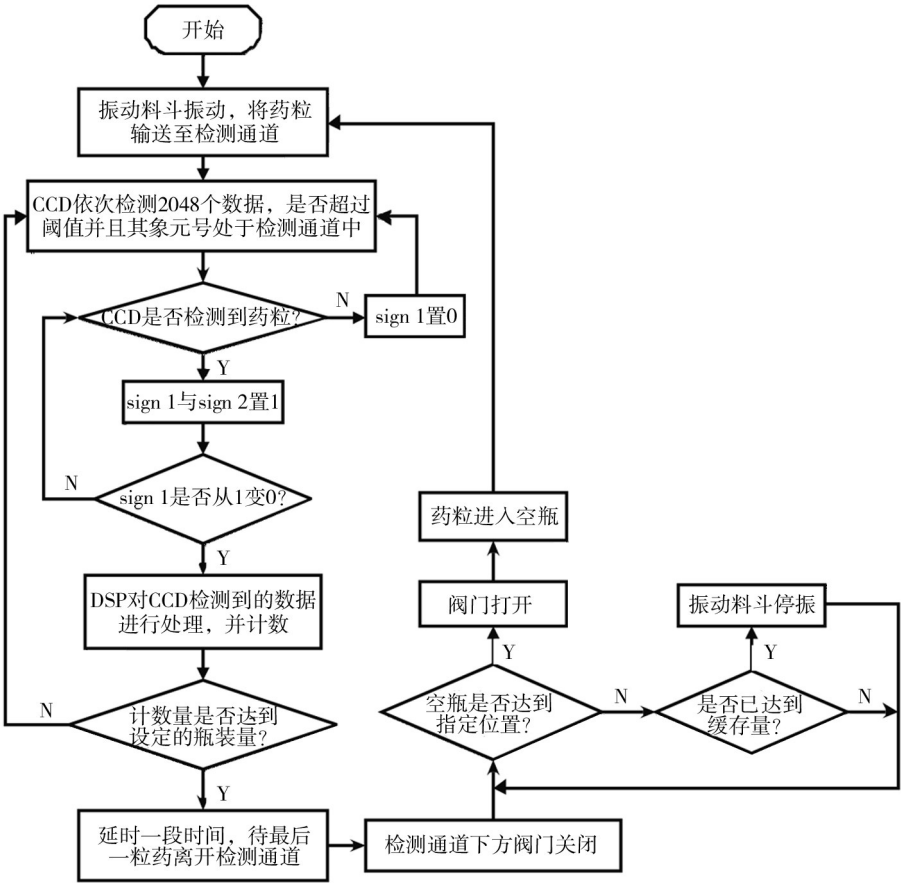


图6 数粒机检测计数流程

Fig.6 Detection and counting flowchart of counting-machine

3 基于小波变换的药粒边缘检测系统实现

3.1 基于小波变换的边缘检测算法

小波变换在时域和频域均有良好的局部特性^[11], 被誉为“数学显微镜”, 在图像处理中有着很广泛的应用。因为小波变换对奇异特性尤为敏感, 所以它更适合检测图像的边缘和细节^[12]。同时, 小波变换也提供了一种较好的降噪方法, 当小波母函数取为平滑函数的一阶导数时, 小波变换的模极大值对应图像的突变点, 图像的边缘与噪声都对应着突变点。边缘与噪声的区别在于: 随着尺度增加, 噪声引起小波变换的模极大值迅速减小, 而边缘的滤波模值不随尺度变化。故小波变换可在低信噪比信号中检测出噪声和边缘^[13]。

假设图像 D 具有 $N \times N$ 个像素, 即 $D = \{d_{x,y} | x, y = 0, 1, \dots, N-1\}$ 。

1) 在尺度 $s=2^j$ 下, 计算数字图像 D 的二维 $W_r^1(2^j, x, y)$, $W_r^2(2^j, x, y)$, $x, y = 0, 1, \dots, N-1$ 。这里 $1 \leq j \leq J$, $J = \log_2 N$ 。分解的尺度数可根据需要而定。

假设 $\theta(x, y)$ 是二维平滑函数, 且满足 $\iint \theta(x, y) \cdot dx dy \neq 0$, 可把它沿 x, y 2 个方向上的一阶导数作为基小波函数:

$$\Psi^1(x, y) = \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial x} \quad \Psi^2(x, y) = \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial y}$$

$$\Psi_a^1(x, y) = \frac{1}{a^2} \Psi^1\left(\frac{x}{a}, \frac{y}{a}\right)$$

$$\Psi_a^2(x, y) = \frac{1}{a^2} \Psi^2\left(\frac{x}{a}, \frac{y}{a}\right) \quad (5)$$

