

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.12.019

基于 FPGA 的机载水平状态指示仪

贾银亮, 张焕春, 经亚枝
(南京航空航天大学 自动化学院, 江苏 南京 210016)

摘要: 在对基于 DSP+FPGA 方案进行改进的基础上, 提出一种基于 FPGA 的机载水平状态指示仪硬件方案。该方案由 FPGA 完成画面的生成并控制帧存、驱动 LCD; 用 DSP 完成参数的计算; 通过对称性简化计算; 通过并行处理和硬件实现提高图形的生成速度。结果表明, 该方案简化了系统结构, 提高了水平状态指示仪画面的刷新速度及分辨率。

关键词: FPGA; 水平状态指示仪; 电子综合显示
中图分类号: TP206⁺.1 **文献标识码:** A

Horizontal Indicator in Aircraft Cockpit Based on FPGA

Jia Yinliang, Zhang Huanchun, Jing Yazhi
(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: A project is present based on FPGA for horizontal indicator in aircraft cockpit to improve the performance of the old project based on DSP+FPGA. Graphics are drawn, memory and LCD are controlled by FPGA while parameters are calculated by DSP. Less calculation was needed according to the symmetry of graphics and the graphics-drawing speed is improved by parallel processing and hardware implement. The refresh rate and resolution of the graphics are advanced with simply system organization.

Keywords: FPGA; horizontal indicator; electronic integrative display

0 引言

在机载电子综合显示系统中, 图形显示使复杂的飞行状况变得一目了然, 显得更为灵活、方便和直观^[1]。近年来, 随着飞机性能的迅速发展, 飞机上的信息来源也更加多样化、复杂化, 为了给飞行员最直观地显示繁杂信息, 机载图形显示占据着越来越重要的位置^[2]。

电子式水平状态指示仪是飞机的主要导航仪表之一。现代飞机速度快, 飞行状况复杂。机载显示器上显示的图形相对实际飞行状况出现延迟可能带来严重的后果。因此, 图形变换速度必须很快, 且显示图形复杂, 需要专用的图形显示系统^[3]。FPGA 由于运算速度快, 设计灵活, 常用于航空显示系统的设计^[4-5]。故基于 FPGA 的硬件方案, 针对电子式水平状态指示仪建立一个专用的图形系统。

1 电子式水平状态指示仪

电子式水平状态指示仪是飞机座舱的标准图形画面中的一种, 如图 1。背景通常是黑色, 整个画面由 2 部分组成。一是表示飞机的当前飞行状态的各种参数, 这部分的位置固定不变, 数值随飞行

状态的变化而变化; 二是磁航向刻度盘, 这部分随飞行状态变化而旋转以指示其正确位置。在刻度盘上, 每 5° 有一根刻度线, 刻度线长短交替出现, 共 72 根; 每 30° 有字符显示, 包括指示方向的字母 N、S、W、E 和一些阿拉伯数字。字符随罗盘同步转动。由于整个画面最主要的是一个旋转的罗盘, 所以又叫做全罗盘画面。



图 1 电子式水平状态指示仪画面

2 现有机载水平状态指示仪的算法

水平状态指示仪在设计上的关键点是:

- 1) 老画面的消隐。画面主要部分是一个不断旋转的罗盘, 旋转动画的实现需要分 2 步, 先将老画

收稿日期: 2010-06-23; 修回日期: 2010-08-06

基金项目: “十五”空装预研基金(1020103030)

作者简介: 贾银亮(1979-), 男, 江苏人, 博士, 讲师, 从事计算机图形学、嵌入式系统、无线传感器网络研究。

面全部擦除，然后新的位置上重画整个画面。

2) 画面的旋转。刻度盘要随着航向的变化而旋转，这包括直线和字符的旋转，这部分工作需要三角函数运算，比较耗时。

3) 画面的反走样。图形和字符在液晶屏上显示时存在固有的锯齿现象，如果不采取一定措施会影响画面的显示效果。

老画面的消隐和字符的旋转都需要大量计算，非常耗时。例如，一个分辨率为 400×400，包含 12 个字符的全罗盘画面，全屏消隐过程需要访问每个像素点对应的帧存，共需要 160k 次写操作；12 个字符的点阵中每个像素点都要旋转，共需要 3k 次矩阵运算。

文献[6]建立了专用的基于 DSP+FPGA 的图形系统，用 DSP 生成新的画面。在 DSP 生成新的画面并存入帧存之前，加入一个消隐阶段，由 FPGA 在高速时钟频率驱动下，集中对该帧存进行消隐。

通过由 FPGA 在高速时钟的驱动下完成消隐工作，可减少消隐的时间开销，从而缩短整个画面的生成时间。DSP 不再担负消隐，减少了计算量。该系统虽然提高了画面生成速度，但也存在一些不足：

