

基于 DM6437 的模具保护系统的设计与实现^①

邢科新^{②*} 林叶贵 俞 立 姜旭飞

(浙江工业大学信息工程学院 杭州 310023)

摘 要 为了对注塑机生产过程中存在的异物残留、滑块错位、脱模不良等异常情况进行实时监控,以满足对注塑模具的自动保护,设计并实现了一种基于 DM6437 微处理器的新型模具保护系统。使用 Candence 软件完成了 DSP 控制板高速电路部分的仿真及其硬件设计,考虑到实际生产中现场噪声、阴影以及机械振动造成的图像偏差,设计了基于 FAST-9 快速角点检测的匹配算法,以完成图像的实时配准,并与传统的模板匹配算法进行了比较,最后通过实验验证了硬件系统的可靠性和软件算法的有效性。

关键词 模具保护器,高速电路,快速角点检测,图像配准

0 引 言

近年来随着塑料制品应用领域的不断扩大,全球对注塑机的需求呈现持续大幅攀升的趋势。为了对注塑机生产过程中存在的异物残留、滑块错位、脱模不良等异常情况进行实时监控以实现模具的自动保护,模具保护器被大量引入注塑行业中。这是一种基于图像处理技术的监控系统,它极大提高了注塑模具的安全性和工作效率,降低了修模成本和工作人员的劳动强度。但是,目前的模具保护器还存在成本较高、操作复杂、漏检、误检率高等缺点,主要表现在硬、软件两个方面。从硬件角度而言,现有的模具保护器普遍选择工控机作为主控单元,而工控机一般都没有数字 IO 接口,为了与注塑机交互控制信号,必须对标准的工控机进行改造,增加 IO 扩展接口;另外,工控机也没有标准的模拟相机接口,必须增加图像采集卡或者直接与数字相机相连接。因此,整个系统硬件成本比较高,系统可扩展性也较差。从软件角度而言,目前引入的模具保护器功能都比较单一,内部的图像处理算法相对简单,智能化程度较低,导致需要复杂的人工操作和经验来保证其结果的正确性,例如运行前的样本学习,报错后的经验学习、多模板的选择、检测区域及一些参数的人工选择问题等。这些都极大地依赖于现场的环境和

操作人员的经验。针对模具归位不准、机械振动造成的图像偏差问题,厦门大学的詹长明采用了基于灰度的模板匹配方法来解决^[1]。但这种算法对光照变化缺乏鲁棒性,而且算法时间和空间的消耗都比较大。浙江大学的毛峰等人则利用小波分析方法解决几何偏差的问题,通过图像数据散布图分析解决光照变化带来的影响,取得了较好的效果,但算法的实时性有待进一步提高^[2]。

本文采用 DM6437 处理器属 TI 公司 2006 年推出的专门为高性能、低成本视频应用开发的主频 600MHz、32 位定点 DSP 达芬奇 (DaVinci (TM)) 技术处理器系列 TMS320DM6437,具有很强的处理能力,而且接口丰富^[3]开发了一套新型嵌入式模具保护系统,而且,考虑到现场噪声、阴影以及机械振动造成的图像偏移的影响,结合 FAST-9 快速角点检测算法^[4,5]实现了一种基于角点特征的匹配算法,并进行了实验的验证。结果表明,设计的硬件系统能可靠运行,所提出的算法能获得准确的配准结果,对缩放、小尺度的旋转和光照等变化具有鲁棒性,并具备良好的实时性。

1 系统架构及工作原理

如图 1 所示,系统硬件架构分为 5 部分:数字信号处理 (DSP) 核心控制板、CCD 工业摄像机、信号转

① 国家自然科学基金 (61202203) 和浙江省自然科学基金 (LY12F01023) 资助项目。

② 男,1977 年生,博士;研究方向:图像处理,视觉伺服控制;联系人,E-mail: xkx@zjut.edu.cn
(收稿日期:2013-03-06)