对于数字图像的二维函数 $f(x, y)$, 其小波变换为:

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} W_r^1 f(2^j, x, y) \\ W_r^2 f(2^j, x, y) \end{bmatrix} = \\ & 2^j \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} [f(x, y) \cdot \theta_a(x, y)] \\ \frac{\partial}{\partial y} [f(x, y) \cdot \theta_a(x, y)] \end{bmatrix} = 2^j \text{grad} [f(x, y) \cdot \theta_a(x, y)] \end{aligned} \quad (6)$$

整个图像的二维小波变换即矢量:

$$\begin{bmatrix} W_r^1 f(2^j, x, y) \\ W_r^2 f(2^j, x, y) \end{bmatrix} = W_r f(2^j, x, y)$$

2) 计算每一点的模值和相角 $Af(2^j, x, y)$ 的正切值; 对每个像素点 (x, y) , 计算:

$$Mf(2^j, x, y) = \sqrt{|W_r^1 f(2^j, x, y)|^2 + |W_r^2 f(2^j, x, y)|^2}$$

$$\tan Af(2^j, x, y) = \frac{|W_r^2 f(2^j, x, y)|}{|W_r^1 f(2^j, x, y)|}$$

3) 求边界点。确定阈值 $T > 0$, 对 $u, v = 0, 1, \dots, N-1$ 。如果 $Mf(2^j, u, v) \geq T$ 且取得局部极大值, 即 u, v 为模极大点, 则 (u, v) 就是一个边界点。

4) 边界点的链接。图像中边界点一般形成一条曲线, 而该曲线通常是某些重要结构的边界^[14]。将各个小波模极大点连接起来, 就形成一条沿着边界的极大曲线。在离散情况下, 极大曲线是通过将图像离散采样格点中 2 个相邻的边界点连接起来形成的, 这样就得到了图像的边缘。

由以上分析可知: 小波变换的模 $Mf(2^j, x, y)$ 正比于梯度向量的模, $Mf(2^j, x, y)$ 在 $Af(2^j, x, y)$ 方向取极大值的点对应着 $f(x, y)$ 的突变点, 在尺度 2^j 下的边缘点就是 $Mf(2^j, x, y)$ 沿梯度方向的模极大值的点, 这些极大值点的位置就给出了图像的一个多尺度边缘。利用该特性可以进行图像的边缘检测。小波多尺度边缘检测用于药粒图像处理的算法流程见图 7。

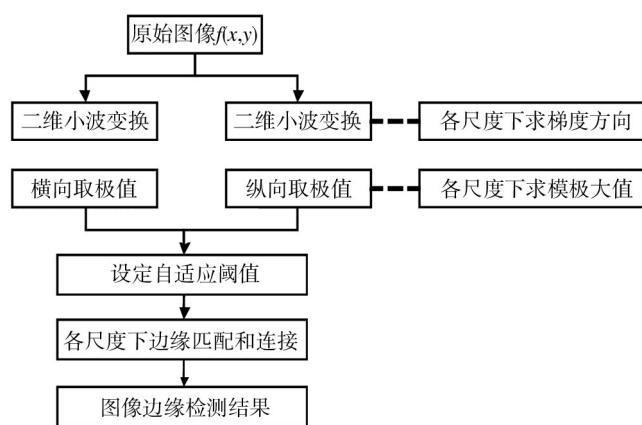


图7 小波多尺度边缘检测算法流程

Fig.7 Flowchart of wavelet multi-scale edge detection algorithm

3.2 边缘检测系统实现

在该系统的硬件设计中, 以 DSP 作为硬件平台的核心器件, 与 FPGA 相结合实现药粒图像实时处理。硬件实现都采用了模块化设计策略, FPGA 和 CPLD 的

电路设计很容易实现硬件的调试和修改,DSP芯片便于跟踪算法的有效实现,硬件系统与触摸屏的接口很容易实现系统测试、软件调试和系统仿真。该硬件系统的实现为目标跟踪及边缘检测系统提供了可靠的硬件平台,为软件方案的实现打下了坚实基础。系统硬件组成框图见图8。

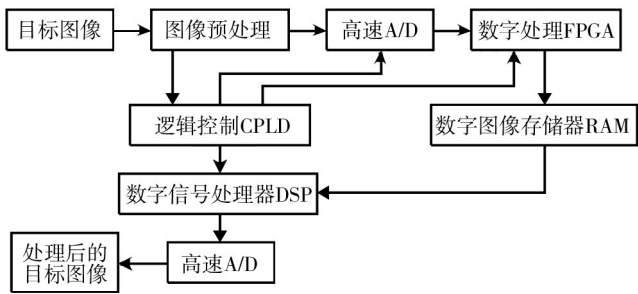


图8 基于DSP的实时图像边缘检测系统硬件框图

Fig.8 Hardware block diagram of real-time image edge detection system based on DSP

