高速数粒机控制系统的设计

蔡锦达，李祥伟
（上海理工大学，上海 200093）

摘要：根据数粒机工作的流程和精度高、响应快的控制要求，设计了以 TMS320F2812 型 DSP 为核心的控制系统，结合线阵 CCD 和 ARM9 微型控制器以及配套硬件，对数粒机的生产流程进行控制。介绍了数粒机控制系统的组成、作用、工作原理以及工作流程。其中，药粒计数检测系统和透明胶囊的准确计数是数粒机控制的难点，也是保证数粒精度的基础。给出了数粒机原理、工作流程、系统运行结果和 CCD 工作时序图，以及自组织竞争型神经网络确定优先级的算法。该控制系统计数准确度高，工作速度快，运行稳定。

关键词：数粒机；DSP；ARM；触摸屏
中图分类号：TB486⁺.03　**文献标识码**：A　**文章编号**：1001-3563(2013)03-0072-05

Design of Control System of Hi-speed Grain Counter

CAI Jin-da, *LI Xiang-wei*
(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: According to the rapid responses and high precision control requirements of grain counter production process, the control system was designed, which was based on the DSP of TMS320F2812, combined with liner array CCD, ARM9 miniature controller and other hardware. The construction, function, working principle, and working flow of the grain counter control system was introduced. Among the subsystems, the subsystem of detection and counting pill and hyaline capsule is the difficult point, which is also the foundation of ensuring the control precision. The schematic diagram, working flow, and operation result chart of the grain counter, the working time sequence chart of CCD, and algorithm of computing the channel priority based on self-organizing neural network were given. The control system has high counting precision, fast working speed and stable operation.

Key words: grain counter; DSP; ARM; touch screen

医药行业的迅猛发展，除了得益于医疗技术的提高之外，也离不开医疗机械的快速发展，而在医疗机械中药品包装机械占有很大比重。目前，与国外的药品包装机械相比，国产的药品包装机械工作速度慢、精度较低、稳定性不高，其在高速度、高精确度的生产条件下稳定工作需要进一步完善技术[1]。

为了尽可能跟上国际先进水平，实现高起点开发，有必要对国产数粒机进行技术革新和产品升级。在分析了现有数粒技术现状和发展趋势的基础上，结合传统光电数粒技术改造的需要以及高精度光电传感器 CCD，ARM 触摸屏技术和 DSP 图像处理技术的发展，开发了更为先进的数粒机系统，对其中的关键技术进行了研究，实现了一个将触摸屏技术、DSP 图像处理技术和线阵 CCD 结合的数粒控制系统。本机生产效率高，每分钟可数 3000～8000 粒，瓶装量可以在 8～9999 粒的范围内自行设定，最小分辨率为 0.25 mm，理论上可用于包装市面上各种规格的颗粒药品或胶囊，实践证明该系统具有高速、计数精确度高、稳定性好、可维护性高等优点。

1　数粒机的工作原理

数粒机控制系统由触摸屏系统、供料系统、计数检测系统、药品入瓶等子系统组成。

收稿日期：2012-06-08；**修改日期**：2012-11-17

作者简介：蔡锦达(1963-)，男，上海人，硕士，上海理工大学教授，主要从事包装机械自动化设计、嵌入式系统开发、运动控制研究以及生物医疗设备控制系统开发研究。

数粒机工作原理见图 1。

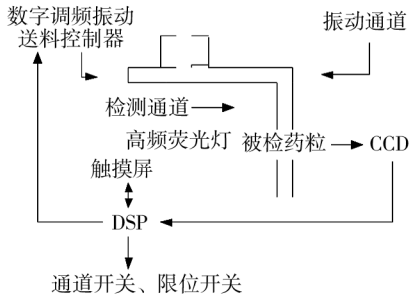

图 1　数粒机工作原理

Fig. 1 Schematic diagram of grain counter

其中,DSP 型号为 F2812,F2812 是 TI 公司的一款用于控制的高性能、多功能、高性价比的 32 位定点 DSP 芯片,最高可在 150 MHz 主频下工作[2];供料机构是向数粒机连续提供药粒并使其逐一进入检测通道的机构;CCD 用来检测药粒,从而完成数粒机的计数过程。

