

文章编号:1007-2780(2014)04-0605-06

小角度直线反走样的改进 Wu 算法

李 铂,周建江*,夏伟杰,吴连慧

(南京航空航天大学 电子信息工程学院,江苏 南京 210016)

摘要:直线是机载座舱显示画面中最基本的图元,其显示质量对于整个画面的显示效果影响较大,尤其是小角度下直线显示的“麻花”现象一直是影响显示效果的关键问题之一。为了提高小角度下直线的显示效果,本文提出了一种基于 Wu 算法的亮度渐变改进算法。该算法通过渐进地展现直线从轴方向上的亮度变化过程,减少亮度畸变,有效地改进了显示效果。通过 Matlab 仿真和 FPGA 实现,验证了该算法反走样后的小角度直线显示效果明显优于其他算法,而且结合中点画线法后,绘制时间与 Wu 算法相当。同时该算法还可改善大角度直线和圆弧的显示效果,消除了大角度直线的边缘锯齿,解决了圆弧在小角度部分的虚化问题。因此本文算法可用于对实时性和显示效果要求高的机载座舱显示系统,以缓解飞行员的视觉疲劳。

关 键 词:座舱显示;反走样;改进 Wu 算法;小角度;FPGA 实现

中图分类号:TN27;TN911.73 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20142904.0605

Modified anti-aliasing algorithm for small-angle line based on Wu algorithm

LI Bo,ZHOU Jian-jiang*,XIA Wei-jie,WU Lian-hui

(College of Electronic and Information Engineering ,Nanjing University of Aeronautics and Astronautics ,Nanjing 210016,China)

Abstract: Line is the most basic metafile of airborne cockpit display. Its display quality greatly affects the display of the entire frame, and the "twist" of small-angle line has been one of the key issues affecting the display effect. To get better display of small-angle lines,a new lightness gradient algorithm based on Wu is introduced in this paper. This algorithm reduces the lightness distortion in straight line's subshaft to eliminate twists,which makes it looking like a smooth line. The Matlab simulation and FPGA implementation results show that compared with other anti-aliasing algorithm, the new algorithm improves remarkably the display quality of small-angle lines,while there is no increase in the processing time after combined with midpoint paint line algorithm. Furthermore,the new algorithm can also improve the display quality of large-angle lines and arcs by eliminating the jagged edges of large-angle lines and solving the blur problem of small-angle arcs. Therefore,the improved algorithm can be applied to airborne cockpit display system,which needs high display quality and real-time urgently,in order to relieve visual fatigue of the pilots.

Key words: cockpit display; anti-aliasing; Wu algorithm; small-angle; FPGA implementation

收稿日期:2013-09-29;修订日期:2013-10-30.

* 通信联系人,E-mail:zjee@nuaa.edu.cn

1 引言

随着科技的进步及军事的需求,新一代机载座舱图形显示系统需快速美观地生成动态飞行参数、图形供飞行员掌控,为了缓解飞行员的视觉压力、减少误操作,提高图形的显示质量很有必要。

本文致力于研究可用于机载座舱图形显示系统的直线反走样算法,系统最初选用 Wu 算法^[1]来完成直线的反走样,该算法通过调整直线路径上的像素亮度,平滑了整条直线,相比于未反走样的直线,视觉效果要好很多,原理也相对简单,但小角度直线的显示效果不够理想,存在明显的“麻花”现象,动态效果更是如“游动的鱼”,易造成飞行员的误判。

目前基于 Wu 反走样的改进算法有很多^[2-8],但基本未对小角度直线的“麻花”现象给予特殊处理,显示效果不够理想。本文从“麻花”现象原因出发,分析了两种常用的改进算法,通过 Matlab 旋转字符仿真效果的比较,提出一种新的直线反走样算法,小角度直线显示效果远优于 Wu 算法,且对大角度直线和圆弧的反走样依旧适用。同时结合中点画线法后,算法绘制时间也大大缩短,故可用于机载座舱显示系统,以提高图形的显示质量,缓解飞行员的视觉疲劳。

2 Wu 算法

光栅显示器上显示直线,实质是将一条理想直线数字化为一组离散的整数位置。经典的 Bresenham 算法用距理想直线最近的点来近似,可以快速有效地生成单线宽直线,但显示时能明显看出直线的阶梯效应,这种用离散量表示连续量引起的失真称为“走样”,用于减缓或消除图形走样的技术就是“反走样”^[9]。

