

基于FPGA的无线呼叫系统跨学科综合设计案例

陈学英, 王 军, 习友宝

(电子科技大学 电子科学与工程学院, 四川 成都 611731)

摘要 该文介绍了一种无线呼叫系统的实验设计。通过实验, 学生能够掌握射频收发、信息编码解码、输出显示与音频驱动电路的工作原理和实现。该实验基于FPGA技术和硬件模块电路实现, 能够有效地将EDA技术、通信原理、数字逻辑、射频电路以及乐谱原理等相关知识点进行整合和运用。通过实验, 学生能够得到硬件与软件方面的实际工程训练, 提升综合设计分析和解决问题的能力, 使跨学科知识的交叉应用与创新实践能力得到培养。

关键词 射频收发; FPGA; 通信协议; 编解码

中图分类号 G420

文献标志码 A

doi: 10.3969/j.issn.1672-4550.2019.01.009

Interdisciplinary Application Design of Wireless Calling System Based on FPGA

CHEN Xueying, WANG Jun, and XI Youbao

(School of Electronic Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract This paper introduces an experimental design of a wireless calling system. Through experiment, students can master the working principle and of the RF transceiver, information encoding and decoding, output display and audio drive circuit. The experiment is based on FPGA technology and hardware module circuit implementation, which can effectively integrate and apply EDA technology, communication principle, digital logic, RF circuit and music principle. Through the experiment, students can get practical engineering training in hardware and software, improve the ability of electronic design analysis and problem solving, and cultivate cross-practice ability.

Key words RF transceiver; FPGA; communication protocol; encoding and decoding

为积极响应学校深入推进精英人才培养的倡议^[1], 加强学生的跨学科教育^[2], 拟建设一批本科跨学科与集成创新人才培养的创新实践项目^[3]。电子科技大学电子实验中心承担了其中的“跨学科综合应用系统设计与实现”跨学科交叉创新实践项目。本文的案例设计是其中的一个子项目“基于FPGA的无线呼叫系统设计与实现”, 该案例是运用射频通信、数字电路及EDA技术^[4]解决现实生活和工程实际问题的一个典型案例。该案例在实现过程中需要运用的知识与技术方法主要包括以下9个方面: 1) 数字编码、解码^[5]; 2) 信号调制与解调^[6]; 3) 信号发射与接收; 4) 信号混频; 5) 信号放大与滤波; 6) 数据显示与控制; 7) 通信协议^[7]; 8) 音乐乐理知识; 9) 天线设计。同时还涉及现代电子技术设计工具的软硬件联合应用、联合测试等工程概念与方法。该案例能够有效地将射频电路、通信原理、数字逻辑、EDA技

术、计算机应用、现代电子系统设计技术以及音乐乐理知识等学科基础知识集成应用, 实现了跨学科知识的交叉应用与创新实践。

本项目研究和设计的“跨学科交叉创新实践项目”, 取材于实际工程问题, 比如医院输液的病员无线呼叫需求, 病员排队看病的医生无线叫号需求等, 同时还可广泛应用于科研需求中的信息传输通信处理, 因此该实验教学项目具有较好的工程性和应用性、综合性和设计性。在呼叫响应处理上, 采用音乐报警提示、号码显示提示、应答灯闪烁点亮提示等, 使设计的项目具有直观性和趣味性, 这样, 学生对着手设计实现的项目既有兴趣点又有成就感, 有效地增强了学生对设计的积极性和主动性。采用FPGA实现一段音乐呼叫响应提示, 将乐理知识有机结合应用, 使学生感觉生活中奇妙的音乐享受还可以这样轻松地实现, 充分体现了跨学综合知识应用的特点。

收稿日期: 2018-11-04; 修回日期: 2018-11-23

作者简介: 陈学英(1966-), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事电路系统集成EDA技术及嵌入式技术的应用研究与教学工作。

1 系统设计概述

1.1 设计的任务与要求

以医院输液无线呼叫需求为对象,设计一个能够满足八位病员需求的无线呼叫通信系统,该系统具有病员呼叫的按键发射装置、医护中心显示病员呼叫号码和音乐报警提示的接收装置。当病员在发射端按下需求呼叫,中心控制接收端收到病员呼叫信息后,能进行系统的复位控制和应答信号的产生与发射。病员发射端收到应答确认信号后能进行应答的解码,以灯闪烁点亮的模式,确认中心控制室已收到呼叫信息。

