doi:10.3772/j.issn.1002-0470.2024.06.006

# 基于现场可编程门阵列的水果识别系统设计①

金 梅②\* 曾 欣③\* 张立国\* 冯景瑞\*\* 吴文哲\*

(\*燕山大学电气工程学院 秦皇岛 066004) (\*\*燕山大学信息科学与工程学院 秦皇岛 066004)

摘要 针对目前大多数水果识别系统实时性差和成本较高的问题,本文提出一种基于现场可编程门阵列(FPGA)的水果识别系统。整体硬件设计包含图像采集、检测识别和显示模块。软件部分通过图像采集平台将水果图像存储至双倍数据率同步动态随机存储器(DDR3)控制模块,进行图像灰度化处理,并创造性地提出背景帧差法对水果图像进行分割。通过融合水果颜色和几何特征,实现对水果数量、颜色和种类的识别。整个水果识别系统在不同光照下对常见水果进行了测试。实验结果表明,水果平均识别准确率达到93.25%,识别速度约为16.67 ms,FPGA硬件资源消耗率仅占28.02%,可以满足实时性需求。 关键词 水果识别;背景帧差法;图像处理;现场可编程门阵列(FPGA)

我国属于水果生产大国,产量居世界前列<sup>[1]</sup>。 目前我国在水果生产与销售环节中仍采用传统的人 工操作模式,通过肉眼辨别水果种类,再进行采摘或 计价<sup>[23]</sup>。该方法不仅存在周期长和使用大量人力 及财力的问题,而且人的视觉也可能由于疲劳或其 他因素产生误判,造成较大的误差。因此,开发和实 现自动识别水果图像对于农产品批发销售至关重 要。该技术将工人从水果分类的劳动密集型工作中 解脱出来,实现工作效率的提升,减少人力成本。

随着图像处理与机器视觉的发展,国内外均有 大量水果识别系统的研究。例如,文献[4]利用水 果的颜色、形状与大小特征,结合最近邻分类法提出 一种新型的水果识别系统。文献[5,6]通过树莓派 与图像处理技术相结合实现水果与蔬菜的识别与检 测。文献[7]结合 Alexnet、ResNet、和 Inception 网络 创建了一个名为 Interfruit 的深度卷积神经网络,将 其用于识别不同种类的水果图像。文献[8]利用卷 积神经网络(convolutional neural network, CNN)、循 环神经网络(recurrent neural network, RNN)和长短 期记忆(long short-term memory, LSTM)网络创建多 模型水果图像识别系统,有效提高水果识别方法的 准确性与性能。文献[9]采用颜色完全局部二值模 式与颜色特征融合,在 ARM(advanced RISC machines)开发板上实现果蔬种类识别。文献[10]提 出了一种改进的单步多框目标检测(single shot multibox detector,SSD)深度学习水果检测模型,可 以很好地实现自然环境下多类水果精准检测。文 献[11]利用改进的快速区域卷积神经网络(faster region convolutional neural network,Faster R-CNN)对 果蔬进行检测,设计出一套完整的智能果蔬结算系 统。文献[12]采用 K-means 聚类和反向传播(back propagation,BP)神经网络相结合的方法实现水果分 类识别准确率的有效提升。

综合国内外研究现状发现,目前的水果识别技术主要采用传统算法或深度学习提取水果特征进行分类识别,这些算法构建的水果模型应用范围具有一定的局限性,且受周围环境影响较大。此外,实际水果识别场景对算法的实时性也有一定的要求<sup>[13]</sup>。

① 河北省中央引导地方专项(199477141G)和河北省科学技术研究与发展计划科技支撑计划(20310302D)资助项目。

② 女,1977年生,博士,副教授;研究方向:机器人控制及应用技术,机器视觉,智能信息处理;E-mail: meijin297@126.com。

③ 通信作者, E-mail: xinzeng2021@163.com。 (收稿日期:2023-12-04)