系统软件采用模块化设计,各个软件模块与系统的工作过程的关系见图8。首先,系统上电复位后模拟视频信号经过视频A/D转换器件转换成8位数字图像信号,然后经过FPGA处理输出32位的图像数据存储到RAM中供DSP使用。DSP自动将FLASH MEMORY中的程序自举到DSP的内部程序存储区,并开始执行程序。DSP的系统软件主要包括初始化程

序、中断处理程序、目标检测程序和串口输出程序几部分。药粒图像边缘检测系统软件流程见图9。

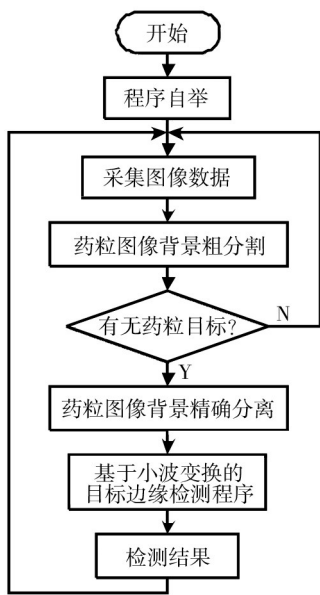


图9 药粒图像边缘检测系统软件流程

Fig.9 Software flow chart of pill image edge detection system

CCD扫描1帧图像并获取视频数字信号后,DSP选择数粒机的1个通道根据所得到的像元灰度值^[15],应用小波变换边缘检测算法可以判断是否有药粒从检测通道落下,然后进行计数。其检测计数原理见图10。

