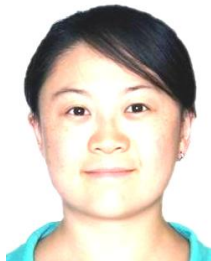


基于 FPGA 功能键盘的开发与应用

王立雪 常迎春

(华北计算技术研究所, 北京 100083)



摘要: 基于 FPGA 开发的功能键盘, 将多种按键分类为自锁键 (普通编码键盘) 和自复位键 (较大规模矩阵扫描键盘), 通过多次采集键值和无键值获取持续时间的计算实现按键防抖, 采用键值返回指示的回显功能确认环路良好, 在很大程度上提高了键盘的准确性、稳定性和可靠性。同时还具备设计灵活, 便于量身裁剪等特点。

关键词: 功能键盘; 键值复用; 按键消抖

Design of Special Function Keyboard Based on FPGA

Wang Lixue Chang Yingchun

(North China Institute of Computing Technology, Beijing 100083)

Abstract: Keys are assorted into non-self-reset push-keys and self-reset push-keys. By analyzing key-values from different data collections and calculating non-key-value lasting time, FPGA can get a accurate key-value without jitter. Key-values that are sent to computer will be encoded and sent back to FPGA, by doing this the keyboard knows if the circuit is all right. This kind of keyboard can be flexibly redesigned.

Key words: function keyboard; key-value multiplex; key without jitter

1 引言

在国防军事指挥控制自动化和工业计算机控制领域中, 计算机标准键盘已经无法简捷、灵活、稳定以及可靠地实现与专用控制系统的交互并实施有效而准确的控制和状态指示。因此, 为专用控制系统量身定制的专用功能键盘应运而生。其特点是配置灵活, 可根据实际需求对功能模块和按键数量进行裁剪, 采用通用的 RS-232-C 串行总线接口实现与上层终端应用程序的对接, 并应用了可靠的按键消抖技术, 高效且稳定。

2 功能键盘设计方案

目前, 专用功能键盘的实现通常采用基于单片机或 FPGA 的键盘设计。当对键盘的按键数量和附加功

能提出较高要求时, 由于单片机自身提供的可开发 I/O 资源和内存有限, 便不得不让步于 FPGA。作为高性能可编程器件, FPGA 提供大量可编程 I/O 接口供用户开发使用, 同时具备低功耗、高速、高密度等特点, 开发灵活, 稳定可靠^[1]。因此, 本文采用 FPGA 器件来实现按键数量较多、功能相对复杂的功能键盘的开发和设计。

3 系统概述

本文设计的功能键盘要实现如下功能: 包含自复位键盘和自锁键盘; 键盘按键可复用; 具备按键回显功能, 显示控制指令由上位机发出; 键盘与上位机之间通过 RS-232-C 串行接口实现通信。

功能键盘从系统功能上划分, 包括以下几个部分: 串口发送器、串口接收器、自复位键盘及编码器、

作者简介: 王立雪 (1980-), 工程师, 自动化专业; 研究方向: 军用加固计算机及专用控制电路的设计与开发研究。

收稿日期: 2013-02-26

自锁键盘及编码器、按键状态回显电路（包括灯值解码器、指示灯驱动模块和按键指示灯）。系统组成功能框图如图 1 所示。

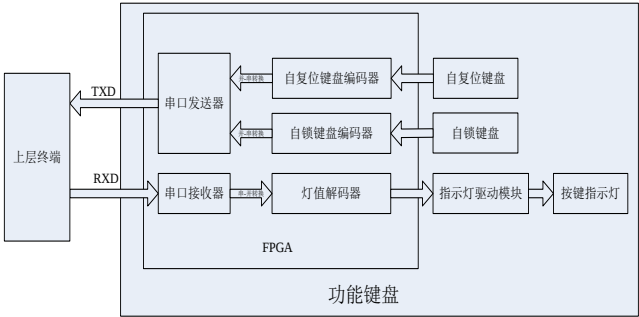


图 1 功能键盘系统框图

其中，串口发送器、串口接收器、自复位键盘编码器、自锁键盘编码器以及灯值解码器通过对 FPGA 的软件编程实现，其余模块均由硬件电路实现。

FPGA 接收来自键盘的电平信号，当检测到有键值变化时，经过综合编码后形成键值，通过串口发送器发送给上位机。同时，通过串口接收器接收上位机的控制指令，解析给指示灯驱动模块，控制相应的指示灯，完成指定的操作。

