

一种用于激光一维条码扫描枪的边缘增强型滤波器

台海钊¹, 尚明金¹, 王忆文¹, 李 辉¹, 张 龙²

(1 电子科技大学 微电子与固体电子学院, 四川 成都 610051; 2 西南技术物理研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 通过分析激光一维条码扫描枪的激光束纵断面特征, 借助卷积和拉普拉斯变换, 得出激光束对二值条码图像高斯滤波效应的确切表达式. 利用高斯滤波效应的表达式, 设计出能消除该效应并能使波形边缘增强的 Bessel 滤波器. 应用 MATLAB 对设计出的 Bessel 滤波器进行仿真, 结果显示该滤波器在提升边缘细节的同时不会增强噪声, 对改善一维条码信号方面有参考价值.

关键词: 激光一维条码扫描枪; 高斯滤波效应; 边缘增强; Bessel 滤波器

中图分类号: TN249

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)05-0096-04

An Edge—Enhanced Filter for a One—Dimensional Laser Bar Code Scanner

TAI Hai-zhao¹, SHANG Ming-jin¹, WANG Yi-wen¹, LI Hui¹, ZHANG Long²

(1 School of Microelectronics and Solid State Electronics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610051, China; 2 South—West Institute of Technical Physics, Chengdu 610041, China)

Abstract: To a one—dimensional laser bar code scanner, by analyzing the longitudinal profile characteristics of the laser beam, and using convolution and Laplace transform, we obtain the exact expression of the Gaussian filtering effect which is generated when the laser beam scans the bar code images. And then we use the expression of the Gaussian filtering effect to design a Bessel filter, which can eliminate the Gaussian filtering effect and enhance the waveform edge. MATLAB is used to simulate the designed Bessel filter, the result shows that the filter improved the edge with no enhance of noise. That could be some reference value to improve the one—dimensional bar code signal.

Key words: one—dimensional laser bar code scanner; Gaussian filtering effect; edge—enhanced ; Bessel filter

1 引言

一维条码是由一组按一定规则排列的条、空符号组成的编码符号, 用以表示一定的字符、数字及符号信息, 这种编码可以供机器识读^[1]. 一维条码技术是电子技术与计算机信息处理技术相结合产生的一门自动识别技术, 它研究的是如何将计算机需要的数据用一组条码表示, 以及如何将条码表示的数据转变为计算机可识别、处理的数据^[2]. 由于一维条码与其他识别技术相比具有准确、快速、方便、经济等特点, 所以很快被应用到计算机管理的各个领域, 成

为信息采集及防伪的重要手段^[3].

目前, 条码识读主要采用激光式扫描枪, 利用逐行扫描的方式读取条码信息, 并由硬件来识读条码^[4]. 由于激光束具有一定宽度, 会使扫描后读取的条码信息边缘趋于平滑, 致使硬件识读条码时, 难以准确判断条码边缘. 近年来, 盲卷积^[5]的方法在一维条码信号恢复过程中被广泛应用. 然而盲卷积的方法只是根据经验和现象处理波形, 其过程具有一定的盲目性. 本文从激光束特征着手, 研究激光光源对二值条码图像的滤波效应, 并设计一种能补偿这种滤波效应的边缘增强滤波器.

收稿日期: 2012-07-25; 修回日期: 2012-08-29

基金项目: 中央高校基本科研业务费资助(A03007023401022)

2 扫描激光束的高斯滤波效应

通常扫描条码的激光束纵断面的密度分布近似为高斯分布.图1所示为激光束的密度分布图和激光束的线性传输函数图.

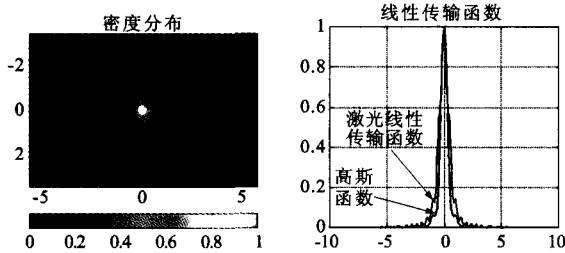


图1 激光束纵断面特征

根据《信号与系统》原理^[6-7],当激光扫描二值条码图像时,接收信号为激光传输函数与二值条码信号的卷积,如式(1)所示:

$$y(t) = x(t) * g(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)g(t-\tau) \quad (1)$$

其中 $x(t)$ 为二值条码信号, $g(t)$ 为激光传输函数, $y(t)$ 是接收信号. 所有的信号都是时域表示的. 通过扫描过程,空间信号(打印的条码信号和激光束纵断面的密度分布函数)都转化成了时域信号,因此 $x(t)$ 和 $g(t)$ 的表达式由激光束的扫描速度决定. 在时域将黑白打印的条码信号,表示成一个二值信号. 二值条码信号 $x(t)$ 的数学模型如式(2)所示, $u(t)$ 是阶跃信号, T_i 是二值条码信号的边缘位置.