指标要求:1) 无线呼叫距离不小于 30 m(考虑障碍物);2) 病员呼叫组数不低于 8 个;3) 发射频率不低于 100 MHz(国家允许的业余无线电频率);4) 发射功率不低于 1 mW;5) 接收误码率不小于 10^{-3} 。

设计要求:1) 收发端病员号码的编码、解码、信号显示、音乐报警,中心控制应答信号的产生与发射,病员端应答信号解码确认等,用 FPGA^[8]实现;2) 收发端的调制、解调、放大、滤波、发射与接收等采用专用射频集成芯片和 PCB 印制天线完成。

1.2 系统组成原理

系统的组成原理由病员呼叫发射部分和中心控制接收部分组成,主要包含无线发射模块、无线接收模块、FPGA 逻辑设计和无线通信协议设计 4 个组成部分。其中,发射模块包含编码电路、无线发射电路及发射天线;接收模块包括无线接收电路及接收天线;FPGA 逻辑设计部分包括信号同步与编解码电路、显示电路、报警电路。其组成结构如图 1 所示。

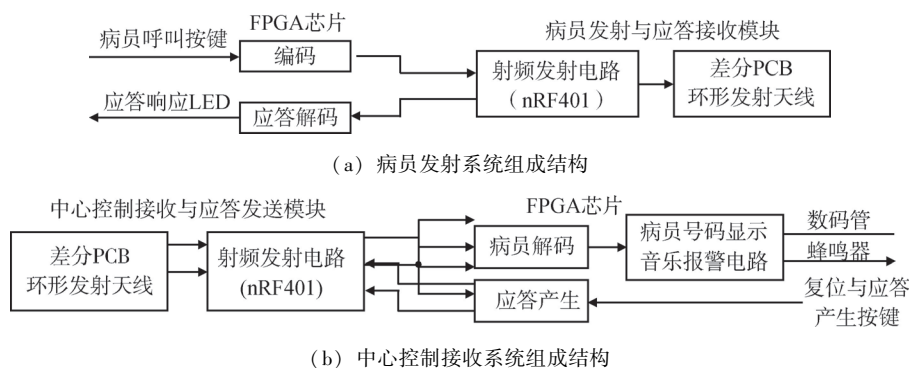


图1 基于FPGA无线呼叫系统组成结构

发射部分包含FPGA实现的病员编码及应答响应解码电路,按照预设好的通信协议完成HDL设计,编码后的数字基带信号被送入射频发射电路中,经过射频芯片的调制、功率放大等处理后,由差分PCB环形天线完成发射;应答信号来之后接收解调与解码,控制LED灯闪烁点亮并过一段时间自动熄灭,其发射和接收由按钮开关控制(病员按下按键为发射,释放按键为接收)。

差分PCB环形天线将接收到的高频编码调制信号送入射频接收电路中,接收芯片将高频编码调制信号进行低噪声放大,混频到中频,放大并滤波后进入解调器。解调后,转换成串行数字信号输出给FPGA数字系统。FPGA对接收到的数字基带信号进行同步、解码、串并转换,产生相应的控制信号,控制FPGA显示电路和音乐报警电路,实现病人床位号的显示和有呼求的音乐提示,接收端医护人员按确认键产生收到信息的应答信号。

2 系统模块设计

2.1 射频收发模块

综合参数设计指标,系统可选用收发一体的射频芯片nRF401来实现项目的收发功能。nRF401^[9]是一个具有433 MHz ISM频段设计的真正单片UHF无线收发芯片。其最大发射功率+10 dBm,最高工作速率可以达到20 kb/s,误码率小于 10^{-3} 。

该芯片具有高频发射、高频接收、PLL合成、FSK调制、FSK解调、双频道切换等功能,是目前集成度较高的无线数据传输产品,性能优异,功耗低,使用方便,且使用无须申请许可证。该芯片收发天线合一,开阔地使用距离最远可达1 000 m,但实际传输距离还与使用环境及天线尺寸、元件参数有关。本系统的天线尺寸参照

nRF401 的指标设计,采用差分环形 PCB 印制天线作为收发天线,关键参数为环形长宽 $a_1 = 15 \text{ mm}$ 、 $a_2 = 25 \text{ mm}$; PCB 走线参数铜箔厚度 $b_1 = 35 \mu\text{m}$,走线宽度 $b_2 = 1 \text{ mm}$ 。选用电路板厚度 1.6 mm ,天线部分不敷铜。

