

一种层次化的 Data Matrix 实时解码方法

刘 峰, 杨兆选, 韩 东, 孙 琪

(天津大学电子信息工程学院, 天津 300072)

摘 要: 在实际应用中, Data Matrix 二维条形码的解码效果会受到不均匀光照和复杂背景的影响。为此, 提出一种层次化的 Data Matrix 实时解码方法。利用大津法将条码图像的前景和背景进行分割, 得到二值化的条码图像, 对其进行区域定位和精确定位。在此基础上, 设计基于数字信号处理的二维条形码快速解码终端。实验结果表明, 该解码方法具有较好的实时性和较高的鲁棒性。

关键词: 条码识别; 二值化; 条码定位; 连通域; Radon 变换

Hierarchical Method of Data Matrix Real-time Decoding

LIU Feng, YANG Zhao-xuan, HAN Dong, SUN Qi

(School of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

【Abstract】 Un-uniform illumination and complex background will influence Data Matrix 2D barcode decoding effect in real application situation. Aiming at this problem, this paper proposes a hierarchical method of Data Matrix real-time decoding. The method implements barcode region segmentation from background with Otsu algorithm to get the binary barcode image. It coarsely localizes the barcode region and achieves fine-level localization, and develops a terminal for real-time Data Matrix decoding based on Digital Signal Processing(DSP). Experimental results demonstrate that the method is real-time and robust.

【Key words】 barcode recognition; binaryzation; barcode localization; connected domain; Radon transform

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.02.091

1 概述

Data Matrix 是一种矩阵式二维条形码, 具有信息量大、可靠性高、保密防伪性好等特点, 在国防、交通运输和医疗等诸多领域都具有广泛的应用前景。

在实际应用环境中, 不均匀光照和复杂背景给条码的准确快速识别提出了挑战。条码的二值化和定位是二维条形码识别的关键步骤。作为图像预处理重要组成部分的条码二值化的效果直接决定了条码识别质量。

然而, 在不均匀光照条件下, 传统的全局阈值法和局部阈值法都不能产生很好的二值化效果: 最大熵法^[1]、最小误差法^[2]等全局阈值法存在准确度低、鲁棒性差的问题; Bernsen 法^[3]和 Niblack 法^[4]等局部阈值法会产生严重的块效应, 给后期解码带来很大困难, 并且条码定位是实现条码快速解码的前期保证。

上述方法大多采用标准 Radon 变换和 Hough 变换进行条码定位, 但是这些方法的计算量都非常大。为此, 本文提出一种层次化的 Data Matrix 解码方法解决以上问题。

2 层次化的 Data Matrix 实时解码方法

Data Matrix 实时解码框架由条码二值化、条码粗定位(区域定位)和条码精定位 3 个部分组成, 见图 1。

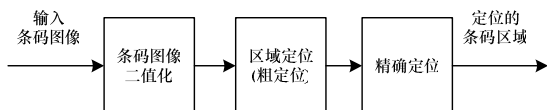


图 1 Data Matrix 实时解码框架

2.1 条码图像二值化

在实际应用中, Data Matrix 条码通常出现在复杂的背景中, 并时常伴有不均匀的光照。本文提出一种通过估计场景

中光照分布的方法去除不均匀光照的影响^[5]。

2.1.1 光照分布估计

数字图像 $f(x, y)$ 可以分解为 2 个分量的乘积:

$$f(x, y) = r(x, y)i(x, y) \quad (1)$$

其中, $i(x, y)$ 是照度函数; $r(x, y)$ 是反射函数。

在一般情况下, 照度函数 $i(x, y)$ 在空间的变化比较缓慢, 而反射函数 $r(x, y)$ 会在物体边界处产生急剧的变化, 认为 $i(x, y)$ 对图像亮度函数 $f(x, y)$ 的影响主要体现在其低频部分, $r(x, y)$ 主要影响 $f(x, y)$ 的高频部分。

解码利用 Mallat 算法对图像进行分解, 舍掉分解后的细节信号, 使用低频子带数据进行重建, 得到图像的近似光照分布。由于 Mallat 算法提出的子带滤波方式很适合数字信号处理(Digital Signal Processing, DSP)的体系结构, 并且算法只需要计算低频子带数据, 这样极大减少了算法时间复杂度并节省了存储空间。

2.1.2 大津法二值化

利用式(1)可得到均匀光照的图像。然后利用经典的大津法^[6]可很好地前景和背景进行分割。条码图像二值化的结果如图 2 所示。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60976001); 国家教育部博士点基金资助项目(20090032110028); 天津市应用基础与前沿技术研究计划基金资助项目(10JCYBJC25500); 天津大学自主创新基金资助项目

作者简介: 刘 峰(1963—), 男, 高级工程师, 主研方向: 图像处理, 视频编解码; 杨兆选, 教授、博士生导师; 韩 东, 博士研究生; 孙 琪, 硕士研究生

收稿日期: 2011-04-12 **E-mail:** oxyzen.hd@gmail.com



图 2 条码图像二值化

2.2 条码图像区域定位

本文提出一种基于区域的条码实时定位方法。该方法首先通过形态学运算将条码中的分离区域进行连接从而使一个条码形成一个连通区域, 然后通过连通域标记得到条码的外接矩形, 从而在图像中定位条码所在区域。在进行形态学运算前, 通过提取条码的边缘信息确定条码的角度, 并根据该角度选择不同朝向结构体对条码图像进行形态学操作连接分离区域。

在完成上述步骤后, 对连通域进行标记。本文在原有的连通域标记方法^[7]基础上提出一种改进的连通域标记方法。该方法通过跟踪连通区域的外轮廓加速连通域的标记, 具体步骤如下:

(1)如果当前点 A 是前景点并且其前一点未被标记, 则认为 A 是一个连通域的外轮廓点; 跟踪该外轮廓, 并将所有外轮廓点都标记为与 A 属于相同的连通域。

(2)如果当前点 A 是前景点并且其前一点未被标记, 则认为 A 是一个连通域的外轮廓点; 跟踪该外轮廓, 并将所有外轮廓点都标记为与 A 属于相同的连通域。

(3)如果前景点 A 的前一点已被标记且不属于步骤(1)和步骤(2)的情况, 将 A 标记为与其前一点属于相同的连通域。

边界跟踪是通过搜索像素点 8 邻域实现的, 用顺时针分布的 1~7 分别代表 8 邻域点, 搜索方向的更新公式为:

$$d = (d + 1) \% 8 \tag{2}$$

本文方法采用的连通域标记法舍弃了传统的二次标记方式, 而采用跟踪连通域外轮廓的方法, 只需要对图像进行一次扫描, 因此, 具有更快的速度。条码区域定位结果见图 3。



图 3 条码区域定位结果

2.3 条码图像精确定位

条码精确定位的目标是搜寻条码 4 个顶点的准确坐标, 该步骤是纠正几何形变和确定码字的前提。现有的定位方法^[5-7]大多采用标准 Radon 变换或是 Hough 变换进行直线检测从而找到条码的 L 型寻边区以及条码的角度。然而, 这些方法在进行变换前都缺少种子点选取的步骤, 因此, 都具有较高的计算复杂度。

为得到更好的系统性能, 本文提出一种基于边界跟踪和 Radon 变换的新型 Data Matrix 定位方法。该定位方法利用 Sobel 算子检测到边缘信息, 采用跟踪条码外边界的方法确定条码 L 型寻边区的 3 个顶点。第 4 个顶点坐标是通过 Radon

变换计算得到的。在上述的边缘跟踪中可得到铁路线方向, 将这个方向作为铁路线的初始方向。将 L 型寻边区和铁路线的交点作为起始点, 将图像宽度的一半作为积分半径, 在铁路线起始方向 $\pm 22.5^\circ$ 范围内进行 Radon 变换。

该方法不受条码几何形状的限制, 具有很好的泛化性。然后根据跟踪结果确定 Radon 变换的起始条件, 加速 Radon 变换的速度。条码精确定位结果如图 4 所示。

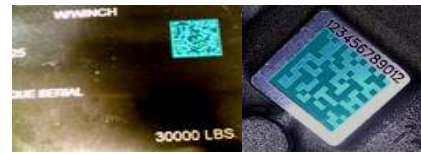


图 4 条码精确定位结果

3 基于数字信号处理的快速解码终端

Data Matrix 实时解码在基于 TMS320C6713 的数字信号处理(Digital Signal Processing, DSP)硬件平台上实现了基于 DSP 的快速解码终端。硬件平台架构见图 5。

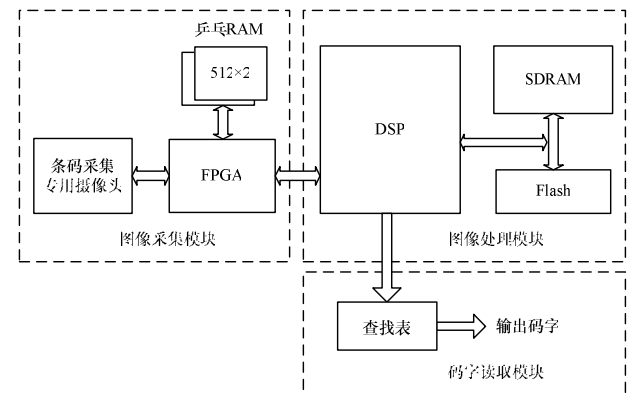


图 5 基于 DSP 的快速解码终端

硬件平台架构包含条码采集模块、图像处理模块和码字读取模块 3 个部分。

(1)图像采集模块。条码采集模块由 3 个部分组成: 条码采集摄像头, 现场可编程门阵列(Field Programmable Gate Array, FPGA)和乒乓随机存取存储器(Random Access Memory, RAM)。采用的摄像头 QUADRUS MINI Imager 是 Microscan 公司生产的一款专用条码采集摄像头。该 FPGA 型号为 ALTERA 公司的 EP1C6。由于采用的 DSP 没有视频接口, 因此 FPGA 和乒乓 RAM 解决了 DSP 和条码采集摄像头之间的通信问题。

(2)图像处理模块。系统为 DSP 配置了外部同步动态随机存取存储器(Synchronous Dynamic Random Access Memory, SDRAM)保证系统存储能力。采用的 DSP 芯片为 TMS320C6713B, SDRAM 的型号为 MT48LC32M8A2。C6713 的高速浮点处理能力, 保证了条码识别的速度和准确率。

(3)码字读取模块。码字读取模块根据 ISO/IEC 16022^[8]标准, 经过 Reed-Solomon 检错纠错输出最终的码字。

4 实验结果与分析

为检测本文方法的性能, 采用 100 张在真实环境中采集的分辨率为 320×480 像素的条码图像进行实验。由于篇幅限制, 本文列出粗定位和精定位的具体结果, 见表 1。从表 1 可以看出, 由于加入了精确定位步骤, 因此查准率有很大的提升并且查全率也保持了尽量高的数值。在解码速度方面, 基于本文提出的解码框架所搭建的解码系统, 解码速度达到 60 f/s, 完全达到实时解码的要求。 (下转第 275 页)