现有的图像识别研究大多基于中央处理器(central processing unit, CPU)与图像处理器(graphics processing unit, GPU)<sup>[14-16]</sup>,通用 CPU 在处理大规模计 算任务时易出现运行速度慢的现象, GPU 则易产生 高功耗。相对于专用集成电路(application specific integrated circuit, ASIC)高昂造价,现场可编程门阵 列(field programmable gate array, FPGA)具有低功 耗、可重编程、低延时、低成本和内部资源丰富的特 点。因此,本文选用 FPGA 实现水果系统识别,对常 见的 8 种水果, 即梨、苹果、香蕉、橙子、葡萄、芒果、 火龙果和猕猴桃进行测试, 结果表明, 该系统能有效 提高水果识别准确率与识别速度。

1 系统整体结构设计

水果识别系统主要由图像采集设备、FPGA 识 别检测模块和显示模块组成。系统开始工作后,将 水果放置于图像采集模块,主控芯片进行初始化及 配置工作,OV5640 摄像头收到指令后开始采集图 像,采集到的图像通过 I<sup>2</sup>C 总线将数据传送给 FPGA 图像数据处理模块,同时用双倍数据率同步动态随 机存储器(double-data-rate3,DDR3)缓存数据,之后 进行图像处理。处理后的图像进行匹配识别后将结 果通过串口输出。本设计还增加了高清多媒体接口 (high definition multimedia interface,HDMI)屏幕显 示功能,更直观地展现图像效果,对系统进行调试, 整体结构框图如图1所示。

### 1.1 图像采集设备

水果图像采集设备如图 2 所示,摄像头模块的 互补金属氧化物半导体(complementary metal oxide semiconductor,COMS)图像传感器可采集图像像素 达 500 万,支持自动对焦功能。OV5640 摄像头芯片 通过 HDMI 接口与 FPGA 识别检测模块相连实现图 像的传输。

## 1.2 FPGA 检测识别模块

FPGA 检测识别模块采用紫光同创 PGL22G 开 发板作为核心处理器。该开发板是紫光同创公司开 发的 Logos 系列 FPGA 高性能核心板。其高速、高 带宽和高容量的特性,适用于高速数据通信、视频图



图1 系统整体结构框图



像处理、高速数据采集等领域应用<sup>[17]</sup>,实物图如 图 3所示。图中 OV5640 摄像头采集到的数据通过 摄像头驱动模块写入DDR3,然后通过DDR3控制



UART 2. HDMI 3. OV5640 4. PGL22G 5. LED 6. KEY 7. DDR3
 8. JTAG 9. 电源按键 10. 电源线
 图 3 FPGA 检测识别模块

器模块读出,读出的数据进入 PGL22G 芯片进行图 像处理,识别后的结果由通用异步收发器(universal asynchronous receiver, UART)和 HDMI 接口传输到 显示模块。

### 1.3 显示模块

显示模块主要分为屏幕显示与串口显示 2 个部分。其中,屏幕显示部分负责系统的测试,通过 HD-MI 接口连接液晶显示屏实时反映水果识别系统的实验效果。设计显示模式配置为 1 024 × 768@ 60 fps,像素时钟为 65 MHz。考虑到实际应用中将测量出水果信息显示在室外设备中并不实用,所以本系统增加通用异步收发器(universal asynchronous receiver/transmitter,UART)串口显示模块,显示识别到的水果颜色、数量与种类信息,串口波特率选用 115 200 bit/s。

2 图像识别及处理方法



系统图像处理设计框图如图4所示。

图 4 系统图像处理设计框图

由图可知,OV5640 摄像头采集到的图像数据 通过摄像头驱动模块写入图像分割部分的 DDR3, 然后通过 DDR3 控制器模块读出,在图像分割模块 内部先对图像进行色彩空间转换,将红绿蓝(red green blue, RGB)转化为 YCbCr,然后通过颜色阈值 判断实现水果颜色识别;为实现水果识别,利用背景 帧差法,在没有目标的情况下,捕捉背景图像,然后 将实时视频序列和背景图像作差,以实现多目标检 测。针对水果种类识别,本设计采用模板匹配算法, 利用水果的几何特征与颜色特征来实现。水果的几 何特征提取对图像有较高要求,由于帧差运算后的 图像仍存在噪声干扰,所以需将其进行腐蚀膨胀处 理,之后进行水果周长与面积等特征提取,通过不同 水果的特征模板匹配,最终实现水果种类识别。