1) 直线和字符的旋转和反走样仍由 DSP 来实现，其时间开销很大。

2) FPGA 在消隐过程中也需要访问帧存，这会占用一帧画面的生成时间，导致速度提高有限。

3) 系统硬件结构复杂。FPGA 要实现老画面消隐，而 DSP 也要把新画面写入帧存。这样，帧存存在两种地址总线：DSP 写地址总线、FPGA 高速消隐地址总线；数据总线有 DSP 写数据总线、背景色填充写数据总线和像素数据送 LCD 显示读数据总线 3 种。帧存的总线接口十分复杂，增加了设计上的困难。

针对以上不足，在基于 DSP+FPGA 方案的基础上，提出基于 FPGA 的新方案。

3 基于 FPGA 的新方案

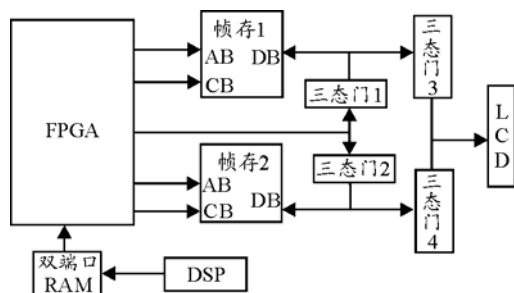


图 2 FPGA 方案基本结构

在新方案中，FPGA 不但完成老画面的消隐，也实现画面的旋转和直线、字符的反走样，从而充分利用硬件来提高生成速度。该方案的结构如图 2。

整个系统以 FPGA 为核心，使用双帧存的结构来保存画面，当 FPGA 把一帧画面写入一个帧存时，将另一个帧存中的画面读出，送 LCD 显示。

水平状态指示仪画面主要由直线和字符组成。直线、字符的旋转和反走样都由 FPGA 实现。由于 FPGA 难以进行三角函数运算，为保证旋转后的显示效果，系统中仍保留 DSP。DSP 通过飞行参数计算出罗盘的旋转角，再通过三角函数来计算直线的起点、终点，以及字符点阵旋转后的坐标，并通过双端口 RAM 送给 FPGA，FPGA 利用这些坐标生成直线，点亮字符，实现整个画面并存入帧存，同时将这些坐标保存在帧存中以便消隐。

对于老画面的消隐，基于 DSP+FPGA 的方案是对整个帧存填充背景色，而不是重画一次老画面，只对那些颜色发生改变的像素点进行处理。因为在该方案中，画面是由 DSP 生成的，在 FPGA 进行消隐时，无法确定哪些点不是背景色，只能对整个帧存进行消隐。在基于 FPGA 的方案中，画面全部由 FPGA 来生成，可以方便地确定老画面里的像素点，所以采用重画的方法来实现消隐，减少了帧存访问量，提高了消隐速度。

FPGA 生成新画面存入一个帧存，分为 2 步进行：

1) 从该帧存中读出老画面的特征参数，主要是直线的起点、终点，以及字符点阵旋转后的坐标，利用这些参数重画整个老画面，将颜色发生改变的像素点置为背景色，实现消隐。同时，DSP 根据飞行参数计算新画面的特征参数，存入双端口 RAM。

2) 完成消隐之后，FPGA 从双端口 RAM 读取由 DSP 计算好的特征参数，生成各条直线和字符并完成反走样。将新画面写入帧存，该画面的特征参数也一并存入，为消隐做好准备。

系统需要由 FPGA 来完成直线、字符的生成并对其进行反走样处理。

直线生成使用经典的 Bresenham 算法，该算法使用整数加法、比较和移位来生成一条直线^[7]。由于计算简单，用 VHDL 语言可以很容易的在 FPGA 上实现^[8]。

在罗盘画面的刻度线之间存在一定的对称关系，如图 3 的相互垂直或平行的 4 根刻度线。从图

3 中可见, 每根刻度线上的像素点对应关系。整个刻度盘上共有 72 根刻度线, 每 4 根一组, 共有 18 组这样的对称关系。

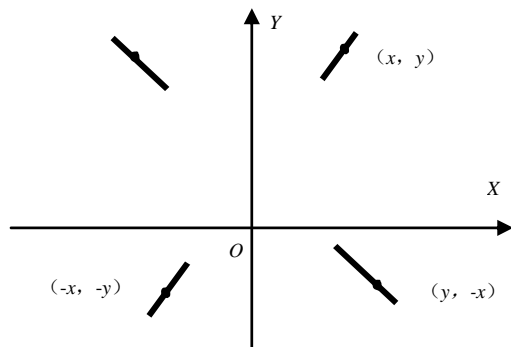


图 3 对称的刻度线

利用刻度线的这种对称性, 可以大大减少直线生成的计算量。系统只依次计算在第一象限内 (不包括 Y 的正半轴) 的 18 根刻度线所包含的各像素点坐标, 其它 54 根利用对称性来生成。