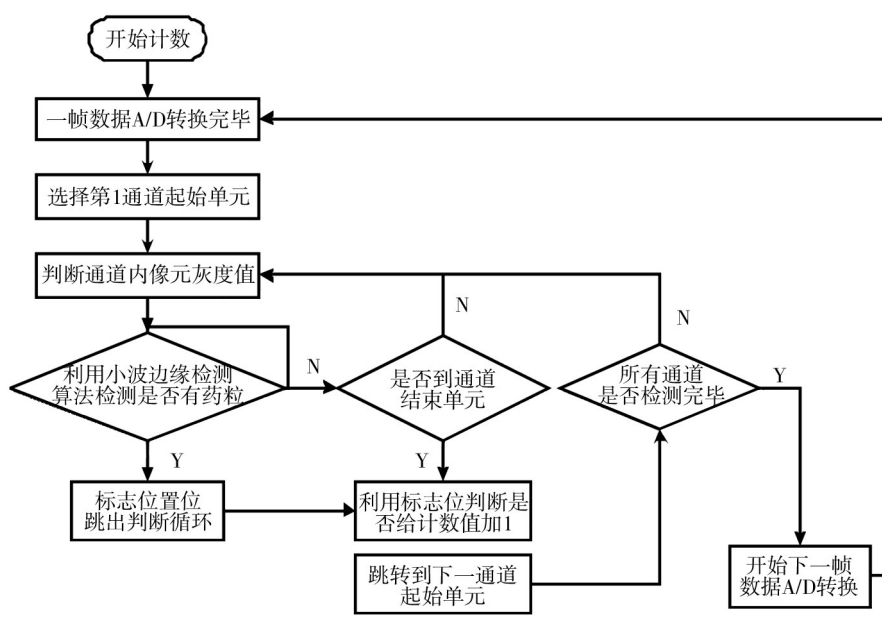


图10 DSP每帧检测原理

Fig 10 Principle diagram of every frame detection by DSP

4 系统运行结果

该控制系统已成功应用于上海某药品包装企业,运行效果良好,可大幅度提高数粒机工作效率,在很大程度上降低了瓶装误差率。系统运行图见图11—12。

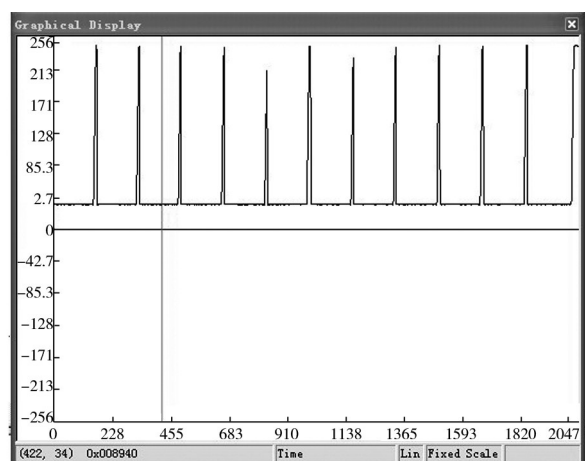


图11 无药粒落下时 CCD 检测到通道灰度直方图

Fig.11 The grayscale histogram when no pill falls from the passage

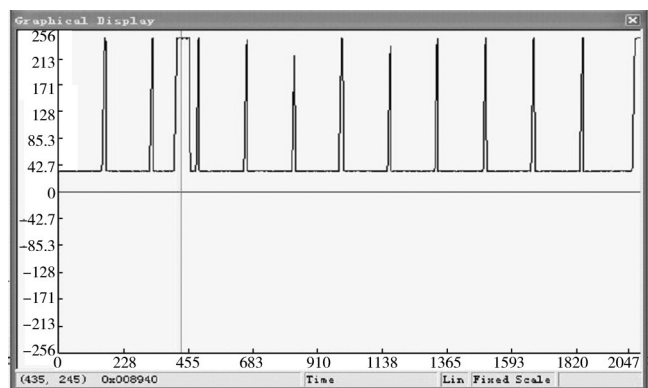


图12 胶囊从第3通道下落时 CCD 检测到的通道灰度直方图

Fig.12 The grayscale histogram when capsules fall from the third passage

由图11—12可以清楚地观察到无药粒通过时和药粒从通道中落下时的区别。根据灰度值的变化规律,程序会自动判断有无药粒从通道落下,并能判断药粒的大小。由此可说明所设计的数粒机检测计数系统可以实时检测并判断有无药粒从通道落下,从而完成对药粒的准确计数。

5 结语

围绕DSP和线阵CCD组建了数粒机的硬件体系,用DSP分别控制CCD、触摸屏、变频电机等设备,设计了数粒机控制系统,完成了数据采集、检测、控制等功能,达到了生产要求,保证了药品包装的质量。采用基于小波变换的边缘检测算法对拍摄到的药粒图像进行边缘提取,给出了图像边缘检测系统的硬件和软件设计方案。设计的数粒机已被应用于实际生产,并远销国外。通过实际生产验证,该数粒机运行稳定,适用于各种规格、形状的颗粒状药品的包装,可以检测药粒、胶囊、透明胶囊等颗粒状物体并计数,检测直径在0.32 mm以上的颗粒,可以连续工作,生产速度达3000~8000粒/分钟。

参考文献:

- [1] 丁维扬,冯首春. 药品颗粒数粒技术发展及应用[J]. 机电工程技术, 2006, 35(4): 80—82.
- [2] DING Wei-yang, FENG Shou-chun. Development and Application of Drug Particles Counting Technology[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2006, 35(4): 80—82.
- [3] 陈广秋,刘树林,周建秋. 基于DSP TMS320F2812的自动套色控制系统的研究与实现[J]. 包装工程, 2010, 31(15): 89—92.
- [4] CHEN Guang-qiu, LIU Shu-lin, ZHOU Jian-qiu. Study and Realization of Automatic Register Control System Based on DSP TMS320F2812[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(15): 89—92.
- [5] YANG N, YANG X Y, WU B, et al. Measure and Control Technology Based on DSP for High Precision Scanning Motor[J]. Journal of Physics, 2006, 48, 269—273.
- [6] 管力明,张新沂,林剑. 基于DSP的印刷品在线监控系统[J]. 包装工程, 2009, 30(6): 51—53.
- [7] GUAN Li-ming, ZHANG Xin-yi, LIN Jian. Print Online Monitoring System Based on DSP[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(6): 51—53.
- [8] 蔡锦达,李祥伟. 高速数粒机控制系统的设计[J]. 包装工程, 2013, 34(3): 72—76.
- [9] CAI Jin-da, LI Xiang-wei. Design of Control System of Hi-speed Grain Counter[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(3): 72—76.
- [10] 齐晓光,隋修武,李大鹏. 基于DSP与线阵CCD传感器的电子数粒机控制系统[J]. 计算机技术与应用, 2012, 38(6):

(下转第132页)

