

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: X2013231304

UDC _____

廈門大學

工 程 碩 士 學 位 論 文

**基于 FPGA、DSP 和 MCU 混合嵌入式架构
的密室逃脱设计**

**The Design and Implementation of FPGA、DSP and MCU
based Room-escape Game**

王佳

指 导 教 师: 邱明 助理教授

专 业 名 称: 软 件 工 程

论文提交日期: 2017 年 10 月

论文答辩日期: 2017 年 11 月

学位授予日期: 2017 年 12 月

指 导 教 师: _____

答 辩 委 员 会 主 席: _____

2017 年 10 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

本人声明该学位论文不存在剽窃、抄袭等学术不端行为,并愿意承担因学术不端行为所带来的一切后果和法律责任。

声明人 (签名):

指导教师(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘要

嵌入式软件是基于嵌入式系统(Embedded system)的应用软件和系统软件,是为特定应用而设计的专用计算机软件。与通用 PC 软件不同,它带有基于硬件功能的系统编程属性,为执行特定任务而生。随着信息技术的迅猛变革,以及可进化软件技术,计算机视觉与认知技术等概念的提出,基于嵌入式平台的计算信息软件技术开始呈现更强大的应用前景,并显现出通用开发的属性。但复杂应用条件下,多种嵌入式架构难以有效整合的弊端越发凸显。

本文首先重点讨论三种主流的嵌入式系统及编程原理:基于 FPGA (Field Programmable Gate Array) 现场可编程门阵列的逻辑架构、基于 DSP (digital signal processing) 数字信号处理的微处理器内核和基于 MCU (micro control unit) 微控制器单元的运算系统;随后详尽对比不同嵌入式应用的差异及其编程结构和特点,分析 FPGA、DSP 和 MCU 混合嵌入式架构的电子机关设计原理,充分考量各系统的显著优势,最后以实际完成的某“密室逃脱”主题设计为背景,提出混合架构在快速发展的电子机关设计领域具有广阔市场前景和技术优势。密室逃脱主题店作为技术引领型的新兴消费类娱乐电子市场,是综合运用混合嵌入式架构的全新领域。若能成功建立通用的混合架构,便能最大限度的满足快速变化的消费类电子市场行为,进而创造令人欣喜的价值。

关键词: 嵌入式软件; 混合架构; 密室逃脱

Abstract

Embedded software is based on the embedded system application software and system software, is designed for specific applications dedicated computer software and general PC software, it features with the system programming properties based on the hardware system and targets for the implementation of specific tasks . With the rapid development of information technology and the concept of evolutionary software technology, computer vision and cognitive technology, the computing software technology based on embedded platform has begun to show more powerful application foreground and show the general development attributes. But the complex application conditions, a variety of embedded architecture is difficult to effectively integrate the more prominent drawbacks.

This thesis focuses on three main types of embedded systems with their programming principles : based on FPGA field programmable gate array logic architecture; based on DSP digital signal processing microprocessor core and based on MCU micro control system, and then analyzes the difference between different embedded applications and its programming structure and characteristics. It analyzes the design principle of electronic design of FPGA, DSP and MCU mixed embedded architecture, and fully considers the significant advantages of each system, and finally to the actual completion of a "Room-Escape Game" theme design as the background, proposed a hybrid architecture in the rapid development of electronic design has a broad market prospects and technical advantages. Room-escape Game is the theme shop as a technology-led emerging consumer. The combination of the entertainment electronics market is a new area of integrated use of hybrid embedded architecture. If successfully build common hybrid architecture, it will be able to maximize the rapid changes in the consumer electronics market behavior, and thus create gratifying value.

Key Words: Embedded Software; Hybrid Architecture; Room-escape Game

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景及意义.....	1
1.2 国内外发展现状.....	2
1.3 主要研究内容.....	3
1.4 论文组织结构.....	4
第二章 系统需求分析	5
2.1 “密室逃脱” 市场需求分析.....	5
2.2 “密室逃脱” 成本需求分析.....	5
2.3 “密室逃脱” 功能需求分析.....	6
2.4 “密室逃脱” 技术需求分析.....	10
2.4.1 高精度运动识别机关需求分析.....	11
2.4.2 高性能运动控制机关需求分析.....	11
2.4.3 低成本电子机关需求分析.....	12
2.4.4 上位机软件需求分析.....	12
2.5 本章小结.....	14
第三章 系统详细设计	15
3.1 总体架构设计.....	15
3.1.1 FPGA 现场可编程逻辑阵列运动检测电子机关应用.....	15
3.1.2 DSP 数字信号处理器运动控制电子机关应用.....	16
3.1.3 MCU 微控制器机关群流程管理.....	16
3.2 基于 Verilog 的 FPGA 的运动识别机关系统设计.....	16
3.2.1 FPGA 技术特点分析.....	16
3.2.2 FPGA 运动识别原理.....	19
3.3 基于 DSP 的运动机关控制系统设计.....	21

