

用于条码信号峰值检测的改进动态双阈值算法

彭国杰, 张 微, 王忆文, 李 辉

(电子科技大学 微电子与固体电子学院, 四川 成都 610054)

摘 要: 激光式扫描枪是一种常见的一维条码识读设备, 条码信号的峰值检测是影响该设备性能的关键环节. 本文针对该环节改进了一种适用于软件实现的动态双阈值算法, 并用 MATLAB 进行算法仿真, 最后在自主研发的激光式扫描枪上对改进的算法进行实验验证. 结果表明, 改进后的算法能以更少的运算量得到更准确的阈值, 提高了峰值检测的准确性, 从而有效地改善了激光式扫描枪的识读能力.

关键词: 阈值; 峰值检测; 边缘检测; 一维条码

中图分类号: TN249

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)04-0164-04

Improved Dynamic Dual Threshold Algorithm for Peak Detection of Barcode Signal

PENG Guo-jie, ZHANG Wei, WANG Yi-wen, LI Hui

(School of Microelectronics and Solid-State Electronics,
University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: Laser barcode scanner is a common one-dimensional barcode reader, and its performance is mainly affected by the accuracy of peak detection of barcode signal. To obtain a better result of peak detection, this article offers an improved dynamic dual threshold algorithm which can be easily implemented in software. The algorithm is simulated in MATLAB and tested on the self-developed laser barcode scanner. The results indicate a more precise threshold for peak detection can be obtained from less calculation with the improved algorithm, which greatly improve the reading and recognition capabilities of the laser barcode scanner.

Key words: threshold; peak detection; edge detection; one-dimensional barcode

1 引言

一维条码是指由一组规则排列的条、空及其对应的字符组成的标记, 用以表示一定的信息^[1]. 通过条码识读设备, 能够方便快捷地对条码进行自动识别, 具有输入速度快、可靠性高、经济灵活等特点. 利用条码自动识别技术, 可以对各种信息进行实时管理, 因此条码技术广泛应用在商业、邮政、图书管理、仓储、交通等领域中^[2].

激光式扫描枪是目前广泛使用的条码识读设备^[3]. 其原理是用激光束扫描条码, 反射光经传感器接收转换产生光电流信号, 该信号转换为电压信号后进行滤波^[4]、放大、一阶微分等处理得到条码的一

阶微分信号. 一阶微分信号的峰值位置对应的是条空区域交替的边缘, 通过提取这些峰值的位置还原出条码的图案, 进行解码. 能否准确地提取峰值的位置, 直接影响解码的成败. 本文介绍一种用于峰值检测的动态双阈值算法, 针对算法提出改进, 来提高峰值检测的准确性.

2 条码微分信号的峰值检测

2.1 条码微分信号

当激光扫描二值条码图案时, 相当于激光束信号与二值条码信号的一个卷积过程^[5]. 如图 1 所示, (a) 表示条码的图案, 低电平表示的低反射率的条, 高电平表示的高反射的空. 激光束信号与二值条码

信号卷积后产生信号(b),可以看出虽然信号大致反映条码的图案,但是不能很好地表征条空交替的边缘.对信号(b)进行一阶微分后等到的信号(c),信号的峰值(极值)的位置正好对应条空交替的边缘.通过提取(d)中箭头标出的峰值位置能很好地还原出条码的图案.

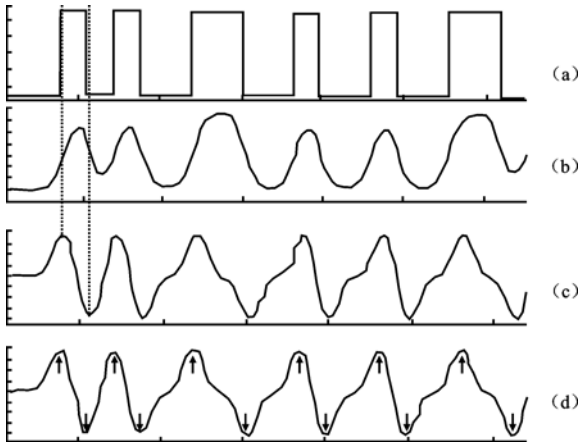


图1 条码微分信号

2.2 峰值检测

理想的一阶微分信号的峰值应该只出现在条空交替的边缘,但实际得到的信号会由于噪声的影响在其他位置出现峰值,如图2中a点和b点.若检测峰值的时候不加处理,会得到错误的条码图案.注意到有效峰值的幅度较大,可采用阈值比较的方法,提取出信号中幅度较大的部分后查找峰值,无效的峰值则会因为幅度达不到阈值要求而被去除掉.例如采用图2中c曲线作为阈值,能去除a点和b点的无效峰值.