接板、触摸式液晶屏和备用键盘。

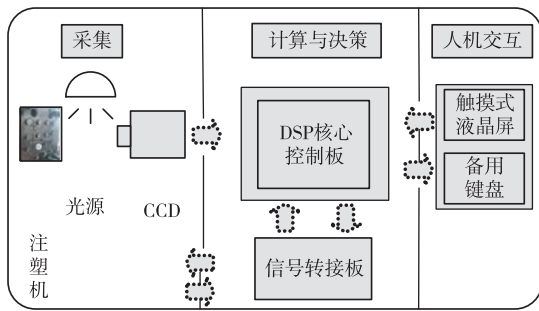


图1 系统架构框图

系统工作原理如下:在一个完整的模具成型周期内,当注塑机运行至开模到位时,输出信号触发模具监控系统,系统通过 CCD 摄像机对模腔连续取像,同时经由信号转接板采集开模到位、顶针到位、安全门等注塑机工作状态,进而由 DSP 核心控制板对监控图像进行分析和处理,消除由于现场噪声、光线、阴影以及机械振动等因素造成的影响。通过比较确定是否存在成型产品残缺,如有异常则报警,否则继续。当注塑机顶针顶出后,再次采集图像,监控顶针是否将成型工件顶出并下落,当监控到工件完全下落则发出允许信号反馈给注塑机以开始下一个周期;如在设定时间内工件尚未落下或模具间有杂物时,则发出异常信号,停止注塑机动作并报警。系统的参数设置、报警状态信息及实时监控画面则由触摸式液晶屏提供。

如图 2 所示,核心控制板是硬件平台的主体,控制板采用叠加式架构,通过上下两个总线插槽将 DSP 最小系统板和外扩板衔接起来,以减少系统体积。外扩板包括视频图像输入模块、视频图像输出模块和存储管理模块^[6]。视频图像输入模块采用

TVP5150 芯片设计解码电路,把标准 25 帧/秒的视频图像流转化为 8 位的 ITU - R BT. 656 格式的视频图像数据;视频图像输出模块支持复合视频信号 (CVBS) 与视频图形阵列 (VGA) 两种模拟信号输出,输出的视频图像也可以经过压缩算法编码后通过 10/100M 以太网口输出到远端主机进行存储或进一步处理;在存储管理模块中,系统通过 32 位 EMIF 总线扩展 256M 字节的 DDR2 同步动态随机存取存储器 (SDRAM),同时由外部存储器接口 (EMIF) A 扩展 4M 字节的 flash,用以存储图像数据和执行代码。信号转接板完成注塑机与 DSP 核心控制板之间信号输入输出的电平转换。交互式人机界面则结合 DM6437 视频处理后端 (VPBE) 的屏幕显示 (on-screen display, OSD) 窗口管理,并根据 GUI 分层原理 (GUI 界面分为硬件驱动层、基本图形层,高级接口层) 设计用户操作界面,效果如图 3 所示。界面菜单包括检测区域选择、参数设置、系统学习和触摸屏校正等选项,状态栏则显示系统状态信息,包括报警、I/O 口及算法运行时间等状态信息。

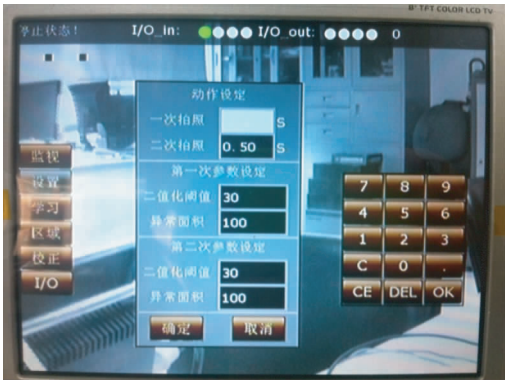


图3 人机交互界面

2 关键问题的突破

实际应用中要求模具保护系统具备实时检测和精确定位的特点,本系统采用工作主频高达 700MHz 的 TMS320DM6437 处理器和工作频率为 266MHz 的高速 DDR2 存储器,因此系统的高速电路设计成为关键问题之一。另一方面,现场环境复杂,光照变化及机械振动、模具归位不准所造成的目标图像与样本图像之间偏移对系统影响较大,因此设计具有较好实时性和鲁棒性的图像配准算法是系统实现的另一个关键问题。

