

文章编号:1007-2780(2016)10-0949-09

基于 SoC FPGA 的文字分割系统设计

邱德慧*, 汪 洋, 吴敏华

(首都师范大学 信息工程学院, 北京 100048)

摘要: 针对于传统 PC 机实现的图像采集与处理系统在功耗、移植性、实时性和体积上的局限性, 本设计实现了基于 FPGA 和 ARM 硬核处理器整合的 SoC FPGA 的图像文字分割系统。基于 SoC FPGA 的硬件平台和移植的嵌入式 Linux 开发环境的软硬协同设计方法, 实现了 CMOS 传感器的图像采集、SDRAM 存储、双口 RAM 数据通信和 VGA 显示输出。同时, 基于 ARM 的硬核处理系统(HPS)控制双口 RAM 读写图像数据, 在 HPS 中实现图像的预处理和分水岭算法。实验结果表明: 本系统具有较准确的文字分割效果, 一幅图像实时文字分割的平均速度为 0.87 s, 比基于 PC 机的 matlab 环境和 NIOS II 的 SOPC 系统上实现速度分别提高了 0.84 倍和 4.52 倍。本系统具有设计灵活、速度快、可移植性强的优点, 对实时图像采集与处理系统的研究提供参考意义。

关键词: SoC FPGA; 硬核处理系统; Linux; 文字分割; 分水岭算法

中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20163110.0949

Design of the text segmentation system based on SoC FPGA

QIU De-hui*, WANG Yang, WU Min-hua

(School of Information Engineering, Capital Normal University, Beijing 100048, China)

Abstract: In order to solve the problems of power consumption, portability, real-time and volume limitation of image acquisition and processing system based on PC, the text segmentation system based on SoC FPGA in-built hard-core ARM is designed. By co-design of hardware and software based on SoC FPGA hardware platform and embedded Linux development, the system realizes the image acquisition of the CMOS sensor, storage of SDRAM, data communication of two-port RAM and VGA display. In the meanwhile, ARM-based HPS controls dual-port RAM to read or write image data and the image preprocessing and watershed algorithm are implemented. Experimental results show that this system has the high accuracy of text segmentation and the real-time processing average speed of one image is 0.87 s, which is 0.84 and 4.52 times faster than that of PC-based MATLAB environment and SOPC system based on NIOS II respectively. This system has the advantages of flexibility, high speed and good portability and there is the real-time image acquisition and processing system.

Key words: SoC FPGA; hard processor system (HPS); Linux; text segmentation; Watershed algorithm

收稿日期: 2016-06-15; 修订日期: 2016-08-11.

基金项目: 北京市教委面上基金项目 (No.KM201510028014)

Supported by the General Project of Beijing Municipal Commission of Education (No.KM201510028014)

* 通信联系人, E-mail: qiudehui@126.com

1 引言

传统的图像采集与处理技术一般由采集卡完成图像采集后再由 PC 机对其进行处理,这种设计与实现方法存在着系统移植性差、运行效率低、体积大、成本高、开发周期长等不足^[1]。随着 FPGA 技术和嵌入式系统的高速发展,逐渐从传统应用转向节能、低功耗、高性能及弹性化设计的嵌入式产品^[2]。近年来,ARM 处理器和 FPGA 整合的 SoC FPGA 是嵌入式系统新的发展方向^[3]。现今两大 FPGA 厂商 Xilinx 和 Altera 公司与 ARM 公司合作推出了基于双核 ARM Cortex-A9 MPCore 处理器的 SoC FPGA 产品,处理器的性能有了巨大提升^[4]。SoC FPGA 中让 ARM 作为主处理器而 FPGA 作为协处理器,既保留了 FPGA 易于定制并且并行运算速度快的优点,还可以继承 ARM 处理器高速低功耗的优势,实现功能互补。在开发具有复杂算法和控制逻辑的系统体现了卓越的性能^[5]。

图片文字分割算法是图像处理领域里的一个研究方向,文字分割在字数统计、文字识别、文字整形上都有广泛的应用^[6]。近年来,关于文字定位的方法有很多,但是文字分割的研究较少,然而文字识别的效果严重依赖于文字分割的好坏^[7]。

