

基于 FPGA 和 DSP 的自动报靶系统

梁瑞宇, 张学武

LIANG Rui-yu, ZHANG Xue-wu

河海大学 计算机及信息工程学院, 江苏 常州 213022

College of Computer & Information Engineering, Hohai University, Changzhou, Jiangsu 213022, China

LIANG Rui-yu, ZHANG Xue-wu. Design of automatic target-reporting system based on DSP and FPGA. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(34): 75-76.

Abstract: This article presents a design of the automatic target-reporting system which is based on DSP and FPGA. It mainly expatiates on the system's hardware and software design methods, and proposes to identify bull's-eye with fuzzy clustering analysis. Compared with other design methods, this one has stronger adaptability, higher flexibility and is more convenient to design and debug.

Key words: fuzzy clustering analysis; Field Programmable Gate Array (FPGA); image subtraction; automatic target-reporting

摘要: 提出了一种基于 DSP 和 FPGA 的自动报靶系统的设计方法, 主要阐述了系统的软硬件设计方法, 并提出用模糊聚类分析识别靶心。对比其它设计方法, 该方法适应性强、灵活性高, 设计调试方便。

关键词: 模糊聚类分析; 现场可编程门阵列; 图像减影; 自动报靶

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.34.022 **文章编号:** 1002-8331(2008)34-0075-02 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391

1 引言

目前, 国内射击训练器材整体情况还很落后, 大多数是靶壕加机械升降靶, 人工报靶, 费时、费力、不安全、成绩容易作弊。少数是自动报靶系统, 主要运用于室内或单一课的训练, 但推广普及不够。主要原因有 3 点: 一是自动报靶系统科技含量高, 成本相对较高; 二是目前国内的自动报靶系统技术不够成熟, 系统环境适应性差、性能单一; 三是少数模拟训练系统, 只能进行模拟训练, 不能实行实弹射击, 训练质量难以保证。

因此, 射击训练器材的重点应放在真正实用的自动报靶系统的研发上。当前, 在自动报靶方面主要有 4 种方法: 双层电极短路采样法、激光二极管阵列法、声音定位法和图像处理法。双层电极短路采样法实报率低。激光二极管阵列法的优点是不用靶纸也能报环, 但局限性大, 且精度难以提高。声音定位法的成本高, 且对靶纸要求极严格, 难以普及。图像处理方法的原理是利用子弹穿过靶面后留下的弹孔的图像特性来判断弹孔的位置, 系统精度高, 成本较低, 且适应性强^[1]。

本文对射击训练器材现状、原因的分析, 针对存在的问题, 运用人工智能技术, 研究设计了基于图像处理方法的自动报靶系统。系统基于 DSP 和 FPGA 硬件开发平台^[2], 采用先进的图像边缘检测算法和模糊聚类分析算法, 能准确及时可靠的报靶, 且成本低, 适应性强。

2 系统硬件设计及实现

系统是基于 DSP+FPGA 架构的, DSP 采用 TI 公司的 TMS320C6713(200 M 主频)芯片, FPGA 采用 Altera 公司的 Cy-

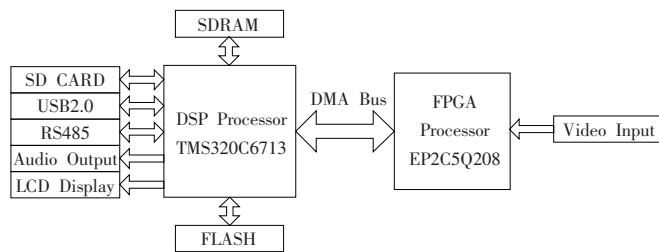


图1 系统硬件结构图

clone II EP2C5 芯片。

FPGA 处理器主要完成视频数据的采集和存储, Cyclone II EP2C5 芯片是一款高性价比 FPGA, 包含逻辑单元 4 608 个, 内嵌 M4K RAM 共 26 个, 支持超过 10 万门的设计。DSP 处理器主要处理 FPGA 采集来的视频数据, 进行图像识别, 同时支持语音报靶, 液晶显示等功能, 还可以通过网络进行数据传输等。

在实时视频处理中, FPGA 除了高速、大容量之外, 还在片内嵌入了高速 RAM 和多个硬件乘法器, 在视频开发的实践中, 1D 的图像实时乘加运算, 比较容易实现。同时, 利用 Cyclone II 内嵌的双端口 RAM, 配置为乒乓的 DMA 操作, 实现和 DSP320C6713 总线的高速数据交换。虽然, DSP (200 MHz 主频)用来做实时的视频处理比较慢, 但是, 由于自动报靶系统地实时性不是很强, 所以把实时处理部分的算法交给 FPGA 做, DSP 主要做非实时的图像分析和检测。

视频输入采用的是 200 万像素的 CMOS 摄像头, 相对于现

在流行的 CCD 摄像头, CMOS 摄像头体积小, 功耗低, 响应速度快, 而且价钱是 CCD 摄像头的一半, 虽然成像质量稍差, 但对于本系统来说, 可以满足实际需要。

3 系统软件设计及实现

3.1 软件关键问题及设计流程

软件设计关键问题包括, 图像预处理(包括滤波、图像增强等), 靶心位置确定, 弹孔位置确定。

系统开始时, FPGA 控制摄像头采集图像, 进行图像解码, 并把图像数据缓存在 FPGA 内部, 供后端 DSP 处理。DSP 将 FPGA 采集来的数据进行分析, 首先进行图像预处理, 根据靶环特征识别靶心。然后将每次拍摄新的图像与上一幅图像进行减影操作, 监测图像是否有灰度的明显变化, 确定弹孔位置, 最后计算弹孔到靶心之间的距离, 语音提示, 并在 LCD 上进行显示。具体流程如图 2(a)所示。