Wu 算法在单线宽直线反走样方面至今仍是经典解决方案,其算法思路非常简单,设直线两个端点为 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) ,则 $|x_1 - x_2|$ 和 $|y_1 - y_2|$ 中差值较大的数轴为主轴(长轴),较小的为从轴(短轴)。直线沿着主轴方向每前进一个像素单位,在从轴方向与理想直线距离最近的两个像素均被点亮,两者的亮度和等于待绘制颜色的亮度值,根据像素点在从轴方向上与理想直线的距离

来分配,距理想直线远的亮度低,距理想直线近的亮度高^[1,10],算法原理如图 1 所示。

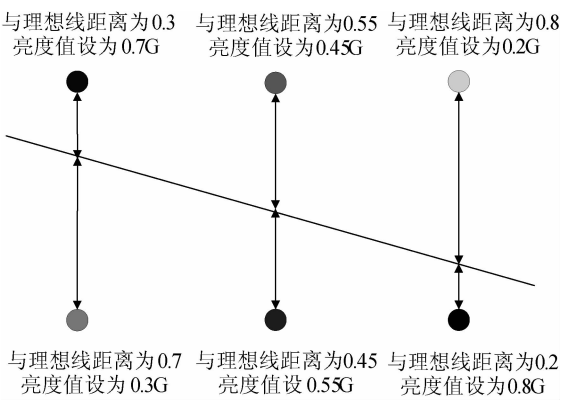


图 1 Wu 反走样算法原理图
Fig. 1 Schematic of Wu anti-aliasing algorithm

图 2 是 Matlab 中 Wu 反走样前后直线的仿真效果图,可以看出 Wu 反走样后的直线阶梯效应已有明显改善,视觉效果也更加柔和,达到了减缓图形走样的目的。

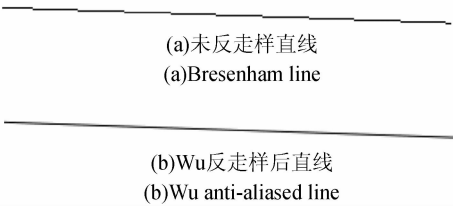


图 2 Wu 反走样前后直线效果对比
Fig. 2 Comparison between Bresenham and Wu algorithm

3 小角度直线存在的问题及常用改进算法

3.1 小角度直线存在的问题

Wu 反走样后的直线,当其与主轴间夹角小于 5° 时,会出现一定的“麻花”现象,如图 3(a)所示,可明显看出直线明暗交接处虚化变宽,如拧成的麻花。

为了更好地分析现象原因,对图 3(a)局部放大,由图 3(b)可明显看出,亮度较高的两段(X_1 和 X_2)间的过渡段(T)亮度较低,亮度变化比较明显,缺乏连续性。在直线角度较大时,由于过渡段较短,人眼不易观察到这种变化,而当直线角度较小时, T 段和 X_1 、 X_2 段均被拉长,观察者可以清

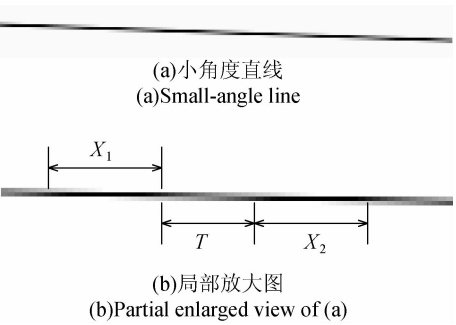


图 3 Wu 反走样后的小角度直线及其局部放大图
Fig. 3 Small-angle line and its details under Wu algorithm

楚地看到整个亮度变化的过程,因此视觉上出现“麻花”现象。

3.2 直线展宽

一般的,为了减轻麻花现象,最简单、也最易实现的方法是物理展宽直线,在像素对中间加一个最大亮度的像素点,这样在不改变边缘的情况下,视觉上两侧锯齿淡化,直线连续性增加,减缓了走样^[8,11]。如图 4(b)所示,加宽后的 Wu 反走样直线视觉效果更加平滑,麻花现象有所减弱。