3.3.1	转矩控制模式.....	22
3.3.2	位置控制模式.....	22
3.3.3	速度模式.....	22
3.3.4	三环 PID 算法控制.....	22
3.4	基于 MCU 单片机的机关群流程控制设计.....	26
3.5	本章小结.....	28
第四章	系统实现.....	29
4.1	基于 FPGA 运动识别系统设计实现.....	29
4.2	基于 DSP 的运动控制机关设计实现.....	33
4.3	MCU 时序配置总线设计实现.....	36
4.3.1	电子机关应用.....	36
4.3.2	电子机关连接.....	37
4.3.3	电子机关功耗.....	38
4.3.4	电子机关可扩展性.....	38
4.3.5	电子机关群通信.....	39
4.4	单片机密室机关流程控制逻辑实现.....	40
4.5	其它碎片化电子机关实现.....	41
4.5.1	第一关--水滴识别机关.....	41
4.5.2	第二关--激光阵列和静止机关.....	42
4.5.3	第三关--10 点压力感应保龄球机关.....	43
4.5.4	第四关--火焰识别机关.....	44
4.5.5	第五关--平衡炸弹复合控制机关.....	45
4.5.6	第六关--碰撞机关.....	46
4.5.7	第七关--人体电桥机关.....	46
4.5.8	第八关--激光竖琴机关.....	47
4.5.9	第九关--拼图机关.....	48
4.6	本章小结.....	49

第五章 总结与展望.....	50
5.1 总结.....	50
5.2 展望.....	51
参考文献.....	52
致 谢.....	53

厦门大学博硕士论文摘要库

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Purpose and Meaning of the Research	1
1.2 Domestic and International Present Development	2
1.3 Main Research	3
1.4 Organization Structure of the Paper	4
Chapter 2 System Requirement Analysis	5
2.1 Market Requirements Analysis	5
2.2 Cost Requirements Analysis	5
2.3 Playing Requirements Analysis	6
2.4 Technical Requirements Analysis	10
2.5 Summary	14
Chapter 3 System Design	15
3.1 Overall Architecture Design	15
3.2 Based on the FPGA Design of Authorities Monitoring System	16
3.2.1 The FPGA Technology Characteristic Analysis.....	16
3.2.2 The FPGA live Audio and Video Monitoring System Architecture.....	18
3.3 Based on the DSP Design of Sports Authority Control System Design	20
3.3.1 Torque Control Mode.....	21
3.3.2 Position Control Mode.....	21
3.3.3 Speed Control Mode.....	21
3.3.4 Three-Ring PID Control Algorithm.....	22
3.4 Based on the MCU Design of Organs Process Control	26
3.5 Summary	28
CHAPTER 4 System Implementation	29

4.1	The FPGA Design of Video Monitoring System.....	29
4.2	The DSP Design of Sports Authority Control System.....	33
4.3	The Main Module Implementation of Pension Benefits.....	36
4.3.1	Application Point of View.....	36
4.3.2	Connection Point of View.....	37
4.3.3	Power Point of View.....	38
4.3.4	Scalability Point of View.....	38
4.3.5	Rs485 Electric Network.....	39
4.4	MCU Chamber of Authority logic Control.....	40
4.5	MCU Chamber of Authority Process Control.....	41
4.5.1	The First level -- the Droplets Recognition Organ.....	41
4.5.2	The Second Level— Laser Array.....	42
4.5.3	The Third Level — Pressure Induction Bowling Organ.....	43
4.5.4	The Forth Level — The Flame Identification Organ.....	44
4.5.5	The Fifth Level — Balance of Bomb Compound Control Organ.....	45
4.5.6	The Sixth Level — Collision Organ.....	46
4.5.7	The Seventh Level—Human Body Bridge Organ.....	46
4.5.8	The Eighth Level — Laser Harp Organ.....	47
4.5.9	The Ninth Level — Jigsaw Puzzle Organ.....	48
4.6	Summary.....	49
CHAPTER 5 Conclusions And Expectation.....		50
5.1	Conclusions.....	50
5.2	Expectation.....	51
References.....		52
Acknowledgements.....		53