## 2.1 图像分割

水果图像与背景分割是水果识别的重要基础, 色彩空间 YCbCr 计算量小且易提取亮度空间,本文 将24 位 RGB 转为 YCbCr 并提取其中的8 位 Y 分量 实现灰度图像转换。RGB 转 YCbCr 矩阵形式如下 所示<sup>[18]</sup>:

Y		0. 183	0.614	0.062	$\lceil R \rceil$	[ 16 ]
Cb	=	- 0. 101	- 0. 338	0. 439	G +	128
Cr_		0. 439	- 0. 339	- 0. 040	$\lfloor_B \rfloor$	L128
						(1)

在光线阴暗或被遮挡的环境下采集的图像会影 响图像的质量。虽然识别算法对于图像质量依赖度 不高,但是为了提高识别率,需对转换后的 YCbCr 色彩空间图像进行背景与目标水果的分割,排除光 线等其他因素对识别的干扰,本系统将背景差分法 与帧差法相融合来实现目标图像分割。

背景差分法即指利用实时视频序列和背景模板 作差来实现目标的检测。该算法首先通过对连续图 像序列的前几帧进行背景建模,随后对每一帧新图 像与背景模型进行差分操作,生成差异图。差分公 式如式(2)所示。

 $D_k(x, y) = |I_k(x, y) - B_{k-1}(x, y)|$  (2) 其中  $D_k(x, y)$  是差分图像,  $I_k(x, y)$  是当前帧图 像,  $B_{k-1}(x, y)$  是背景模型。

然后选择适当阈值,将超过阈值的像素标记为 前景图像:

$$T_{k}(x, y) = \begin{cases} 1 & D_{k}(x, y) \ge T \\ 0 & D_{k}(x, y) < T \end{cases}$$
(3)

其中  $T_k(x, y)$  为前景图像, T 为差分阈值。

帧差法原理与背景差分法类似,只是在做差对 象上有所变化。该算法通过对比相邻帧之间的差异 来找出变化的区域,常用于运动目标检测。具体公 式如下:

$$D_k(x, y) = | I_k(x, y) - I_{k-1}(x, y) |$$
(4)

$$T_k(x, y) = \begin{cases} 1 & D_k(x, y) \ge T \\ 0 & D_k(x, y) < T \end{cases}$$
(5)

通过公式对比,可以发现背景差分法和帧差法 的相同之处。对于不同点,通过帧差法获取的目标 图像表示相邻两帧图像的相对变化区域,并非目标 检测区域。背景差分法得到的图像则准确地反映了 真实的目标区域。

而背景帧差法将两者进行融合,具体流程如 图 5所示。算法主要包含 3 步:首先,计算相邻的 3 帧图像  $I_{k-1}(x, y)$ 、 $I_k(x, y)$ 和  $I_{k+1}(x, y)$ 作对称差 分计算,获取其相交区域图像;随后,计算当前帧与 背景帧的差分图像;最后,通过逻辑或运算对上述 2 个图像进行处理,生成经过背景帧差处理后的二值 化图像。



#### 2.2 图像预处理

通过上述方法得到的图像仍存在噪声干扰,这 时需要进行图像预处理。常见预处理操作包含腐 蚀、膨胀、闭运算和开运算<sup>[19]</sup>,本文利用3×3模板 实现腐蚀、膨胀操作,其移位存储方式如图6所示。 在输出前面的数据后,下面的数据瞬间被填满,直到 达到指定的行长,这时移位存储过程就会转到下面 的行。将3×3模板中的9个元素分3行进行排序 比较,之后对每行的最小值再进行比较输出9个元 素中的最小值,即可完成腐蚀运算。膨胀运算与腐 蚀运算相似,只需将最小值换成最大值即可。



