

基于 TMS320C6711 DSP 的实时人脸检测系统*

闫娟¹,程武山²,孙鑫¹

(1.上海大学 机电工程与自动化学院,上海 200072;

2.上海工程技术大学 电子电气工程学院,上海 201620)

摘要:介绍了一种基于TMS320C6711 DSP 芯片开发的实时人脸检测系统,阐述了系统的硬件结构和软件开发流程。实验结果表明,该系统稳定、高效、检测结果准确。

关键词: DSP 人脸检测 差分图像 肤色模型

计算机人脸识别技术在生物测量、身份识别、安全监控、图像与视频检索和智能人机接口等方面的应用越来越受到研究人员的关注。人脸识别分为人脸检测、特征提取和人脸辨识三部分。人脸检测作为人脸识别技术的重要环节在机器视觉研究中具有重要的意义。集成电路和嵌入式技术的发展,使得实现实时人脸检测和识别有了硬件基础。在一些强实时环境下采用 DSP 专用芯片处理一些任务具有不可比拟的优越性。因此,DSP 专用芯片成为实现人脸识别算法、搭建人脸识别系统时的首选芯片。

为了达到较好的实用性,研究一种实时的人脸识别系统成为当前的研究热点问题。人脸检测是人脸识别的初始步骤,由于大部分人脸检测系统是在 PC 机上实现的,并非在线检测,因此存在非实时性和滞后性等缺点,所以需要将嵌入式系统设计技术与数字图像处理技术相结合,研究出小型化的实时的人脸识别系统的关键子系统——人脸检测系统。

所谓人脸检测就是在待检测图像中检测是否有人脸存在,确定其大小并为其定位。本文结合 DSP 自身的特点,提出一种在 TI 公司的 TMS320C6711 DSP 芯片上实现人脸检测的方法,最终实现人脸的自动检测与定位。

1 基于 TMS320C6711 DSP 的实时人脸检测系统硬件构成

1.1 TMS320C6711 DSP 芯片的特点

TMS320C6711 采用基于超长指令字(VLIW)的体系结构^[1],非常适合于高强度的数学运算。内部程序存储器采用特殊的设计结构,使每个时钟周期可取 8 条指令。TMS320C6711 是浮点处理器,主频 150MHz,峰值处理速度可达到 1200MIPS。TMS320C6711 具有 72KB 的内部存储器、6 个 ALU 单元和两个乘法器单元组成的 8 个功能

或执行单元、寻址空间达到 4GB 的 32 位地址线和两组 32 位的通用寄存器。片内 RAM 支持快速存取数据,32 位外部存储器接口支持 SDRAM、SBSRAM、SRAM 以及异步存储器,这样可以适应更大的外部存储器,从而提高系统性能,使实现实时人脸识别系统成为可能。

1.2 系统硬件构成

系统主要由图像采集、图像数据存储、图像数据处理等几个部分组成。图像采集部分使用 Philip 公司的 SAA7113 专用图像采集器,工作速度 27MHz。SAA7113 的主要作用是把输入的模拟视频信号解码成标准的“VPO”数字信号,传输给输入控制模块(FPGA1)进行预处理。在输入控制模块中使用 Xilinx 公司的 XCV100E 对输入的图像数据进行预处理并控制输入图像数据的存储和图像数据向 DSP 的传输。输入图像存储模块(SDRAM1)和输出图像存储模块(SDRAM2)都采用 2M×32bit 的大容量 SDRAM 存储图像数据,最多可以存储 768×576 像素彩色图像 4 幅。在输出控制模块(FPGA2)中,同样使用 Xilinx 公司的 XCV100E,控制接收 DSP 的数据,传输到输出图像数据存储模块,并将该数据送图像显示模块。图像输出可根据配置的不同选择 PAL/NTSC 模式,将信号输出到对应的输出端口,输出的图像数据为 4:2:2 的 YUV 格式。系统基本的硬件结构如图 1 所示。