- University, 2009, 31(3):99—101.
- [8] WANG Y, XU H. Colorimetric Characterization of Liquid Crystal Display Using an Improved Two-stage Model[J]. Chinese Optics Letters, 2006, 4(7):432—434.
- [9] 王勇, 徐海松. 液晶显示器颜色特征化的S模型算法[J]. 中国图像图形学报, 2007, 12(3):491—494.
WANG Yong, XU Hai-song. The S Shape Model for LCD Colorimetric Characterization[J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(3):491—494.
- [10] 洪亮, 楚高利. 基于多项式回归模型的显示器特征化研究[J]. 包装工程, 2013, 34(21):85—89.
HONG Liang, CHU Gao-li. Characterization of Display Based on Polynomial Regression Model[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(21):85—89.
- [11] 张显斗, 徐海松. 液晶显示器颜色特征化的分段分空间模型[J]. 光学学报, 2007, 27(9):1719—1724.
ZHANG Xian-dou, XU Hai-song. Piecewise Partition Model for Accurate Colorimetric Characterization of Liquid Crystal Displays[J]. Acta Optica Sinica, 2007, 27(9):1719—1724.
- [12] PO-CHIE H H. Colorimetric Calibration in Electronic Imaging Devices Using a Look-up-table Model and Interpolations[J]. Journal of Electronic Imaging, 1993, 2(1):5.
- [13] 徐海松, 张显斗. 数字图像设备颜色特征化反向变换算法[J]. 浙江大学学报(工学版), 2008, 42(12):169—177.
XU Hai-song, ZHANG Xian-dou. Inverse Conversion Algorithm of Colorimetric Characterization for Digital Imaging Devices[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2008, 42(12):169—177.
- [14] 张显斗. 数字图像颜色复现理论与方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
ZHANG Xian-dou. Study of Color Reproduction Theory and Method for Digital Image[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2010.
- [15] MOROVI J, LUO M R. Calculating Medium and Image Gamut Boundaries for Gamut Mapping[J]. Color Research and Application, 2000, 25(6):394—401.
- [16] 朱明, 李稳柱, 李晓春. 基于分区胞元组介堡模型的图像多色分色研究[J]. 包装工程, 2013, 34(17):92—98.
ZHU Ming, LI Wen-zhu, LI Xiao-chun. Multi-color Separation Based on Subarea Cell Yule-Nielsen Neugebauer Model[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(17):92—98.

(上接第122页)

- 135—137.
QI Xiao-guang, SUI Xiu-wu, LI Da-peng. The Control System of Electronic Counting-machine Based on DSP and CCD Sensor[J]. Computer Technology and its Applications, 2012, 38(6):135—137.
- [7] HE F J, ZHANG R J, DU Z J, et al. Non-contact Measurement of Damaged External Tapered Based on Linear Array CCD[J]. Journal of Physics, 2006, 48:676—680.
- [8] 项大鹏, 杨江, 杨建. 基于CPLD的线阵CCD驱动时序电路设计[J]. 大地测量与地球动力学, 2010, 30(2):123—125.
XIANG Da-peng, YANG Jiang, YANG Jian. Design of Driving Time Sequence Circuit of Linear Array CCD Based on CPLD[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2010, 30(2):123—125.
- [9] YAN W B, ZHAO B. CCD Auto-gain Regulation Based on DSP[J]. Journal of Transducer Technology, 2004, 23(3):74—76.
- [10] 邱超, 陈兴洲. 基于DSP+FPGA的烟包包装缺陷视觉检测系统研究[J]. 包装工程, 2008, 29(7):40—42.
QIU Chao, CHEN Xing-zhou. Visual Inspection System of Cigarette Package Faults Based on DSP+FPGA[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(7):40—42.
- [11] 郭立智, 赵金环. 基于小波变换的边缘检测[J]. 青岛理工大学学报, 2007, 28(2):78—80.
GUO Li-zhi, ZHAO Jin-huan. Edge Detection Based on Wavelet Transform[J]. Journal of Qingdao Technological University, 2007, 28(2):78—80.
- [12] XUE Lan-yan, PAN Jian-jia. Edge Detection Combining Wavelet Transform and Canny Operator Based on Fusion Rules[M]. International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, 2009:324—328.
- [13] RAFAEL C G, RICHARD E W. Digital Image Processing (Second Edition)[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005:9—10.
- [14] 高军, 陶娜娜, 卢秉恒. 基于小波变换的图像边缘检测算法的研究[J]. 包装工程, 2007, 28(11):70—72.
GAO Jun, TAO Na-na, LU Bing-heng. Research on Image Edge Detection Algorithm Based on Wavelet Transformation[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(11):70—72.
- [15] 蔡锦达, 范壁, 何胜军. 基于DSP的线阵CCD式数粒系统的设计[J]. 工业控制计算机, 2009, 22(4):75—76.
CAI Jin-da, FAN Bi, HE Sheng-jun. Design of Linear CCD Counting System Based on DSP[J]. Industrial Control Computer, 2009, 22(4):75—76.