需要注意的是,增加一个最大亮度的像素点即可,增加两个或两个以上会显得直线过宽、过亮,反而影响显示效果。

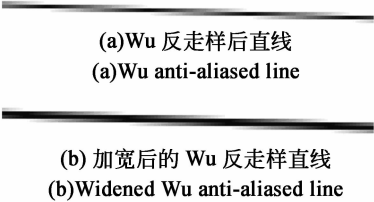


图 4 加宽前后直线效果对比图
Fig. 4 Comparison of widening effect

3.3 小角度校正函数

相比于 3.2 节仅仅基于现象表面的方法,校正函数是从现象的本质出发,通过弱化明暗两段间的分界,达到改善或减轻麻花现象的目的。

3.3.1 算法原理

从人的视觉原理来讲,人的眼睛感到亮度增加一级时,光强约增加一倍^[12]。也就是说,以纯色图像为例,若每个像素用 8 位二进制来表示,该图像最亮的地方编码值是 255,那么次一级亮的地方则为 128,依次类推,整幅图像的亮度共有 9 个分区,对应的编码值分别是 0~1,1~2,……,

64~128,128~255。在最亮的分区(编码值 128~255)表达的亮度细节过于丰富,超过了人眼的识别能力(人眼仅能识别高于最大亮度 1% 的亮度变化^[12]),而在较暗的分区中,表达的亮度细节则过少,人眼可捕捉到亮度的明显变化。

添加校正函数是通过一种变换使较暗的分区占有的量级多一些,较亮分区占的少些,以更好地表达一幅图像的亮度细节,一般采用指数函数来完成。

3.3.2 算法实现

将所有的亮度值归一化,原始亮度值与校正后的亮度值符合式(1):

$$G_r = (G_0)^{\frac{1}{\gamma}}, \quad (1)$$

其中: G_0 表示归一化的原始亮度值, G_r 表示校正后的亮度值, γ 是校正系数,一般 γ 取 1.8~2.2 比较符合人眼的视觉特性。综合算法复杂度和校正效果,本文取 $\gamma = 2.0$ 。

对图 3(a)中的小角度直线进行校正,前后效果对比如图 5 所示,可以看出校正后直线麻花现象有了一定程度的改善,肉眼观察效果好。

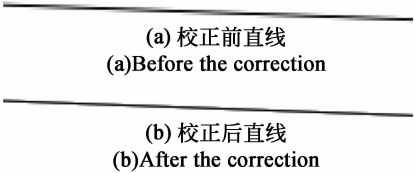


图 5 校正前后直线效果对比
Fig. 5 Comparison of correction effect

4 改进 Wu 算法

本文涉及的机载座舱图形显示系统,除了图形,还会显示飞行参数,其中有些参数会随仪表盘转动,因此算法验证阶段常会对字符进行旋转。以直立字符 N 为例,将其旋转 85.5°,Matlab 仿真结果如图 6(a)所示,可看到相比于直立字符而言,旋转后字符无明显走样,基本无失真。

对旋转后字符局部放大,如图 6(b)所示,可以看到 N 的竖线旋转后每个 x 坐标均有 4 个亮度不一的像素点与之对应。对比小角度直线的仿真图,可以得出直线从轴方向像素点的亮度渐变能很好的消除“麻花”现象。

因此本文基于亮度渐变的思想,结合 Wu 算

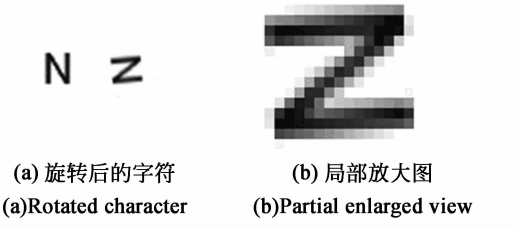


图 6 旋转后的字符及其局部放大图
Fig. 6 Rotated character and its partial enlarged view

法像素对互补的特点,提出了一种易实现,且显示效果又好的小角度直线反走样算法。

4.1 算法思想

为了体现亮度渐变的过程,直线每向主轴方向前进一个像素,则沿从轴方向在理想直线两侧各绘制两个像素点,如图 7 所示, A_m 和 C_m 组成像素对 P1, B_m 和 D_m 组成像素对 P2,像素对内亮度互补,每个像素点均以绘制颜色的亮度值乘以某个权作为实际亮度值,该权值的两倍等于 2 减去像素点在从轴方向上与理想直线间的距离。

若待绘制直线的颜色亮度值为 G ,背景颜色为 $G_B(x,y)$,相邻像素间距为 1,位于 (x,y) 的像素点距理想直线的距离为 d ($d \in [0,2]$),则 (x,y) 处像素点的亮度值 $G(x,y)$ 如式(2)所示。