3.2 靶心识别及其算法

对于靶心特别标识的靶, 比较容易识别靶心, 但是现在很多靶并没有把靶心特别标识, 而是一个范围, 因此识别这类靶心时首先要进行预处理。预处理过程如图 2(b)所示。预处理的目的是突出图像的主要细节, 过滤无用的信息。为了提取靶心, 系统这里主要是为了突出靶环, 提取靶环特征。预处理首先利用 Sobel 算子进行边缘增强, 突出靶环特征。然后进行中值滤波, 去掉椒盐和脉冲噪声, 再对图像进行底片化(反色处理), 阈值分割的目的是除去背景色, 只保留靶环部分, 最后对靶环区域进行分割, 利用连通性提取靶环特征。预处理效果图如图 3 所示。

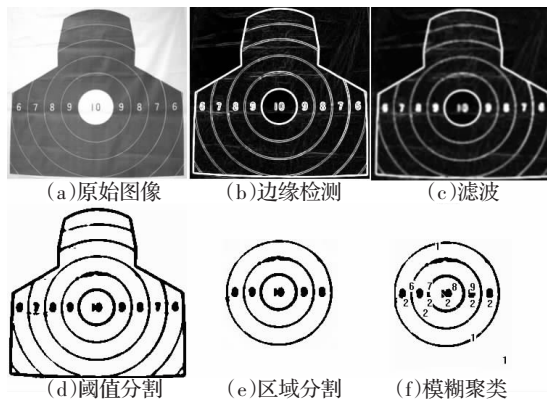


图 3 图像预处理效果图

显然关系矩阵 R 将样本关系映射到 $[0, 1]$ 之间, 则 R 属于 n 阶模糊矩阵。等价模糊矩阵 T 应具有自反性、对称性、传递性, 一般由 R 自乘得到。根据阈值 λ 二值化等价模糊矩阵, 得到 T 的 λ 截矩阵, 根据实验 λ 值选 0.8 可以达到很好的聚类结果^[3-5]。

$$\text{等价模糊矩阵: } T = [t_{ij}] = R \circ R = \bigvee_{i,j \in n} \{r_{ij} \wedge r_{ji}\}$$

$$\lambda \text{ 截矩阵: } T_c = [t_{cm}], t_{cm} = \begin{cases} 0, & t_{cm} < \lambda \\ 1, & t_{cm} \geq \lambda \end{cases}$$

将等价矩阵中每行为 1 的系数所对应的列归为同一类, 输出聚类结果, 如图 3 所示。利用靶环类的左上角坐标和右下角坐标, 求靶环的中心坐标, 并根据图中的 3 个靶环类取平均, 确定靶心坐标。

3.3 弹孔定位及环数计算

弹孔识别相对靶心识别来说比较简单, 本系统采用减影技术, 即利用打靶前后的两张靶面的灰度差来确定弹孔位置。采用减影技术尤其适用于一个靶打多枪的情况, 每次将上一次打靶后的图像暂存, 与新的打靶图像减影操作, 干扰小, 出错率低^[6]。确定弹孔位置后, 按照平面图形质心的计算方法确定弹孔中心。

确定弹孔位置和靶心位置后, 利用距离和环数的关系就可以得到实际环数^[7]。

4 系统测试及分析

实际报靶时, 是计算靶心到弹孔最近点和最远点的平均值, 精度可达到 0.1 环, 可满足一般比赛要求。系统测试结果如表 1 所示。

表 1 系统测试结果表

次数	实际环数	系统测试环数
1	5.5~5.7	5.6
2	10.4~10.5	10.4
3	7.7~7.9	7.8
4	3.2~3.3	3.3

5 结论

给出了一种新的基于 FPGA 和 DSP 的自动报靶系统。该系统采用新的识别算法, 具有可靠性高, 适用性强等特点, 而且系统中引入 FPGA 技术, 增加了系统的灵活性, 同时降低了成本, 增加了竞争力。

(下转 108 页)

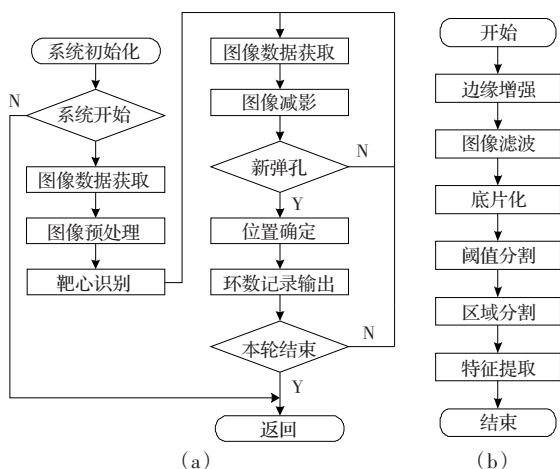


图 2 系统总流程图及预处理流程

靶心识别采用模糊聚类分析方法。模糊聚类分析是以模糊矩阵为基础的, 本系统选用距离模式下的模式矩阵, 即矩阵的值是两类模式的相应点的距离。

设通过特征提取, 获得 n 个样本, 每个样本 m 个特征, m 个特征组成一个列向量 X_i , 阈值为 λ 。各个样本间的相似关系用距离矩阵 R 表示为

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nn} \end{bmatrix}$$

其中 $r_{ij} = 1 - \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2}$, x_{ik}, x_{jk} 为特征值。