本文以 32 键键盘（其中自复位键 16 个，自锁键 16 个）为例，进行各部分设计原理的介绍。

4 实现方法

4.1 键盘设计及原理

4.1.1 自复位键盘

所谓自复位按键，是指当对按键实施按下操作时则按键闭合，当不进行操作时按键恢复原来位置，处于开路状态。

当自复位键盘的按键数量较多时，为了节约 I/O 资源，可通过矩阵连接法来实现自复位键盘的功能。矩阵键盘的工作特点是在同一时刻，只有一个有效按键键值被响应，按键按下时产生键值，按键弹起时无键值产生。将按键连接成 4×4 按键矩阵，每个按键位于某行和某列的交点上，行和列共占用 8 个 FPGA 的 I/O 端口。FPGA 先通过扫描方式确定被按键的行和列位，再查表将位置码转换为按键键值。原理如图 2 所示。

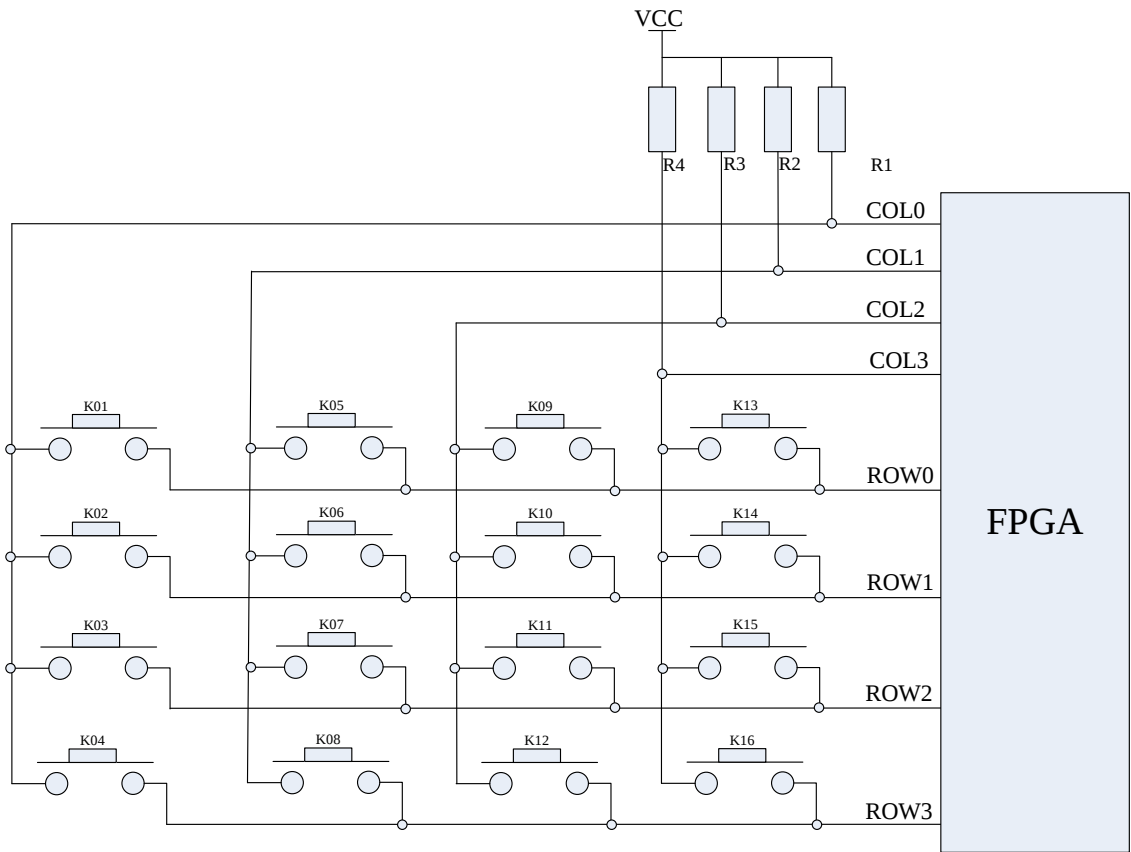


图 2 矩阵键盘原理图

对于 FPGA 的 I/O 端口而言，ROW3~ROW0 为输出信号，COL3~COL0 为输入信号。FPGA 按照 10ms 的扫描间隔依次输出如下 ROW 信号：1110，1101，1011，0111，1110……如此循环。当扫描到某一行时，读取列值，如果没有按键被按下，则列值 COL3~COL0 为 1111，不产生有效键值。当只有一个按键被按下时，COL3~COL0 其中 1 位为零，按键有效，此时计算键值并发送至串口；如果多个按键被同