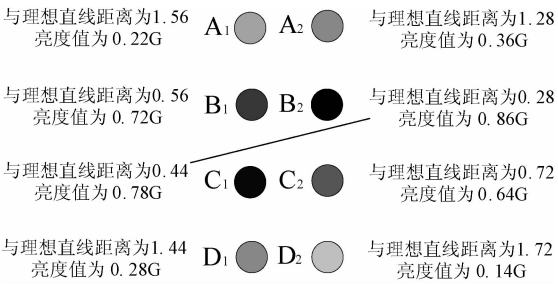


图 7 改进算法原理图
Fig. 7 Schematic of improved algorithm

$$G(x,y) = \frac{1}{2}G \times (2 - d) + \frac{1}{2}G_B(x,y) \times d. \tag{2}$$

与 Wu 算法相同,新算法也是针对单色的反走样,在处理彩色直线时,需对其 RGB 分量单独处理。

由算法原理可知,该算法的计算量是 Wu 算法的两倍,故在实际运用中结合中点画线法^[4,13],首先计算出直线中点的位置,然后从直线两端向

中心绘制,对称画出所需直线,以达到既提高显示效果,又不增加处理时间的目的。

4.2 算法仿真

在 Matlab 中对新算法进行性能仿真,图 8 给出了新算法与前文提到的多种算法的仿真效果对比图,可明显看出新算法的显示效果最优,最接近理想直线,利于长时间观察。而且虽然新算法处理后的直线略有变宽,但仍满足系统对显示线条的宽度要求,故可用于机载座舱显示系统。



图 8 不同算法下小角度直线效果对比
Fig. 8 Same small-angle line under different algorithms

4.3 FPGA 实现

新算法由于复杂度低、计算简单,适合于硬件实现。在 Xilinx 公司的 Virtex-5 系列芯片 XC5VFX70T 上实现新算法和前文提到的多种算法,并在屏幕上显示,如图 9 所示。直线倾斜角为 2.217° ,可以看到新算法视觉效果远好于其他算

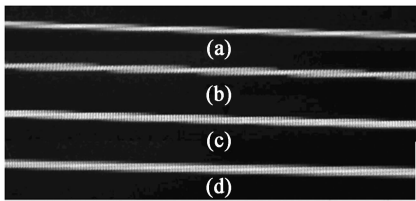


图 9 不同算法下小角度直线屏幕显示效果对比图。
(a)Wu 反走样直线;(b)校正后的 Wu 反走样直线;(c)加宽的 Wu 反走样直线;(d)新算法反走样后的直线。

Fig. 9 Display comparison of small-angle lines under different algorithms. (a) Wu anti-aliased line; (b)Corrected Wu anti-aliased line; (c)Widened Wu anti-aliased line; (d) line under new algorithm.

法,“麻花”现象已基本消除。本文系统输出分辨率为 $1\,600 \times 1\,200$,帧速率为 60 Hz ,时钟频率为 200 MHz ,用新算法绘制一条长度为 400 个像素点的小角度直线耗时 $16\text{ }\mu\text{s}$,结合中点画线法后只需 $8.2\text{ }\mu\text{s}$,与 Wu 算法的 $8\text{ }\mu\text{s}$ 相差甚少,且显示效果有了质的飞跃,故可用于对显示效果要求较高的机载座舱显示系统中。

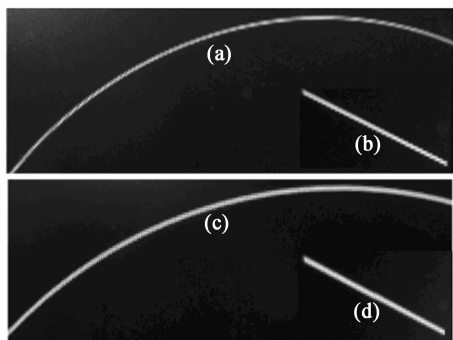


图 10 大角度直线和圆弧显示效果对比。(a)(b)Wu 反走样后;(c)(d)新算法反走样后。

Fig. 10 Display comparison of large-angle line and circular arc. (a)(b) under Wu algorithm; (c)(d) under new algorithm.