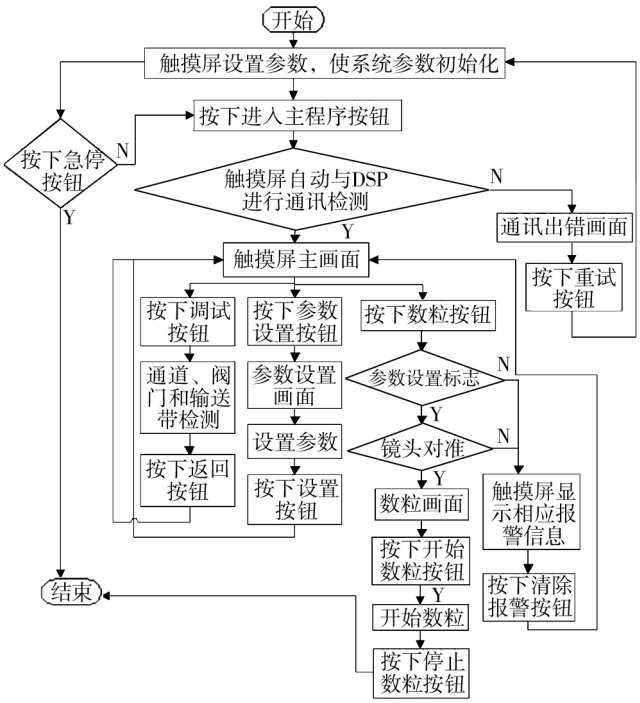

图 2　数粒机的工作流程

Fig. 2 Working flow of the grain counter

2　控制系统设计

2.1　控制系统组成

数粒机的控制系统主要是以 F2812 型 DSP 为控制系统的核心,运用触摸屏作为人机界面。供料系统连续提供药品,使其逐一进入检测通道。

计数检测系统是整个数粒机的核心部分,对药品进行计数。在精度和可靠性都很高的重复性检测任务中, 如药品包装、食品包装、精密制造、自动化等工业领域, CCD 广泛应用于对包装生产流程的监控中[3]。因此,本数粒机的计数检测系统采用 CCD 作为传感器,利用 DSP 对图像数据进行处理以实现精确计数。在检测计数达到系统瓶装量的设定值时,系统控制执行元件快速准确动作,保证装入瓶中的药粒数与瓶装量设定值相同;同时还要控制药瓶在未开始装药、装药过程之中以及装药结束之后按照控制命令快速、准确地移动。触摸屏系统采用本实验室研制的嵌入式触摸系统,使用户可以更加方便地操作该数粒机。数粒机的工作流程见图 2。

2.2　供料系统

供料系统采用三级振动料斗来传输药品,送料的速度由振动频率以及振幅控制。系统对供料速度的控制是通过 DSP 和数字调频振动送料控制器来实现的,振动料斗的频率发生变化可以改变振动料斗的振幅,供料速度也随之发生变化。

输送药品颗粒时三级振动料斗的振动幅度都不同,第一级最小、第二级其次、第三级最大,因此药品颗粒向前运动的速度在第一级振动料斗中最低,以后几级依次增大,这就使得原来堆积在一起的药品颗粒经过三级振动料斗后被分离开来,从而有序地进入到检测通道中。

2.3　计数检测系统设计

计数检测系统包括 12 个检测通道、光源、CPLD 和 CCD。当药粒在通过检测通道时,CPLD 驱动 CCD 产生视频信号,经过运放后由 DSP 进行 A/D 转换,采用边缘检测方法处理图像数据,判断检测通道中是否有药粒,并进行计数。当计数到用户设定值时,DSP 一面控制通道开关关闭,防止下一瓶的药粒进入药瓶,达到药粒缓存的作用;另一方面控制瓶限位开关将已装好的瓶送走,同时将空瓶送入到入瓶位置并定位,然后进行下一轮计数动作[5]。