时按下，COL3~COL0 多于 1 位为 0，则按键无效，无有效键值产生。

通过当前的 ROW 值和读取到的 COL 值，便可通过查表对应得到一个键值。例如，当按键 K13 被按下，ROW 扫描到“1110”时，此时的 COL 值为“0111”，则 ROW&COL 为“11100111”，通过查表可得到最终的键值，键值表见表 1。

表 1 自复位键盘键值表

按键	行 ROW	列 COL	键值 KEY
K01	1110	1110	10000000
K02	1101	1110	10000001
K03	1011	1110	10000010
.....			
K13	1110	0111	10001100
.....			

4.1.2 自锁键盘

所谓自锁键，是指当按键处于开路状态时，对按键实施按下操作，则按键闭合；再次操作按键，则按键开路。

自锁键盘采用直接法，即每一个按键占用一个 FPGA 的 I/O 管脚。FPGA 周期性地依次检测自锁键对应的 I/O 管脚上的电平化情况，当检测到管脚电平变化时，逐位查询并累加计数，直至计数查询到状态发生变化的按键，根据计数结果查表得到键值的 KEY(4 DOWNT0 0)，KEY(7)则为实际检测到的该按键的电平值，其余位为“0”。最终将键值发送至串口。

不同于自复位按键，每一个自锁键都对应 2 个键值，当按键被按下或是弹起时，均有键值产生，并且同时会有多个按键被按下。

4.2 复用按键设计及原理

当键盘规模较大，需要引入大量按键时，为了提高空间利用率和键盘的使用效率，同时还能便于操作，增加了复用键的设计，即同一个按键可产生 2 个键值。

基本键值应包含两个信息：按键位置 and 该按键状态。每个键值用 1 个 8 位二进制数 KEY(7 DOWNT0 0) 表示。其中 KEY(4 DOWNT0 0) 表示按键位置（即按键编号）；KEY(7) 表示按键状态，为“0”表示按下，为“1”表示弹起；KEY(6) 和 KEY(5) 为空闲位，可利用 KEY(5) 来表征复用功能的状态。

键值复用功能由 1 个特殊功能键（Fn）和若干个其它按键组成，本文中（Fn）键采用 1 个自锁键。如

检测到 Fn 键按下时，则置标识寄存器 FNTAG 为“00100000”，Fn 键弹起时，置标识寄存器 FNTAG 为“00000000”。当 FPGA 检测到按键变化时，经过计算、查表得到键值 KEY 后，将 KEY 与 FNTAG 相与，便得出最终给串口发送器的键值。

4.3 按键的消抖

按键在按下或弹起时会出现抖动现象，抖动时间与按键的机械特性有关，一般在 5~10ms 左右。为了避免 FPGA 将抖动误判为多次按键操作而输出重复键值，必须进行按键消抖处理，要求功能键盘的同一次按键操作无论多长时间，都只有一个准确、唯一的键值产生。

4.3.1 自复位键消抖设计

对于自复位键盘，FPGA 检测到按键被按下时，会多次采集键值进行比较，多次比较的结果一致，排除前沿抖动或误码，则将该键值暂存；当检测到按键弹起后开始计时，在 t_{delay} 内未检测到有按键按下，排除后沿抖动，则判定该键值有效，将其发送至串口。如图 3 所示。

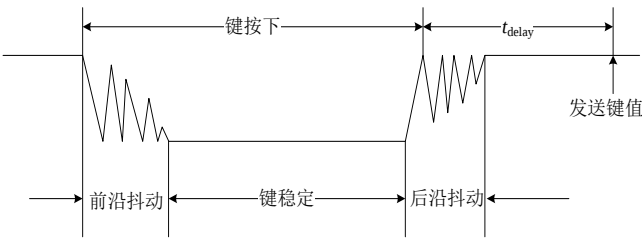


图 3 自复位键盘消抖设计

4.3.2 自锁键消抖设计

自锁键的消抖采用多次取样、连续比较的方式。当连续 8 次获得同一键值时，才将键值发送至串口，否则视为无效键值而舍弃。

4.4 键盘通信及回显

4.4.1 键盘通信

功能键盘需要通过串口通信来实现键值的发送和回显指令的接收。

串口数据以帧的形式发送或接收。每个帧由 1 个起始位, 8 个数据位和 1 个停止位组成。起始位为“0”, 停止位为“1”。数据位从最低位开始传输, 最高位在最后^[2]。