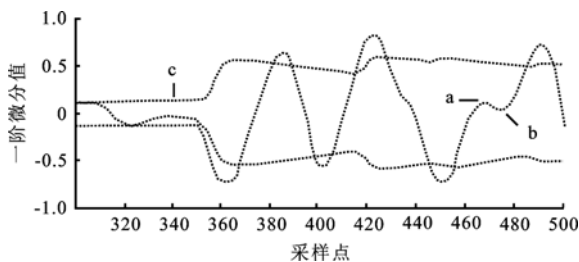


图2 一阶微分信号和阈值曲线

实际的微分信号噪声更大,无效峰值更多,因此阈值在峰值检测中发挥着重要的作用.传统上阈值主要采用模拟电路配合电容充放电的特性来产生^[6],这种方法成本高,产生的阈值精度较低,缺乏灵活性.利用ADC对一阶微分信号进行采样,转换成数字信号后可在微处理器上进行处理计算,因此能方便地利用软件算法产生阈值,这样可以节约电路面积,减少成本,有利于系统的小型化.下面介绍

一种可用于软件实现的动态双阈值算法.

3 动态双阈值算法^[7]

首先说明动态双阈值算法的特点.为了准确检测到正峰值和负峰值,采用正、负双阈值;正、负阈值曲线都包含一个固定的直流分量和一个可变的交流分量.其中交流分量随着一阶微分信号峰值的强度而改变,从而使阈值能够根据信号的强度进行调整.如果信号的峰值较大,阈值也相应地增大,以便能正确地消除随着大信号出现的大噪声;如果信号的峰值较小,阈值相应地减小,以便较小的有效峰值能满足阈值.

具有上述特点的正阈值由下述方法产生.每一时刻正阈值 $p_{th}(n)$ 由其直流分量 p_{thDC} 和交流分量 $p_{thAC}(n)$ 两部分组成. p_{thDC} 是正阈值的最小值,其取值大于一般的噪声电平,目的是滤掉大部分噪声. $p_{thAC}(n)$ 则根据一阶微分信号 $dS(n)$ 的值,由分段函数式(1)计算得出.

$$p_{thAC}(n) =$$

$$\begin{cases} C_2 * p_{thAC}(n-1), dS(n) \leq p_{thDC} \\ \max[f_1(p_{thAC}(n-1), dS(n)), C_2 * \\ p_{thAC}(n-1)], p_{thDC} \leq dS(n) \leq C_1 \\ \max[f_2(p_{thAC}(n-1), dS(n)), C_2 * \\ p_{thAC}(n-1)], dS(n) > C_1 \end{cases} \quad (1)$$

$$f_1 = c_1 * p_{thAC}(n-1) + c_2 * (dS(n) - p_{thDC})$$

$$(2)$$

$$f_2 = c_1 * p_{thAC}(n-1) + c_2 * (dS(n) - p_{thDC}) +$$

$$c_3 * (dS(n) - C_1)$$

$$(3)$$

一开始 $p_{thAC}(0) = 0$, 当 $dS(n)$ 小于 p_{thDC} , 表明第一个有效峰值还没有出现, $p_{thAC}(n)$ 保持为0. 当 $dS(n)$ 逐渐增大超过 p_{thDC} , 阈值做出相应调整, $p_{thAC}(n)$ 取 f_1 的值开始增长, 其中函数 f_1 如式(2)所示, 考虑了前一时刻的值 $p_{thAC}(n-1)$ 和当前信号 $dS(n)$ 与直流分量 p_{thDC} 间的差值. 当 $dS(n)$ 超过常数 C_1 后, 令 $p_{thAC}(n)$ 取 f_2 的值, 目的是使阈值更快速地增长, 其中 f_2 如式(3)所示, 增加考虑 $dS(n)$ 与 C_1 间的差值. 选择合适的参数, 利用 f_1 和 f_2 计算出动态阈值, 从而适应当前信号强度, 具体表现为动态阈值能随信号快速增长.

为了去除掉可能随着大信号出现的大噪声, 调整后的阈值不能过快的回落, 因此要限制阈值下降速度. 每次计算到的阈值都会与 $C_2 * p_{thAC}(n-1)$ 进行比较, 取两者中较大值. C_2 选取略小于1的常数, 从而使动态阈值只能缓慢的衰减.

同理可得负阈值的计算方法。

在 MATLAB 中对上述算法进行了大量仿真,结果表明动态双阈值算法能提高峰值检测的准确性.但仿真过程中发现,算法仍然有不理想的地方,图 3 给出反映问题的仿真结果.