因此,为了摆脱 PC 机处理的环境,本文提出了一种基于 FPGA 和 ARM 硬核处理器整合的 SoC FPGA 硬件平台的文字分割系统。以 ARM 硬核为处理器,采用软硬协同设计方式,实现了图像的采集、存储、处理、文字分割算法实现和 VGA 显示等多功能于一体的文字分割系统。此外,本系统与基于 NIOS II 的 SOPC 嵌入式系统和基于 PC 机的 MATLAB 环境下的处理速度进行了对比,这在以往的文献中还没有类似的研究。

2 SOC FPGA 系统设计方案

本系统使用 Altera 公司的基于 28 nm 工艺的低功耗 Cyclone V 5CSEMA5F31C6N SoC FPGA 作为主控芯片。Cyclone V 在一个用户可定制芯片系统 (SoC) 中集成了基于 ARM Cortex-A9 Dual-core 分立硬核处理器系统 (Hard Processor System, HPS)、FPGA 和数字信号处理

(DSP) 等功能。虽然 HPS 和 FPGA 能够独立工作,但是他们通过高性能双向 AXI 总线桥接实现高速宽带的通信。

为了解决图像存储和图像处理速度不匹配的问题和充分发挥 FPGA 和 ARM 的各自优势,图像采集、存储和 VGA 显示模块由 FPGA 基于 verilog 语言来实现;数据通信、图像的预处理和文字分割算法由 HPS 基于 C++ 来实现。

图 1 为系统总体结构图。本系统通过 Cyclone V FPGA 驱动 TRDB-D5M CMOS 摄像头模块拍照,将采集到的 12 位 Bayer 原始格式图像转换为 30 位 RGB 格式信息存入数据缓冲器 SDRAM,再将要处理的图像存入双口 RAM,并通过视频转换器 ADV7123 转换成 RGB 模拟信号将图像实时显示在 VGA 上。由于 HPS 难以和 SDRAM 内的图像数据通信,因此设计了一个双口 RAM 与 SDRAM 进行数据通信。HPS 处理器通过 PIO 内核发出控制信号访问双口 RAM,实现图像预处理与文字分割算法。

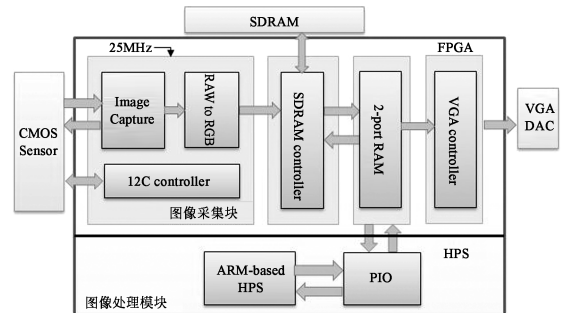


图 1 文字分割系统总体结构图

Fig.1 Block diagram of text segmentation system

3 硬件系统设计

3.1 图像采集模块

本系统采用的是 TRDB-D5M 摄像头套件,在摄像头中集成了 500 万像素 CMOS 数字图像传感器。可以使用 I²C 总线配置其相应的寄存器来设置工作模式和采集数据的大小。

本模块主要是提供 CMOS 传感器工作所需的主时钟信号 MCLK 25 MHz,并通过 FVAL、LVAL 以及 PIXCLK 三个同步信号,将捕捉的图像传感器的数据流送到 FPGA,为下一级处理准备数据。其中 FVAL 代表帧有效信号、LVAL 代

表行有效信号,PIXCLK 代表输出的像素时钟。它必须满足 D5M 图像传感器输出数据时序^[8],时序如图 2 所示。

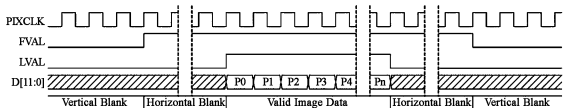


图 2 CMOS 传感器时序图

Fig.2 Sequence diagram of the CMOS sensor

在系统中采集的原始图像数据的分辨率是 $1\,280 \times 960$, 所以在一个 FVAL 有效的时钟内会有 960 个 LVAL 的时钟周期, 在一个 LVAL 的时钟有效期内有 1 280 个 PIXCLK 的时钟周期, 每个像素的有效数据是 12 位。

