

基于 FPGA 的二维码图像旋转系统

陈 怡, 张 萌

(电子科技大学 电子薄膜与集成器件国家重点实验室, 四川 成都 610054)

摘 要: 阐述了在图像预处理阶段将二维码图像旋转至端正的必要性。设计了一种求取 QR 二维码图像旋转角度的算法以及一种可将二维码图像旋转任意角度的算法。求取旋转角度算法简捷有效,能以较低的硬件代价实现。图像旋转算法利用了 CORDIC 算法以及双线性插值算法,采用高速流水线架构在 FPGA 上实现。整个设计在 Altera 公司的 DE2 平台下进行了验证。实验结果表明,这两种算法结合使用可以快速有效地将带有一定歪斜角度的二维码图像旋转端正,速度可以达到 90.9 MHz,旋转后的图像细节清晰,能有效提高二维码的识别率。

关键词: 图像旋转;FPGA;二维码;CORDIC

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 0258-7998(2012)07-0012-02

2-D barcode image rotation system based on FPGA

Chen Yi, Zhang Meng

(State key Laboratory of Electronic Thin Films and Integrated Devices,
University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: Image rotation is a necessity for 2-D barcode identification. This paper presents a novel VLSI structure for image rotation which can calculate the tilt angle of 2-D barcode image and rotate image to the horizontal way. The circuit to calculate the tilt angle of 2-D barcode is simple and effective and can be implemented with low hardware complexity. Image rotation algorithm takes use of improved CORDIC algorithm and Bi-linear interpolation and is implemented by high-speed pipelined architecture. The proposed architecture is implemented on the Altera Stratix IV FPGA. The whole design is validated in Altera's DE2 workbench. Experimental results show that the proposed architecture can rotate 2-D barcode images with arbitrary tilt angles to the horizontal way at 90.9MHz. Moreover, it can keep image details clear thus improving 2-D barcode identification rate.

Key words: image rotation;FPGA;2-D barcode;CORDIC

近年来,物联网技术高速发展,已成为各国的发展战略,受到高度重视。在物联网的应用和实现过程中,条码技术(可分为一维条码和二维条码)是信息识别领域最为重要和关键的技术之一。如今二维条码技术已经在物流、通信和工业领域中得到了广泛应用^[1]。

因图像采集环境复杂多变,采集到的二维码必须进行图像处理才能达到理想的识别率。二维码图像预处理包括灰度化、滤波去噪、二值化、图像旋转和图像去光照等步骤。由于通过摄像头采集到的图像或多或少都会有一定的歪斜,所以将图像旋转端正对二维码图像识别来说是必不可少的^[2-3]。

本文基于 CORDIC 算法,设计了一种高速流水线的图像旋转算法。算法只包含加法和移位操作,在 FPGA

上的验证结果表明,本设计的电路精度高,速度快,可以适用于实时二维码图像识别。

1 二维码图像采集和显示

在本系统中,图像采集采用 OV7620 摄像头。OV7620 是一种 CMOS 图像传感器,具有软件可编程性,可以通过 SCCB 总线协议进行其工作模式的配置,被广泛应用于网络摄像头、摄像手机等产品中。首先基于 SCCB 协议的寄存器配置电路对 OV7620 进行初始化,然后设计了摄像头图像采集程序,通过 SRAM 控制器将采集到的图像存入 SRAM 中,并在 LCD 上实时显示出来。摄像头采集与显示框图如图 1 所示。

2 图像旋转角度的获取

由于受采集环境、摄像头和图像采集者等多种因素

《电子技术应用》2012年 第38卷 第7期

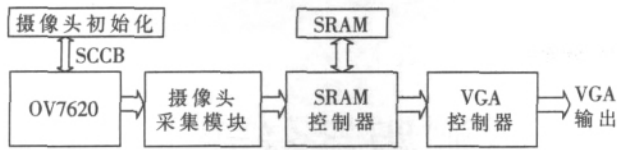


图1 摄像头采集与显示框图

的影响，采集到的二维码图像一般都会有一定的歪斜。要将二维码图像旋转端正，首先需要知道二维码图像歪斜的角度。QR码图像在左上角、左下角和右上角各有一个位置探测图形，每个位置探测图形可以看作是由3个重叠且同心的正方形组成，它们分别为7×7个深色模块、5×5个浅色模块和3×3个深色模块。如图2所示，位置探测图形的模块宽度比为1:1:3:1:1。符号中其他地方遇到类似图形的可能性极小，因此可以通过扫描整个二维码图像找出3个位置探测图形，根据3个位置探测图形的相对位置判断出图像的歪斜角度。