本文串口执行程序的时钟为波特率的 16 倍。在串口发送数据的过程中, 需以系统时钟为基准, 计算出需要的波特率。因此需通过分频计数的方法实现。计算方法如下:

计数值=系统时钟/(16×期望的波特率)
该计数结果为波特率发生器的时钟频率。

在采集到有效键值进行发送时, 需要考虑键盘模块与串口发送器的接口协议。本文对此采用了两个标识位: 键值可读标识和键值已读标识。键值可读标识由键盘部分产生, 当采集到键值后该标识置位, 串口发送去读取后便清零。键值已读标识由串口发送器产生, 当读取完成键值时置位, 数据发送完成后, 检测到键值可读标识为 0 时则清零。键值发送流程图如图 4 所示。

接收回显指令过程同理。

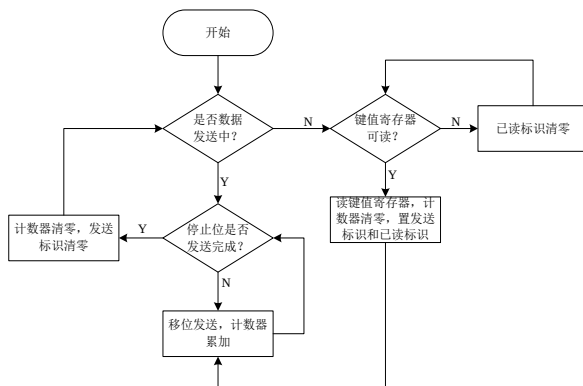


图 4 键值发送流程图

4.4.2 按键回显

在使用过程中, 特殊功能键盘如果没有任何按键回显装置, 便无法判断上位机是否正确接收到键值。因此引入按键的回显功能。当执行完一个按键操作后, 上位机接收到按键键值, 此时由上位机发出回显指令, 该指令驱动键盘上某一个按键对应的指示灯, 操作人员便可确认上位机成功接收到了正确的键值。

回显指令为 1 个 8 位二进制数 *LAMP*。其中, *LAMP*(5 DOWNTO 0)表示指示灯位置; *LAMP*(7)表示对指示灯的操作: “0”表示点亮指示灯; “1”表示熄灭指示灯; *LAMP*(6)为译码器使能位。