3.2 I²C 总线控制模块

本模块利用 I²C 总线对 COMS 传感器的寄存器进行写入, 来配置传感器的工作模式、采集图像的大小、曝光时间、内部锁相环的配置等。I²C 总线一般有两个信号线, 其一是双向数据线 SDATA, 另一个是时钟线 SCLK, 两个信号线都是串行的。由于 Quartus II 中没有 I²C 控制模块的 IP 核, 所以需要两个 PIO 内核通过编写 Verilog 程序来模拟 I²C 信号的时序。

I²C 需要一次发送 32 位的数据。首先发送一个开始的标志, 然后发送摄像头端口的地址并且末位为 0, 代表将要进行写操作, 然后发送 8 位的寄存器地址, 表示将要在此地址的寄存器中写入配置数据, 然后发送 16 位的设置数据, 每发送 8 位数据就要发送一个 ACK 作为确认标志。其中系统的寄存器设定对应的功能如下: 0x020 寄存器设置为 0xc000 表示采集图像的方向为正常方向不颠倒。0x009 寄存器用来配置曝光时间, 默认值为 0x07c0, 并且可以通过开关来调整曝光时间。0x003 寄存器为行宽设置寄存器, 设置为 0x03BF 即 959, 0x004 寄存器为列宽寄存器, 设置为 0x04FF (1279), 表示要采集的图像的大小为 1280×960 。

3.3 格式转换模块

TRDB-D5M 摄像头经过图像采集模块输出的图像数据是 Bayer raw 格式, 而 VGA 显示以及后期进行算法处理都需要 RGB 格式的图像, 所以本模块的功能是将采集到的 12 位 Bayer 格式的图像信息转换为 30 位 RGB 格式的数据以便

VGA 的输出和图像处理。

本模块使用数据缓存加流水线的处理方式, 将由上一级抓取到行数据实时转换成 RGB 数据, 其中 R、G、B 各占 12 位, 在输入 SDRAM 缓存中时, SDRAM 控制模块只取用 R、G、B 的高 10 位来存储, 所以 RGB 最终是 30 位的数据。

RAW 转 RGB 格式的硬件结构如下图 3 所示。为了实现插值算法, 我们调用了 IP 宏模块 RAM-based 的移位寄存器实现 Line_Buffer。Line_Buffer 使每个像素点按时钟周期, 使数据具有先入先出特性, 然后再根据行坐标 iX_Cont 和列坐标 iY_Cont 的值来排列输出数据, 使每个数据包包含 R、G、B 三个颜色分量。oRed、oGreen、oBlue 为输出图像 RGB 数据。经过差值算法处理后的图像分辨率变为原来的一半, 即图像大小变为 640×480 。

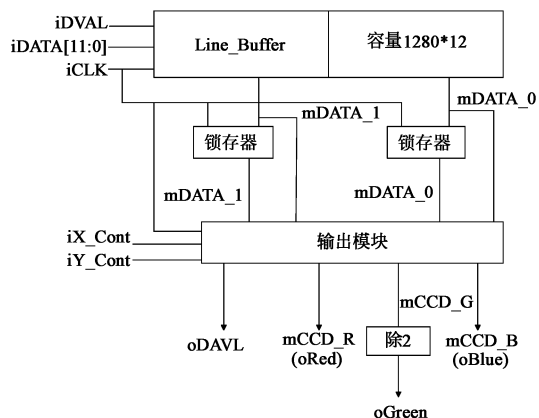


图 3 RAW 转 RGB 格式的硬件结构图

Fig.3 Hardware structure diagram of conversion RAW format into RGB format

3.4 SDRAM 存储模块

系统采集的图像容量约 1M, FPGA 片内 RAM 是不够的, 因此将转换后的 30 位 RGB 数据存入 SDRAM 中。开发平台的 SDRAM 容量为 64 MB, 数据宽度是 16 位。SDRAM 芯片中划分了 4 个 BANK 区域用于存储数据, 每个区域大小为 $8M \times 16$ bit。将 SDRAM 虚拟成 4 个数据端口(两个读端口和两个写端口)。两个 BANK 将 30 位 RGB 像素信息拆为 15 位一组, 并在最高位补一个 0, 使之成为两个 16 位数据分别存入两个单元格中。第 1 个 bank 用来存放像素信息的 R[9:0]和 G[9:5], 第 2 个 bank 用来存放 G