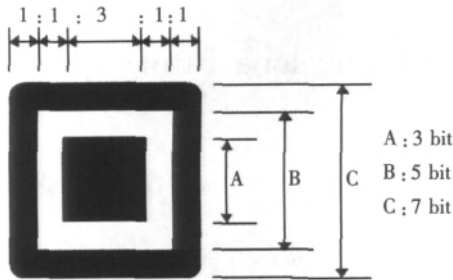


图2 位置探测图形

3 图像旋转算法分析和实现

设 (x, y) 为将原图像旋转角度 θ 后的新坐标， (x', y') 为原图像中的对应坐标，则 (x, y) 与 (x', y') 的对应关系为：

$$\begin{cases} x' = \cos\theta(x + y\tan\theta) \\ y' = \cos\theta(y - x\tan\theta) \end{cases} \quad (1)$$

令 $\theta = \arctan 2^{-i}$ (i 为整数)，则 $\tan\theta = 2^{-i}$ ， $\cos\theta = 1/\sqrt{1+2^{-2i}}$ 。令 $k = \cos\theta$ ，则式(1)可变为：

$$\begin{cases} x' = k(x + y2^{-i}) \\ y' = k(y - x2^{-i}) \end{cases} \quad (2)$$

由式(2)只能计算出特定角度($\arctan 2^{-i}$)的旋转坐标。CORDIC算法的原理是任何角度都可以通过 n 个 $\arctan 2^{-i}$ 形式的微小角度相加来无限接近。可引入变量 z 表示每次旋转的方向， z 的初始值为图像需要旋转的角度，则式(2)可以变为：

$$\begin{cases} x_i = k_i(x_{i-1} + \delta_i 2^{-i} y_{i-1}) \\ y_i = k_i(y_{i-1} - \delta_i 2^{-i} x_{i-1}) \\ z_i = z_{i-1} - \delta_i \alpha_i \end{cases} \quad (3)$$

其中 $\delta_i = \pm 1$ ， $\alpha_i = \arctan 2^{-(i-1)}$ 。

式(3)为CORDIC算法的基本旋转公式。可以看出，CORDIC算法是由一系列简单的移位和加法操作组成的。它实际上是一种逐次逼近的坐标旋转方法，每次旋转都使累加的旋转角度之和与目标旋转角更接近。迭代

《电子技术应用》2012年第38卷第7期

次数 n 越大，旋转的角度就与真实的角度越接近。在实际应用中，受硬件资源限制，不可能迭代很多次。实际上，对于 n 次迭代，CORDIC算法的旋转精度为 $\arctan 2^{-(n-1)}$ 。当 $n=8$ 时，旋转精度可达 0.4476° ，满足实际应用的需要^[4]。

在式(3)中，每次迭代运算后都需要与 k_i 进行一次乘法， n 次迭代运算就需要进行 n 次乘法，这将十分消耗硬件资源。在实际操作中，一般都是在 n 次迭代过后再乘上 $k(n) = \prod_{i=0}^{n-1} (1+2^{-2i})^{-\frac{1}{2}}$ ，这是一个收敛函数，由此可见基本的旋转改变了矢量的模长，需要用 $k(n)$ 进行校正。当 n 趋于无穷大时， $k(n)$ 趋近于一个固定值0.60725。这种直接在流水线结构之后附加乘法器的实现方法使原本由移位器和加法器组成的整体结构变得不规则，同时乘法器占用很大资源且会降低整个流水线的吞吐率。因此，提出一种CORDIC模校正方法来避免在硬件中引入乘法器。

通过数学变换有： $k = \frac{1}{2}(1+2^{-2})(1-2^{-5})(1+2^{-8})(1-2^{-10}) \approx$

0.60725。故用4次由加法和移位组成的迭代以及1次右移操作即可实现模校正。与乘法操作相比，加减法付出的代价很小，进一步降低了硬件复杂度，使整体结构规则统一，有利于硬件实现。求取旋转角度后，可通过双线性插值算法实现图像的重现。

4 系统架构

整个系统包括求取角度单元、地址产生单元、数据准备单元、时钟分频单元、CORDIC单元、双线性插值单元和存储单元，系统框图如图3所示。求取角度单元对存储在RAM中的图像像素值进行扫描，通过设计的状态机求得图像歪斜的角度；地址产生单元将原图像中的地址依次传给CORDIC单元；CORDIC单元接收地址以及歪斜角度，通过13级流水线(8级CORDIC变换流水线和5级模校正流水线)求得旋转过后的新坐标的整数部分和小数部分；数据准备单元根据CORDIC单元求出的新坐标的整数部分计算出其最邻近的4个像素点的像素值，并将这些像素值与新坐标的小数部分一起传给双线性插值单元，计算出新坐标的像素值。