2.3.1　检测元件

电荷耦合器件(CCD)可以将入射光线转变为信号电荷并且按照像元逐一输出,具有量子效率高、频谱响应宽以及数据易于处理等特点。CCD 分为线阵

和面阵两种。在实际运用中,采集与处理线阵 CCD 输出信号是实现测量的关键[4]。

数粒机系统采用的 CCD 为东芝公司生产的 TCD1209 黑白线阵 CCD。为了保证 TCD1209 精确稳定地工作,必须设计符合其工作所要求的各种脉冲[5]。各脉冲的同步关系见图 3,TCD1209 各管脚部分别为移位脉冲输入端 SH、复位脉冲输入端 RS、箝位脉冲输入端 CP、视频信号输出端 OS、电源 OD 地 SS、象元转移脉冲输入端。SH 移位脉冲的上升沿对应于 CCD 有效视频输出的开始,而两个 SH 之间的时间即为实际的积分时间。RS,CP, 这些脉冲用于各象元充放电的时序控制,当 SH,RS,CP 等驱动能满足图 3 所示时序关系,TCD1209 就能正常工作。

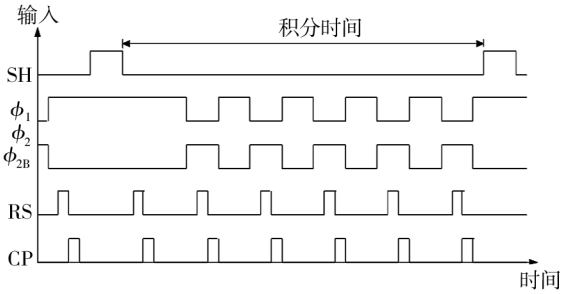

图 3 CCD 工作时序图

Fig. 3 Working time sequence chart of CCD

2.3.2 检测结果

CCS3.3 是 TI 公司的 DSP 开发环境,其对用户提供了强大的调试功能,用户可以使用其中的 Graph 图形化显示程序中变量的值[6]。

系统运行时检测 5.6 ~6.0 mm 透明胶囊从第三通道下落时的灰度见图 4,从图 4 可以看出像素 435

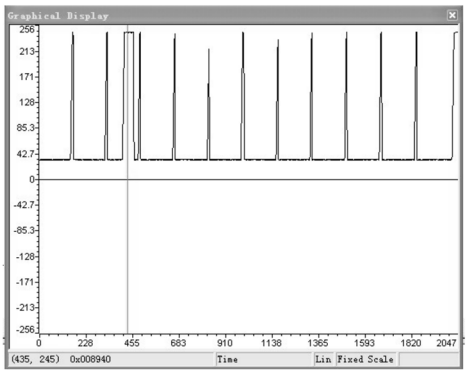

图 4 系统运行结果

Fig. 4 Operation result of the system

处有凸出,判断有一颗药粒下落,完成一次计数。

2.3.3 透明胶囊检测方法

数粒机工作前预先设置透明胶囊计数的透明忽略参数 k;在振动料斗的振动下,透明胶囊逐粒进入检测通道;线阵 CCD 配合高频荧光灯用于检测通道中是否有胶囊,当透明胶囊进入检测通道时,就会遮住高频荧光灯的部分光,使得 CCD 在对检测通道进行扫描的过程中采集到的信号灰度值发生变化;DSP 检测系统通过分析 CCD 采集到的信号灰度值的变化情况可以判断是否有透明胶囊落下。若为普通药粒此时计一次数,由于透明胶囊的透光性 ,一粒透明胶囊可能被计 n 次;若 n 小于等于 k,则 n 自加 1;若 $n>k$,则为一粒透明胶囊,计数器加 1。

2.4 检测通道优先级的确定算法

2.4.1 固定优先级确定法

固定优先级确定法:顾名思义,在数粒机进行工作前首先固定各通道的优先级,用户可以自己设定,当机器工作时,在同一时刻有多粒药从不同的通道落下时,系统根据通道的固定优先级,将优先级别比较高的几个通道中的药粒确定为此瓶药的最后几粒药,剩下的通道中的药粒作为下一瓶的药,除了最后几粒药所在的通道阀门不关闭之外,其余阀门全部关闭,以起到药粒缓存和最后几粒药顺利落入瓶中的作用。

用户可以在实际使用时自己设定通道优先级,通过实际使用确定最佳使用效果,其标准为最后几粒药经常出现的几个通道为高优先级。

2.4.2 自组织竞争型神经网络确定优先级的算法

固定优先级是通过工人不断使用的经验确定通道优先级,并且工作中优先级不可变。现在讨论一种可变优先级的算法,运用自组织竞争型神经网络不断更新通道优先级,达到某一时刻的最优优先级组合。