一系列图像的预处理和分水岭算法的实现,如图 6(b)所示。

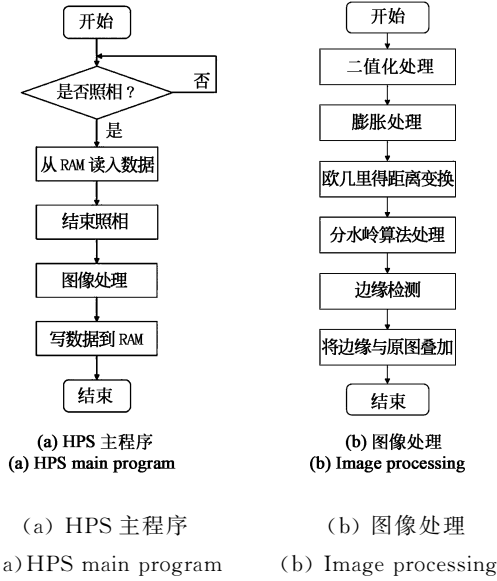


图 6 软件流程图

Fig.6 Software flowcharts

4.1 图像预处理

在图像分割领域最为经典的算法是分水岭分割算法,但是传统的分水岭算法具有许多缺点,尤其是对于文字的分割上,容易过度分割。因此在使用分水岭算法之前,先对图像进行预处理。

4.1.1 二值化处理

图像预处理的第一步是将灰阶图像二值化。大津(Otsu)算法是 Otsu 于 1979 年提出的一种对图像进行二值化的高效算法。对于一幅图像 $f(x, y)$, 设当前景与背景的分割阈值为 T 时,前景点占图像比例为 ω_0 , 平均灰度为 μ_0 , 背景点占图像比例为 ω_1 , 平均灰度为 μ_1 。则整个图像的总平均灰度为:

$$\mu = \omega_0 \times \mu_0 + \omega_1 \times \mu_1, \quad (1)$$

建立目标函数为:

$$g(T) = \omega_0 \times (\mu_0 - \mu)^2 + \omega_1 \times (\mu_1 - \mu)^2, \quad (2)$$

$g(T)$ 就是当分割阈值为 T 时的类间方差表达式。Otsu 算法使得 $g(T)$ 取得全局最大值, 当 $g(T)$ 为最大时所对应的 T 称为最佳阈值^[11]。大于 T 的像素群就归为白色, 小于 T 的像素群就归为黑色。

对于本系统白底黑字的图像经过多次试验后

得到 $T = 100$, 以此值作为阈值可以使本系统光照环境下的二值化效果最好。

4.1.2 膨胀处理

图像膨胀处理的目的是将与目标物体接触的所有背景点合并到物体中, 可填补空洞和形成连通域^[12]。针对本系统的文字图像膨胀处理给图像中的文字边界添加像素, 使目标文字的面积变大, 将字体的笔画连接起来, 不会有分离的现象, 这样使用分水岭分割算法后就会得出比较好的结果。

设 $f(x, y)$ 为输入图像, $b(x, y)$ 为结构元素, 当使用结构元素 b 对图像 f 进行形态学膨胀时, 可定义为:

$$f_d = (f \oplus b)(x, y) = \max\{f_e(x - x'), (y - y') + b(x', y') \mid (x', y') \in D_b\}, \quad (3)$$

式中: D_b 表示二值矩阵, 用于定义邻域中相应位置像素的最小值运算^[13]。

由于二值化图像内只有黑和白两种像素点的颜色, 所以将图像的矩阵看为 01 矩阵, 即矩阵内只有 0 或者 1。1 代表内容, 也就是白色; 0 代表背景, 也就是黑色。在此处只需要将矩阵内 1 的范围扩大即可。本系统膨胀算法采用斜向膨胀, 再横向膨胀, 根据字体大小可以调节膨胀系数 N 。设数组 $a[i][j]$ 存放图像, 膨胀系数 $N = 3$ 为例, 图像膨胀算法步骤如下:

(1) 从 $i = 0, j = 0$ 开始逐行搜索, 找到值为 1 的像素 $a[i][j]$ 。

(2) 对 $a[i][j]$ 进行斜向膨胀。即将 $a[i-1][j-1]$ 设置为 1, 并且 $a[i+1][j+1] < > 1$ 的情况下, 将 $a[i+1][j+1] = 2$ 。其中, 标示为 2 时表示这个值是原来是 0, 是膨胀后改变的。

(3) 然后再对 $a[i][j]$ 进行横向膨胀。即 $a[i-1-1][j-1] = 1, a[i-1+1][j-1] = 1; a[i-1][j] = 1, a[i+1][j] < > 1$ 时, $a[i-1][j] = 2; a[i+1-1][j+1] < > 1$ 时, $a[i+1-1][j+1] = 2, a[i+1+1][j+1+1] < > 1$ 时, $a[i+1+1][j+1+1] = 2$ 。

(4) 从 $i = 0, j = 0$ 开始逐行搜索, 找到值为 2 的像素, 全部修改为 1。

假设矩阵为 4×4 矩阵, 其中第二行第三个元素的值为 1, 其余的值皆为 0。算法示例如图 7。

4.1.3 欧几里得距离变换

欧几里得距离变换就是指对于一个二值化图

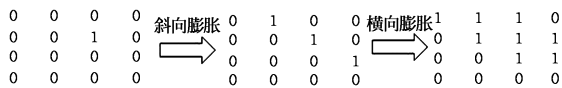


图 7 膨胀算法示例图

Fig.7 Example of the dilation algorithm

像而言,如果白色为内容,黑色为背景,将背景部分的数值转化为到最近的一个白色数值的距离。即在 01 矩阵中,将每个元素的值替换为每个点距离最近一个 1 点的距离。

设数组 $a[i][j]$ 存放图像,则欧氏距离变换是对 a 中的像素点 (i,j) 求:

$$d_{ij} = \min\{\sqrt{(i-x)^2 + (j-y)^2}, (x',y') \in B\}, \quad (4)$$

式中: $B = \{(x,y) | a_{xy} = 0\}$ 为背景点集合^[13]。

欧几里得距离变换算法步骤如下:

(1) 从 $i=0, j=0$ 开始逐行搜索,找到值为 0 的像素 $a[i][j]$ 。

(2) 从 $len=1$ 开始,步长为 1。

(3) 遍历搜索以 $a[i][j]$ 为中心, $2 \times len$ 为边长的正方形四条边中为 1 的点。即从 $a[i-len][j-len]$ 到 $a[i+len][j-len]$ 、从 $a[i+len][j-len]$ 到 $a[i+len][j+len]$ 、从 $a[i-len][j-len]$ 到 $a[i-len][j+len]$ 、从 $a[i-len][j+len]$ 到 $a[i+len][j+len]$ 。

(4) 设找到为 1 的点的坐标为 $a[i2][j2]$,通过 $SQRT((i2-i) \times (i2-i) + (j2-j) \times (j2-j))$ 计算出到 a 距离,记录最小的值 d 。同时,将 $a[i][j]$ 修改为 d 。

(5) 如果 $len++ \leq d$,说明不一定是最小值,则继续搜索,转到 3)。

(6) 从 $i=0, j=0$ 开始,将所有值为 1 的修改为 0。

假设矩阵为 4×4 矩阵,其中第二行第三个元素的值为 1,其余的值皆为 0。算法示例如图 8。

0	0	0	0	欧几里得变换	1.4142	1.0000	1.4142	2.2361
0	1	0	0		1.0000	0	1.0000	1.4142
0	0	1	0		1.4142	1.0000	0	1.0000
0	0	0	0		2.2361	1.4142	1.0000	1.4142

图 8 欧几里得距离变换算法示例图

Fig.8 Example of the Euclidean distance transform algorithm

针对灰阶图像进行 Ostu 二值化处理、膨胀

处理、欧几里得距离变换,为接下来的分水岭分割算法做好准备,将图像变成了山(背景)与水(文字)。软件程序中可以调整图像二值化的阈值 T 以及膨胀系数 N ,可以增加分割的成功率并得到理想的文字分割效果。