$$x(t) = \sum_{i=1}^I (-1)^{i-1} u(t - T_i) \quad (2)$$

扫描激光束的冲激响应近似为高斯函数,如式(3)所示:

$$g(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-(t^2/2\sigma^2)} \quad (3)$$

为了更好地理解扫描激光束对二值条码信号的影响,在频域观察扫描激光束的冲激响应. 对 $g(t)$ 作双边拉普拉斯变换,可得式(4),高斯滤波器的传输函数仍然是高斯函数.

$$G(s) = e^{(s^2\sigma^2/2)} \quad (4)$$

令 $s = j\omega$,可得傅立叶表达式如下:

$$G(\omega) = e^{(-\omega^2\sigma^2/2)} \quad (5)$$

因此当激光束扫描二值条码符号时,扮演着高斯低通滤波器的角色,导致条码边缘变得平滑.

图2展示了激光束扫描条码符号的卷积过程. 如图2所示,二值条码信号经过激光束扫描,由于激

光束的高斯低通滤波效应,所得的扫描信号边缘变得平滑.

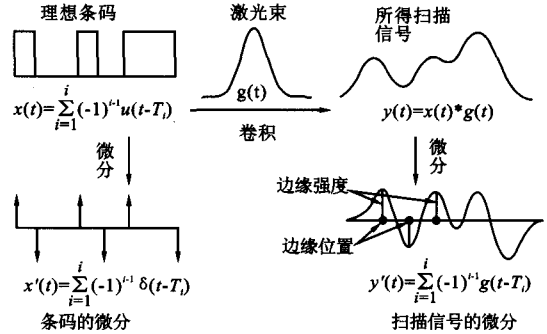


图2 激光扫描过程

二值条码信号平滑有两个负面效应. 首先边缘变得更难检测,特别是当边缘平滑变得很严重,相邻的边缘相互影响,边缘检测变得不能实现. 其次条码信号相邻边缘的时间宽度发生变化,相邻边缘的时间宽度就对应相应的条码符号的条、空宽度,即使所有的边缘都能被检测,但是可能由于边缘发生移动导致无法正确解码.

在实际应用中,边缘检测通常利用条码信号的微分信号. 二值条码信号是一组阶跃信号的组合,微分后的信号是一组采样信号,表达式如式(6)所示:

$$x'(t) = \sum_{i=1}^I (-1)^{i-1} \delta(t - T_i) \quad (6)$$

根据卷积的线性性质,扫描信号微分后的表达式为式(7):

$$y'(t) = x'(t) * g(t) = \sum_{i=1}^I (-1)^{i-1} g(t - T_i) \quad (7)$$

3 边缘增强滤波器的设计和仿真

根据上面对扫描激光束的高斯滤波效应的分析,我们知道了在二值条码信号重建恢复过程中错误产生的原因. 扫描激光束的高斯滤波效应使得条码信号边缘变得平滑,要增强扫描信号的边缘来逆转扫描激光束的高斯滤波效应.

3.1 滤波器设计

激光束的传输方程如式(4)所示,是一个高斯低通滤波器. 根据高斯函数特征, σ 近似为 $P/4$, P 是激光光点大小. 设计边缘增强滤波器的途径是找到一个传输函数原型,设为 $H(s)$,使得 $H(s)G(s) = 1$. 然后用泰勒级数展开成多项式,取有限项多项式来近似这个滤波器的传输函数,因为无限项多项式在物理上是不可实现的, $N(s)$ 如式(9).

$$H(s) = G^{-1}(s) = e^{-(\sigma^2 s^2 / 2)} = e^{-(P^2 s^2 / 32)}$$

$$= 1 - \frac{P^2 s^2}{32} + \frac{1}{2!} \left(\frac{P^2 s^2}{32} \right)^2 - \frac{1}{3!} \left(\frac{P^2 s^2}{32} \right)^3 + \dots \quad (8)$$

$$N(s) = 1 - \frac{P^2 s^2}{32} + \frac{1}{2!} \left(\frac{P^2 s^2}{32} \right)^2 \approx H(s) \quad (9)$$

不能用 $N(s)$ 作为边缘增强滤波器, 如图 3 所示. 由仿真结果可见, 随着角频率 ω 趋于无穷大, $N(\omega)$ 发散, $N(\omega)$ 除了补偿激光束的高斯低通滤波效应 $G(\omega)$, 还会放大高频噪声, 这将导致更严重的条码信号失真, 使条码信号淹没在高频噪声中.