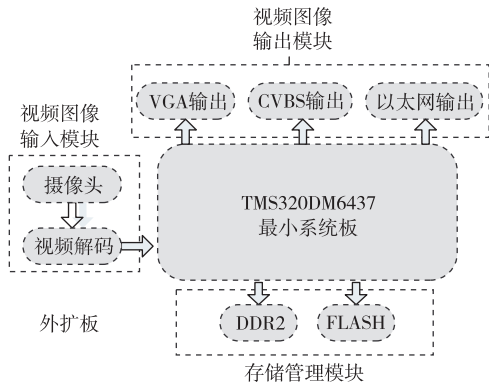


图2 DSP 核心控制板

2.1 高速电路设计

高速电路设计包括信号完整性设计、电源完整性设计、电磁兼容性设计等,其中信号完整性设计是现代高速电路设计中最为关键的部分,它是指信号在传输线上的质量,包括信号的反射(reflection)、传输延时(propdelay)、过冲和下冲(overshoot & undershoot)、地弹(ground bounce)、串扰(crosstalk)、电磁辐射(EMI, radiation)等指标^[7,8]。硬件系统在高时钟频率下工作,数据有效窗口迅速减小,信号的完整性就越差,如果处理不当就会导致相关时序失配,系统工作不稳定。

信号产生反射的主要原因是传输线上的阻抗不匹配,反射系数 ρ 由反射电压同输入电压的比决定,用传输线上的阻抗表示为

$$\rho = \frac{V_{\text{reflected}}}{V_{\text{input}}} = \frac{R_l - Z_0}{R_l + Z_0} \quad (1)$$

其中 R_l 为终端负载电阻; Z_0 为传输线的特征阻抗,近似表示为 $Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$,其中 L 为单位长度导体的串联电感, C 为单位长度导体的并联电容。

因此在绘制硬件电路板之前需要对电路的高速部分——处理器与 DDR2 数据总线、地址总线和控制总线之间的互联线进行仿真和综合,以解决实际电路上信号完整性问题,确保处理器能对 DDR2 进行正确的读数据和写数据。在 PCB 设计中,采用 Cadence16.3 软件中的 SigXP 和约束管理器(constrain manager, CM)这两个高速仿真工具,利用器件的 IBIS 模型来分析信号的完整性,并对关键信号的拓扑结构和阻抗匹配进行优化设计和仿真。本文以信号的反射仿真分析为例说明高速电路的信号完整性分析。

2.1.1 DM6437 和 DDR2 互联拓扑结构的仿真分析

本设计采用 DM6437 处理器互联两片 DDR2,每片 DDR2 包含 16 位数据总线,共 32 位;共享地址总线和控制总线。数据总线是点对点的拓扑结构,连

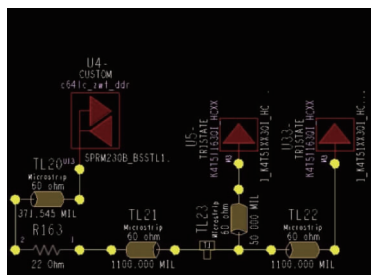


图4 菊花链结构图

接简单。而地址总线和控制总线存在一个拓扑结构的选择问题。菊花链结构和远端簇结构是两种常见的拓扑结构。图4为菊花链结构,图5为远端簇结构。

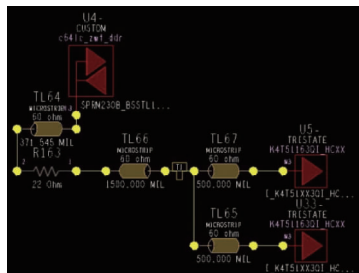


图5 远端簇结构图

发射端为 DM6437 的地址线 A1 脚,接收端为 DDR2 的地址线 A1 脚,激励信号为 125MHz 的 SYNC 模式,60Ω 的微带线模型,电介常数为 4.5,厚度为 8mil。分别在两种不同的拓扑结构下进行了仿真,其结果见图6。