除了直线以外, 画面中还有大量的字符。在水平状态指示仪中, 采用 16×16 的点阵字符, 即每个字符由 256 个像素点组成。系统将所有需要用到的字母和数字的点阵保存在存储器中做成字符库。对于那些位置和角度是固定不变的字符, FPGA 不需要做过多的处理, 直接从字符库中取出对应的点阵写入帧存即可; 对于随着刻度盘旋转的字符, 处理复杂的多。下面讨论字符的旋转问题。

假设刻度盘上每 90° 有指示方向的字母 N、S、W、E; 在 2 个字母之间, 每隔 30° 有一个阿拉伯数字; 即整个刻度盘上一共有 12 个字符。与刻度线一样, 依次间隔 90° 的 4 个字符点阵的位置是相互对称的, 显然, 在一组 4 个点阵之中, 只需要计算一个, 其它可以由对应关系求出。所以 DSP 只计算 3 个字符点阵旋转之后各个像素点的坐标, 通过双端口 RAM 送给 FPGA。FPGA 通过坐标变换得到其它 9 个字符的位置, 生成各个字符。

系统由 FPGA 使用 WU 算法对直线反走样; 使用 Quincunx 滤波, 用于字符反走样^[9]。

与原基于 DSP+FPFA 的方案相比, 基于 FPGA 的水平状态指示仪画面生成的速度大大提高:

- 1) 在老画面的消隐阶段, 只对那些颜色发生了变化的像素点进行处理, 极大地减少了时间开销。
- 2) 整个画面, 包括刻度线、箭头和字符, 全部由 FPGA 来生成, 通过硬件加速, 其生成速度大大提高。
- 3) 刻度盘旋转之后的特征参数由 DSP 计算。

这些计算在 FPGA 对老画面的消隐时, 由 DSP 完成, 即 DSP 和 FPGA 并行的工作, 所以保证了精确度又不会带来新的时间开销。

由以上 3 点可见, 基于 FPGA 的方案可以大大提高画面的生成速度。为定量评估性能, 设画面分辨率为 400×400 , 每根刻度线平均 30 个像素点, 采用 16×16 的点阵字符, 固定和旋转字符各 12 个。为简化起见, 不考虑反走样问题。

在基于 DSP+FPFA 的方案中, FPGA 时钟频率为 80 MHz, DSP 时钟频率为 40 MHz。设 FPGA 访问帧存一次至少需时 t_0 。FPGA 完成老画面的消隐阶段需要 $160k t_0$; DSP 在生成新画面时也需要访问帧存, 由于其时钟频率低, 访问帧存一次至少需时 $2t_0$, 72 根刻度线的生成需要 $4.32k t_0$; 字符在生成时需要先访问字符库, 计算后再写入帧存, DSP 生成 24 个字符, 需要 $24.576k t_0$; 所以一幅画面的生成需要 $188.896k t_0$ 。

基于 FPGA 的方案, 在时钟频率不变的情况下, 每个时钟周期可以生成一个像素点。72 根刻度线的生成需要 $2.16k t_0$; 生成 24 个字符需要 $12.288k t_0$; 从存储器中读取 DSP 计算的参数, 包括 3 个字符点阵, 和 18 根直线的起点、终点, 需要 $1.608k t_0$; 参数保存在帧存也需要同样的时间; 即计算一幅画面需要 $17.664k t_0$ 。老画面消隐和新画面的生成各需要做一次这样的计算, 共需要 $35.328k t_0$ 。

从以上分析可见, 基于 FPGA 方案的画面生成速度大大提高, 大约只有基于 DSP+FPFA 方案的 $1/5$ 。这里只考虑了访问帧存的时间, 实际上 DSP 在计算时也需要时间。基于 DSP+FPFA 方案是先由 FPGA 对老画面消隐, 再由 DSP 生成新画面, 由于这两步工作都需要访问帧存, 所以无法做到并行处理; 而基于 FPGA 的方案由于 DSP 计算量很少, 并且 DSP 的计算结果存入双端口 RAM, 而 FPGA 的计算结果存入帧存, 所以 DSP 和 FPGA 可以并行工作, 不会带来额外的时间开销, 所以节约的时间更多。

4 结束语

理论分析和实际调试证明, 该方案通过 FPGA 来生成整个画面, 充分由硬件来加速生成, 并通过并行计算来消除 DSP 计算对速度的影响, 从而大大减少了计算时间。同时, 由于帧存只受 FPGA 控制, 也简化了硬件结构。在此前提下, 可以提高画面分辨率和刷新速度, 或是加入更复杂的图形, 从而提

高水平状态指示仪的显示效果。

参考文献:

[1] 张强, 元洪波, 赵利杰. 某型机载信息显示设备检查系统[J]. 兵工自动化, 2010, 29(3): 60-62.