2.2 编码、解码通信协议

可参考 BT2262 编码芯片^[10]的通信协议构建本项目的编解码通信协议,该协议中的每个数据帧由 4 组连续的码字构成,每组码字由 12 位二进制数据与 1 位同步位构成,每一位数据码元(bit)‘0’‘1’或‘floating’均由相应的脉位调制波形构成。12 位码字中将 A0 ~ A7 作为 8 位病员的有效呼叫地址线,另外 4 位作为病员通道的数据选通控制,为了方便设计,8 位地址可全设置为“11111111”,4 位数据是病员的 4 位编码数据,1 位同步位作为数据结束标志。三种数据码元的定义时序如图 2 所示,图中 α 为编码、解码的基准时钟,其中 1 bit = 32 个编码时钟周期即 32α 。

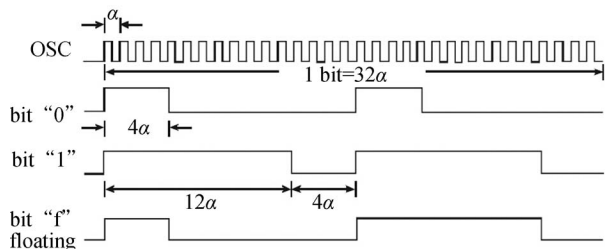


图2 编码/解码通信协议时序

2.3 基于FPGA的编码模块

编码模块由 FPGA 编程产生,主要根据编码协

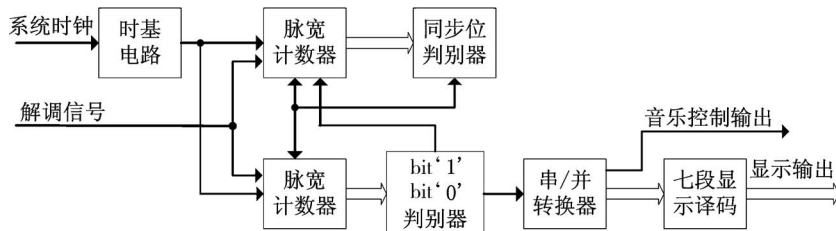


图4 解码产生模块

2.5 基于FPGA的音乐报警模块

当病员呼叫解码模块产生控制信号后,启动音乐报警模块的工作。音乐模块工作原理是:产生组成乐曲每个音符的频率值(音调)及其持续的时间(音长)信号,该两个信号是乐曲能够持续演奏的两个基本数据,对于选定的乐曲曲谱,主要控制不同曲调的持续时间就可实现^[11]。音乐产生模块电路如图 5 所示。

议,产生包括同步信号在内的 13 位数据码,其中地址码 8 位全为‘1’,数据码由病员按键开关输入有效后分别产生“0000”~“0111”的 4 位数据。如图 3 所示,基准时钟控制八组 13 位的脉冲宽度调制波的产生,并送入八选一选择器,选择器由外部的 3 位拨码开关设定病员的编号选择。拨码开关可与射频发射电路焊接在一起。



图3 编码产生模块

2.4 基于FPGA的解码模块

解码模块也由 FPGA 编程产生,同样根据编解码协议,设计基准时钟信号,对来自射频接收的解调信号进行脉宽计数。如图 4 所示,当 FPGA 检测到低电平后,首先对同步位的低电平进行采样计数,对计数值与 128α 计数基准值比较,如检测到同步位低电平后,产生控制信号,进入 12 位地址/数据码计数,对数据/地址码的高电平进行采样,若连续两个计数值落在 4α 值区间,则产生 bit ‘0’ 码,若连续两个计数值落在 12α 值区间则产生 bit ‘1’,并实时将采到的‘0’或‘1’送入串并转换器中,转换为相应的控制信号与使能信号。对获得的并行信号进行七段译码,送入输出数码管显示。控制信号控制音乐报警模块的工作。

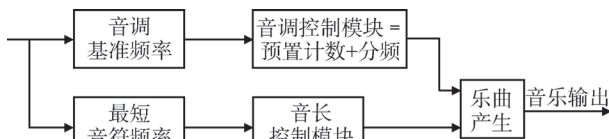


图5 音乐报警模块

2.6 应答信号产生与接收模块

在医护中心控制室,当病员呼叫号码解调后,

该信号被送入锁存器锁存,当控制人员按下应答按键,锁存的病员编码信号再被发射出去。当病员发射端收到病员号码的反馈信号后,对该信号解调、解码,取其中四位数据码与病员四位数码编码比较,若相同则产生控制信号驱动LED灯闪烁点亮,若不相同则对应病员灯不亮,如图6所示。