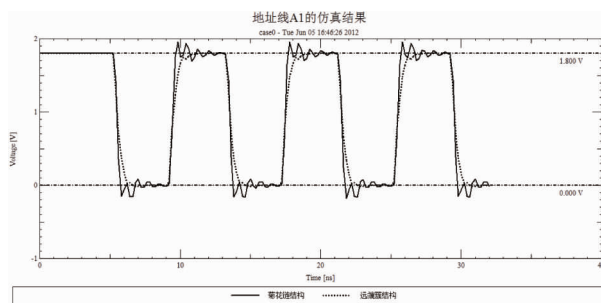


图6 菊花链和远端簇结构下地址线 A1 的仿真结果

从图中可以看出,在相同的 22Ω 端接电阻下,菊花链结构信号产生了振铃现象,噪声容限值较小,信号反射在波形的 High Side 和 Low Side 都产生了严重的过冲,相比较之下远端簇结构信号波形比较平滑,上升沿和下降沿保持高度的单调性和最大的噪声容限,所以远端簇拓扑结构更能满足系统的设计要求。这是由于在菊花链结构中控制器信号到达每个 DDR2 的时间不同,导致信号的反射叠加。

2.1.2 反射问题的仿真分析

对发射端为 DM6437 的数据线 D7 脚,接收端为 DDR2 的数据线 D7 脚进行点对点拓扑结构的信号反射仿真。以 60Ω 的微带线作为传输线模型,电介常数为 4.5,厚度为 8mil。在不同的端接电阻情况下进行了仿真,仿真结果如图7。

从仿真波形上可以明显的看出,在无任何处理

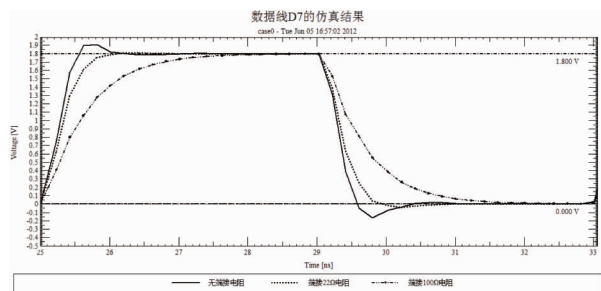


图7 数据线 D7 在不同端接电阻下的仿真结果

的情况下(如图7实线部分),由于数据线 D7 传输路径的阻抗不连续,即终端负载电阻 R_L 和传输线上特征阻抗 Z_0 相差较大,使(1)式中的反射系数增大,导致信号的波形发生畸变产生过冲现象。信号跨越逻辑电平门限从而导致逻辑功能紊乱。减少信号反射的一种有效方法是在电路中串联一个端接电阻,使整个传输路径尽量保持阻抗的一致连续性,从而降低过冲值,甚至完全消除。这种解决办法叫源端匹配法。它的优点是不增加额外功耗,同时在使用驱动高容性负载时,可对驱动元件提供限流作用,这种限流可以改善由于大负载电流引起的电源完整性问题,实现代价也不高。但是它也存在缺陷,增加了 RC 的时间常数,从而减缓了负载端信号的上升时间,严重时会影响信号的有效带宽。如图7中的点划线所示,当端接电阻为 100Ω 时,信号上升过程被严重衰减。

从仿真波形比较中可以得出结论,增加端接匹配电阻后信号的质量有了明显的改善,但是随着匹配电阻的加大信号衰减严重,因此需要合理选择端接电阻的大小。在 Cadence16.3 中可以通过对参数范围进行设置,之后运行参数扫描,缩小设计空间,最后找到系统正常工作的最健壮参数组合,应用到系统设计中。最终设计的核心板 PCB 图和实物图,如图8和图9所示。

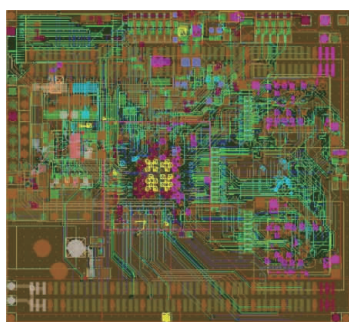


图8 PCB 设计图

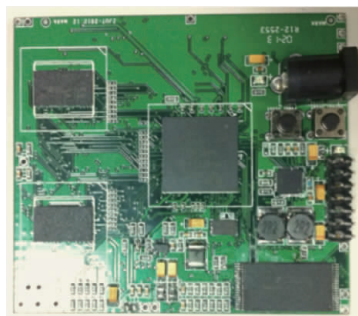


图9 实物图

2.2 图像的快速配准算法设计

传统图像模板匹配算法的基本思想^[9]是在参考帧中选取一个 $n \times n$ 大小的模板,在当前帧的搜索区域(搜索区域限定了两个方向上的最大偏移量 p)内,运用图像灰度差的绝对值之和最小准则进行匹配,从而获得最优的相对运动偏移量,如图10所示。但这种传统方法的匹配精度取决于选择模板的大小,并且容易受到现场各种噪声影响^[10]。而本文则采用一种改进的图像特征快速配准算法:利用 FAST-9 快速角点检测方法改进基于模板的绝对差值和(sum of absolute difference, SAD)算法。