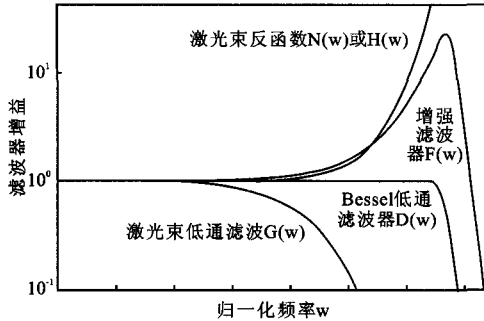


图 3 增强滤波器的设计过程

在边缘增强滤波器的设计过程中, 滤波器 $N(s)$ 非常重要, 虽然不能用 $N(s)$ 作为条码信号的增强滤波器, 但是可以用 $N(s)$ 的零点作为增强滤波器的零点. 根据传输函数的零极点意义, 这些零点可用来增强条码信号的边缘, 因此先将 $N(s)$ 作为边缘增强滤波器传输函数 $F(s)$ 的分子, 再放置极点来衰减条码信号频率带宽外的高频信号, 使得增强滤波器在条码信号频率带宽内能起到补偿边缘平滑效应的作用, 在条码信号频率带宽外能起到衰减高频噪声的作用. 在选择极点位置时, 有两个相互矛盾的要求: ①为了最小化高频噪声的增强, 要求由这些极点所表示的低通滤波器要有锐截止频率, 即滤波器通频带具有足够陡峭的边缘, 且截止频率要尽量低; ②这些极点所表示的低通滤波器的截止频率要足够高, 使增强的条码边缘信号不至于失真. 这些极点所表示的多项式 $D(s)$ 作为边缘增强滤波器传输函数 $F(s)$ 的分母, $F(s)$ 如式(10)所示.

$$F(s) = \frac{N(s)}{D(s)} \quad (10)$$

分子 $N(s)$ 的阶数应该低于分母 $D(s)$ 的阶数, 即对于条码信号频率带宽外的高频噪声, 极点引起的衰减作用大于零点引起的增强作用, 从而达到衰减条码信号频率带宽外的高频噪声的作用. 在放置极点时, Bessel 滤波器是个很好的选择, 因为 Bessel 滤波器的阶跃响应没有纹波, 且与其他模拟低通滤波器相比具

有最大的线性相位性^[7]. 放置极点时, Bessel 滤波器的截止频率要大于条码信号有用信号的频率带宽, 以使有用信号不会发生失真. 在选择 Bessel 滤波器的阶数时, 需要综合考虑两个相互矛盾的要求: ①Bessel 滤波器的阶数要足够大, 至少大于分子 $N(s)$ 的阶数, 使得 Bessel 滤波器具有锐截止特性; ②Bessel 滤波器的阶数太高, 会增加滤波器的复杂度和额外的开销. 基于本设计的硬件系统, 为了达到边缘增强的效果同时又能够被实现, 所以本设计分子 $N(s)$ 的阶数为 4, 分母 $D(s)$ (Bessel 滤波器) 的阶数为 6.

Bessel 低通滤波器的传输函数可写为:

$$H_B(s) = \frac{B_n(0)}{B_n(s)} = \frac{1}{D(s)} \quad (11)$$

$$B_n(0) = \lim_{s \rightarrow 0} B_n(s) \quad (12)$$

$B_n(s)$ 即 Bessel 函数, 满足递推关系:

$$B_n(s) = (2n-1)B_{n-1}(s) + s^2 B_{n-2}(s) \quad (13)$$

其中:

$$B_0(s) = 1, B_1(s) = s + 1 \quad (14)$$

由式(13)和式(14)可得 6 阶 Bessel 函数的表达式为:

$$B_6(s) = s^6 + 21s^5 + 210s^4 + 1260s^3 + 4725s^2 + 10395s + 10395 \quad (15)$$

进一步可得 Bessel 低通滤波器的传输函数表达式为:

$$H_B(s) = \frac{1}{D(s)} = \frac{B_6(0)}{B_6(s)} = 10395 \div (s^6 + 21s^5 + 210s^4 + 1260s^3 + 4725s^2 + 10395s + 10395) \quad (16)$$

边缘增强滤波器传输函数 $F(s)$ 可由式(9)和式(16)得出. 确定 $F(s)$ 的表达式之后, 在 MATLAB 中求得其零点和极点, 根据零点、极点和负载参数, 设计出满足 $F(s)$ 的滤波器电路, 其过程等效于在 6 阶低通滤波器的零极点分布图上放置 $N(s)$ 的零点, 设计出满足该要求的电路如图 4 所示.

图中 R_0 为 100 欧姆, 负载电阻选为合适的 50 欧姆, 根据激光光点 P, 零点位置在 5kHz 到 25kHz 之间, 滤波器截止频率选择在 100kHz, 这个频率可以让有效信号波形通过, 并滤除高频噪声.