第一章 绪论

1.1 研究背景及意义

最早的真人密室逃脱，起源于 2006 年的硅谷。一群系统软件工程师根据阿加莎·克里斯蒂的小说“东方快车谋杀案”灵感，设计了一系列机关场景，提供给同事冒险解谜，命名为“origin”，如图 1-1。他们不知道从此开启了一个全新的实景娱乐时代。

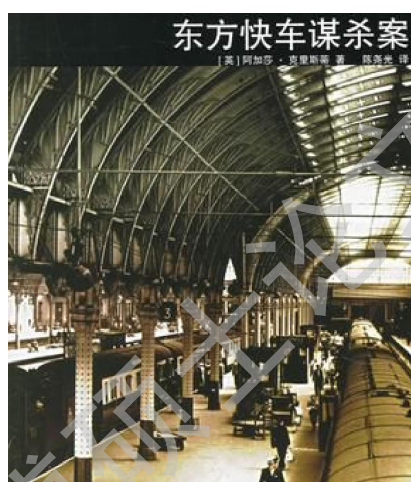


图 1-1 最早的密室逃脱主题

初代的密室逃脱主题店主要起步于木箱，机械盘，谜题图纸，密码锁，对讲机等简陋设备如图 1-2。随着机电技术的快速进步，主题店开始采用分离的机械机关和电子机关，但没有功能强大的中央控制器，使得特定机关只与特定执行机构互联，控制性差，机关设备分散孤立；同时缺乏上位机软件和良好的现场总线支持，因此不具备高速互连通信的物理基础，进而没有连贯的故事逻辑，现场代入感不强；机关本身无使能控制标志，容易被误触发，可靠性也较差。



图 1-2 密码锁、字谜、木质道具

随着共享数据总线，智能电源管理，分布式模块化软件控制等控制技术投入民用市场。大量使用电子机关的密室主题店终于具备良好的可玩性，并步入飞速发展期。由于拥有面向开放式综合电子控制系统结构的特点，此时的密室店开始尝试集成大量的机电设备、语音模块、视频显示模块和运动控制单元等，再加上先进综合电子平台技术的日益成熟，电子机关应用软件接口与中央控制器硬件接口趋向标准化、规范化设计的方向迈进。更高可玩性、挑战性的电子机关和集成控制系统被设计开发出来，并逐步投放市场。此时，基于嵌入式设计的电子机关群终于爆发强大威力，经济价值越发凸显，作为前沿性的商业尝试，密室逃脱独特的实景娱乐特性开始为大众欣赏并接受，机关混合设计的基本方法则普遍成为业界共识。但是高度市场化的电子机关设计使基于不同嵌入式架构设计的底层电子机关逐渐与顶层的应用控制软件逐渐割裂，降低了嵌入式软件的代码复用性和可移植性，因而增大了机关群设计的整体复杂度。为消除不同嵌入式硬件与软件难以协同的困境，需要多控制器协同与电子机关群的高度模块化，以便模块群可快速调用，因此混合控制架构的思路应运而生。



图 1-3 机电一体化

1.2 国内外发展现状

“密室逃脱”是新近崛起的一种玩法新奇的实景娱乐体验式消费。自 2010 年开始，真人密室逃脱作为时下热门的娱乐游戏开始迅速崛起，第一代的密室逃脱项目主要以推理，逻辑，图案，钥匙等传统机关设计为主，考验玩家的逻辑思维能

力，受众面窄，只适合于逻辑推理强且追求新鲜刺激的年轻人。随着机电信息技术的快速发展，智能控制技术与机电设备一体化的高度结合，越来越多新奇的机关道具被设计投放市场，这些电子机关多基于嵌入式系统，将声光电磁等物理过程整合为全新的电子设备，如激光竖琴机关、鬼吹灯机关、平衡炸弹机关等 007 电影中才能感受到的道具，丰富了消费用户的感官刺激。构成全面而独特的娱乐体验，逐渐为不同年龄层的玩家欣赏和接受。弱化的解密推理与强化的多层次娱乐体验渐渐抛弃其原有逃脱命题的本身含义，开始以主打视听触感娱乐体验，为下一代密室逃脱的机关设计寻找方向。密室逃脱文化的快速崛起，极大的影响到室外运动拓展、电子游戏厅和桌游等传统行业，与虚拟现实技术不同，实景娱乐体验的感官设计更丰富，层次更全面，因此得以迅速抢占市场，并大获青睐。市场的需求越发强烈，对电子机关群设计的要求也更加多元化。可以预见的未来，作为技术引领型的娱乐消费类电子设计，伴随更多新奇机关的出现，将更广泛的吸引不同年龄阶段和职业的消费人群——白领，学生，公职人员、家长以及大龄玩家等。变化多端的激光阵列，火焰，震动，视频音频机关设备创造出新奇的感官体验，将带领消费者进入一个全新的世界，令玩家置身于超现实的封闭状态中，对眼前种种的奇幻、未知和各种突发的景象而乐此不疲。