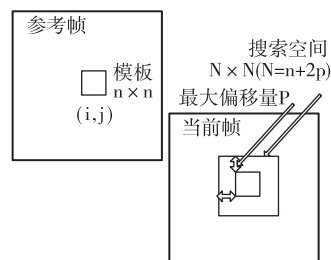


图10 传统匹配算法

FAST 算法是 Edward Rosten 和 Tom Drummond 提出的一种简单快速的角点检测算法。该算法的角点定义为在图像中的任意像素点周围邻域内有足够多的像素点灰度值大于或者小于该点的灰度值。该算法的优点主要表现在以下两个方面:一、特征检测速度远远高于其他特征点的检测算法,如 DOG、SUSAN、Shi-Tomasi 和 Harris 等算法^[11];二、采用机器学习和非极大值抑制优化后的 FAST 算子,取得的特征点可重复性也更高。改进后的匹配算法具体流程如图11。

算法步骤:

(1)关键点的检测:

利用 FAST-9 快速角点检测方法分别获取实

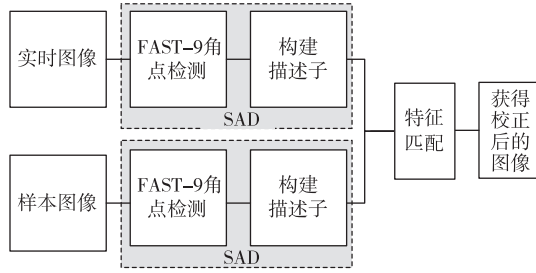


图 11 基于特征图像的快速配准算法流程

时图像和样本图像关键点。具体步骤:首先以当前像素点 p 为圆心,构建半径为 3 的森汉姆圆圈,如图 12 所示,然后比较圆心点 p 与周围圆圈上的点 $x \in (1, 2, 3, \dots, 16)$ 的像素灰度值,若有连续 n (本文 $n=9$) 个圈上点都比圆心点像素值高或者低一个阈值 t (本文 $t=50$),则认为该点为关键点。 x 与 p 之间的关系可表示为

$$S_{p \rightarrow x} = \begin{cases} d, & I_{p \rightarrow x} \leq I_p - t & \text{darker} \\ s, & I_p - t \leq I_{p \rightarrow x} \leq I_p + t & \text{similar} \\ b, & I_p + t \leq I_{p \rightarrow x} & \text{brighter} \end{cases} \quad (2)$$

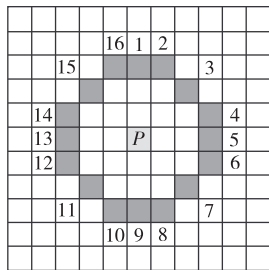


图 12 快速图像特征点提取

其中, $I_{p \rightarrow x}$ 表示圈上像素点灰度值, I_p 为圆心灰度值。以选择的特征点为中心,将其森汉姆圆圈上的点保存为规范化的 16 维描述子 $L = (l_1, l_2, \dots, l_{16})$ 。

(2) 计算特征描述子间的灰度差的绝对值之和:

为满足系统对匹配实时性的要求,采用 SAD 算子计算实时图像与样本图像特征描述子之间相似度,如式

$$S_{\text{SAD}}(R_i, C_j) = \sum_{k=1}^{16} |r_{ik} - c_{jk}| \quad (3)$$

所示。其中 $R_i = (r_{i,1}, r_{i,2}, \dots, r_{i,16})$ 表示样本图像中特征点描述子; $C_i = (c_{i,1}, c_{i,2}, \dots, c_{i,16})$ 表示实时图像中特征点描述子。

(3) 特征匹配:

结合最近邻匹配法,当实时图像的特征点描述

子与样本图像的特征点描述子相似度的最小值和次小值之比小于一个阈值 α (本文 $\alpha=0.3$) 时,则认为匹配成功,公式可表示为

$$\frac{S_{\text{SAD1}}(R_i, C_j)}{S_{\text{SAD2}}(R_i, C_p)} < \alpha \quad (4)$$

其中 R_i 为模板图中关键点描述子, C_j 为实时图中最近邻点描述子, C_p 为实时图中次近邻点描述子。这种增强型的匹配算法,加快了特征提取速度,有效提升了特征匹配效率。得到图像特征点的匹配信息后,构建特征点的匹配对。由于在特征匹配时存在阈值选取和各种误差,会导致特征点的误匹配,因此本文采用一种鲁棒性的参数估计方法——RANSAC 法^[12]剔除误配点。

(4) 获得校正后的图像:

考虑模具监视系统中只存在旋转和平移的几何变化,若特征点 $p(x_1, y_1)$ 和 $q(x_2, y_2)$ 是匹配的特征点对,则存在变换关系:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \cos \theta & -r \sin \theta \\ r \sin \theta & r \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix} \quad (5)$$

即

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中 M 表示为

$$M = \begin{bmatrix} r \cos \theta & -r \sin \theta & dx \\ r \sin \theta & r \cos \theta & dy \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

其中 θ 为旋转因子, r 为缩放因子, dx 和 dy 分别表示图像横纵坐标上的偏移量。本文通过最小二乘法获得 M 中的各个参数,并最终利用这些参数校正实时图像。

3 实验分析

为了验证硬件系统的可靠性和软件算法的有效性,对现场采集的图像进行了相关的测试,主要包括鲁棒性、实时性、配准效果及配准精度等测试,最后得到不同类型注塑机下稳定的实验结果。

(1) 鲁棒性测试

针对现场图片成像质量和光照强度变化的问题,随意选取了一组成像模糊和一组光照发生明显变化的图片。如图 13 所示,特征点的匹配结果用连线标明。测试表明,该算法在成像质量不高或者光照影响的情况下都取得了较佳的匹配效果。这是由

于该算法以角点作为关键点,并选用 16 维描述子描述关键点的图像信息。

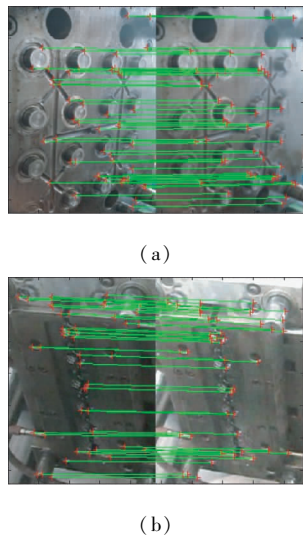


图 13 鲁棒性测试:(a)模糊图像;(b)光照变化图像

(2) 模具配准效果及实时性测试

选取一组未知几何偏差的模具图片,如图 14,左侧为背景图,而右侧当前帧中存在未脱模的模具,对当前帧分别采用 SAD 算法和本文改进的 SAD 匹配算法进行测试,得到变换参数如表 1 所示。

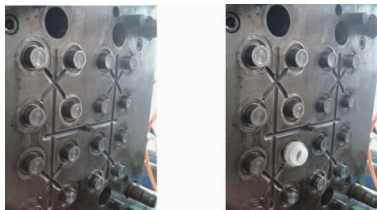


图 14 模具图像

从表 1 数据中可以看出,运用模版匹配算法得到的参数与实际值存在像素偏差,且运行时间也较长,计算一帧图像大约需要 5s 的时间,实时性较差;采用改进之后的 FAST-9 特征匹配算法,参数与真实值几乎相同,运算速度是原来的 10 倍,满足图像

表 1 两种方法的计算参数与时间

实验组	旋转 角度	缩放 比率	x 轴 偏移量	y 轴 偏移量	运行 时间(s)
SAD	/	/	4	6	4.816
本文算法	0.276	1.000	5.106	5.079	0.401
实际偏移	0.3	1	5	5	/