自组织神经网络可以通过对客观事件的反复观察,分析与比较,自行提示其内在规律,并对具有共同特征的事物进行正确分类。此种网络与人脑中生物神经网络的学习模式类似,即可以通过自动寻找样本中的内在规律和本质属性。自组织、自适应地改变网络参数与结构,这也是自组织名称的由来,自组织神经网络的学习规则大都采用竞争型的学习规则[7-8]。

竞争型神经网络的基本思想是网络竞争层的各个神经元通过竞争来获得对输入模式的响应机会,最后仅有一个神经元成为竞争的胜利者,并将与获胜神经元有关的各连接权值向着更有利于其竞争力的方向调整。

竞争型神经网络有很多具体的形式和不同的学习算法,本系统采用一种较简单的网络结构和学习算法,其网络结构见图5。

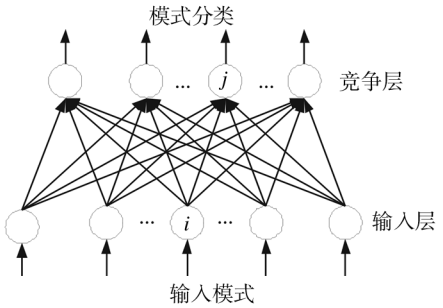

图5　基本竞争型神经网络结构

Fig. 5 The structure of basic competition neural network

竞争网络可以分为输入层和竞争层。假定输入层由 N 个神经元构成,竞争层有 M 个神经元。网络的连接权值为 $\omega_{ij}(i=1,2,\cdots,N,j=1,2,\cdots,M)$且满足约束条件,见式(1)。

$$\sum_{i=1}^{N}\omega_{ij}=1 \tag{1}$$

在竞争层中,神经元之间相互竞争,最终只有一个神经元获胜,以适应当前的输入样本。竞争胜利的神经元就代表着当前输入样本的分类模式。竞争型网络的输入样本为二值向量,各元素取值0或者1[7-8]。竞争型神经元 j 的状态可以按式(2)计算。

$$S_j=\sum_{i=1}^{N}\omega_{ij}x_i \tag{2}$$

式(2)中,x_i 为输入样本向量的第 i 个元素。根据竞争机制,竞争层中具有最大加权值的神经元 k 赢得竞争胜利,输出为:

$$a_k=\begin{cases}1 & s_k>s_j,\forall j,k\neq j\\ 0 & \text{else}\end{cases} \tag{3}$$

竞争后的权值按照式(4)进行修改,对于所有的 i 都有:

$$\omega_{ij}=\omega_{ij}+\alpha\left(\frac{x_i}{m}-\omega_{ij}\right) \tag{4}$$

其中,α 为学习参数,$0<\alpha<1$,m 为输入层中输出为1的神经元个数,即 $m=\sum_{i=1}^{N}x_i$。权值调整公式中的 $\frac{x_i}{m}$ 项表示当 x_i 为1时,权值增加;而当 x_i 为0时,权值减小。由于所对应的权值的和为1,所以当第 i 个权值增加或减少时,对应的其他权值也可能减小或增加。此外,该公式还保证了权值的调整能够满足所有权值调整量之和为0。

运用自组织竞争型神经网络不断更新通道优先级,其过程为:首先从12个通道中确定优先级最高的通道,然后依次确定次优先级的通道,利用Matlab对自组织竞争型神经网络算法进行分析验证。以确定最高优先级通道为例,其他通道的优先级确定方法相同。

根据实验测量出60组样本数据,分成12类,每一类对应一个通道,每组样本数据包括振动频率、药粒尺寸、药粒性质、光照强度等因素。

实验结果对比见表1。

表1　通道优先级的确定

Tab. 1 Determination of channel priority

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
实际通道	5	4	7	7	7	7	7	5	4	7	4	7	12	4	7
预测通道	4	6	7	7	8	9	7	5	4	6	11	8	10	4	7
编号	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
实际通道	7	2	7	5	12	12	9	3	3	3	12	12	11	10	3
预测通道	8	3	7	5	11	12	9	3	3	2	10	12	11	10	4
编号	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
实际通道	2	10	7	9	8	2	6	5	12	4	2	8	7	4	4
预测通道	2	10	7	8	8	2	5	5	10	4	2	9	7	4	3
编号	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
实际通道	7	4	4	5	5	7	7	5	1	4	1	2	7	4	4
预测通道	7	5	4	5	5	7	7	5	2	4	1	2	7	3	4