目前，国内电子机关设计呈现百花齐放的状态，由于紧跟时代前沿，与国外知名设计厂商相互合作，又激烈角逐。

1.3 主要研究内容

本论文基于混合嵌入式架构，充分发挥不同系统的专用优势，建立一套高可玩性和高挑战性的密室逃脱主题设计。基于的 Verilog 语言和 Altera 公司的 Cyclone 系列 FPGA，采用高度集成的 quartus 硬件描述自动化软件，设计一款高精度运动识别机关，用于判断玩家运动和静止状态；基于 C 语言和 TI 公司的 TMS320C2812 型 DSP 芯片，采用内嵌式 CCS 编程环境，设计一款采用 CAN 总线协议通讯的高精度位置伺服控制器，用于精确控制拼图运动机关状态；基于 C 语言的宏晶半导体公司的 STC90 系列 MCU 芯片和 KEIL C 交互工程界面做机关总体流程的优先级定义控制，采用 485 串行通讯协议和 VC++ 上位机程序，级联

三大嵌入式结构，将各机关触发或运行状态实时回传到执行机构与主控电脑上，完成密室店运营商，交互计算机与碎片化电子机关道具的闭环反馈。

为满足多样化的市场需求，建立高度协调的多层次系统架构和集中总线技术变得迫切。同时如何降低系统电路设计复杂度，提升关键电路性能，建立统一的通用架构，进而优化总体设计结构和设计自由度又成为棘手问题。嵌入式系统自身功能属性差异巨大，阻碍了专用和通用系统融合的努力，也让电子机关群等商业应用的设计周期变长，设计难度增高。为消除多嵌入式系统难以有效整合的弊端，作为一种前沿性的技术尝试，本文基于 FPGA，DSP 和 MCU 单片机混合嵌入式架构，分析其不同软硬件约束条件下应用分离的原因，并重点研究“密室逃脱”电子机关设计的复合需求。探讨并提出一种综合运用串行 485 通信，以太网与 CAN 通信的混合总线结构。以某“密室逃脱”主题店的实际商业化运营证明，这种混合嵌入式系统具备功能独立、协同控制稳定和数据流分配合理的特点，能够创造较好的市场收益。

1.4 论文组织结构

论文共分为六章，组织结构如下：

第一章 绪论，简要介绍三大嵌入式系统应用差异的技术原因和各自优势，并着力研究混合架构的技术优势和电子机关应用前景。

第二章 系统需求分析，介绍密室逃脱系统的整体架构需求分析、电子机关群逻辑设计思路和算法结构，研究系统内部接口技术和数字控制技术。

第三章 系统详细设计，介绍密室逃脱电子机关群的总体架构设计、混合总线技术，机关群展开位序、优先级判定等技术研究。

第四章 系统实现，介绍总体系统的开发环境，具体介绍电子机关模块群级联逻辑展开和架构互连技术。

第五章 总结与展望，作为嵌入式系统技术发展与市场深度融合的商业形态，总结分析“密室逃脱”领域的市场需求，深入挖掘混合架构的技术特点，为整合出完整和可靠的通用电子架构形态而努力，展望下一代电子机关的发展方向。

第二章 系统需求分析

密室逃脱是集机电控制，房屋设计，美术加工，电影小说，奇幻益智等多重元素于一身的产业集合，代表着探索和超越现实的强势文化。最早的真人密室逃脱，是一群敢于挑战和尝试的硅谷系统程序工程师于 2006 年打造。他们从经典推理文学作品中获得灵感，设计出一套类似场景要求在特定时间来找出机关线索，在不暴力破坏密室机关道具的前提下，顺利逃离密室。由于难度过高，据说至今只有 23 人逃脱成功，富有娱乐精神的程序工程师们自此开启一个全新的商业化娱乐消费市场。短短数年间，全球各地的密室逃脱主题店如雨后春笋般快速崛起，技术体系也由曾经的机械式，机电一体式到现今的先进分布综合式。

2.1 “密室逃脱” 市场需求分析

“密室逃脱”属于民用级娱乐电子项目，面向客户群首先应该是追求时尚和新鲜元素的学生，白领群体，同时以多维体验为卖点，以新奇娱乐为依托，吸收不同年龄层消费人群的广泛参与，如家长、教师、工程师、律师、医生等职业人群。因此运营场所首选商业区、广场、学校、医院周边等公共场合。