处理实时性的要求,大大减少了计算量,而且它还可以计算图像由于现场震动造成的旋转和缩放量。

图 15 给出了图 14 右侧存在未脱模的模具图像配准前后差分效果对比图,并进行了二值化处理。结合表 1 和图 14 可知,其中左图没有经过图像配准,出现了大量虚假检测目标,对差分图像带来明显的干扰,甚至影响检测结果。而右图经过本文算法校正后,图像间只是出现微小的偏差,从而有效解决了图像偏移造成的干扰,说明本文算法可以有效解决模具监视系统中的图像几何偏差问题。



图 15 配准前后差分图像对比

(3) 配准精度测试

本文以图 14 中左侧图像为基准来说明图像配准的准确性,对算法在旋转、平移和缩放变化下的配准精度做了测试,最终得到预设值和计算值之间的比较如表 2 所示。

表 2 计算值与实际值比较

实验组		旋转角度	缩放比率	x 轴 偏移量	y 轴 偏移量
组 1	实际值	0.5	1	7	5
	计算值	0.492	1.000	6.932	5.074
组 2	实际值	0.6	1	6	5
	计算值	0.588	1.012	6.262	4.995

从表 2 比较预设值和实验值可知:在旋转、平移和缩放变化下,仍然可取得比较高的精度。这是由于本文采用最近邻匹配法进行特征匹配,并用 RANSAC 法剔除误配点。测试表明:本文的图像快速配准算法适用于几何变化下的图像校正。但值得注意的是,本文所采用的特征描述子本身不具备旋转不变性,因此只能适用于小范围的旋转变换,但是对于模具保护器这种应用场合已经足够。

(4) 实验结果

在不同类型的注塑机中,该模具保护器都能实时检测注塑机工作是否异常,包括异物残留、滑块错

位和脱模不良等。实际测试中,每次采集 10 个运行周期的数据,一共进行 300 次采集,完成了 3000 组数据的采集和处理,其中 7 组采集图像及处理结果

见图 16 - 图 18:第 1 组为异物残留,第 2、4 组为脱模不良,剩余 5 组为正常情况;而滑块错位在工业现场中很少出现,因此在现场测试中没有采集到该情况。