图 7 是利用预处理后得到的对比图像。该操作 有效剔除图像中与目标场景无关的信息,去除噪声 和外部场景干扰,并能保证图像的轮廓边缘信息不 被破坏,从而改善图像特征信息提取和特征识别的 可靠性。



3 特征提取

## 3.1 颜色特征

将视频像素点的 RGB 值与各种水果颜色对应的 RGB 阈值比较,从而判断识别水果的颜色。提取每种水果颜色所对应的 RGB 阈值,记录数据如表1 所示。

为评估采集颜色阈值的可行性,可视化颜色阈 值的分布,以R、G、B颜色分量为坐标轴绘制三维离 散 RGB 色彩空间作为理论参考模型,并将表1中的数据导入色彩空间得到其在色彩空间中的分布如 图 8所示,根据模型可知实际阈值范围与理论相符。

表1 各水果颜色 RGB 阈值统计表



#### 3.2 几何特征

3.2.1 最小外接矩形

由预处理得到平滑的二值图像后,需要对其连 通区域进行标记。二值图像中背景像素设为0,显 示黑色;目标区域像素设为1,显示白色。连通区域 标记则是将区域像素中相邻的"1"值集合提取出 来<sup>[20]</sup>。

本文采用"8 领域"标记算法,选取图像中任意 一像素点为1值的点,判断像素点相邻8 个位置 (左、左上、上、右上、右、右下、下、左下)的像素点值 是否为1,如果为1则将其标记为同一连通区域并 存储其坐标值。最小外接矩形是指矩阵中目标的各 个顶点的最小和最大坐标值所组成的矩形<sup>[21]</sup>。通 过比较同一连通区域内存储坐标的行列大小,可得 到最小外接矩形的4 个顶点坐标值,即 Xmin、 - 620 - Xmax、Ymin 和 Ymax; 其中 Xmax 减 Xmin 为矩形的 长度 w;Ymax 减 Ymin 为矩形的宽度 h。

## 3.2.2 合并矩形

上述方法得到的矩形会出现重叠或距离较近的 情况,为处理该现象需要对一定范围内的矩形进行 合并。而合并矩形算法中的关键一步就是判断两矩 形之间的距离,设图9(a)中左边为目标像素点及其 最小矩形,右边为当前像素及其最小矩形,分别讨论 两矩形可能出现的以下3种基本情况:(1)两矩形 距离未重叠;(2)两矩形重叠,但当前像素点未落在 目标像素点矩形邻域范围内;(3)两矩形重叠且当 前像素点落在目标像素点矩形邻域范围内。通过计 算两矩形框中线点距离来判断是否重叠。若距离大 于等于阈值,即情况(1)或情况(2),维持两矩形框 不变,否则合并矩阵。阈值依据具体实验场景的经 验值选取,本文将64像素值设为合并矩阵的判定阈 值。



矩形重叠方式有多种,若逐个判断重叠情况过 于复杂,不适应于 FPGA 平台,本文通过逆向思维, 判断矩形不重叠的情况来实现矩形的合并。设目标 矩形坐标和当前像素点坐标为  $(x_{\pm}^{1}/2 + x_{\pm}^{1}/2, y_{\pm}^{1}/2 + y_{\mp}^{1}/2)$ 、 $(x_{\pm}^{2}/2 + x_{\pm}^{2}/2, y_{\pm}^{2}/2 + y_{\mp}^{2}/2)$ ,目标 像素点矩形长和宽分别为  $w_1$ 、 $h_1$ ,若当前像素点在 目标像素点的最小外接矩形外,即式(6)~(9)中任 意一个成立,则维持原矩形不变,否则合并矩阵。

$$\frac{x_{\pm}^2 + x_{\pm}^2}{2} < x_{\pm}^1 \tag{6}$$

$$\frac{x_{\pm}^2 + x_{\pm}^2}{2} > x_{\pm}^1 \tag{7}$$

$$\frac{y_{\pm}^2 + y_{\overline{F}}^2}{2} < y_{\overline{F}}^1 \tag{8}$$

$$\frac{y_{\perp}^{2} + y_{\overline{\Gamma}}^{2}}{2} > y_{\perp}^{1}$$
(9)