4.2 分水岭算法

分水岭分割方法是近年被人们广泛使用的一种基于拓扑理论的数学形态学的分割方法。基本思想是把图像看作是测地学上的拓扑地貌,图像中每一点像素的灰度值表示该点的海拔高度。每一个局部极小值及其影响区域称为集水盆,而集水盆的边界则形成分水岭。分水岭算法是模拟浸水过程实现的^[11,13]。分水岭表示的是输入图像极大值点,因此,为了得到图像的边缘信息,通常把梯度图像作为输入图像,即

$$\text{grad}(f(x,y)) = \{[f(x,y) - f(x-1,y)]^2, [f(x,y) - f(x,y-1)]^2\}^{0.5}, \quad (5)$$

式中: $f(x,y)$ 表示原始图像, $\text{grad}\{\cdot\}$ 表示梯度运算。

算法具体实现步骤如下:

(1) 将经过预处理的图像(准备好的山和水)存入 OriginalImage 数组内。设置阈值为 Thre,初始的水就是在阈值 Thre 底下,所有的低于这个高度的整个山地都加水,直到这个阈值 Thre 高度。然后将所有水的位置标为 1,没有水的位置标为 0,存入 SeedImage 内。输出的是数组 LabelImage,其中每个元素的值就是其所在的区域值。

(2) 统计初始连通区域的方法是八连通邻域法,即从逐一扫描输入的 SeedImage 的每个像素点,将所有标记了的初始集水盆一一纳入各自的区域。然后创建一个临时队列 quetem 来处理集水盆的联通,将扫描到的属于集水盆区域的可生长点存起来。

(3) 对当前扫描的点首先判断是否为初始集水盆的点,如果不是不做操作,如果是那么判断相邻的八个点有没有 SeedImage 里没有标记的点,如果至少有一个没有标记的点,那么就加入种子队列,将区域号记录为 Num,如果都是标记点则加入到临时队列 quetem 中,继续操作。直到将临时队列 quetem 和 SeedImage 里所有的点都检测完,那么就得到了各个连通初始集水盆的记录,保存标记是区域号 Num;而我们同时得到了初始的分水岭,那就放在了保存地点 vque,里面存了

区域号和灰阶值。

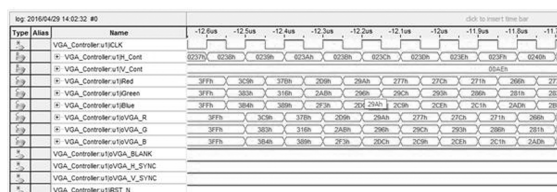
(4) 泛洪淹没过程由一个双重循环来实现。外循环让水位上升(在 256 以内),不淹没分水岭。内循环是扫描初始区域 Num 的分水岭的点(在 vque 中)并进行扩张。如果可生长就继续加入到种子队列,否则就加入到相邻区域的种子队列中。所有的区域在每个水位都扩张完毕,得到最终的分割图。

(5) 进行分水岭分割算法处理过的图片数据会在 LabelImage 矩阵里输出区域值 Num,但是由于最后要得出分割线,所以还要经过区域的边缘检测。即检测区域的四个相邻的点有没有不同的点,如果有的话说明这个点就是边界点,将其标志出来。在最后图片输出的时候就将其灰度值输出为 0 即黑色。

5 系统测试与实现

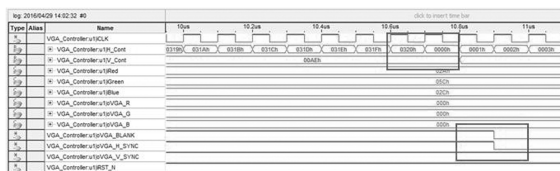
5.1 系统测试

硬件系统采用 FPGA 内部的嵌入式逻辑分析仪 SignalTap II 对图像的采集、存储和 VGA 显示进行调试,观察 VGA 实时采集输出的波形是否符合 VGA 的时序标准。实时捕捉的信号如图 9 所示。



(a) 数据显示区

(a) Data display area



(b) 消隐区

(b) Blanking interval

图 9 SignalTap II 实测 VGA 控制器输出波形

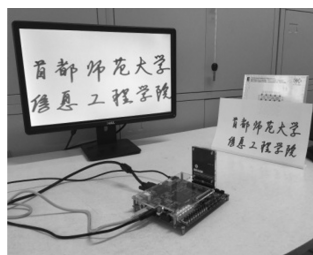
Fig.9 Measured waveforms of VGA controller via SignalTap II