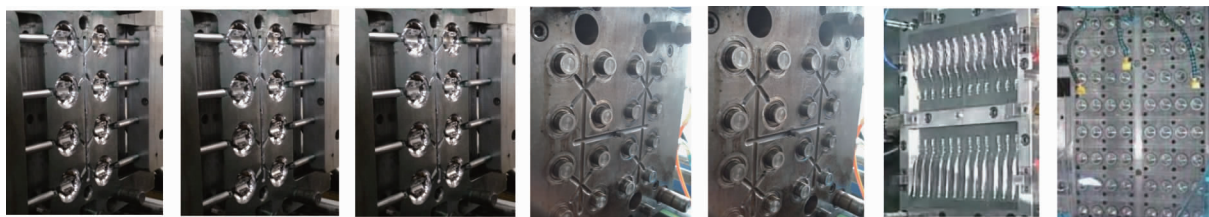


图 16 背景图

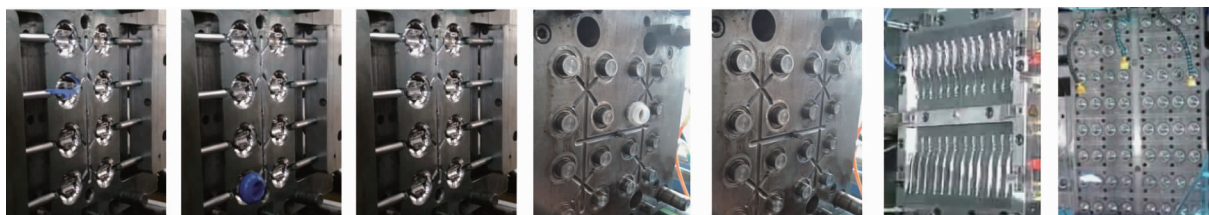


图 17 当前图

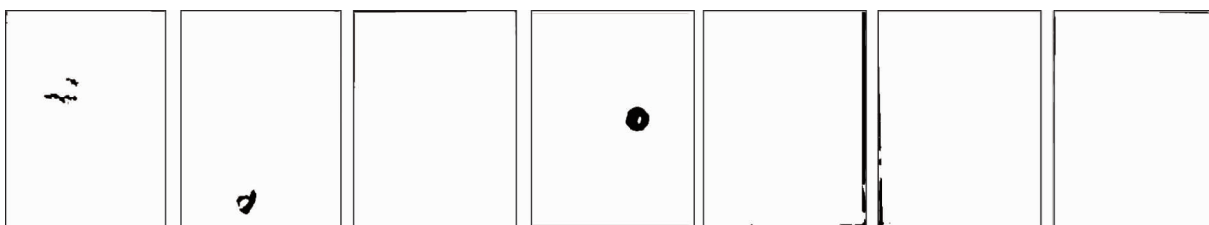


图 18 检测结果图

在注塑机打开模腔后,模具的位置基本固定,检测的区域也较为稳定。通过 Otsu 算法对差分后图像进行异常信息分割,分割结果结合形态学滤波去除干扰,然后采用区域生长法对二值图像联通域进行标记和测量,最后根据位置和面积判断异常情况,并得到异常区域轮廓用绿色线条在界面栏标出,如图 19,同时在状态栏用红色圆圈警示异常。



图 19 显示异常

4 结 论

为实现对注塑模具的自动保护,本文采用 DM6437 处理器开发了一套新型的嵌入式模具保护系统。并将基于 FAST-9 特征的图像匹配算法应用于图像偏差的检测,该方法不仅克服了图间错位对图像差分带来的影响,而且具有较好的光照鲁棒性和实时性。未来的研究工作可在此基础上进一步完成核心处理算法汇编程序设计和算法优化,进一步提高算法的实时性,真正实现低成本、智能化和高实时性的模具保护设备。

参考文献

- [1] 姚俊峰,詹长明,Hung Chih-Cheng. 基于位置补偿技术的模具监视系统. 计算机工程,2010,36(9):238-242
- [2] 毛峰,张树有,黄长林. 图像散布图和小波多分辨率分

- 析的模具异物检测. 浙江大学学报. 2009, 43 (10) : 1749-1756
- [3] Kuang H. Real-time image acquisition and processing system design based on DSP. In: Proceedings of the 2th IEEE International Conference on Computer and Automation Engineering(ICCAE), 2010:492-496
- [4] Rosten E, Drummond T. Fusing points and lines for high performance tracking. In: Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Computer Vision, Beijing, China, 2005:1508-1515
- [5] Rosten E, Drummond T. Machine learning for high-speed corner detection. In: Proceedings of the 9th European Conference on Computer Vision, Graz, Austria, 2006, 430-443
- [6] Xu R, Xu J, Weng W C. Digitalization of underwater video image using high speed DSP chip. *High Technology Letters*, 1999, 5 (1) : 48-52
- [7] Howard H. High-speed digital design. *IEEE microwave magazine*, 2011, 1 : 42-50
- [8] 黄杨帆, 甘平, 刘晓. 基于虚拟仪器的高速 PCB 信号检测. 仪器仪表学报. 2007, 28 (4) : 233-236
- [9] 朱长征, 沈振康. 一种改进的完全搜索块匹配算法. 红外与激光工程. 2004, 33 (4) : 387-391
- [10] Hirschmüller H. Evaluation of cost functions for stereo matching. In: Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2007. 1-8
- [11] Rosten E, Porter R, Drummond T. Faster and better: a machine learning approach to corner detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2010, 32 (1) : 105-119
- [12] 孙明竹, 赵新, 程小燕等. 基于尺度不变特征变化特征的显微图像在线拼接. 高技术通讯, 2009, 19 (10) : 1061-1066

Design and implementation of a mold protection system based on DM6437

Xing Kexin, Lin Yegui, Yu Li, Jiang Xufei

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023)

Abstract

A new mold protection system based on a DM6437 microprocessor was designed and implemented for injection molding machines. For mold protection, this system was designed to have the function of performing the real-time monitoring of an injection molding machine's abnormal situations of process residues, slider dislocation and other badness during its producing. The simulation of a part of the system's high-speed circuit on the DSP core board and the design of the system's hardware were accomplished by the Candence. Considering image offset caused by the noise, shadow and mechanical vibration, an efficient registration algorithm based on the FAST-9, a fast corner detector, was applied to realizing the image registration, and then it was compared with the SAD (sum of absolute difference) algorithm. The experimental results show that the hardware of the system is stable and the algorithm is effective.

Key words: mold protector, high-speed circuit, fast corner detector, image registration