合并过程如下,比较两矩形框 x 方向顶点坐标, 若  $x_{\pm}^{1} < x_{\pm}^{2}$ ,则把  $x_{\pm}^{1}$ 赋值给  $x_{\pm}^{2}$ ,否则将  $x_{\pm}^{2}$ 赋值给  $x_{\pm}^{1}$ ;若  $x_{\pm}^{1} > x_{\pm}^{2}$ ,则把  $x_{\pm}^{1}$ 赋值给  $x_{\pm}^{2}$ ,否则将  $x_{\pm}^{2}$ 赋值 给  $x_{\pm}^{1}$ 。同理 y 方向顶点坐标合并也按此方法操作。 此时更新的坐标即为重叠矩形的合并矩形框。

### 3.3 模板匹配及种类识别

由于本设计的种类识别部分通过模板匹配算法 完成,因此在匹配过程中需要建立样本库,并结合样 本库对8种水果进行分类。为了确保样本不受干 扰,选用白纸作为背景图,与水果颜色形成反差,周 围补足光线,避免阴影造成干扰。利用水果的特征 参数,计算特征值并存储,为匹配模板奠定基础。

欧氏距离可表示两种物体之间在空间上的相似 性程度,间距越小,相似性度就越高<sup>[22]</sup>。其计算公 式如下:

$$\rho = (x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + (x_3 - y_3)^2 + (x_4 - y_4)^2$$
(10)

式中 ρ 表示两点之间的欧氏距离。本文将获取到的 待识别水果特征值和模板内样本分别进行欧式间距 运算,经过对比后选择间距最小的值所对应的模板 样本,作为确定结果。利用最小外接矩、面积与周长 之比和颜色,这3个特征值组成的向量被视为图像 在三维空间中代表的一个"点",而样本库中的每个 样本都可以代表三维空间中的一个"点"。通过测 量模板所代表的"点"与待识别图像之间的距离, 选择对应最短距离的样本作为识别结果的输出。 系统设计完成后需要在实际场景进行演示,测 试地点选择实验室,检测到的水果数量、颜色及种类 通过显示器和串口显示,部分水果显示效果如图 10 所示。



图 10 部分水果测试效果图

## 4 系统测试及结果分析

选用 8 种常见水果,分别为梨子、香蕉、芒果、葡 萄、苹果、橙子、猕猴桃和火龙果进行识别率测试,分 别在弱光、正常光和强光背景下进行测试,每种水果 在 3 种光线背景下分别进行 100 次测试。测试过程 中随机改变水果数量,若水果颜色、数量、种类识别 都正确则判定为识别准确。在水果识别过程中需保 持水果与摄像头的距离,确保水果在窗口中正确显 示。同时,需避免水果被其他物体遮挡,干扰识别结 果。表 2 为系统测试结果。

表 2 水果识别系统测试结果

	弱	弱光 正常注		常光	光 强光		亚地印刷卖///
	正确次数	识别率/%	正确次数	识别率/%	正确次数	识别率/%	千均以为平/%
梨子	90	90.00	92	92.00	89	89.00	90.33
香蕉	97	97.00	97	97.00	96	96.00	96.67
芒果	93	93.00	94	94.00	90	90.00	92.33
葡萄	86	86.00	93	93.00	91	91.00	90.00
苹果	96	96.00	98	98.00	97	97.00	97.00
橙子	91	91.00	93	93.00	94	94.00	92.66
猕猴桃	92	92.00	94	94.00	88	88.00	91.33
火龙果	95	95.00	97	97.00	95	95.00	95.67
平均识别率		92.50		94.75		92.50	93.25