2.2 “密室逃脱” 成本需求分析

“密室逃脱”项目的主要成本来源：

首先是密室店装修成本。由于涉及声光电磁等物理效应，密室项目对运营场所的房屋结构，水电改造，灯光影音等硬装条件有多元化的需求。包括诸如房屋内部结构改造、墙体开槽、水电改造、供配电设计等结构性固定成本投入。这部分投入开销比较大。

1. 当需要在房间中安装激光阵列机关、大功率投影灯，火焰识别机关等道具时，通常要求房间密闭无光；
2. 当需要在房间中安装语音识别机关，音乐比对机关，语音方位辨识机关等道具时，通常要求房间具有良好的隔音效果。
3. 当需要在房间中安装大型运动机关，如地面震动机关，屋顶晃动机关，墙体移位机关等道具时，通常需要加固运动受力面的墙体结构，并安装

运动导槽、限位器，并配置大功率供电设备，并包含接触开关、断路器和电压可调变换器。

4. 当需要在房间安装水波雾化器，水滴感应机关，喷泉装置等设备时，通常需要房屋通水，并且具有严密的防水防导电特点。
5. 为满足密室项目的特定主题，房屋整体装修风格应仔细实施，以满足科幻，古典，武侠，灵异等主题。。

其次机关群设计、采购、安装调试费用，这个部分需紧密围绕房屋结构和空间条件，仔细考虑道具摆放位置和控制流程，做到利于电子机关布线、维修更换和后期升级等。最后是运营成本，包括水费、电费、人员培训管理费和维修费等。

2.3 “密室逃脱” 功能需求分析

本文基于混合嵌入式架构，大胆采用各种激进文化元素，同时综合机关群集总控制，模块化组网，多总线协同，分布式 IO 配置和并行阵列控制等优势技术^[1]，设计实现一套完整的“密室逃脱”主题。随着模块化程序配置的建立，未来新型密室逃脱主题店的设计难度逐渐降低，可玩性却能持续增加。

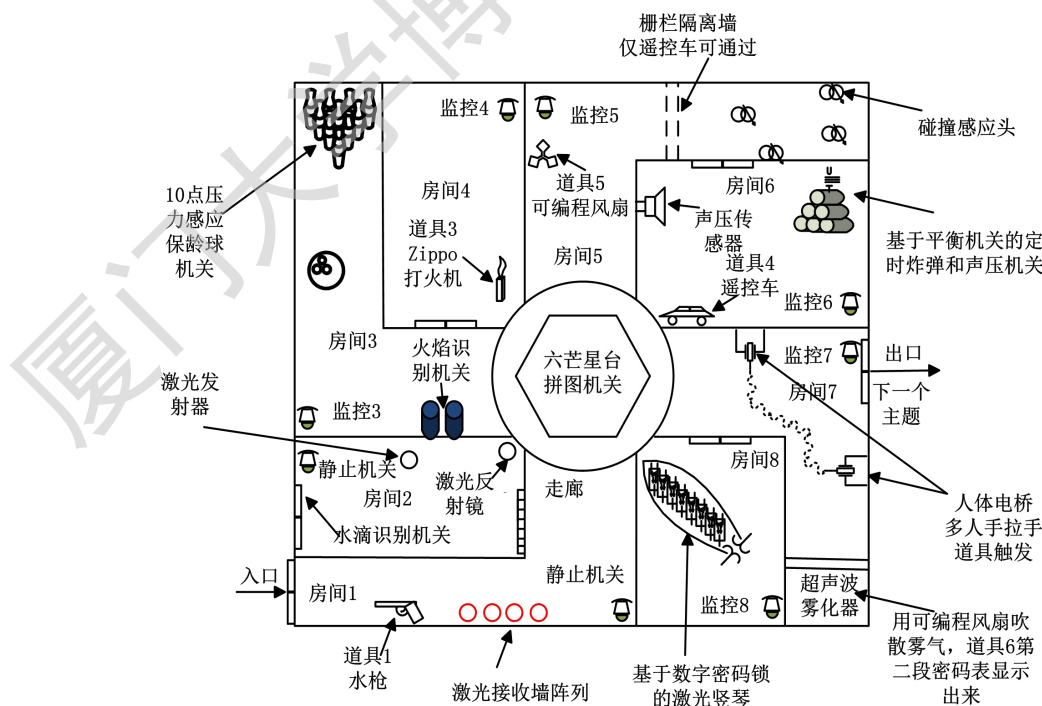


图 2-1 某密室逃脱实体店房间示意图和机关分布图

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库