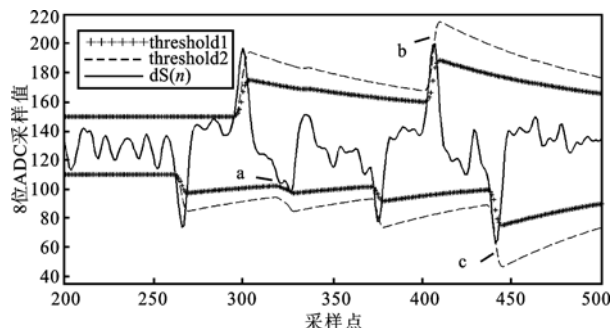


图 3 动态双阈值算法仿真结果

图 3 中 $dS(n)$ 为实际采集到带有直流分量的一阶微分信号,而选用不同的参数可得到不同的动态双阈值曲线,例如 $C_2=0.99$; f_1 和 f_2 中 $c_1=1$, $c_2=5/64$; f_2 中 $c_3=1/4$; 可得曲线 threshold1. 可以看出,阈值基本符合我们的期望,能根据信号的大小进行动态调节,而问题出现在第一个负的有效峰值处,该处阈值增长过慢,导致未能去除掉 a 处出现的大噪声.改变 f_1 和 f_2 中的参数,使阈值增长速度加快,令 $c_2=5/32$, $c_3=1/2$,可得曲线 threshold2. 可以看到,此次阈值在第一个负峰值处快速增长并很好的滤过了 a 处噪声,但却在 b 处和 c 处出现阈值过度增长的现象,反而错误地去除了有效峰值.选取其他参数也不能很好解决这样的问题.

上述现象反映的是阈值增长速度不合理:刚开始速度过慢不能去除大噪声,后面速度过快容易过度增长.针对这点,将对算法公式进行改进.

4 改进的动态双阈值算法

4.1 算法改进

进一步分析原算法中阈值的计算过程,找到出现上述问题的原因.以正阈值为例,控制 $pthAC(n)$ 增长的是函数 f_1 和 f_2 ,两个函数中都有 $pthAC(n-1)$ 这个分量.在遇到第一个有效峰值时, $pthAC(n-1)$ 的值过小,由此计算出的 $pthAC(n)$ 不会很大,导致阈值增长过慢.而在 b 处和 c 处 $pthAC(n-1)$ 的值已经足够大,由此计算出的 $pthAC(n)$ 更大,导致阈值的过度增长.说明计算阈值增长时加入 $pthAC(n-1)$ 分量是不合适的, $pthAC(n-1)$ 应该用于控制阈值的减少而不是控制阈值的生长,阈值的生长应该由 $dS(n)$ 与 $pthDC$ 之间的差值控制.

另外,计算阈值的目的是为了峰值检测,信号最终还是要与计算到的阈值进行比较.如果将这一步合并到阈值的计算过程中,能简化算法流程,减少运算量.用前一时刻的阈值与当前信号值比较的结果作为计算当前阈值时的判断条件,就能达到这样的效果.

按照上述分析,提出新的 $pthAC(n)$ 计算公式(4),同理可得负阈值的计算公式:

$$pthAC(n) = \begin{cases} C_2 * pthAC(n-1), & dS(n) \leq pth(n-1) \\ \max[f(dS(n)), C_2 * pthAC(n-1)], & dS(n) > pth(n-1) \end{cases} \quad (4)$$

$$f = c * (dS(n) - pthDC), 0 < c < 1 \quad (5)$$

式(4)中, C_2 为略小于 1 的常数,控制 $pthAC(n)$ 缓慢地衰减;函数 f 如式(5)所示用于控制 $pthAC(n)$ 的增长,使 $pthAC(n)$ 正比于 $dS(n)$ 与 $pthDC$ 的差值, c 取值小于 1,这样计算出的阈值,由始至终都能随信号快速增长,并且不会超过有效峰值.

可以看出式(4)、式(5)比式(1)、式(2)、式(3)要简单,运算量也相应减少:每个数据减少一次比较运算,运算量最大的分支减少两次乘法和加法运算.条码微分信号的数据量较大,一般在 8 000 以上,因此整体减少的运算量是十分可观的.

改进后整体算法流程如图 4 所示.