通过分析记录数据可知,系统能够完成对8种 常见水果的识别,且水果识别系统平均识别准确率 为93.25%。综合比较可以发现,识别率在一定程 度下仍受光线影响,在正常光下的识别率要高于在 弱光与强光下的识别率,但总体上系统识别率较高, 满足实际需求。

为了检验本系统,在个人电脑(personal computer,PC)端的 OpenCV 上和 FPGA 平台分别对 8 种常 用水果进行 100 次测试,各平台识别率和运行速度 对比情况如表 3 所示。与 OpenCV 相比,FPGA 在识 别率上提高 1.24%,识别耗时上减少 20.33 ms。

表 3 OpenCV 与 FPGA 处理结果对比

处理平台	识别次数	识别率/%	识别耗时/ms	
CPU	800	92.01	37.00	
FPGA	800	93.25	16.67	

本系统与其他研究的对比如表4所示,文献[23] 将 DarkNet-53 与 YOLOv3 相结合实现水果识别,识 别率要低于本设计7.34%。对比文献[24]的设计, 本文的识别率要高3.25%。

表4 平均识别率对比

	文献[23]	文献[24]	本文
平均识别率/%	85.91	90.00	93.25

## 5 结果分析

判别基于 FPGA 识别系统的好坏,一个关键指标在于硬件资源消耗情况。水果识别系统硬件工程采用 Verilog 编程,实现系统的图像处理和控制功能。集成开发平台是紫光的应用平台解决方案,对程序进行综合、编译等。其最终硬件资源消耗情况如表5 所示,表中查找表(look up table,LUT)资源利用率为28.02%,系统硬件资源消耗较少,降低了生产成本。

## 6 结论

结合机器视觉技术,利用FPGA开发平台设计 - 622 -

	表 5 FPGA	资源消耗表	
逻辑资源	可用	占用	占用
类型	资源/个	情况/个	百分比/%
LUT	17 536	4 913	28.02
Register	26 304	2 917	11.09
DRAM18K	48	11	22.92
APM	30	1	3.33
I/0	240	88	36.67

了一套水果识别系统。针对室内水果销售场景,通 过 OV5640 摄像头采集水果图像,提取水果颜色、几 何特征,将待识别水果与参考水果特征模板进行匹 配,实现水果种类识别。使用背景帧差法对图像进 行分割,有效排除不同光线强度和阴影对于识别的 干扰,提高了水果种类识别准确率。选取每类水果 样本各识别 100 次,水果颜色平均识别准确率达到 93.25%,识别耗时为 16.67 ms,FPGA 中 LUT 资源 消耗仅占 28.02%,节省了硬件资源消耗,可以代替 人工,满足实际需求。

### 参考文献

- [1] 邹谜,伍世虔,王欣.一种用于机器人水果采摘的快速 识别方法[J]. 农机化研究, 2019,41(1):206-210.
- [2]于蒙,李雄,杨海潮.基于图像识别的苹果等级分级研 究[J].自动化与仪表,2019,34(7):39-43.
- [3] 倪云峰,叶健,樊娇娇. 基于图像识别的水果分拣系统 [J]. 江苏农业科学, 2021,49(10):170-176.
- [4] SENG W C, MIRISAEE S H. A new method for fruits recognition system[C] // Electrical Engineering and Informatics. Bangi, Malaysia; IEEE, 2009;130-134.
- [5] CHANDINI A A, UMA M B. Improved quality detection technique for fruits using GLCM and multiclass SVM[C] // International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics. Bangalore, India: IEEE, 2018:150-155.
- [6] FEMLING F, OLSSON A, ALONSO-FERNANDEZ F. Fruit and vegetable identification using machine learning for retail applications [C] // The 14th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems. Las Palmas de Gran Canaria, Spain: IEEE, 2019:9-15.
- [7] LIU W. The Alexnet-ResNet-Inception network for classifying fruit images [J]. Cold Spring Harbor Laboratory,