曲线如图6,7所示。

由以上分析得到,其预测正确率达到63.3%。

2.5　药品入瓶设计

药品入瓶系统由药品通道阀门、限位开关、输送

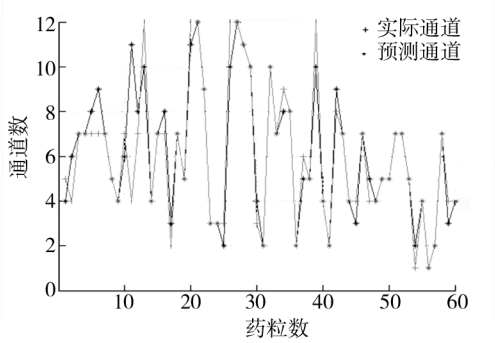

图6 自组织竞争型神经网络确定通道优先级曲线

Fig. 6 Channel priority curves based on self-organizing neural network

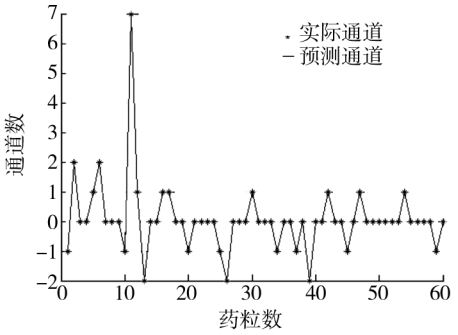

图7 自组织竞争型神经网络确定通道优先级误差曲线

Fig. 7 Error curve of channel priority based on self-organizing neural network

履带以及光电检测传感器组成。输送履带在系统上电时启动,以恒定的速度运动。光电传感器将信号送入 DSP 的输入输出口,使 DSP 可以判断履带上是否有足够的药瓶;同时 DSP 利用输入输出口控制通道阀门及限位开关,使其在装药过程中稳定工作。

3 结语

针对数粒机的特点,设计了基于 TMS320F2812 型 DSP 的数粒机控制系统,用 DSP 分别控制 CCD、控制板、变频电机等设备,可以达到生产要求,保证药品包装的精度和质量。利用自制的触摸屏设置瓶装量、最大缓存量等生产参数、显示相关报警信息,在一定程度上降低了工人的操作强度,提高了控制系统生产效率以及工作时的可靠性,基于本控制系统的高速数粒机已经被应用于实际生产,并出口至欧美等发达国家,这对国内包装机械行业来说是一个质的飞跃。

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.
DING Wei-yang, FENG Shou-chun. Development and Application of Pills Counter Technology[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2006, 35(4): 80-82.

[2] Texas Instruments Inc. TMS320F2810, TMS320F2812 Digital Signal Processor Data Manual[R]. Literature Number SPRS174I, 2003(7): 24-34.

[3] 薛利军,张虎,李自田. 一种 CCD 光电智能检测系统的研究[J]. 包装工程,2004,25(1):30-31.
XUE Li-jun, ZHANG Hu, LI Zi-tian. The Development of a CCD Photoelectric Intelligent Survey System[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(1): 30-31.

[4] 赵凯生,刘爽,龙再川,等. 基于嵌入式 Web 服务器的科学级 CCD 数据采集系统[J]. 光电子·激光,2006,17(12):1470-1473.
ZHAO Kai-sheng, LIU Shuang, LONG Zai-chuan, et al. Scientific Grade CCD Data Acquisition System Based on Embedded Web Server[J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2006, 17(12): 1470-1473.

[5] Toshiba Inc. TCD1209D Image Sensors. TCD1209D Data Sheet[Z]. 2001.

[6] 苏奎峰,吕强,耿庆峰,等. TMS320F2812 原理与开发[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2008.
SU Kui-feng, LYU Qiang, GENG Qing-feng, et al. Principle and Development of TMS320F2812[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2008.

[7] GU D, HU H. Wavelet Neural Network Based Predictive Control for Mobile Robots[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. 2000: 3544-3549.

[8] HAM F M, KOSTANIC I. Principles of Neurocomputing for Science & Engineering[M]. New York: McGraw-Hill Companies, Inc, 2001.