用 2 个 4-16 译码器和 1 个 2-4 译码器组合成 1 个 6-32 译码器, 用于解析指示灯的位置。设计原理如图 5 所示。

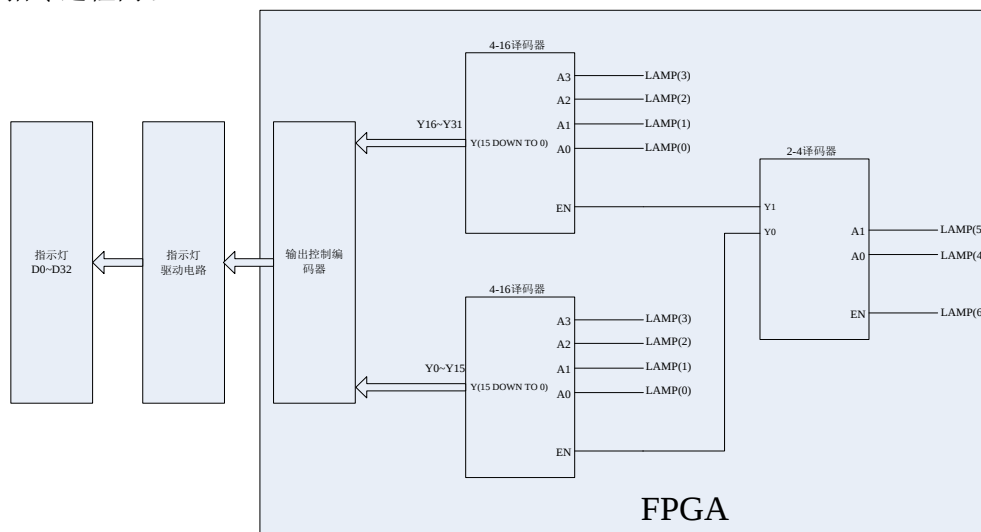


图 5 指示灯译码电路原理

寻找到指示灯位置后, 将 *LAMP*(7) 的值赋给相应的 I/O 端口, 通过指示灯驱动电路实现对相应位置

指示灯的控制。

5 系统验证

软件编写完成后，下载到电路板的 FPGA 上，将电路板串口与 PC 机串口相连接，通过测试软件“串口调试助手”对功能键盘的功能进行验证。设置“串口调试助手”的波特率与功能键盘的波特率一致，无校验位，数据位为 8 位，停止位为 1 位，16 进制显示和发送。逐一测试键盘按键，接收到的数据与键值表一致；按照灯值表，逐个输入灯值，能够正确点亮或熄灭相应指示灯。

6 结束语

[illegible]

(上接第 48 页)

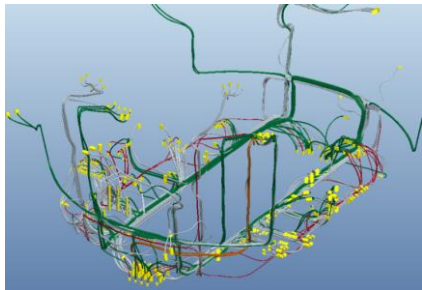


图 6 电缆布线效果

5.3 电缆三维设计输出

a. 简单电缆输出方式

对于高频电缆及总线电缆，由于电缆为端到端的连接方式，无分支，且电缆一般较细，故对于该类电缆，在进行下厂制造时，只需提供电缆长度信息，制造厂根据电缆长度信息及相关配套进行电缆的制造。

b. 低频分支电缆输出方式

由于低频电缆一般具有多个分支,在进行下厂制造时,需要将分支处的长度一起提供给制造厂,同时,对于较复杂的低频电缆,当其电缆直径较大时,为便于装配的可实施性以及方便性,在下厂生产时,可对其进行定制,即在电缆三维设计模型中,将此电缆束的转弯半径方向予以极性表示,制造厂根据三维极性信息提前将带有转弯半径的电缆束裁剪成形。

因此, 低频电缆长度信息对制造厂的输出为低频电缆 Pro/E 三维数字化模型、低频电缆分支长度

本文对功能键盘的分类、构成、消抖和回显设计以及串口通信模块设计逐一进行了原理阐述和设计方法的介绍,并对其功能进行了有效的验证。基于FPGA的功能键盘设计非常灵活,可根据实际需要扩展或裁剪按键的种类和数量,目前已经应用于部队地面车载指挥控制设备中,为地面车辆指挥系统信息化建设增添了特色,提供了便利。

参考文献

- 1 赵艳华, 曹丙霞, 张睿. 基于 Quartu II 的 FPGA/CPLD 设计与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009
- 2 潘新民, 王燕芳. 微型计算机控制技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003

Pro/E 二维模型, 其中, 低频电缆分支长度 Pro/E 二维模型为通过钉板图展开后得到, 电缆分支长度 Pro/E 模型格式如图 7 所示。

制造厂根据电缆三维设计模型、电缆分支长度信息及接点信息完成低频电缆的制造。

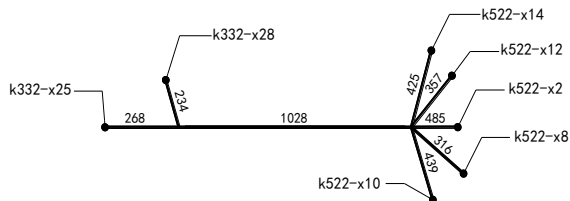


图 7 电缆分支长度 Pro/E 二维模型图

6 结束语

基于 Intralink 协同设计平台, 设计师可以根据任务分工, 同时对不同舱段进行电缆三维设计, 并实时交流, 提高设计效率和质量; 设计输入采用电子导入表格的形式, 不需对输入进行二次加工, 杜绝低级错误的增加; 设计过程中, 软件根据电缆分支起始点, 自动识别三维模型中相应设备上的电连接器, 省去设计人员的手动寻找, 大大降低工作量并减少设计失误; 采用电缆三维模型直接下厂生产, 更加直观, 电缆分支长度更加精确, 减少器上电缆重量和占用空间。

综上所述,通过实际工程需要和 Pro/E 软件的实际建模经验,对电缆三维设计模块进行二次开发后,能够极大提高电缆设计效率和质量,满足载人航天器三维数字化设计的需求。