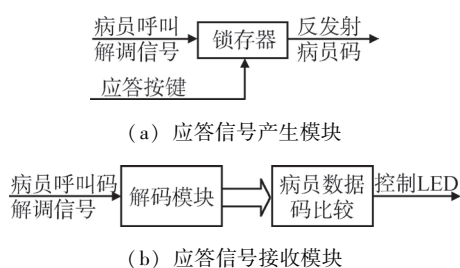


图6 应答信号产生和接收模块框图

3 实验教学与考核

跨学科综合系统设计实验是一个完整项目工程实践过程,需要经历资料查询、学习研究、方案论证、模块设计、模块仿真、系统设计、系统实现、系统调试、测试分析、设计总结等过程。本项目在实验教学中,应在以下6个方面加强对学生的教学要求与考核。

1) 引导学生对项目系统的功能进行需求分析,构建系统的组成结构,了解无线收发模块、无线通信协议、基于FPGA的逻辑设计等方面的不同处理方法^[12]。

2) 引导学生研究项目指标,学习无线收发芯片nRF401的资料查询与选用,掌握其原理与应用及与之相连的PCB天线尺寸设计。课程提供制图软件的课件或录像,学生自学并着手完成射频收发芯片及天线组成的硬件原理图设计,PCB图设计,器件的装配与调试^[13]。

3) 引导学生分析与理解病员的编解码工作原理,查询、选用通信协议,研究与构建包含病员编码信息与同步识别码信息的基带码组成^[14]。该过程课程提供FPGA设计的Vivado软件使用和HDL语言的课件或录像,提供FPGA硬件开发平台的相关资料。要求学生完成编码模块的“基带脉宽调制波发生器”“调制波输出选择器”,解码的模块“脉宽计数”“同步码判别”“0/1码判别”等,还有其他模块,如“基准信号源产生”“按键识别

与消抖”“并串转换”“数码显示”“应答信号产生与接收”等模块的HDL设计与仿真。

4) 引导学生查阅资料研究音乐乐谱基于FPGA设计的模块组成,比如音阶(音调)产生电路的构成、乐谱音长电路的构成,选定固定乐谱(比如《两只老虎》),完成该音乐电路的HDL设计及仿真。

5) 指导学生实现编码电路、解码电路、输出显示与报警电路及应答产生电路的FPGA下载调试,并用示波器查看其波形的时序。将编码和应答电路连接发送模块,解码和输出处理电路连接接收模块。调试收发通信,发射病员需求信号,观测发送调制波形与接收解调波形,观察中心控制接收端数码管的号码显示与音乐报警;中心控制接收端收到信号后进行系统的复位与应答信号的发送,观察病员发射端FPGA平台的LED显示;拉开收发距离多次对收发数据进行测量,并进行数据分析。

6) 实验采用项目结题的方式进行考核^[15],组织学生以项目演讲、答辩、评讲的形式进行交流,了解不同解决方案及其特点,拓宽知识面。其考核包括答辩、成果验收与论文报告的撰写。成果验收包括射频收发模块实物验收;功能与性能指标的完成程度,如能否正常发射、正常接收,收发距离、病员号码能否正常显示,音乐信号是否产生,应答信号工作是否正常等。项目答辩包括了语言表达清晰度、原理描述正确性、实现过程完善性、问题理解通透性。实验报告涵括了电路方案的合理性、HDL语言设计的优化性、文本结构的清晰性、内容描述的充实性、格式要求的规范性、数据测量的完整性、元件选择的合理性及成本核算与损耗的考虑以及自主创新方面,包括功能构思、电路设计的创新性,自主思考与独立实践能力。

4 结束语

系统经过以上的软硬件联合设计,将程序下载配置写入FPGA开发板的PROM中固化,连接收发模块、搭建调试平台。试验结果表明,发射功率10 dBm,有障碍空间的传输半径40 m以内的情况下,收发系统正常工作,接收波形和预期一致,同时病人号码正确显示,蜂鸣器乐曲正常演奏,