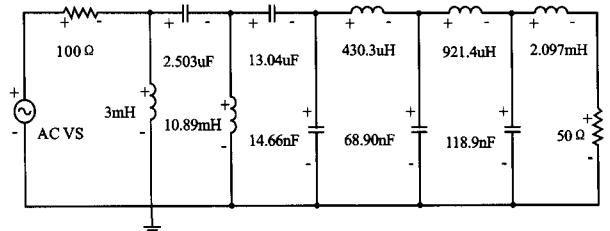


图 4 滤波器电路图

3.2 仿真结果

边缘增强滤波器的频响特性 $F(\omega)$ 仿真结果如图3所示,由频响特性曲线可以看出,边缘增强滤波器在低频段,借助 $N(s)$ 的零点能起到补偿扫描激光的滤波效应,在高频段借助 Bessel 滤波器的极点有效抑制对噪声的放大。

图5(a)所示波形为原始的边缘平滑的一维条码信号图,在 MATLAB 中,将图5(a)中波形以电压源的方式加在边缘增强滤波器的输入端,其输出结果如图5(b)所示。

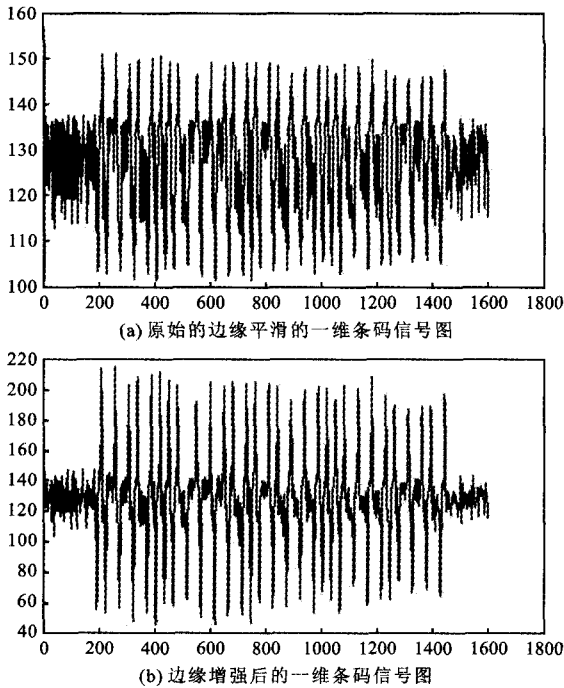


图5 边缘增强滤波器的效果图

3.3 结果分析

图5中的 MATLAB 仿真结果展示了边缘增强滤波器的效果。图5(a)中由于激光光斑的大小与条码的条、空宽度相比拟,所以有效信号波形的峰峰值比较小,大都只有50个单位长度,而高频噪声的峰峰值却有25个单位长度,幅度和噪声差不多的有用边缘将不会被检测到,严重影响解码。图(b)所示经过边缘增强处理补偿了扫描激光束的平滑效应,有

效信号波形的峰峰值普遍达到150个单位长度以上,而高频噪声的峰峰值只有40个单位长度,可见滤波器对噪声的增强作用远小于对有效信号波形的增强作用,显著提高了—维条码扫描枪的识读能力。

4 结束语

本文研究了扫描激光束的特征,分析得到了激光束对二值条码图像滤波效应的确切表达式,并论述了一种针对这种滤波效应的边缘增强滤波器的设计过程。根据理论分析和实验结果可以得出结论:这种边缘增强滤波器既能抑制激光束对条码图像的滤波效应,又能在不放大高频噪声的基础上很好地增强波形边缘,该滤波器与后续波形处理和边缘检测算法配合,将达到非常好的解码效果。

参考文献:

- [1] 李荆洪. 电子商务概述(第二版)[M]. 北京:北京水利水电出版社,2007.
- [2] 周建芳. 条码技术在零售商业的应用[J]. 武汉工业学院学报,2004,23(3):34—36.
- [3] 李鹏,张帆. 条码技术在民航机场离港系统中的应用[J]. 科技传播,2010(21):197—198.
- [4] 范永法,郭艳萍. 条码图像处理及识别的软件开发[J]. 计算机应用研究,2003,20(2):86—87.
- [5] Selim Esedoglu. Blind deconvolution of bar code signals[J]. Institute Of Physics Publishing, 2004(20): 121—135.
- [6] 郑君里等. 信号与系统(第三版)[M]. 北京:高等教育出版社,2011.
- [7] Johnny R Johnson, David E Johnson, Paul W Boudra, et al. Filters using bessel-type polynomials[J]. IEEE Transactions On Circuits And Systems, 1976, 23(2): 96—99.

作者简介:

台海钊 男,(1987—),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的研究。