实现过程中,除了验证多个小角度直线的生成效果,还对大角度直线和圆弧也试用了本算法,效果也很理想,大角度直线的边缘锯齿基本消除,圆弧在小角度部分的虚化现象也得到了很好的缓解,如图 10 所示。

5 结 论

基于 Wu 反走样算法的思想,提出了一种原理简洁、易于硬件实现、且显示效果远优于 Wu 算法的小角度直线反走样算法。该算法不仅可用于小角度直线,对大角度直线和圆弧的反走样依旧适用,而且结合中点画线法后,绘制时间大大缩短。在 200 MHz 的系统时钟下,绘制长度为 400 个像素点的小角度直线仅需 $8.2\text{ }\mu\text{s}$,与 Wu 算法所需时间基本一致,故可用于对实时性和显示效果要求均较高的机载座舱显示系统,以缓解飞行员的视觉疲劳。后续研究中希望结合迭代算法^[6]、多段并行画线法^[9]等高效算法的思想,对本算法进行优化,进一步缩短处理时间。

参 考 文 献:

- [1] Wu X. Efficient anti-aliasing technique [J]. *Computer Graphics*, 1991, 25(4): 143-152.
- [2] 杨蕾,赵慕奇,冯晨,等. 飞机座舱显示系统的反走样技术研究[J]. 液晶与显示, 2006, 21(6): 686-691.
Yang L, Zhao M Q, Feng C, et al. Anti-aliasing in aircraft cockpit display system [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2006, 21(6): 686-691. (in Chinese)
- [3] Jones T R, Ferry R N. Antialiasing with line samples [C]// *Rendering Techniques 2000 Proceedings of the Eurographics Workshop*, 2000: 197-205.
- [4] 汪丽娜. 飞机座舱显示系统仪表画面的反走样技术的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2007.
Wang L N. Research on antialiasing technology for instrument picture of aircraft cockpit display system [D]. Changchun: Jilin University, 2007. (in Chinese)
- [5] 马培华. 直线反走样生成和裁剪的算法改进研究[D]. 南宁: 广西大学, 2012.
Ma P H. The study of improved algorithm on generating and clipping line with anti-aliasing [D]. Nanning: Guangxi University, 2012. (in Chinese)
- [6] 贾银亮,张焕春,经亚枝. 基于 FPGA 的直线反走样算法研究[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(2): 26-29.
Jia Y L, Zhang H C, Jing Y Z. Research of line antialiasing based on FPGA [J]. *Computer Technology and Development*, 2011, 21(2): 26-29. (in Chinese)
- [7] Wong K H, Ouyang X, Lmi C W. Rendering anti-aliased line segments [C]. *Computer Graphics International* 2005, 2005: 198-205.
- [8] 江修,张焕春,经亚枝. 三像素宽反走样直线的绘制算法研究[J]. 南京航空航天大学学报, 2003, 35(2): 148-151.
Jiang X, Zhang H C, Jing Y Z. Study on algorithms for three pixel thick straight line with antialiasing [J]. *Transactions of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics*, 2003, 35(2): 148-151. (in Chinese)
- [9] Hearn D, Baker M P. 计算机图形学 [M]. 3 版. 北京: 电子工业出版社, 2005: 70-79.

- Hearn D,Baker M P. *Computer Graphics* [M]. 3rd ed. Beijing:Publishing House of Electronics Industry,2005:70-77. (in Chinese)
- [10] 杜晨辉. 提高飞机座舱显示系统罗盘画面显示质量的研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2002.
Du C H. The research on improving the compass display quality of aircraft cockpit display system [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics,2002. (in Chinese)
- [11] 骆朝亮,谢忠. 一种快速的多线宽直线反走样算法[J]. 计算机工程与应用,2011,47(21):188-190.
Luo C L,Xie Z. Rapid algorithm for anti-aliasing of arbitrary width line drawing [J]. *Computer Engineering and Applications*,2011,47(21):188-190. (in Chinese)
- [12] 琺新刚,勾占锋,孙华. LED 亮度调节中的人眼感受非线性校正[J]. 郑州大学学报:工学版,2012,33(5):138-140.
Ju X G,Gou Z F,Sun H. Nonlinear correction for human eye feeling to LED brightness control [J]. *Journal of Zhengzhou University:Engineering Science*,2012,33(5):138-140. (in Chinese)
- [13] 姜丹丹,李成贵. 全罗盘画面中的刻度线反走样技术[J]. 液晶与显示,2009,24(7):130-134.
Jiang D D,Li C G. Research and implementation of anti-aliasing technology on compass screen-scale [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*,2009,24(7):130-134. (in Chinese)

作者简介:李铂(1990—),女,河南洛阳人,硕士研究生,主要从事信号处理、图形生成与反走样、嵌入式 VxWorks 操作系统方面的研究。E-mail:libo.120180@163.com

周建江(1962—),男,江苏南通人,教授,博士生导师,主要从事信号处理、雷达目标特性分析与特征控制、机载电子信息系统方面的研究。E-mail:zjje@nuaa.edu.cn