从图 9(a)可以看出行计数器 H_Count 在时钟 CLK 的作用下不断计数,VGA 控制器不断将输

出的 iRed、iGreen、iBlue 数据输出。从图 9(b)可以看出当行计数器 H_Count 的值计到 320H 即 800 时,开始重新计数,符合行计数器 H_Count 的每行有 800 个时钟周期,包含 640 个有效显示区和消隐区,且在后 48 个时钟 VGA 输出的 RGB 值均为 0。经过测试,VGA 控制器的设计符合 VGA 的显示标准,图像数据输出正确。

5.2 系统实现

完成软硬协同系统设计后,在 Quartus II Programmer 将硬件系统的.sof 文件下载到开发板内,并将 ARM DS-5™项目的 Debug 文件夹内编译生成的 Linux 可执行文件下载到板载的 Linux 系统。然后按下键盘的任一按键就会拍摄一张图像并进行文字分割。本系统分别对印刷体与手写体等不同字体和不同大小的文字进行实际测试,测试结果如图 10 所示。



(a) 手写文字拍摄图像

(a) Original image of handwriting



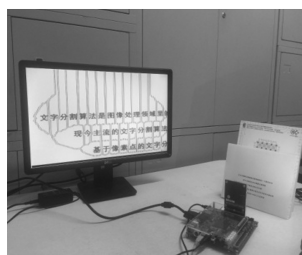
(b) 分割后的图像

(b) Text segmentation of (a)



(c) 印刷体文字拍摄图像

(c) Original image of printed text



(d)分割后的图像

(d)Text segmentation of (c)

图 10 实时手写和印刷体文字分割结果

Fig.10 Results of real-time segmentation of hand-writing and printed text

经过大量的测试,实验结果表明,本系统对于手写和印刷字体具有较准确的文字分割效果以及较快的文字分割速度,整个处理时间可以控制在 1 s 内。同时在实际测试时,发现拍摄环境以及光照情况对于本系统的文字分割效果影响很大。当照片的背景亮度不均匀时,往往不会得出很好的分割结果,会过度分割或者异常分割。

为了验证本文方法的优越性,将本文的图像预处理和分水岭算法同样的代码运行时间与 PC 机的 Matlab、基于 NIOS II 软核的 SOPC 系统进行对比实验。

PC 机使用 Matlab 图像处理的函数,计数时间的方法为内部的计时函数;将 ARM-based HPS 内核替换成 NIOS II CPU 内核,计时方法使用 FPGA 上的计数时间电路,测试结果如表 1 所示。表 1 的统计数据为十幅图像处理的平均值,可以看出本文基于 HPS 的 SOC 系统耗时较少。

参 考 文 献:

- [1] HSIAO P Y, LIN S Y, HUANG S S. An FPGA based human detection system with embedded platform [J]. *Microelectronic Engineering*, 2015, 138: 42-46.
- [2] KORNAROSG, ORPHANOUDAKIS T. Design and implementation of high-speed buffered crossbars with efficient load balancing for multi-core SoCs [J]. *Microprocessors and Microsystems*, 2010, 34(7/8): 301-315.
- [3] 廖裕评,陆瑞强,郭书铭.嵌入式系统设计:ARM-Based FPGA 基础篇[M].台北:五南图书出版有限公司,2014.
LIAO Y P, LU R Q, GUO S M. *Design of Embedded System: the Basis of ARM-Based FPGA* [M]. Taipei: Wu-nan book Inc, 2014. (in Chinese)
- [4] 任爱锋,罗丰,宋士权,等.基于 FPGA 的嵌入式系统设计:Altera SoC FPGA[M].2 版.西安:西安电子科技大学出版社,2014.
REN A F, LUO F, SONG S Q, et al. *Design of embedded system based on FPGA—Altera SoC FPGA* [M]. 2nd

表 1 运行时间比较

Tab.1 Comparison of running times

测试平台	时间/s
HPS	0.87
MATLAB	1.6
NIOS II	4.8

从表 1 可以得出,与 PC-based 的 matlab 平台相比,本系统的算法运行速度提高了 0.84 倍;与 NIOS II 软核的 SOPC 系统相比,HPS 的运行速度远快于 NIOS II,运行速度提高了 4.52 倍。同时,本系统采用了软硬件协同的设计方法,将图像灰度处理工作交给了硬件完成,再使用软件算法进行处理,相比于纯软件的方法,节约了部分时间。