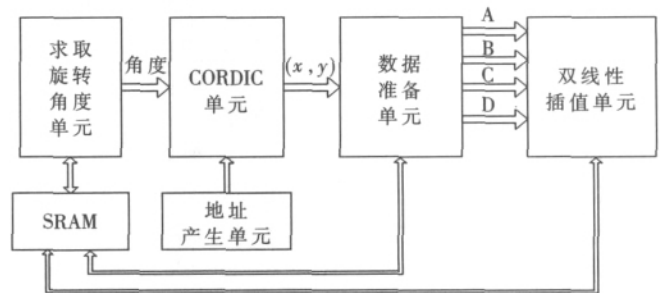


图3 系统框图

(下转第16页)

将系统与参考文献的测距精度进行对比来评价系统精度。利用 QuartusII9.0 集成的 SoPC Builder 建立 SoPC 平台,用 C 语言将包络拟合算法移植到 NiosII 处理器进行对比来评价系统速度,对比结果如表 2 所示。

表 2 系统测距性能对比

超声测距系统	精度	速度(实时性)
参考文献[2]双比较器阈值检波	±6 mm	未提到
参考文献[4]包络峰值检测	±4 mm	未提到
SoPC 软件包络拟合测距	±1 mm	秒量级
FPGA 全硬件包络拟合测距	±1 mm	微秒量级

本文针对普通超声测距系统精度低、速度慢的问题,提出了一种全硬件实现的 FPGA 超声测距系统。将二次曲线拟合算法应用于超声回波包络拟合,在 4 m 范围内测距误差小于±1 mm,具有精度高、运算速度快、实时性好的特点。系统采用 FPGA 结构,具备很强的功能扩展性,可扩展到超声探伤、超声成像等领域。

参考文献

[1] 李戈,孟祥杰,王晓华,等.国内超声波测距研究应用现

状[J].测绘科学,2011(7):60-62.

[2] 唐雅萍,刘震宇,郭鑫,等.高精度超声波测距系统设计[J].实验技术与管理,2010(3):61-64.
 [3] 闰东磊.基于 ATmega8L 高精度超声波测距仪的设计[D].武汉:武汉理工大学,2010.
 [4] 张海鹰,高艳丽.超声波测距技术研究[J].仪表技术,2011(9):58-60.
 [5] BARSHAN B, KUC R. A bat-like sonar system for obstacle localization[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 1992, 22(4): 636-646.
 [6] 苑洁,常太华.基于 STM32 单片机的高精度超声波测距系统的设计[J].电子设计工程,2011(8):76-78.
 [7] 滕艳菲,陈尚松.超声波测距精度的研究[J].国外电子测量技术,2006,25(2):23-25.

(收稿日期:2012-06-08)

作者简介:

张祥,男,1987 年生,在读硕士,主要研究方向:电路与系统。

(上接第 13 页)

由于计算过程中包含小数,所以在硬件结构中将原始数据左移 8 位进行扩张,在 CORDIC 单元最后将计算得到的数据的低 8 位提取出来作为小数部分即可。

5 实验结果分析

本实验中设计了摄像头采集程序以及液晶驱动程序。可以通过摄像头实时采集图像;将采集到的图像通过灰度化、中值滤波和二值化处理后,存入 SRAM 中;随后电路开始读取 SRAM 中的图像并求出歪斜角度,通过图像旋转电路将图像旋转端正。整个设计全部采用 Verilog HDL 语言编写。采用 Synplify Pro、Quartus II 9.1 和 Modelsim 6.5SE 仿真和实现了整个设计,并在 DE2 开发板上对本设计进行了验证。

通过实验结果可知,电路最大工作频率可以达到 90.9 MHz;整个系统消耗了 1 289 个组合逻辑单元和 483 个寄存器单元;求得一个旋转过后的像素值需要 6 个时钟周期,因此本二维码图像旋转系统处理 640×480 像素的图像的帧率为 49 f/s,该速度完全可以满足实际要求。上述验证结果表明,本设计的二维码图像旋转系统具有速度快、复杂度低的特点。

参考文献

[1] GHOSH I, MAJUMDAR B. Design of an application specific VLSI chip for image rotation[C]. Calcutta: Proceedings of the Seventh International Conference on VLSI Design, 1994: 275-278.
 [2] SUCHITRA S, LAM S K, SRIKANTHAN T. Novel schemes for high-throughput image rotation[C]. Singapore: Conference Record of the Thirty-Eighth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, 2004, 2: 1884-1888.
 [3] Jiang Xiaogang, Zhou Jianyang, Shi Jianghong, et al. FPGA implementation of image rotation using modified compensated CORDIC[C]. 6th International Conference on ASIC, 2005: 752-756.
 [4] 李杰明,郑学仁.基于 CORDIC 算法的数字图像旋转实现[J].电子技术应用,2009,35(6):72-74.

(收稿日期:2012-06-10)

作者简介:

陈怡,男,1988 年生,硕士研究生,主要研究方向:VLSI 设计和图像处理。

张萌,男,1989 年生,硕士研究生,主要研究方向:VLSI 设计。