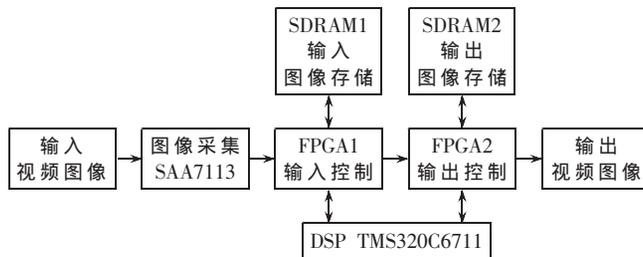


图 1 系统硬件结构图

* 基金项目:上海市教委基金资助项目(05NZ25)

2 基于 TMS320C6711 DSP 的实时人脸检测系统软件设计

本系统首先对采集到的图像进行预处理;再利用视频图像的差分技术对运动区域进行定位;接下来利用肤色模型算法对差分得到的运动区域进行人脸粗检测;再利用基于几何特征的方法精确定位人脸。系统算法是在 DSP 上实现的,充分利用了 TMS320C6711 的 8 个处理单元;使用软件流水线操作,尽量使指令无冲突地并行执行。在存储空间的分配上要充分考虑存储区的访问速度,因为 DSP 访问片内 RAM 的速度要比访问片外 RAM 的速度快。编程分别用 C 语言和 TMS320C6711 的汇编语言编程。汇编程序主要实现系统的初始化、图形操作和串口操作;C 程序主要用来实现整个系统的流程控制以及图像处理算法。采用 C 语言和汇编语言混和编程的方法能够充分利用 DSP 的资源,大大提高系统的运行速度和性能。

2.1 图像预处理

一般的图像预处理方法用图像平滑、图像锐化、空间域单点增强、图像边缘检测等方法提高图像质量以满足图像处理的要求。在本系统中,首先采用 3×3 的滑动窗口对待识别图像(720×576)进行中值滤波处理,即用此窗口中各点灰度值的中值来代替中心点的灰度值。对待识别图像进行遍历处理就得到中值滤波以后的平滑图像,很好地抑制了输入原始图像由于随机干扰和脉冲干扰引起的噪声。然后采用直方图均衡化方法增强图像。为了加强图像中的目标边界和图像细节,还要进行图像锐化处理。这里采用 Sobel 算子对图像进行锐化处理,因为 Sobel 算子采用间隔两行或者两列的差分,所以使图像中边缘两侧的像素得到增强,最终得到的锐化图边缘显现粗而亮。

2.2 人脸检测算法

由于本系统是实时人脸检测系统,所以采用视频图像的差分技术确定视频序列中的人脸区域。差分图像处理的基本原理是将检测区中的图像在图像空间域上与背景图像进行差分,可以表示为:

$$Df_i, f_j(x, y) = f(x, y, t_i) - f(x, y, t_j) \quad (1)$$

式中, $f(x, y, t_i)$ 和 $f(x, y, t_j)$ 分别为 t_i 和 t_j 时刻在 (x, y) 位置像素点的亮度值,其大小在 0~255 之间。 $f(x, y, t_i)$ 和 $f(x, y, t_j)$ 在 (x, y) 位置像素点亮度的显著性差异为:

$$\frac{[\frac{s_i + s_j}{2} + (\frac{m_i - m_j}{2})^2]}{s_i s_j} > t \quad (2)$$

式中, m_k 和 s_k ($k = i, j$) 是 $f(x, y, t_k)$ 在 (x, y) 的某小邻域 $Q(x, y)$ 内的均值和方差, t 是门限。若式(2)成立,则 $f(x, y, t_i)$ 和 $f(x, y, t_j)$ 的亮度在 (x, y) 位置有显著性差异,取 $Df_i, f_j(x, y) = 1$;若式(2)不成立,则取 $Df_i, f_j(x, y) = 0$ 。基于这种差分技术,假设背景静止不动,而人脸不停地运动,人脸的位置可以通过简单的帧相减等技术轻易得到确定。

2.3 人脸定位

下一步需要在差分得到的人脸运动区域定位人脸。在确定采用肤色模型之前,先是采用全局取阈值的方法对待识别图像进行二值化处理,确定人脸各器官的区域,为人脸精确定位做好准备。但是全局取阈值时,背景的图像无法去掉,如图 2(a)所示,而且由于光线等影响,人脸区域也不清楚。所以采用基于肤色模型的人脸检测方法,实验结果证明效果不错。