6 结 论

本设计基于 SoC FPGA 的图像文字分割系统采用软硬协同的设计方法,实现了对于 640×480 的图像的采集、控制、存储、显示、处理和算法实现。实验结果表明了设计的可行性和实时性,体现了 SOC FPGA 软硬整合的灵活性。本系统一幅图像文字的平均分割速度为 0.87 s,比利用软核 NIOS II 的 SOPC 系统处理时间缩短了 81.88%,比 matlab 处理时间缩短了 45.63%。同时系统结合了 ARM 和 FPGA 各自的优点,克服了传统 ARM 在图像视频领域开发速度上的劣势,并减小了硬件设计的难度。本文介绍的实例开发与思路具有较好的工程应用与参考价值。

- ed, Xi'an: Xidian university press, 2014. (in Chinese)
- [5] 白月明. 基于 SoC FPGA 的视频播放器设计[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014.
BAI Y M. The Design of Video Player Based on SoC FPGA [D]. Xi'an: Xidian University, 2014. (in Chinese)
- [6] 张桂梅, 周明明, 马珂. 基于彩色模型的重构标记分水岭分割算法[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(5): 641-647.
ZHANG G M, ZHOU M M, MA K. Image segmentation algorithm for reconstruction labeling watershed in color space [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2012, 18(5): 641-647. (in Chinese)
- [7] 柳培忠, 宁欣, 李卫军. 一种网页图像文字分割方法[J]. 计算机工程与应用, 2014, 50(10): 180-183.
LIU P Z, NING X, LI W J. Approach for text segmentation in web image [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2014, 50(10): 180-183. (in Chinese)
- [8] 全欣. 基于 FPGA 的视频图像处理系统的研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2012.
TONG X. Study of Video Image Processing System Based on FPGA [D]. Xian: Xidian University, 2012. (in Chinese)
- [9] 姜漫, 吴志勇, 曹腾. 基于 SOPC 技术的 VGA 字符和图像显示系统[J]. 液晶与显示, 2013, 28(1): 120-126.
JIANG M, WU Z Y, CAO T. Characters and images VGA display system based on SOPC technology [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(1): 120-126. (in Chinese)
- [10] 朱奕丹, 方怡冰. 基于 FPGA 的图像采集与 VGA 显示系统[J]. 计算机应用, 2011, 31(5): 1258-1261.
ZHU Y D, FANG Y B. Image acquisition and VGA display system based on FPGA [J]. *Journal of Computer Applications*, 2011, 31(5): 1258-1261. (in Chinese)
- [11] 程利群, 王晓曼, 景文博. 利用标记分水岭法实现夏克——哈特曼波前传感器质心探测[J]. 光学精密工程, 2014, 22(6): 1494-1499.
CHENG L Q, WANG X M, JING W B. Centroid detection of Shack-Hartmann wave-front sensor by marked watershed method [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2014, 22(6): 1494-1499. (in Chinese)
- [12] 同武勤, 凌永顺, 黄超超, 等. 数学形态学和小波变换的红外图像处理办法[J]. 光学精密工程, 2007, 15(1): 138-144.
TONG W Q, LING Y S, HUANG C C, et al. Processing method of IR image based on mathematical morphology and wavelet transform [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2007, 15(1): 138-144. (in Chinese)
- [13] 韩敬华, 何长涛, 张秋慧, 等. 应用标记控制分水岭分割算法研究激光诱导玻璃体损伤形貌[J]. 光学精密工程, 2010, 18(6): 1387-1395.
HANG J H, HE C T, ZHANG Q H, et al. Morphological analysis of laser induced glass bulk damage by marker controlling watershed algorithm [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2010, 18(6): 1387-1395. (in Chinese)

作者简介: 邱德慧(1975—), 女, 四川隆昌人, 博士, 副教授, 2011 年于北京理工大学获得博士学位, 主要从事 FPGA 与嵌入式系统设计、机器人控制的研究。E-mail: qiudehui@126.com