[2] Herman, R. Using the cockpit display to improve on-aircraft maintenance[D]. Orlando: The International Society for Optical Engineering, 2006: 204-210.

[3] 张波, 张焕春, 经亚枝. 基于 DSP 和 FPGA 的座舱图形显示系统关键技术研究[J]. 信息与控制, 2003, 32(6): 548-552.

[4] 李开宇. 用 FPGA 实现机载全姿态指示仪图形硬件填充[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16(2):

248-251.

[5] 胡小龙, 周俊明, 夏显忠. 飞机座舱图形显示加速系统设计及 FPGA 实现[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2008, 39(5): 1042-1048.

[6] 朱耀东. 飞机座舱综合图形显示系统关键技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2003.

[7] James D. Foley. 计算机图形学导论. 北京: 机械工业出版社, 2004: 48-56.

[8] 江修, 张焕春, 经亚枝. 直线生成算法在飞机座舱全罗盘画面绘制中的应用[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003, 15(11): 1448-1451.

[9] 杨蕾, 赵慕奇, 冯晨. 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.

(上接第 51 页)

1) 能够有效防御 Dos 攻击。该协议利用对称密钥对所有路由信息进行逐跳加密和认证, 恶意节点的 Dos 攻击包会在刚刚进入网络的时候就被丢弃。

2) 防御修改攻击。在该协议中, 由于目的节点需要回复 RREP 到源节点, 如果路由消息被修改 RREP 就不可能到达源节点, 路由路径就无法建立, 所以可以检测恶意节点通过修改破坏消息的完整性。

3) 防御虚假路由信息。该协议中任意 2 个可相互通信的节点之间都共享会话密钥, 通过该密钥可以认证彼此身份, 路由消息中用共享的会话密钥对源节点和目的节点进行了加密, 所以可以检测出恶意节点虚假的路由信息。

4) 防御传输分析。路由消息在传播中均被加密保护, 可以在一定程度上提供匿名性, 防止攻击者进行传输分析, 跟踪特定节点的行为。

5) 防御 Wormholes 攻击。该协议中节点通过 GPS 或某些定位装置知道自己精确的位置信息, 可抵御 Wormholes 攻击。

6) 防御重放攻击。由于在路由信息交换中增加了时间戳和产生随机数时间的一致性判别, 该协议能够防御重放攻击。

5 结束语

该协议利用随机密钥预分配方案在传感器节点中预置密钥, 使得每一个节点与其邻居节点之间共享一个对称密钥, 在组播路由树的建立过程中采

用对称密钥算法进行逐跳加密和认证, 可以阻止非法节点参与路由过程, 达到建立安全组播树的目的。

参考文献:

[1] Ettus M.. System Capacity, Latency and Power Consumption in Multihop-routed SS-CDMA Wireless Networks[C]. In: Radio and Wireless Conference. Colorado, 1998: 55-58.

[2] De Castro L N. Immune cognition, micro-evolution, and a personal account on immune engineering[J]. SEED Journal, 2003, 3(3): 134-155.

[3] Haowen Chan, Perrig A.. Security and privacy in sensor networks[J]. Computer, 2003, 36(10): 103-105.

[4] Karlof C., Wagner D.. Secure routing in wireless sensor networks: attacks and countermeasures[J]. Ad Hoc Networks, 2003, 1(3): 293-315.

[5] Changqing Yin , Shaoyin Huang , Pengcheng Su, et al. Secure routing for large-scale wireless sensor networks[C]. Beijing: Proceedings of the 2003 International Conference on Communication Technology (ICCT'2003), 2003: 1282-1286.

[6] Deng J., Han R., Mishra S.. INTRSN: Intrusion-tolerant routing in wireless sensor networks[C]. Proceedings of the 23rd IEEE International Conference on Distributed Computing Systems(ICDCS'2003), Providence, RI, 2003: 65-71.

[7] Laurent Eschenauer, Virgil D. Gligor. A key management scheme for distributed sensor networks[C]. Washington D.C.,USA: Proceedings of the 9th ACM Conference on Computer and Communication Security, 2002: 41-47.

[8] Shibo Wu, K. Selcuk Candan. GMP: Distributed Geographic Multicast Routing in Wireless Sensor Networks[C]. Lisboa, Portugal: Proceedings of the 26th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS'06), 2006.