人脸的肤色信息是人脸的重要特征,它不受人的表情、角度、姿态等因素的影响,有很高的稳定性,而且肤色和大部分的背景颜色是有区别的,采用肤色模型检测人脸有很高的鲁棒性。因为环境的光线变化对人的肤色影响很大,所以在此选择可以分离出亮度因素的 YCbCr 色彩空间。在由色度 Cb 和 Cr 构成的二维平面上,肤色的分布是比较集中的,具有很好的聚类性,能够较好地获取肤色区域,从而排除一些类似人脸肤色的非人脸区域。本系统使用 SAA7113 专用图像采集器采集的图像是 YUV 格式的(在 PAL 模式下, YUV 模型其实就是 YCbCr 模型),这样就省去了额外的颜色模型转换。经过大量的样本统计得出,在该空间下肤色区域满足下式^[2]:

$$F(i, j) = \begin{cases} 255, & (80 \leq C_b \leq 130 \text{ 且 } 130 \leq C_r \leq 180) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

式中, $F(i, j) = 255$, 表示肤色点; $F(i, j) = 0$, 表示非肤色点。

这样就可以将待识别图像二值化(图 2(b)),再经过数学形态学运算,将此二值化图像先腐蚀后膨胀,便可以去掉噪声,使图像平滑,如图 2(c)所示。实验中利用(3)式对图像进行处理,发现效果不是很理想,调整肤色范围为 $80 \leq C_b \leq 127$ 且 $135 \leq C_r \leq 175$ 后,得到了比较好的效果。

由图 2(c)可以看到,经过数学形态学运算以后,去除了噪点和背景中的一些类肤色区域。对上述得到的二值化图像进行目标聚类分析算法处理,得到了一系列连通区域。这些区域除了人脸区域可能还包括一些非人脸区域,应对这些区域进行初步筛选,去除面积太小的区域。正常情况下,人脸图像中都要包括眉毛、眼睛等非肤色区域,所以真正的人脸区域必须包括一个或者多个小孔。人脸区域的欧拉数应满足: $E = C - H \leq 1 - 1 = 0$, 其中 C 表示连通区域的数目,在这里等于 1; H 表示区域中的小孔数,不小于 1。结合区域的宽高比等因素,可以剔除



图 2 待测图像二值化图

非人脸区域(例如脖子、裸露的手臂等)。此时得到的区域是粗检区域,要准确定位人脸还需要采用基于人脸几何特征的方法准确定位人脸^[4]。首先确定人眼的位置,然后定位人眼瞳孔距离 d ,则以双眼间的连线中点作为检测到的人脸宽度的中点,人脸宽度确定为 $2d$;双眼间的连线中点垂直向上 $0.9d$,向下 $1.6d$,共计 $2.5d$ 作为人脸的高度。人眼瞳孔间距 d 和双眼连线的中点到嘴唇的距离 L 应满足下列关系: $\lambda_1 \leq L/d \leq \lambda_2$ (经实验取 $\lambda_1=1, \lambda_2=2,$)。满足上述约束条件的区域即是最终确定的人脸区域。灰度图像如图3所示,检测结果如图4所示。



图3 灰度图像



图4 检测结果

本文基于TI公司的TMS320C6711 DSP芯片开发了人脸检测系统。利用本系统对20个同学在不同光线、有无带眼镜、不同表情变化、头部有一定偏转等不同情况进行人脸检测。实测表明,系统的实时性、准确性都令人满意。但是在光线过强时,由于镜片的反光会影响肤色检测的区域,对检测结果有些影响,容易产生误检。本系统是人脸识别系统的前期处理,实验结果证明系统灵活,运行稳定、可靠,为今后的人脸识别奠定了基础。后续的工作可在此基础上提取人脸特征、构建人脸识别算法,最终完成整个人脸识别系统。

参考文献

- [1] TMS320C6000 CPU and Instruction Set Reference Guide [EB/OL].<http://www.ti.com>
- [2] 李璇,罗敏,施荣华.复杂背景下基于肤色和几何特征的人眼定位[J].计算机测量与控制,2005,13(3):281-283.
- [3] 刘伟节,胡剑凌,徐盛.一种改进的基于人脸特征的人脸检测方法.计算机工程与应用,2006,(12):50-52

(收稿日期:2006-11-01)