2020. DOI:10.1101/2020.02.09.941039.

- [8] GILL H S, KHALAF O I, ALOTAIBI Y, et al. Multimodel CNN-RNN-LSTM based fruit recognition and classification [J]. Intelligent Automation and Soft Computing, 2022,33(1):637-650.
- [9] 陶华伟,赵力,奚吉等.基于颜色及纹理特征的果蔬种类识别方法[J].农业工程学报,2014,30(16):305-311.
- [10] 彭红星,黄博,邵园园,等. 自然环境下多类水果采摘 目标识别的通用改进 SSD 模型[J]. 农业工程学报, 2018,34(16):155-162.
- [11] 陈登峰,周瑶,段优,等. 基于计算机视觉的智能果 蔬结算系统[J]. 信息化研究, 2019,45(2):65-70.
- [12] 朱玲. 基于 K-means 聚类算法分类的水果等级识别与 应用[J]. 农机化研究, 2020,42(8):46-50.
- [13] 马冰. 面向智能电子秤的水果自动识别系统设计与实现[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2018.
- [14] 赵凡,白雪,杨涛,等. 基于 FPGA 的通用卷积神经网络识别系统研究[J]. 自动化仪表, 2022,43(1):42-47,54.
- [15] 周雪珺. 基于 FPGA 的遥感图像云检测算法研究与实现[D]. 武汉:华中科技大学, 2015.
- [16] 程光伟, 刘东明. FPGA 图像处理在水果品级筛选技术

中的应用[J]. 现代电子技术, 2016, 39(2): 89-91.

- [17] 白晓,尹俊,郑洋德,等. 基于 FPGA 和 LabVIEW 的多 通道数据采集系统设计[J]. 核电子学与探测技术, 2018,38(3):319-325.
- [18] 邢凯,李彬华,陶勇,等. 基于 FPGA 的运动目标实时 检测跟踪算法及其实现技术[J]. 光学技术, 2020,46
   (2):158-166.
- [19] 邓仕超,黄寅. 二值图像膨胀腐蚀的快速算法[J]. 计 算机工程与应用, 2017,53(5):207-211.
- [20] 黄富传,张啸. 基于 FPGA 区域标记算法的实现[J]. 中国集成电路, 2022,31(1):65-70,73.
- [21] 周雪珺. 基于 FPGA 的遥感图像云检测算法研究与实现[D]. 武汉:华中科技大学, 2015.
- [22] 包文来. 基于 FPGA 静态手势识别技术的研究[D]. 长春:长春工业大学, 2016
- [23] 王辉,张帆,刘晓凤,等. 基于 DarkNet-53 和 YOLOv3 的水果图像识别[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2020,52(4):60-65.
- [24] HE Q, XIA K, PAN K. Fruit recognition using color statistics[C] // International Conference on Automation, Robotics and Computer Engineering. Wuhan, China: IEEE, 2022:1-4.

## A fruit identification system design based on field programmable gate array

JIN Mei\*, ZENG Xin\*, ZHANG Liguo\*, FENG Jingrui\*\*, WU Wenzhe\*

(\*School of Electrical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004)

(\*\* School of Information Science and Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004)

#### Abstract

To address problems of high latency and high cost in most fruit identification systems, this study proposes a fruit recognition system based on the field programmable gate array (FPGA). The overall hardware design includes image acquisition, detection and recognition and display modules. In the software part, fruit images are stored in the double-data-rate3 (DDR3) controller module through the image acquisition platform, and undergo image grayscale processing. Furthermore, a creative approach is introduced, using the background and the frame difference method for segmentation of fruit images. By integrating fruit color and geometric features, recognition of fruit quantity, color, and species was achieved. The fruit identification system was tested under different lighting conditions and intensities. The experimental results show that the method has an average accuracy of 93.25% for the recognition of fruits, a recognition speed of approximately 16.67 ms, and the FPGA hardware design consumption rate of only 28.02%, which can meet the real-time requirements of fruits recognition.

Key words: fruit identification, background frame difference method, image processing, field programmable gate array(FPGA)