预期功能基本实现。通过此次项目锻炼,学生对射频技术、无线通信协议及印制环形天线知识有了更为直观的认识和深入的理解,音乐报警的融入也增强了跨学科知识面的应用拓展。硬件模块与FPGA的设计大大提高了学生的软硬件联合设计水平和能力。

参考文献

- [1] 崔英静,张振宇,王贵. 高校精英人才培养模式理念分析与范式构建[J]. 科教导刊(中旬刊), 2014(7): 25-26.
- [2] 张建功,杨怡斐,黄丽娟. 我国高校工科硕士研究生跨学科培养模式调查研究[J]. 高等工程教育研究, 2016(4): 195-200.
- [3] 马大中,崔瑾,梁军胜,等. 基于创新型人才培养的创新实验项目探索与实践[J]. 实验技术与管理, 2014, 31(9): 33-36.
- [4] 潘松,黄继业. EDA技术与VHDL[M]. 4版. 北京:清华大学出版社, 2013.
- [5] 魏爱明. 无线收发系统研制[J]. 中华少年:研究青少年教育, 2013(21): 6.
- [6] 杨帆. 浅谈广播电视卫星信号的数字调制解调技术[J]. 通讯世界, 2016(11): 112-113.
- [7] 张杭. 数字通信技术[M]. 北京:人民邮电出版社, 2008.
- [8] 姜书艳,陈学英,黄志奇. 数字设计FPGA应用[M]. 北京:科学出版社, 2018.
- [9] 李欣,王耀宾,杨华. 基于nRF401的无线通讯系统及应用[J]. 科技信息:科学教研, 2007(36): 336-337.
- [10] 周璐璐. 无线收发模块制作[J]. 科学与财富, 2014(3): 338-339.
- [11] 何小河. 基于FPGA的音乐播放器设计[J]. 电子世界, 2014(14): 172.
- [12] 刘红光,路瑞军,赵艳,等. 基于FPGA的无线通信系统设计[J]. 现代电子技术, 2015, 38(13): 36-38.
- [13] 陈苏良,李泽明. 《电子产品制作》任务引领型课程设计与实践[J]. 教育界:高等教育研究, 2016(3): 58.
- [14] 王文峰,吴一丁,李楠. 基于FPGA的无线通信系统设计[J]. 科学导报, 2015(23): 248.
- [15] 高亮,韩玉民,赵冬. 答辩考核方式在编程实践类课程中的应用[J]. 计算机教育, 2010(24): 135-137.

编辑 何雨莲

(上接第22页)

4 结束语

本文由于近似处理,减小计算量的同时,也损失了精度;在求解CT系统的旋转中心时,由于初值对方程组的求解影响特别大,所以稳定性不高。但是本文所建立的模型对CT系统参数标定和成像都具有一定的指导意义。

参考文献

- [1] 庄天戈. CT系统与算法[M]. 上海:上海交通出版社, 1992.
- [2] 中国数学建模网. 2017年高教社杯全国大学生数学建模竞赛赛题[EB/OL]. <http://www.shumo.com/home/html/3532.html>.
- [3] 刘景鑫,杨海山. 优化CT系统参数设置的可行性探讨[J]. 中华放射学杂志, 1996(1): 62-64.
- [4] 贾俊平,何晓群,金勇进. 统计学[M]. 北京:中国人民大学出版社, 2009.
- [5] 邓集贤,杨维权,司徒荣,等. 概率论与数理统计(下册)[M]. 北京:高等教育出版社, 2009.
- [6] 陈颖滨,邓彬,王宏强. 基于投影一切片定理的转台成像算法[J]. 信号处理, 2011, 27(9): 1380-1384.
- [7] 范慧赟. CT图像滤波反投影重建算法的研究[D]. 陕西:西北工业大学, 2007.
- [8] [美]冈萨雷斯, [美]伍兹. 数字图像处理[M]. 北京:电子工业出版社, 2014.
- [9] 朱翥. 利用MATLAB进行图像重建的算法研究[D]. 江苏:苏州大学, 2003.
- [10] 卓金武,李必文,魏永生. MATLAB在数学建模中的应用[M]. 2版. 北京:北京航空航天大学出版社, 2014.
- [11] 石冶郝,余玉峰,程小红. CT扫描中的数学:拉东(Radon)变换[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2013, 34(4): 15-18.
- [12] 李静. 二维Radon变换在图像重建中的重要性质及定理[J]. 河南教育学院学报(自然科版), 2015, 24(4): 21-23.

编辑 张俊