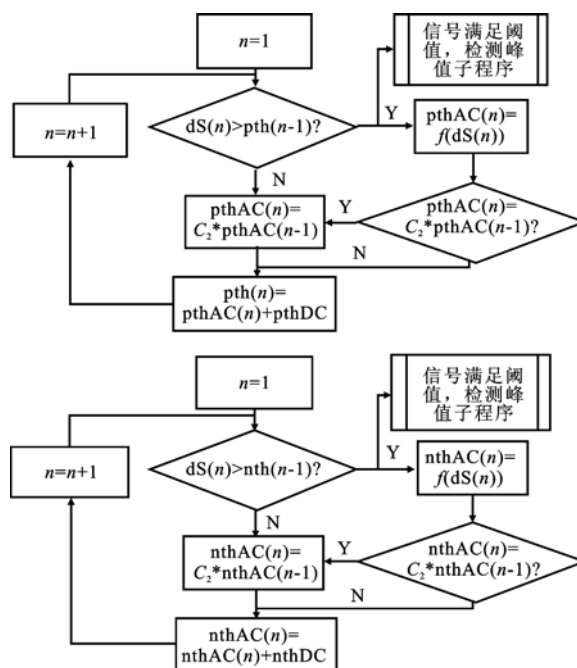


图 4 改进的动态双阈值算法流程图

4.2 算法仿真

用 MATLAB 对改进算法进行仿真,同样取 C_2

$=0.99$, 而 $f(dS(n)) = (dS(n) - \text{pthDC}) * 4/5$. 对一阶微分信号 $dS(n)$ 、正阈值 $\text{pth}(n)$ 和负阈值 $\text{nth}(n)$ 作图, 可得到图 5. 从图 5 中可以看出, 从第一个峰值开始, 阈值就能快速的增长, 并成功滤掉 a 处的大噪声, 与图 3 对比, b 处和 c 处也没有出现过度增长的现象, 解决了原算法的不足. 有效峰值都能满足阈值, 而无效峰值都被很好地过滤掉, 满足要求.

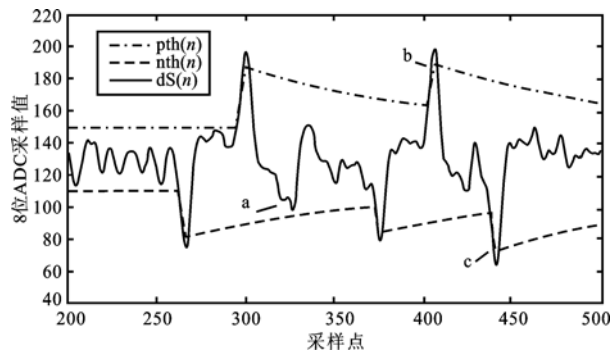


图 5 改进的动态双阈值算法仿真结果

4.3 实验验证

算法的验证环境采用自主研发的激光式扫描枪. 该系统由采集信号的光学模块, 进行信号预处理的硬件电路和负责软件算法计算的 stm32f10x 系列微处理器组成. 系统的软件开发基于 C 语言, 采用本文提出的改进算法计算出阈值, 再配合其他解码算法, 实现激光扫描枪的完整功能. 通过对比激光扫描枪的解码成功率, 验证改进算法的效果.

实验中选用不同密度的条码, 在不同距离下各进行 50 次测试, 这样基本覆盖了各种特性的条码信号. 测试结果如表 1 所示, 可以看出, 采用改进后的算法解码效果得到改善.

5 结束语

为了提高条码微分信号峰值检测的准确性, 本文提出了一种适用于软件实现的改进动态双阈值算法. 仿真和实验结果表明, 改进的算法能以更少的运算量计算出符合峰值检测要求的动态双阈值, 并且

解决了原算法计算阈值时容易过度增长的问题, 提高了激光式扫描枪的解码成功率, 具有实用价值.

表 1 算法改进前后成功解码次数对比

测试条件	改进前/次	改进后/次
低密度、远距离	28	40
低密度、中距离	30	46
低密度、近距离	21	40
中密度、中距离	34	44
中密度、近距离	35	47
高密度、近距离	20	39

参考文献:

- [1] 中国物品编码中心. GB/T 12905-2000[S]. 北京, 中国标准出版社, 2000.
- [2] 张成海, 张微, 赵守香, 等. 条码技术与应用. 本科分册[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [3] 李南. 激光条形码识别技术的应用优势与面临的挑战[J]. 激光杂志, 2010, 31(1): 53-54.
- [4] 台海钊, 王忆文, 尚明金, 等. 一种用于激光一维条码扫描枪的边缘增强型滤波器[J]. 微电子学与计算机, 2013, 30(5): 96-99.
- [5] Raj Bridgelall. OPTICAL SCANNERS: US 6209788 B1[P]. 2001-4-3.
- [6] Shinichi Sato. Circuit for processing analog signal obtained by scanning barcode: US 5061843[P]. 1991-10-29.
- [7] Hong Tang. Methods and apparatus for dual thresholding in processing of barcode signals: US 6502751 B1[P]. 2003-01-07.

作者简介:

彭国杰 男, (1988—), 硕士研究生. 研究方向嵌入式系统应用, 负责项目基于 ARM 的条码识别系统开发.

王忆文 男, (1966—), 教授. 研究方向为 SOC/SOPC 的设计与测试、嵌入式系统应用、光纤通道和无线网络.